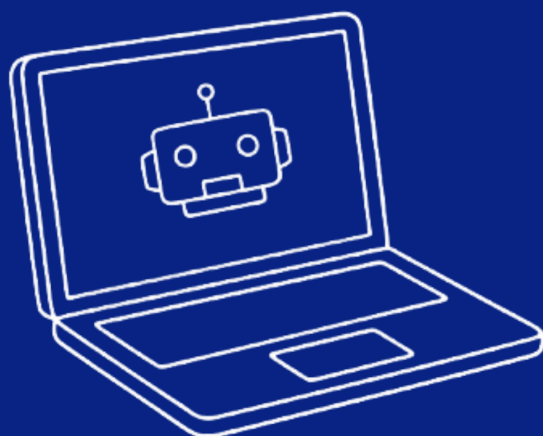


ANNEXES

Sortir de la clandestinité

Mettre l'IA au service d'une
nouvelle ambition pour le
système éducatif



Membres pilotes :

- Étienne GRASS, *Global Chief AI Officer* de Capgemini Invent
- Guillemette PICARD, *Founder* chez Cyan

Groupe de travail :

- Yann ALGAN, Économiste, doyen associé des Programmes Pré-Expérience et professeur d'économie à HEC
- Litzie MAAREK, *Partner* et co-fondatrice d'Educapital
- Antonin BERGEAUD, Économiste, professeur à HEC
- Luis VASSY, Directeur de Sciences Po

Avec la participation de Étienne CHAMPION, Recteur de l'académie de Versailles

Secrétariat général du Conseil :

- Joséphine CORCORAL, Directrice adjointe du CIANum
- Laurine DUPONT, Rapporteuse au CIANum

Annexe 1 : Revue de littérature

Notre méthode : Écrire *avec* et écrire *sans* l'IA

Dans le cadre de ce rapport, deux revues de littératures scientifiques ont été réalisées. La première a été rédigée *sans* usage d'outils d'intelligence artificielle. La seconde a été produite avec l'utilisation d'une version payante de grands modèles de langage. **Ce choix méthodologique vise à illustrer l'un des constats majeurs de notre rapport : éduquer et apprendre « avec IA » et « sans IA ».**

La revue de littérature « *sans IA* » provient d'un travail entièrement humain, certes plus concis avec ses limites en termes de volume mais également ses atouts : une personnalisation et une précision de l'analyse en fonction de (i) nos enjeux constatés, (ii) nos priorités et (iii) notre contexte éducatif spécifique en France. De surcroît, la préparation de cette revue (la lecture, l'analyse et le choix des documents) a permis de mieux saisir les enjeux relatifs au sujet de notre rapport pour formuler les constats, principes d'action et recommandations proposés.

La revue de littérature « *avec IA* » est bien plus exhaustive mais soulève plusieurs enjeux. Le gain de temps a été considérable mais relatif : si l'IA a permis de générer un volume de contenu trois fois supérieur à la version « *sans IA* », cela a nécessité plus d'une centaine de *prompts* pour affiner les résultats, corriger les erreurs et adapter le style. Les outils utilisés, entraînés majoritairement sur des données anglophones et américaines ont nécessairement introduit des biais culturels et références parfois peu pertinentes pour notre contexte.

En outre, et par souci de transparence, nous avons fait le choix de ne lisser que très légèrement le texte produit avec l'IA dans sa forme. Ceci permet de réaliser que les modèles génèrent encore des coquilles nombreuses. On observe en particulier un biais culturel : de nombreuses sections du texte sont rédigées avec des caractères anglo-saxons (lettres non accentuées, guillemets anglophones, anglicismes...). Les gras sont parfois remplacés par des astérisques autour du texte et les mots allophones et sources ne sont pas systématiquement identifiés en italique. Ceci permet de visibiliser le travail humain qui serait nécessaire pour aboutir à un texte « parfait », tant dans le fond que dans la forme.

Cette expérience de travail « *sans* » et « *avec* » IA reflète plusieurs des constats dressés dans notre rapport. Premièrement, **l'IA doit être considérée comme un outil auquel chacun doit être formé, et non comme une solution miracle** ; son utilisation nécessitant une maîtrise des *prompts*, un esprit critique et une capacité à identifier les biais potentiels. Par ailleurs, **l'IA ne se substitue pas à l'expertise humaine, mais peut la compléter**, à condition d'être exploitée avec discernement et précision. De surcroît, **le risque de standardisation des contenus se pose**. Même après affinement, les productions générées par IA tendent vers une neutralité biaisée qui efface les spécificités locales, culturelles ou disciplinaires.

Plutôt que d'opposer les approches « avec IA » et « sans IA », notre démarche plaide pour une complémentarité raisonnée et encadrée. L'IA générative peut être un outil pour compléter des pistes de travail ou concevoir des supports innovants. Elle peut également automatiser des tâches

répétitives, comme la rédaction de résumés ou de traductions, **libérant ainsi du temps pour des activités à plus forte valeur ajoutée**, telle que l'analyse critique. Un autre atout réside dans sa capacité à **proposer des angles d'analyse différents si l'utilisation de l'outil est bien maîtrisée**. Cependant, ces suggestions doivent systématiquement être confrontées à l'expertise humaine pour en évaluer la pertinence.

Revue de littérature sans IA

Partie 1 : Panorama général.....	6
1. Les enjeux « non-numériques » : état des lieux du système éducatif français – enjeux, atouts et défis globaux	6
Le système éducatif français : un écosystème dense avec des fragilités structurelles	6
Une profession enseignante en souffrance et sous-valorisée	8
Des inégalités scolaires persistantes et multidimensionnelles	9
2. Les enjeux d'hyperconnexion et ses effets sur le développement des jeunes	10
3. Accompagner et encadrer le numérique à l'école : un cadre en cours de construction mais non abouti.....	11
Le numérique et l'IA dans les programmes scolaires.....	11
Outiller les professeurs dans leurs pratiques pédagogiques	12
Partie 2 : Grands enjeux de l'IA en classe	14
1. Numérique et IA : analyse des études de l'impact de ces outils sur l'apprentissage et la pédagogie.....	14
Panorama des apports potentiels des outils d'IA dédiés à l'apprentissage.....	14
L'IA générative : une rupture considérable avec des opportunités et des risques.....	15
Les conditions d'une intégration pédagogique réussie.....	20
2. Effets de l'IA sur la collaboration entre élèves et inégalités	25
Les outils numériques renforcent les inégalités à l'école	25
Dynamiques de collaboration et risques d'individualisation excessive.....	28
3. L'éducation à l'IA.....	29
Pourquoi l'éducation à l'IA est-elle nécessaire ?.....	29
Référentiels de compétences en IA pour les élèves et les enseignants.....	30
La littératie : un enjeu d'émancipation citoyenne	31
Les approches internationales de l'éducation à l'IA.....	33
4. Enjeux communs entre éducation à l'IA et éducations aux médias et à l'information (EMI)	34
Des convergences fondamentales.....	34
La question de l'esprit critique.....	35
Une intégration institutionnelle de l'EMI et de l'éducation à l'IA.....	36

5. Evolution de l'évaluation.....	37
Une crise des modalités traditionnelles d'évaluation.....	37
Un besoin de transformation des pratiques d'évaluation	38
L'IA comme outil d'évaluation.....	39
Partie 3 : Grands enjeux de l'IA hors de la classe	40
1. Enjeux pour les professeurs et équipes pédagogiques (formation, usages, pratiques pédagogiques).....	40
État des lieux alarmant sur les usages et la formation des enseignants	40
Des freins structurels à l'adoption et à la formation	41
Les recommandations pour une formation adaptée.....	41
Une nouvelle construction du métier d'enseignant.....	42
2. Travail à la maison	44
L'irruption massive de l'IA dans l'apprentissage à la maison.....	44
Des inégalités d'accès et une fracture numérique.....	44
L'évolution du modèle des devoirs à la maison.....	45
3. Place des EdTech et collaboration entre acteurs publics et privés.....	45
Un marché en expansion	45
Les conditions d'une collaboration public-privé équilibrée	47
La question de la souveraineté et de la performance des outils numériques éducatifs	47
Les enjeux de gouvernance et de coordination	49
Bibliographie.....	51

Partie 1 : Panorama général

1. Les enjeux « non-numériques » : état des lieux du système éducatif français – enjeux, atouts et défis globaux

Avant même d'aborder la question du numérique et de l'intelligence artificielle, il convient de dresser un rapide état des lieux du système éducatif français.

Le système éducatif français : un écosystème dense avec des fragilités structurelles

Le [rapport d'activité 2024 de la Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance \(DEPP\)](#) du ministère de l'Éducation nationale présente de manière quantitative le contexte actuel de l'école en France. La France compte environ 12 millions d'élèves dans le premier et le second degré, encadrés par plus de 1,2 millions de personnels en activité dans l'Éducation nationale, dont 900 000 enseignants. En 2023, la France a consacré 189,9 milliards d'euros à son système éducatif, soit 6,7 % du PIB. Par ailleurs, on compte 58 100 écoles et établissements scolaires (MENESR) publics et privés sous contrat à la rentrée 2024.

Cependant, ce système massif et bien financé présente des fragilités profondes, documentées par de nombreux travaux récents. [Le rapport « L'enseignement primaire, une organisation en décalage avec les besoins de l'élève »](#) de la Cour des comptes paru en mai 2025 dresse un diagnostic sévère de l'organisation de l'enseignement primaire français, structurellement inadapté aux besoins réels des élèves, avant même toute réflexion sur l'intégration des outils numériques. Les principaux constats sont les suivants : **d'une part, la France présente des résultats scolaires en déclin dans les classements internationaux (PIRLS, PISA), avec une progression de l'écart entre élèves selon leur origine sociale.** Les acquis en lecture et en mathématiques restent insuffisants pour une part significative d'élèves. D'autre part, **l'organisation pédagogique du primaire repose encore largement sur un système de cours magistral, peu adaptée à la diversité des profils d'élèves.** La différenciation pédagogique reste insuffisamment pratiquée. La Cour des comptes souligne que les inégalités sont nombreuses : « géophysiques, socio-économiques, politiques, historiques ». Elle insiste sur la nécessité de renforcer l'accompagnement des élèves à besoins éducatifs particuliers et de développer le travail en équipe pédagogique à l'échelle de l'école.

Par ailleurs, **le temps scolaire est fragmenté** (semaines courtes, journées longues), ce qui nuit à la concentration et à la mémorisation. Les réformes des rythmes scolaires n'ont pas produit les effets escomptés.

La Cour des comptes recommande d'accentuer les efforts sur 4 axes : (i) l'organisation trop centralisée et en décalage avec le besoin de l'élève, (ii) l'organisation des rythmes scolaires, (iii) la qualité des enseignements et (iv) une meilleure concertation avec les collectivités.

Ce rapport rappelle que les défis éducatifs sont d'abord organisationnels, pédagogiques et humains, **l'IA ne peut être une réponse aux inégalités si les fondations sont fragiles.** Il amène à s'interroger sur la place du numérique dans un système déjà sous tension.

Selon le chercheur français Emmanuel Brassat dans l'ouvrage [*Le système éducatif – à l'heure de la société de la connaissance*](#) paru en 2020, **l'école primaire en France fait face à plusieurs limites : fonctionnement, effectifs, méthodes pédagogiques, résultats, formation des personnels, interaction avec l'environnement social et culturel, programmes, calendriers et horaires, localisation territoriale.**

En termes d'acquisition de compétences, il souligne un retard inquiétant dans l'acquisition de fondamentaux, « *la moitié des élèves entrant au collège ne maîtrise pas les fondamentaux des programmes de l'école primaire, environ 15 % d'entre eux se trouvant en grande difficulté en lecture et en mathématiques* ». Selon les recherches, l'un des enjeux majeurs à ce retard s'explique par la pression du test, indépendamment des progressions pédagogiques en classe.

Selon l'article universitaire [*« La France et les inégalités sociales à l'école : le pays du grand écart »*](#) publié en 2025 par Jean-Paul Delahaye, les inégalités scolaires sont persistantes en France : **les enfants issus de milieux défavorisés ont moins de chances de réussite que dans les pays comparables de l'OCDE, malgré une « démocratisation apparente » du système éducatif**. Il pointe du doigt des facteurs structurels comme la pauvreté, des choix budgétaires déséquilibrés et un élitisme social masqué par la méritocratie. L'auteur appelle à une refonte politique pour favoriser l'égalité des chances et le pacte républicain.

L'auteur dresse le **constat d'inégalités sociales**, avec 20 % de jeunes vivant sous le seuil de pauvreté, venant **impacter leurs apprentissages** par manque de biens essentiels et sociaux, dans un contexte **d'élitisme social rigide avec une « fausse méritocratie »**. Par ailleurs, si le niveau d'instruction global a progressé, cette réussite reste différenciée et **l'école publique ne permet pas de contrer les mécanismes de reproduction sociale : 70 % des enfants d'ouvriers sont majoritairement orientés vers les filières professionnelles et technologiques**, tandis que 75 % des enfants de cadres se trouvent en filière générale. Un **désengagement financier de l'Etat permettant de faire face à ces enjeux est également relevé** : la part du PIB consacrée à l'éducation a baissé (de 7,7 % à 6,6 %) entre 1995 et 2022.

Le chercheur et professeur en charge de la Chaire Data Science au Collège de France Stéphane Mallat souligne un enjeu fondamental pour les jeunes : « *Le problème fondamental pour moi, c'est comment les jeunes se projettent. Tout le monde exprime : 'Qu'est-ce que je vais devenir ? Quel est le sens de mes études maintenant ?' C'est un des sujets les plus importants* » et ajoute que « *le plus déstabilisant pour les enfants, c'est de comprendre pourquoi ils ont encore besoin d'apprendre les fondamentaux, le sens de l'école. À ça, il faut apporter des réponses qui ne sont pas simplement des réponses d'autorité* » (audition du 3 avril 2026). L'IA doit donc être intégrée dans une **réflexion plus large sur le sens de l'éducation et sur la place de l'humain dans un monde en mutation.**

Une profession enseignante en souffrance et sous-valorisée

La question de l'attractivité de la profession enseignante est au cœur des défis structurels du système éducatif français.

[L'enquête TALIS 2024 de l'OCDE](#), publiée en février 2026, livre des résultats alarmants sur les conditions de travail des enseignants français. **Seuls 4 % des enseignants estiment que leur métier est valorisé par la société ; autant pensent que leur avis compte pour les décideurs politiques.**

En France, 27 % seulement des enseignants se disent satisfaits de leur rémunération, soit douze points en dessous de la moyenne des pays comparables. Seuls 53 % des jeunes enseignants français ayant terminé leur formation initiale au cours des cinq dernières années, estiment que celle-ci était de qualité. Ce taux est bien inférieur à la moyenne de l'OCDE qui s'élève à 75 %, traduisant un malaise profond quant à la pertinence et l'efficacité de la formation reçue.

Le rapport note également **une complexité croissante du métier**, sans outils suffisants pour y faire face, avec une intensification de la diversité des élèves. 74 % des enseignants français exercent désormais dans des établissements où plus de 10 % des élèves ont des besoins éducatifs particuliers, contre 46 % en moyenne dans l'OCDE.

Le développement des compétences sociales et émotionnelles chez les élèves est largement reconnu comme essentiel à leur réussite. Mais en France, seuls 52 % des enseignants estiment être capables d'accompagner efficacement cet apprentissage, contre 73 % en moyenne OCDE.

La formation professionnelle tout au long de la carrière, censée combler les lacunes de la formation initiale, ne remplit pas son rôle. Seuls 35 % des enseignants français estiment que les formations suivies au cours des douze derniers mois ont eu un impact positif sur leur pratique, contre 55 % en moyenne OCDE. Les obstacles à l'accès à la formation sont récurrents : 71 % des enseignants citent le manque de temps en raison d'autres responsabilités, 59 % évoquent des conflits avec leur emploi du temps professionnel et 56 % dénoncent une offre de formation non pertinente.

Le [rapport de la Cour des comptes sur l'enseignement primaire](#) souligne également cette problématique : **les enseignants du primaire disposent de peu de temps hors classe pour préparer, coordonner et se former, comparativement à leurs homologues européens.** La surcharge administrative, l'isolement professionnel, le sentiment de manque de reconnaissance institutionnelle sont autant de facteurs qui fragilisent la profession et réduisent sa capacité d'adaptation aux transformations en cours.

Selon [l'étude d'Emmanuel Brassat de l'école primaire en France parue 2020](#), l'évolution des politiques de l'Éducation nationale impose aujourd'hui aux enseignants de l'école primaire un changement de paradigme qui bouscule leur profession. **Formés initialement à la maîtrise de disciplines académiques précises, ils se retrouvent confrontés à une incertitude méthodologique liée au passage d'un modèle de transmission à un modèle de gestion des compétences.** Ce basculement crée une confusion dans la pratique quotidienne des enseignants. Les recherches montrent **qu'il devient difficile de différencier le savoir théorique (ce que l'élève a retenu et peut formuler) du savoir-faire procédural (ce que l'élève est capable de réaliser concrètement).** Par ailleurs, l'enseignant peine à évaluer si

l'élève a réellement intégré une notion ou s'il se contente d'appliquer une procédure expérimentale sans profondeur théorique.

Des inégalités scolaires persistantes et multidimensionnelles

Selon les rapports et études analysées, **le système éducatif français reste marqué par des inégalités sociales profondes, qui se manifestent dès les premières années de scolarité et s'amplifient tout au long du parcours des élèves.**

Les **enquêtes PISA** confirment ce constat alarmant. La France se distingue par un **niveau élevé d'inégalités scolaires** par rapport aux autres pays de l'OCDE. [Les résultats de 2022](#) montrent que les élèves issus de milieux défavorisés accumulent des retards persistants en compréhension de l'écrit et en mathématiques, avec des **écarts de performance qui se creusent entre les établissements.**

Le **CNESCO**, dans son [rapport sur les inégalités sociales et migratoires à l'école](#) (2024), souligne que **l'école française ne parvient pas à compenser les handicaps sociaux** : elle hérite des inégalités familiales, mais les amplifie par des mécanismes de sélection et d'orientation précoces. Par exemple, les élèves des établissements les plus défavorisés ne maîtrisent que **35 % des compétences attendues en français en fin de troisième**, contre **80 % ou plus** pour ceux des établissements favorisés. Ces écarts s'expliquent par des **facteurs cumulatifs** : niveau de revenu des parents, précarité de l'emploi, niveau de diplôme des familles, mais aussi conditions de logement et d'accès à la culture. **L'école, loin de corriger ces déséquilibres, les rend légitimes en transformant des inégalités sociales en inégalités scolaires.**

La fracture territoriale aggrave encore ces disparités. Les zones rurales et les quartiers prioritaires concentrent des établissements souvent moins bien dotés en ressources humaines et matérielles, malgré les dispositifs d'éducation prioritaire. Dans son rapport paru en 2025, la [Cour des comptes](#) a souligné que ces derniers, bien que bénéficiant de moyens supplémentaires, peinent à réduire les écarts de niveau avec les autres établissements. **Les élèves y subissent des temps d'enseignement plus courts, un turnover plus élevé des enseignants, et une proportion plus importante de contractuels, ce qui fragilise la continuité pédagogique.**

Enfin, les stéréotypes sociaux et les attentes différenciées des enseignants jouent un rôle clé : à résultats comparables, les élèves de milieux populaires sont moins encouragés à viser des filières d'excellence. Ces mécanismes, documentés par de nombreux sociologues, comme Pierre Bourdieu et Jean-Claude Passeron, montrent que l'école, en valorisant des savoirs et des codes culturels proches de ceux des classes favorisées, **reproduit les hiérarchies sociales** plutôt qu'elle ne les atténue.

2. Les enjeux d'hyperconnexion et ses effets sur le développement des jeunes

Pour comprendre les enjeux de l'IA à l'école, il faut replacer cette question dans le contexte plus large de la relation des enfants et des adolescents aux écrans. **La France est confrontée à une hyperconnexion des enfants et adolescents très élevée.**

Le [rapport « Enfants et écrans – à la recherche du temps perdu »](#), publié par la Commission d'experts sur l'impact de l'exposition des jeunes aux écrans en avril 2024, dresse un constat alarmant : **les enfants sont exposés aux écrans de plus en plus tôt, avec une première connexion à Internet à 5 ans et 10 mois en moyenne.** On compte en moyenne dix écrans par foyer. Le temps d'écran a bondi pendant la pandémie de Covid-19 sans revenir aux niveaux antérieurs.

Les effets négatifs établis par la communauté scientifique sont nombreux et préoccupants : déficits de sommeil, sédentarité, myopie en progression, troubles du langage... Les enfants de 3 ans entrant en maternelle présentent en grand nombre des retards de langage corrélés à l'exposition aux écrans. Plus tard, une fragilisation de la santé mentale des adolescents est constatée.

Le rapport distingue cependant les **usages passifs** (vidéos, réseaux sociaux, scroll) des **usages actifs et encadrés** (création, apprentissage, résolution de problèmes). C'est la nature de l'usage, son accompagnement et son inscription dans un cadre relationnel qui déterminent les effets, bien plus que la technologie elle-même.

Le rapport de l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) sur [les « Usages des réseaux sociaux numériques et santé des adolescents »](#) (décembre 2025) précise et complète ce constat. **Il identifie des risques physiologiques et psychologiques spécifiques aux réseaux sociaux** : troubles du sommeil liés aux notifications nocturnes, anxiété et dépression alimentées par la comparaison sociale, conduites à risque facilitées par certains contenus (défis dangereux, automutilation, idéation suicidaire amplifiée par les algorithmes), cyberharcèlement amplifié par l'anonymat et dépendance comportementale engendrée par les interfaces persuasives (scroll infini, systèmes de récompenses, personnalisation addictive). **L'Anses préconise d'agir à la source, c'est-à-dire sur la conception même des plateformes, et non seulement sur les comportements des usagers.**

L'enquête d'Internet Sans Crainte (janvier 2023) « [Quelles perceptions et pratiques d'Internet au sein de la famille ?](#) », confirme que les familles sont largement dépassées par ces enjeux : **les conversations parent-enfant sur les usages numériques restent insuffisantes, les outils de contrôle parental sont sous-utilisés ou contournés.** Un paradoxe est mis en évidence : les parents sont eux-mêmes de forts consommateurs d'écrans, ce qui complexifie la transmission de règles cohérentes. Toutefois, **une prise de conscience s'amorce** : 63 % des parents attestent que leurs enfants ont besoin d'être supervisés sur Internet.

C'est aussi ce que montre l'étude de l'Arcom « [Protection des mineurs en ligne : quels risques ? Quelles protections ?](#) » publiée en septembre 2025 : les mineurs sont conscients des risques auxquels les réseaux sociaux les exposent et ont de fortes attentes d'accompagnement pour s'en prémunir. Ces données suggèrent qu'il **pourrait exister un espace de collaboration école-famille sur ces enjeux**, à condition que l'institution scolaire fournisse aux familles les outils et cadres de référence nécessaires.

Ces données contextuelles sont essentielles pour réfléchir à l'intégration de l'IA à l'école. Elles montrent que **les élèves arrivent en classe avec des habitudes numériques déjà très ancrées, souvent construites autour de la passivité et de la surconsommation de contenus, plutôt qu'autour de la réflexion, de la patience et de la construction de savoirs**. L'IA générative risque d'amplifier ces tendances si elle n'est pas intégrée dans un cadre pédagogique explicitement conçu pour les contrebalancer.

3. Accompagner et encadrer le numérique à l'école : un cadre en cours de construction mais non abouti

Face à ces défis, les autorités publiques françaises ont entrepris de construire progressivement un cadre réglementaire et une orientation pour l'usage du numérique et de l'IA à l'école. Le numérique et l'IA figurent également désormais dans les programmes scolaires et les outils à disposition des enseignants et équipes pédagogiques se multiplient. Ce cadre reste encore trop récent pour en constater pleinement les effets d'une part, et incomplet et en pleine évolution d'autre part.

Le numérique et l'IA dans les programmes scolaires

L'intégration du numérique et de l'intelligence artificielle dans les programmes scolaires français s'est accélérée ces dernières années. Le ministère de l'éducation nationale publiait en 2023 sa « [Stratégie du numérique pour l'éducation 2023 – 2027 – La vision stratégique d'une politique publique partagée](#) », mise à jour en décembre 2025. Elle ambitionne d'accentuer les efforts de la France sur 4 enjeux : (i) **une meilleure organisation de la gouvernance, tant au niveau national que local** ; (ii) **développer les compétences numériques des élèves** (citoyenneté numérique, accompagnement à l'usage des écrans, renforcer l'éducation à l'EMI, et développer les compétences informatiques) ; (iii) **accompagner les enseignants aux usages du numérique en renforçant leur formation et en mettant à disposition des outils et ressources** ; et enfin (iv) **renforcer la robustesse, la sécurité, l'accessibilité la qualité et l'écoresponsabilité** des systèmes d'information du ministère.

Depuis 2019, la [plateforme Pix](#) est généralisée dans les collèges et lycées pour certifier les compétences numériques des élèves. À la rentrée 2024, une **nouvelle certification Pix** a été déployée, avec une évaluation adaptative qui mesure le niveau des élèves sur 16 compétences, allant de la recherche d'information à la cybersécurité. Cette certification, obligatoire pour les élèves de 3e et de Terminale, est désormais **automatiquement transmise à Parcoursup**, renforçant son importance pour l'orientation et l'insertion professionnelle.

Depuis janvier 2026 : un parcours dédié à l'intelligence artificielle sur la plateforme Pix a été rendue obligatoire pour les élèves de 4^{ème}, 2^{nde} générale, technologique et professionnelle, ainsi que pour les élèves de 1^{ère} année de CAP. [Ce parcours, baptisé « PixIA »](#), vise à évaluer et développer les compétences des élèves en matière d'IA, en abordant des thèmes tels que :

- Les **enjeux et risques liés à l'IA** (deepfakes, biais algorithmiques, impact environnemental),
- Les **fondements et usages de l'intelligence artificielle**,
- Les **bases du prompting** (formulation efficace de requêtes pour interagir avec une IA),

- Le **fonctionnement des modèles génératifs** (comme les grands modèles de langage). Ce dispositif s'inscrit dans une logique de **littératie algorithmique**, visant à permettre aux élèves de comprendre les mécanismes des outils qu'ils utilisent, tout en développant un esprit critique face aux technologies émergentes.

Des enseignements dédiés à la science informatique et au numérique existent également : « sciences numériques et technologie » (SNT) en seconde, spécialité « numérique et sciences informatiques » (NSI) en classe de première et de terminale de la voie générale.

Le 19 juin 2026, le Premier ministre Sébastien Lecornu a annoncé que les élèves de seconde bénéficieraient, à partir de la rentrée 2027, d'une heure d'enseignement dédié à l'IA par semaine¹.

Outils pour les professeurs dans leurs pratiques pédagogiques

Le ministère de l'Éducation nationale met à disposition depuis novembre 2024 la [Charte pour l'éducation à la culture et à la citoyenneté numériques](#). Elle constitue un support d'éducation pour la communauté éducative pour les outiller dans la préparation et l'animation de séances dédiées à l'éducation à la culture et à la citoyenneté numériques. Elle rappelle que **la maîtrise du numérique est une composante fondamentale de la citoyenneté, au même titre que l'éducation aux médias et à l'information**.

La charte propose trois axes pour aborder les enjeux essentiels à l'utilisation des technologies : (i) **faire du numérique un espace d'émancipation et d'inclusion** (développer une culture du numérique et la prise de conscience de l'impact environnemental, l'IA permettant de développer l'esprit critique et de façonner l'avenir de l'élève) ; (ii) **un espace de droit** (protection des données personnelles et de la propriété intellectuelle, liberté d'opinion et d'expression) ; (iii) **un espace de vigilance** (accès égal aux outils et usages, usage raisonné et adapté à l'âge, formation à l'analyse critique). La Charte rappelle la nécessité d'une formation explicite aux droits et devoirs numériques et souligne la responsabilité partagée des enseignants, des familles et des établissements.

La [Circulaire « Promouvoir un numérique raisonné à l'école »](#) du 10 juillet 2025 s'inscrit dans la continuité de ces deux textes et définit des mesures pour la rentrée 2025. La première porte sur la **formation des élèves à un usage raisonné des outils numériques**, incluant l'EMI, l'évaluation des compétences numériques via l'outil Pix, et l'intégration d'une formation à l'usage responsable du numérique dans les apprentissages. Une deuxième mesure concerne la **suspension des mises à jour dans les ENT et logiciels de vie scolaire le soir et en fin de semaine**. La troisième déploie le **dispositif « Portable en pause »** : une interdiction des téléphones portables dans les collèges. La quatrième prévoit un **accompagnement renforcé des familles**, à travers la sensibilisation et la collaboration.

Le [Cadre d'usage de l'IA en éducation](#), publié par le ministère de l'Éducation nationale en juin 2025, précise les orientations spécifiques concernant l'usage de l'intelligence artificielle dans la salle de classe. Il affirme que **l'IA doit assister sans se substituer aux apprentissages et à l'effort intellectuel** et présente les risques et bénéfices des usages de l'IA. L'utilisation de l'IA par les élèves présente des

¹ « [IA : les élèves de 2de auront une heure d'enseignement par semaine à partir de la rentrée de 2027](#) ». Le Monde, 19 juin 2026.

risques d'ordre éthiques (notamment sur la question de risques de divulgation des données à caractère personnelles ainsi que relatifs à la propriété intellectuelle), mais également questionne l'impact sur le développement cognitif des enfants, et le bon développement de leurs capacités intellectuelles, d'apprentissage et relationnelles.

Le ministère à travers cette charte formule des recommandations graduées selon le niveau scolaire : **sensibiliser aux connaissances sur l'IA dans le premier degré, sans utiliser l'IA générative ; utiliser l'IA générative à partir de la classe de quatrième, avec une formation obligatoire ; laisser plus de liberté au lycée.** En termes d'obligation, Il recommande de mettre en place des séquences pédagogiques intégrant l'IA en veillant à développer l'esprit critique des élèves sur ces technologies, et à former à l'EMI et aux enjeux éthiques et environnementaux de l'IA. Le cadre d'usage

Cependant, cette intégration soulève des défis. Si **85 % des établissements scolaires français** utilisent désormais des solutions basées sur l'IA, des disparités persistent, notamment entre les disciplines et les territoires. Par exemple, **86 % des enseignants de mathématiques et sciences** se déclarent à l'aise avec ces outils, contre seulement **61 % des professeurs de lettres et sciences humaines**. De plus, les **biais algorithmiques** et la **protection des données** restent des préoccupations majeures, comme le rappelle le cadre réglementaire européen sur l'intelligence artificielle (dit « *RIA* » ou « *AI Act* »), qui classe certaines applications éducatives comme « **à haut risque** » et impose des exigences strictes en matière de transparence et de cybersécurité.

Ces documents témoignent d'une volonté politique de structurer l'intégration du numérique et de l'IA à l'école. Ils constituent un cadre de référence que les acteurs de terrain peuvent s'approprier. Cependant, comme le souligne le [rapport de l'Inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche](#) de mai 2025, **la gouvernance de l'IA reste « trop éparpillée »** : multiplicité d'initiatives sans coordination entre le niveau central (DNE, DGESCO, IGESR), les opérateurs nationaux (Réseau Canopé, FUN) et les académies. La mise en œuvre effective de ces orientations, leur traduction pédagogique concrète et leur appropriation par l'ensemble des acteurs (enseignants, chefs d'établissement, familles, élèves) restent les défis majeurs des années à venir.

Valérie Nouvel, présidente du GT numérique éducatif de Départements de France et vice-présidente du département de la Manche partage ce constat :

Il y a des bonnes pratiques dans des établissements, mais **rien n'est homogène**, c'est très compliqué pour apprécier l'atteinte réelle des objectifs et vraiment dommage pour la communauté éducative dans son ensemble. Il serait donc logique qu'on définisse tout cela, avec des ressources estampillées Éducation nationale ». Elle souligne également « un dialogue entre l'Éducation nationale et les collectivités territoriale qui certes existe mais manque fortement de suivi d'effets côté Education Nationale. Il faut dialoguer, oui, mais agir surtout et évaluer de manière critique, sur ce qu'on fait sur le territoire, et sur la protection des données ». Elle souligne également « un fort manque de dialogue entre l'Éducation nationale et les collectivités territoriales. Il faut être présent, oui, mais avec du suivi des faits, sur ce qu'on fait sur le territoire, et sur la protection des données. Audition du 14 avril 2026

Néanmoins, Bérengère Basset, représentante du syndicat enseignant SUD Éducation, critique **les cadres d'usage actuels qui, bien que présents, manquent de mesures concrètes pour aider les enseignants** : « *Les cadres d'usage qui ont été produits ne sont pas satisfaisants, d'abord parce qu'ils n'ont pas de valeur contraignante ni juridique, et par ailleurs parce qu'ils ne posent pas suffisamment de freins* » (audition du 24 avril 2026).

Partie 2 : Grands enjeux de l'IA en classe

1. Numérique et IA : analyse des études de l'impact de ces outils sur l'apprentissage et la pédagogie

Panorama des apports potentiels des outils d'IA dédiés à l'apprentissage

La recherche sur l'impact de l'IA sur l'éducation est en plein essor depuis l'émergence des grands modèles de langage à partir de 2022. Mais ses fondations sont plus anciennes, et s'appuient sur plusieurs décennies de travaux sur les « AIED » (*artificial intelligence in education*) désignant les **systèmes spécifiquement conçus pour l'apprentissage**.

Le rapport de la Direction du numérique pour l'éducation (DNE) intitulé [*« L'intelligence artificielle dans l'éducation — apports de la recherche et enjeux pour les politiques publiques »*](#), publié en janvier 2024, constitue une synthèse précieuse de ces travaux.

Ce rapport établit que **l'IA peut améliorer les résultats d'apprentissage, notamment via la personnalisation des parcours** (systèmes tutoriels intelligents, feedback adaptatif, exercices différenciés). **Ces effets positifs sont cependant conditionnés à une intégration pédagogique réfléchie** : l'IA utilisée de façon passive ne produit pas d'amélioration, et peut être contreproductive. Cette nuance est fondamentale : **ce n'est pas la technologie en elle-même qui produit des apprentissages, mais la manière dont elle est intégrée dans une démarche pédagogique cohérente, portée par un enseignant formé et engagé**.

Le rapport de la DNE identifie plusieurs domaines d'application de l'IA en éducation, en s'appuyant sur [le cadre de la Commission européenne](#) :

- Au niveau de **l'enseignement** (environnements informatiques pour l'apprentissage, systèmes tutoriels fondés sur le dialogue, applications d'aide à l'apprentissage des langues)
- Au niveau du **soutien à l'apprenant** (environnements d'apprentissage exploratoires, évaluation formative des écrits, apprentissage collaboratif assisté par l'IA)
- Au niveau du **soutien à l'enseignant** (évaluation des écrits, notation, assistants pédagogiques basés sur l'IA, recommandation de ressources pédagogiques)
- Au niveau du **soutien au système éducatif** (exploration des données éducatives pour l'allocation des ressources, diagnostic des difficultés d'apprentissage, services d'orientation).

Un exemple français concret d'IA adaptative pour l'apprentissage mérite d'être cité. **Lalilo**, une plateforme développée pour les enseignants de CP, CE1 et CE2, propose un assistant pédagogique qui aide les enseignants à **différencier leur enseignement de la lecture en fonction de l'avancement de chaque élève**. Son algorithme d'apprentissage adaptatif permet de choisir le meilleur exercice pour un enfant à un moment donné en fonction de sa progression. **La plateforme est co-construite avec les enseignants, dont les retours alimentent un processus d'amélioration continue**.

Un autre exemple français dans le domaine de l'apprentissage des langues au niveau local (Académie d'Aix-Marseille) vise à entraîner les élèves à l'expression orale dans les principales langues enseignées dans les établissements scolaires de l'académie. Ce [Projet LIEN](#) (Langues Immersives dans un

Environnement Numérique) permet une immersion des situations de vie quotidienne de manière personnalisée et adaptable par les enseignants.

L'Institut Montaigne, dans son rapport de 2016 sur [« Le numérique pour réussir dès l'école primaire »](#), avait déjà identifié quatre leviers essentiels au développement et à l'apprentissage de l'enfant que le numérique pouvait activer : (i) **l'attention** (capter et canaliser l'intérêt de l'enfant), (ii) **l'engagement actif** (rendre l'élève acteur de son apprentissage), (iii) **le retour d'information immédiat** (permettre à l'élève de corriger ses erreurs instantanément, sans stigmatisation ni sanction) et (iv) **la consolidation** (faciliter la répétition des tâches nécessaires à l'automatisation des savoirs).

Si l'IA ne peut remplacer un enseignant, ni son expertise, son esprit critique et sa compréhension de l'élève, elle peut améliorer et augmenter ses moyens d'actions. François Taddei, chercheur et fondateur du Learning Planet Institute souligne *« que l'enseignant utilise l'IA ou non dans sa classe, son enseignement est amélioré grâce à l'IA. Il y a différents types de bots qui vont faire du conseil pédagogique, etc »* et explique *« Nous avons développé une IA qui a lu toutes les recherches disponibles en open access et fonctionne comme un chatbot. Elle a également une fonctionnalité intéressante : un enseignant peut donner son cours de l'an dernier avec tous les fondamentaux dedans et lui demander de donner des illustrations pour la semaine prochaine avec des exemples venant du développement durable »* (audition du 27 février 2026).

Selon Pat Yongpradit, *Microsoft's general manager of education policy* : *« La principale application de l'IA dans l'éducation est la différenciation. Parce qu'un professeur doit enseigner à 30 enfants avec 30 besoins différents. Donc, ils ont besoin d'utiliser l'IA pour différencier et personnaliser les contenus. Et ça marche très bien »* (audition du 10 avril 2026).

L'IA générative : une rupture considérable avec des opportunités et des risques

L'émergence des IA génératives et en particulier de ChatGPT à partir de novembre 2022, suivie de Claude, Gemini et de nombreux autres modèles constitue une rupture par rapport aux systèmes d'IA éducative précédents. **Ces outils ne sont pas conçus spécifiquement pour l'éducation mais sont généralistes, accessibles à tous, gratuits dans leur version de base**, et capables de produire en quelques secondes des textes d'une qualité suffisante en apparence pour satisfaire de nombreuses tâches scolaires traditionnelles.

Le rapport de la Brookings Institution [« A new direction for students in an AI world: Prosper, Prepare, Protect »](#) paru en janvier 2026 est issu d'une étude mondiale menée durant un an, impliquant plus de 500 acteurs éducatifs de 50 pays et s'appuyant sur l'analyse de 400 études. Il repose sur 3 prémisses fondamentales : (i) **l'apprentissage est alimenté par les relations sociales et le développement interconnecté des capacités cognitives**, sociales et émotionnelles ; (ii) au-delà de l'aspect académique, **l'école est un espace de développement personnel**, civique et de stabilité émotionnelle ; (iii) et enfin, les décennies passées montrent **que l'investissement technologique seul n'améliore pas nécessairement les résultats. L'IA n'est efficace que lorsqu'elle est intégrée dans des stratégies pédagogiques solides et éthiques.**

Le rapport formule un constat nuancé mais préoccupant. **Premièrement, l'IA peut enrichir l'apprentissage si elle est bien conçue et ancrée dans une pédagogie solide** : elle peut améliorer

l'équité, optimiser le temps des enseignants, personnaliser les parcours, personnaliser les apprentissages, mieux inclure les élèves en situation de handicap et faire progresser l'évaluation.

Cependant, l'IA peut aussi diminuer l'apprentissage si elle est surutilisée sans garde-fous : porter atteinte au développement cognitif, entraver le développement social et émotionnel, dégrader la confiance dans l'éducation, menacer la sécurité des étudiants, creuser les fractures et entraver l'autonomie et la confiance en soi.

Les auteurs concluent que, dans la trajectoire actuelle, les risques l'emportent sur les bénéfices, en raison de la nature qualitative des risques. Si la confiance entre l'élève et l'enseignant est brisée ou si les capacités de réflexion critique sont atrophiées, les **avantages des outils d'IA deviennent inutiles**. De plus, l'IA est encore **trop utilisée pour remplacer l'effort cognitif** plutôt que pour le soutenir. Enfin, le développement technologique rapide **privilégie l'engagement des utilisateurs et le profit, au détriment des garde-fous** de développement de l'enfant.

L'étude « [*How AI Impacts Skill Formation*](#) » menée par Anthropic (février 2026) analyse l'impact réel de l'assistance par intelligence artificielle sur la productivité et l'apprentissage des compétences, **montre que l'altération des compétences se prolonger chez les jeunes adultes**. L'étude constate que, bien que l'IA puisse aider à l'accomplissement de tâches, son utilisation bouleverse l'apprentissage et le développement des compétences professionnelles des individus.

Par ailleurs, l'IA vient également impacter le **développement cognitif et métacognitif de l'apprentissage, impactant par exemple la mémoire, la capacité à résoudre des problèmes, et la créativité**. L'article scientifique « [*The cognitive paradox of AI in education: between enhancement and erosion*](#) » d'avril 2025 explique que si l'IA peut améliorer l'apprentissage personnalisé, **une dépendance excessive vient réduire l'engagement cognitif et la mémoire à long terme**. Plusieurs [*études menées en 2024 par Akgun et Tokur*](#) ont montré qu'une **exposition prolongée à l'IA entraînait un déclin de la mémoire**, notamment en cas de surutilisation.

Le rapport australien « [*Artificial intelligence, cognitive offloading and implications for education*](#) » paru en mars 2026 par le Centre for Social Justice and Inclusion et le Network for Quality Digital Education met en avant les risques cognitifs que l'usage de l'IA peut avoir sur les élèves. Un point est à noter selon les chercheurs afin de comprendre les paradoxes et divergences d'opinion dans la recherche sur l'usage de l'IA à l'école : **« Les études indiquant des effets positifs ne mesurent que le côté performance, tandis que les études reflétant les impacts négatifs, mesurent le côté apprentissage »**.

Si l'IA peut améliorer la performance d'un étudiant sur une tâche immédiate, elle peut simultanément venir diminuer l'apprentissage durable, pourtant l'objectif principal de l'éducation. L'étude prend l'exemple suivant : si un élève demande à une IA générative « *écris-moi un essai sur la première guerre mondiale et donne-moi la réponse* », le processus d'apprentissage est « *déchargé* » d'une part, et l'impact cognitif est direct. L'apprenant contourne l'ensemble du processus d'apprentissage, à savoir la connaissance, l'analyse, la synthèse, venant impacter ses capacités cognitives.

Les travaux de recherches de cette étude soulignent **une situation de cercle vicieux** : l'élève recherche l'efficacité, la fluidité des réponses générées par l'IA crée une illusion de compétence, l'illusion déclenche la paresse métacognitive, cela entraîne davantage de transfert de responsabilités,

ce qui érode la base de connaissances réelle de l'étudiant, le rendant plus dépendant de l'outil et moins capable de juger de sa production à l'avenir.

Selon le chercheur et psychiatre Raphaël Gaillard : « *si l'IA est utilisée comme court-circuit de l'apprentissage, par définition, il y a un appauvrissement des apprentissages* » (audition du 27 mars 2026).

Le chercheur et neuroscientifique Jared Cooney Horvath précise que l'IA générative provoque une superficialisation des apprentissages : « *les enfants qui apprennent les maths avec une calculatrice apprennent plus vite que les enfants qui n'en utilisent pas. Mais dès que vous enlevez la calculatrice, leur performance disparaît parce qu'ils n'apprenaient jamais les mathématiques, ils apprenaient comment utiliser l'outil* » (audition du 13 mars 2026).

La [Lettre encyclique sur la protection de la personne humaine à l'ère de l'intelligence artificielle](#) (mai 2026) du Pape Léon XIV précise que « **la rapidité et la facilité avec lesquelles on obtient une réponse ou une synthèse risquent d'éteindre le désir de poser des questions, qui ne porte ses fruits qu'avec le temps** ». Il ne s'agit pas d'ignorer l'IA, mais de refuser de la laisser occuper tous les espaces et notamment celui où la pensée se forme à savoir dans l'effort, le doute, l'erreur corrigée, la question : « *Nous devons nous éduquer à jeûner de l'IA et protéger nos jeunes de la promesse de la machine parfaite, de cette séduction subtile qui fait paraître inutile la pensée humaine précisément au moment où elle est la plus nécessaire* ».

Le rapport de l'[OCDE « Digital Education Outlook 2026 – Exploring effective uses of GenAI in Education »](#), publié en janvier 2026, explore l'impact de l'IA générative sur l'éducation et identifie cinq enjeux principaux : (i) **éviter la dépendance cognitive** en utilisant l'IA générative comme un étayage plutôt qu'un remplaçant ; (ii) **investir dans des outils éducatifs spécialisés** plutôt que de se reposer sur des *chatbots* génériques ; (iii) **former les enseignants et les étudiants** à une utilisation critique et créative de la GenAI ; (iv) **garantir l'équité d'accès**, notamment dans les pays à faible revenu ; et (v) **repenser les évaluations** pour qu'elles mesurent le processus d'apprentissage plutôt que simplement les résultats finaux.

Le rapport estime que le défi majeur est de **concilier innovation technologique et préservation des valeurs éducatives fondamentales** : réflexion critique, créativité et autonomie.

L'UNESCO, dans son rapport « [AI and the future of education: Disruptions, dilemmas and directions](#) » (septembre 2025), rassemblant 21 contributions analytiques, met en garde contre les **risques de perte de pensée critique, de dépendance technologique et d'élargissement des inégalités d'accès, tout en reconnaissant les opportunités de personnalisation et d'inclusion offertes par l'IA**. Par ailleurs, l'IA générative remet en cause les modèles traditionnels d'évaluation. L'UNESCO recommande de privilégier le suivi du processus d'apprentissage plutôt que le produit final, d'intégrer l'IA comme un partenaire collaboratif en mettant l'accent sur la relation éducative et la réflexivité des élèves.

Sur le plan de la créativité, les chercheurs Doshi et Hauser dans l'étude « [Generative AI enhances individual creativity but reduces the collective diversity of novel content](#) » montrent que l'IA générative réduit la diversité collective des productions, posant la question d'une homogénéisation de la pensée à grande échelle.

L'étude du MIT intitulée [*« Your Brain on ChatGPT: Accumulation of Cognitive Debt when Using an AI Assistant for Essay Writing Task »*](#) (juin 2025) constitue l'une des premières démonstrations scientifiques rigoureuses des **effets neurologiques de l'utilisation intensive des IA génératives sur l'apprentissage**. En comparant trois groupes de participants : un groupe utilisant un grand modèle de langage (*large language models*, LLM), un groupe utilisant un moteur de recherche et un groupe travaillant sans outil, l'étude révèle des résultats préoccupants.

Les participants du groupe LLM ont présenté la connectivité cérébrale la plus faible, ont sous-performé aux niveaux neural, linguistique et comportemental, et avaient du mal à citer correctement leur propre essai peu après l'avoir écrit. Leur sentiment d'appropriation de leur propre travail était le plus faible. De plus, après quatre mois, les participants du groupe LLM ont continué à montrer des performances inférieures dans tous les domaines mesurés, ce qui suggère une accumulation d'une « dette cognitive » due à une dépendance à l'IA. **Ces résultats appellent à la plus grande prudence dans l'usage non encadré des LLM par les élèves.**

L'étude conjointement menée par Microsoft et l'université Carnegie Mellon, [*« The Impact of Generative AI on Critical Thinking: Self-Reported Reductions in Cognitive Effort and Confidence Effects From a Survey of Knowledge Workers »*](#) parue en 2025 s'est penchée sur l'impact des outils d'IA générative sur la pensée critique. Les chercheurs indiquent que **l'utilisation de l'IA générative vient impacter la pensée critique, en particulier via la diminution de la production d'idées et la capacité à synthétiser des informations** ; une forte confiance en l'IA implique moins d'effort chez l'individu, donc moins de pensée critique.

L'article [*« Students Are Being Treated Like Guinea Pigs:' Inside an AI-Powered Private School »*](#) d'Emanuel Maiberg de février 2026 revient sur le danger de l'école « extrême » sur l'utilisation de l'IA et du numérique aux Etats-Unis, Alpha School, fondée au Texas en 2014. Les enfants n'y apprennent que deux heures par jours, avec des applications d'IA génératives, pour un enseignement coutant plus de 50 000 dollars américains par an. Il n'y a pas de devoirs à la maison ni de manuels scolaires, seulement des logiciels que les élèves utilisent chaque matin pour apprendre, avec des « guides » humains, présentant des risques massifs pour les enfants.

Des chercheurs à Stanford ont mené une étude en 2025 sur les mathématiques au lycée sur plus de 1 000 élèves, [*« Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics »*](#) (Bastani et al.). L'enquête de terrain visait à examiner l'impact de l'IA générative et des tutorat basé sur l'IA (en particulier ChatGPT4).

- L'étude montre que ceux ayant eu accès à un assistant IA semblaient voir leur résolution de problèmes améliorée en termes de performance directe lors de l'apprentissage. Cependant, **leur apprentissage s'est détérioré une fois l'IA retirée** : ils obtiennent de moins bons résultats une fois l'outil retiré, que ceux s'étant entraînés sans IA directement. **La performance fournie par l'IA ne permet pas de connaissances durables et impact la mémoire à long terme des élèves. Les chercheurs appellent à une d'une intégration réfléchie de l'IA générative dans les contextes éducatifs afin de garantir que l'apprentissage humain soit préservé.**

Selon Stéphan Vincent-Lancrin, directeur adjoint de division à l'Organisation de coopération et de développement économiques (Direction de l'éducation et des compétences) à l'OCDE : *« des études montrent que les IA sont très performantes sur les retours étudiants (...) Le problème est que les élèves*

détestent, ils préfèrent un retour humain. S'il ne s'agit que d'une IA, les élèves n'aiment pas, ils veulent de l'humain (audition du 20 février 2026).

Une étude menée par Akgun et Toker, « [Evaluating the Effect of Pretesting with Conversational AI on Retention of Needed Information](#) » en 2024 à l'université de Pennsylvanie a divisé les participants en 2 groupes : l'un a participé à un « prétest » avant d'utiliser l'IA, tandis que l'autre utilisait l'IA directement. **Les résultats ont montré que le prétest améliorait la rétention et l'engagement, mais qu'une exposition prolongée à l'IA entraînait un déclin de la mémoire.** Les résultats indiquent que **le groupe ayant effectué le prétest a significativement surpassé le groupe sans prétest lors d'un test ultérieur, ce qui indique que le prétest améliore la rétention d'information.** Autrement dit, ce prétest peut **renforcer le processus d'apprentissage dans des environnements assistés par la technologie en préparant la mémoire et en favorisant un engagement actif avec l'outil.**

Si l'IA améliore l'accessibilité, une surutilisation peut affaiblir la mémoire. L'utilisation de l'IA doit soutenir et non remplacer les stratégies d'apprentissage menées par des humains.

Des chercheurs en santé et sciences sociales indiquent dans l'article « [Cognitive Paradox of AI in Education](#) » ([Frontiers](#)) paru en 2025 l'existence d'un « compromis ». L'IA peut rendre le processus éducatif plus efficace et plus accessible, mais il existe un risque de diminution de l'engagement cognitif. **Ils mettent en avant des risques sur (i) la mémoire à long terme**, une exposition prolongée à l'IA pouvant entraîner un déclin de celle-ci ; **(ii) la résolution de problèmes et la pensée critique**, les élèves pouvant être passifs sans analyse critique des éléments générés par l'IA ; **(iii) la créativité**, les étudiants s'appuyant trop sur les suggestions fournies par l'IA.

Un grand nombre de chercheurs soulignent **l'impact métacognitif de l'usage de l'IA sur les élèves** :

La facilité d'utilisation, l'accessibilité et le confort apporté par l'utilisation de l'IA encourage ce que des chercheurs ont appelé la « paresse métacognitive ». Dans leur étude randomisée dont les résultats sont parus en novembre 2024 « [Beware of metacognitive laziness: Effects of generative artificial intelligence on learning motivation, processes, and performance](#) », ils ont constaté que la commodité de l'IA peut saper l'engagement des apprenants dans les processus essentiels d'apprentissage autorégulé (planification, suivi et révision). **L'apprenant renonce effectivement à ses responsabilités métacognitives au profit de l'outil.**

Mary Burns, chercheuse de la Brookings Institution qui a dirigé les travaux de recherche et la rédaction du rapport de la Brookings Institution « [A new direction for students in an AI world: Prosper, Prepare, Protect](#) » souligne **que les outils conçus comme des jeux peuvent « poser problème ».** « Duolingo par exemple, c'est très réussi. Mais ils sont conçus pour susciter l'engagement, ce qui est en contradiction avec l'apprentissage qui ne se traduit pas nécessairement par un apprentissage ». Elle précise : « est-ce que j'apprends réellement ? C'est la grande question concernant de nombreuses technologies éducatives » (audition du 20 février 2026).

Le [rapport australien « Artificial intelligence, cognitive offloading and implications for education »](#) paru en Mars 2026 souligne des risques sur la métacognition avec une « illusion de compétence », en indiquant que **les étudiants s'y engagent volontairement.** Les processus de réflexion de l'élève sur sa propre pensée et gestion de son propre apprentissage sont impactés par l'IA.

Il existe des facteurs pédagogiques, technologiques et systémiques qui peuvent les aider à améliorer leurs capacités dans ces domaines, « la technologie elle-même ne détermine pas le résultat ». La conception pédagogique des outils utilisés dans l'enseignement peut influencer si l'élève s'engage dans un transfert cognitif positif ou négatif. Plusieurs axes de travail sont proposés.

L'IA peut être utilisée pour un transfert bénéfique, en gérant la charge extrinsèque pour libérer des ressources pour l'apprentissage intrinsèque et cela nécessite un cadre pédagogique explicite. Autrement dit, l'IA peut être utilisée pour fournir une pratique structurée et des retours, tous en gérant la charge cognitive de l'apprenant afin de les aider à « *devenir de meilleurs apprenants autorégulés* ».

Par ailleurs, **la métacognition peut être développée pour « contrer la paresse » induite par l'utilisation massive de l'IA en classe.** Selon les chercheurs, la solution est de concevoir des interactions avec l'IA qui exigent explicitement et soutiennent l'utilisation de la métacognition de l'élève.

Selon Pierre Vesperini, chercheur au CNRS, membre du Comité scientifique de la Fondation pour l'enfance, l'IA engendre **un risque d'atrophie cognitive** : « *utiliser l'IA, c'est déléguer à la machine son intelligence. Le cerveau d'un adolescent n'est pas fait pour être branché sur une IA. L'IA nuit à l'éducation et à la formation d'un adolescent* » (audition du 17 avril 2026).

Les travaux de recherche de chercheurs de l'université du Texas ont montré en 2024 dans l'article « [Enhancing Critical Thinking in Generative AI Search with Metacognitive Prompts](#) » que **des sollicitations métacognitives conçues pour amener les apprenants à faire une pause, réfléchir et évaluer leur compréhension conduisaient à un engagement plus actif, une exploration plus large des sujets et une analyse plus approfondie lors de recherches basées sur l'IA.**

L'étude montre que les sollicitations métacognitives modifient significativement le comportement des utilisateurs *via* : une exploration plus large, une recherche plus approfondie, une hausse du nombre de requêtes formulées (avec des questions plus critiques et orientées vers la compréhension), et une réduction des biais (les sollicitations ayant poussé les individus à remettre en question les réponses). Les chercheurs nuancent cependant ces résultats en indiquant que l'efficacité de ces sollicitations est influencée par la flexibilité métacognitive des élèves (confiance excessive, perception de l'IA, biais de validité).

Les conditions d'une intégration pédagogique réussie

La recherche sur l'efficacité du numérique et de l'IA dans l'éducation converge vers une conclusion essentielle : les effets bénéfiques ne sont pas automatiques. Ils dépendent d'un ensemble de facteurs dont la qualité de l'intégration pédagogique, de la formation des enseignants, de la clarté des objectifs d'apprentissage et de la capacité à maintenir l'effort cognitif des élèves.

Selon le chercheur Emmanuel Philip Ododo ayant réalisé une étude en 2024, « [AI in the classroom : perceived challenges to vocational education student retention and critical thinking in tertiary institutions](#) », **l'IA peut menacer l'engagement cognitif en impactant négativement la mémoire et les capacités de pensées critiques.** Cependant, en donnant la priorité aux préoccupations des étudiants

et en favorisant un environnement qui équilibre l'utilisation de l'IA avec les pratiques éducatives traditionnelles, les systèmes éducatifs peuvent promouvoir la réussite des étudiants et le développement cognitif dans ce paysage éducatif en évolution. Les recommandations suivantes sont proposées.

Premièrement, les systèmes éducatifs devraient développer des politiques et lignes directrices pour réguler l'utilisation de l'IA dans l'enseignement et l'apprentissage. Ces politiques devraient viser à **contrôler l'étendue de l'intégration de l'IA afin de garantir que les étudiants maintiennent une rétention académique et une compréhension fondamentale**. Une **approche équilibrée qui préserve les pratiques éducatives traditionnelles aux côtés des avancées technologiques est cruciale pour atténuer les risques associés à la dépendance à l'IA**.

Pat Yongpradit, *Microsoft's general manager of education policy*, met en avant le **potentiel transformateur** de l'IA pour l'éducation, tout en soulignant la nécessité d'un **usage équilibré et responsable** : « *Les politiques doivent comprendre que l'IA, c'est mal et bien en même temps. Par exemple, pour les élèves à besoins éducatifs particuliers, l'IA est très utilisée tant par les élèves que par les enseignants et ils la trouvent très utile* » (audition du 10 avril 2026).

La pédagogie doit rester au cœur de l'utilisation de l'IA par les élèves selon Jérôme Villot, Directeur adjoint en charge des apprentissages, de la pédagogie et du numérique au CNED : « *il faut montrer aux élèves que l'IA est un atout tout en s'assurant que faire un effort est indispensable dans l'apprentissage* » (audition du 2 mars 2026).

Deuxièmement, les élèves devraient être **encouragés à minimiser leur surdépendance aux outils d'IA, une dépendance excessive pouvant entraver le développement des capacités de pensée critique**. **Les programmes éducatifs devraient intégrer des activités et des devoirs spécifiquement conçus pour favoriser la pensée critique, la pensée réflexive et les compétences de résolution de problèmes**. Cela vise à atténuer les impacts négatifs potentiels de l'IA sur les capacités cognitives des étudiants, en s'assurant qu'ils restent des « *apprenants engagés et compétents* ».

Le rapport de l'OCDE « [Digital Education Outlook 2023: Towards an Effective Digital Education Ecosystem](#) » souligne que la transformation numérique de l'éducation ne se limite pas à l'adoption de technologies, mais **nécessite une vision systémique, une collaboration entre les acteurs et une attention particulière aux inégalités**. Il identifie plusieurs conditions nécessaires : investir dans les infrastructures, garantir un accès universel à Internet et aux appareils numériques, développer les compétences numériques des enseignants et des élèves, encourager l'innovation pédagogique et assurer une gouvernance collaborative.

Le rapport OCDE antérieur, « [Digital Education Outlook: Pushing the Frontiers with AI, Blockchain and Robots](#) » (2021), avait déjà formulé ces mêmes conditions : le besoin de personnalisation, la garantie d'un accès équitable, le développement de la formation des enseignants, le maintien des questions éthiques au cœur des politiques éducatives, et une meilleure collaboration entre institutions et pays.

Par ailleurs, ce rapport préconisait **d'adopter une approche centrée sur l'apprenant, qui encourage l'innovation pédagogique, et de veiller à bien évaluer l'impact et garantir une transparence**. Sur la question des enseignants, l'OCDE adressait des recommandations directes, à savoir de se former continuellement, de collaborer avec les développeurs d'outils EdTech tout en restant centré sur l'humain.

Selon des chercheurs de l'Inserm, dans un article publié en janvier 2026 sur [« Quel est l'impact de l'IA sur l'éducation ? »](#), une bonne façon d'utiliser l'IA dans un apprentissage serait **d'encourager l'élève à anticiper aussi précisément que possible la réponse qu'il attend d'une requête pour apprendre de l'écart constaté entre prédiction et résultat**. Cette approche, qui mobilise la métacognition et l'esprit critique, contraste avec l'usage passif consistant à simplement accepter la réponse de l'IA. L'Inserm considère également **que l'IA constitue un outil intéressant pour adapter son cours à un élève souffrant d'un trouble « dys », personnaliser un exercice selon les difficultés de chaque élève, ou étoffer une séquence pédagogique. Pour les enseignants, l'IA doit être un outil d'assistance, non de substitution**.

La pandémie de Covid-19 a constitué un accélérateur de la transformation numérique dans l'éducation. Le rapport [OCDE « Schooling during a Pandemic »](#) (2021) analyse les expériences des enseignants, des parents et des élèves pendant cette période. **La pandémie a révélé des inégalités profondes et des lacunes dans les systèmes éducatifs, mais elle a aussi montré que les systèmes éducatifs sont capables d'adaptation rapide quand les circonstances l'exigent**. Les leçons tirées (flexibilité, investissement dans la formation, soutien psychologique, collaboration renforcée entre gouvernements, écoles, enseignants et parents) sont directement applicables à la gestion de la transition IA dans l'éducation.

Sur la question des parents, le responsable du pôle numérique confédéral de la Ligue de l'éducation Mathieu Muselet souligne l'importance de cet enjeu et l'étend même à la question du lien enfants - parents sur les enjeux numériques, ces derniers *« qui finalement occupent une place quand même assez importante en périphérie de l'école »* et ajoute *« les parents et les grands-parents dans l'école, c'est fondamental. C'est une des conditions de la réussite de l'école, c'est que cette confiance s'exerce »* (audition du 5 juin 2026).

Enfin, la question de la créativité et de la pensée critique n'est pas à écarter. Le rapport de l'OCDE [« Fostering Students' Creativity and Critical Thinking: What it Means in School »](#) (2021) souligne que **la créativité et l'esprit critique sont souvent négligées dans les systèmes éducatifs traditionnels, qui privilégient la mémorisation et les résultats standardisés**. Or, l'IA générative automatisant précisément les tâches de mémorisation et de reproduction de l'information, l'enjeu pour l'école devient de se recentrer sur ce qui reste irréductible à l'automatisation : la créativité, la pensée critique, la collaboration, l'éthique.

Les 3 piliers définis par la [Brookings Institution dans son récent rapport](#), *« Prosper »*, *« Prepare »* et *« Protect »* proposent des **recommandations pour exploiter les avantages d'une intégration pédagogique de l'IA tout en limitant les risques**. Plusieurs mesures présentées par les chercheurs sont centrales : les systèmes éducatifs doivent **développer les outils d'EdTech avec l'ensemble des acteurs concernés** d'une part, et privilégier l'utilisation d'outils **qui favorisent l'apprentissage** d'autre part. Par ailleurs, il est fondamental de former d'avantage les enseignants à l'IA, et de renforcer la littératie en IA des élèves, professeurs et parents.

Les chercheuses Anne Cordier, Camille Capelle et Anne Lehmanns présentent les résultats de leur projet de recherche eRISCK (2016-2018) dans [« Usages numériques en éducation : l'influence de la perception des risques par les enseignants »](#). **L'étude s'intéresse à la perception des risques potentiels du numérique par les jeunes enseignants** et propose des pistes de solutions, la perception du risque n'étant pas forcément un frein mais pouvant devenir **un levier d'action pédagogique**. Les trois

principaux risques numériques ressentis sont les risques techniques (66,2 %), les risques éthiques et juridiques (55,8 %) et les risques informationnels (54,7 %).

L'étude souligne également un **« écart systématique entre les représentations des risques pour eux-mêmes comparées à celles pour les élèves »**. Selon les enseignants, les trois principaux risques auxquels leurs élèves sont exposés sont les risques psycho-sociaux (69,95 %), informationnels (70,75 %) et techniques (62,80 %). Ils estiment que les élèves sont davantage confrontés aux problèmes liés au harcèlement ou à la désinformation, en particulier.

« La conscience des risques numériques auxquels les enseignants et leurs élèves peuvent être soumis, influence positivement les pratiques pédagogiques ». Pour ce faire, les chercheurs recommandent aux enseignants de : (i) tester les usages numériques personnellement et professionnellement ; (ii) rester informés de l'ensemble des risques numériques, (iii) de privilégier une formation entre pairs basées sur l'échange de bonnes pratiques plutôt que de se contenter du cadre institutionnel ; (iv) faire **« avec et non contre les pratiques numériques personnelles des élèves, en se considérant avec eux au sein d'une communauté d'apprentissage »**.

Les travaux de recherche de chercheurs de l'université du Texas dans l'article [*« Enhancing Critical Thinking in Generative AI Search with Metacognitive Prompts »*](#) (2024) indiquent que l'intégration croissante des outils de recherche conversationnelle basés sur l'IA générative transforme la recherche d'information. Si ces outils facilitent la synthèse de données complexes en langage naturel, ils soulèvent des inquiétudes majeures pour les élèves et étudiants : **décharge cognitive, consommation passive et homogénéisation de l'information**.

Cependant, comme il sera détaillé ultérieurement, **des sollicitations métacognitives bien conçues conduisent à un engagement plus actif, une exploration plus large des sujets et une enquête plus approfondie. Elles constituent un levier prometteur pour transformer l'interaction avec l'IA d'une consommation passive en un processus d'apprentissage critique et autorégulé**. Pour ce faire, des propositions sont faites pour les éducateurs et développeurs de systèmes d'IA.

Ils préconisent de mieux développer la littératie en IA : il ne suffit pas de fournir des outils ; **il faut apprendre aux étudiants à formuler des requêtes efficaces en spécifiant le contexte et les critères de qualité attendus**. Par ailleurs, il est nécessaire de créer des supports différenciés : pour les utilisateurs ayant des compétences métacognitives moins développées, des instructions plus directes et des structures initiales claires (*scaffolding*) sont nécessaires.

La chercheuse Mary Burns, qui a dirigé les travaux de recherche et la rédaction du rapport de la Brookings Institution *« A new direction for students in an AI world : Prosper, Prepare, Protect »* insiste sur la nécessité de privilégier des outils qui **« enseignent plutôt que renseignent »**. Selon elle, **« il faut vraiment soutenir les enfants dans leurs recherches, leur lecture et leur écriture, avec des tutorats. Les systèmes qui enseignent plutôt que de simplement expliquer, qui s'adaptent à l'apprentissage et permettent une divulgation progressive de l'information, justifient votre raisonnement »** (audition du 20 février 2026).

Michael Zeyringer, enseignant, inspecteur docteur à l'université de Strasbourg et directeur de l'Observatoire IA Grand Est, apporte une nuance supplémentaire en précisant que **« l'IA peut être utilisée dans la classe par l'enseignant et par les élèves, mais pas l'IA générative. Et en termes de potentiel pédagogique, pour l'instant, je crois plus aux IA adaptatives »** (audition du 9 avril 2026). Si

les IA adaptatives, fondées sur des modèles de séquençage et de traçage des connaissances (*knowledge tracing*), montrent un potentiel certain, les IA génératives, en revanche, soulèvent des questions quant à leur pertinence dans un cadre éducatif strict.

L'article scientifique [« Cognitive Paradox of AI in Education » \(Frontiers\) de 2025](#), après avoir présenté les risques négatifs de l'usage de l'IA sur les élèves en impactant la mémoire, la résolution de problèmes et la créativité, indique cependant qu'**un usage bien encadré de l'IA peut avoir des effets bénéfiques**. Pour s'assurer que l'IA améliore l'apprentissage sans remplacer les fonctions cognitives nécessaires, les chercheurs proposent une feuille de route d'implémentation. **Les enseignants doivent déterminer où l'IA peut être intégrée et alignée avec les objectifs d'apprentissage des fonctions cognitives**. De plus, **la sélection de l'IA doit être réfléchie**, avec des outils qui facilitent l'engagement et non la dépendance. Par ailleurs, **l'IA doit être intégrée en classe de manière équilibrée**, avec un espace pour un accompagnement individualisé mais avec des conversations dirigées par l'enseignant. Enfin, **des mécanismes de suivi et de retour d'information doivent être instaurés** pour mesurer l'impact sur l'apprentissage des étudiants et effectuer les ajustements nécessaires en conséquence.

Sur le tutorat basé sur l'IA, ils préconisent qu'il soit être intégré à une pédagogie qui encourage la pensée critique et l'engagement actif. **Sur l'apprentissage des langues**, l'IA doit rester un complément au processus d'apprentissage traditionnel et non un remplacement de l'enseignement humain. **De manière globale, les chercheurs proposent des séances périodiques de résolution de problèmes sans IA et des discussions en classe avec les autres élèves pour garantir un engagement mental actif**, afin que l'IA devienne un complément et non un remplacement du raisonnement personnel.

Anne Cordier, enseignante-chercheuse à l'université de Lorraine, indique que *« pour certains élèves, on sait déjà que le numérique libère le geste d'écriture. La reformulation, la tâche d'organisation, de structuration de l'écriture, par exemple, l'idée de plan, ça, c'est quelque chose qui peut être utilisé et qui peut être pertinent en assistant »* (audition du 26 mars 2026). De même, Colin de la Higuera, enseignant-chercheur à l'université de Nantes, met en avant que *« si un enseignant ne peut pas être remplacé, un tuteur peut être remplacé par l'IA »* (audition du 27 mars 2026), soulignant le **potentiel des outils d'IA pour un tutorat adapté et personnalisé**.

Le directeur du [programme Melchior IA](#) et enseignant Daniel Didier, ajoute que *« l'IA, à l'aide de la pédagogie, permet d'aller plus vite et plus loin mais ça nécessite d'adapter les pratiques. La diminution des capacités cognitives liées à l'IA en soi, c'est la pratique et le renouvellement pédagogique qui va amener à renforcer les capacités cognitives »* (audition du 3 avril 2026).

Les recherches menées par Bruno Ferman parues en 2021 dans l'article [« Artificial Intelligence, Teacher Tasks and Individualized Pedagogy »](#), portent sur **comment des technologies éducatives combinant IA et intervention humaine peuvent modifier le travail enseignant et soutenir une pédagogie davantage individualisée**. Les résultats démontrent que la technologie peut aider à ajuster les activités au niveau ou au rythme de chaque élève.

Par ailleurs, **l'automatisation des tâches répétitives, comme la notation, permet aux professeurs de se concentrer sur des interactions pédagogiques plus complexes et personnalisées**.

Les chercheurs indiquent que **l'IA peut être un levier puissant pour réduire les inégalités éducatives en offrant un feedback de qualité à faible coût** ; l'intégration de l'IA dans les écoles doit être pensée non pas comme un remplacement, mais comme une restructuration des tâches enseignantes ; les politiques éducatives devraient encourager l'adoption de ces outils tout en formant les enseignants à exploiter le temps libéré pour renforcer l'accompagnement personnalisé.

Pour développer efficacement ces compétences, les systèmes éducatifs doivent intégrer ces dimensions dans les programmes scolaires de manière transversale et explicite, former les enseignants à des méthodes pédagogiques actives et à l'évaluation formative, créer des environnements d'apprentissage qui encouragent l'expérimentation et la réflexion, et réformer les évaluations pour qu'elles mesurent non seulement les connaissances, mais aussi les compétences transversales.

2. Effets de l'IA sur la collaboration entre élèves et inégalités

Les outils numériques renforcent les inégalités à l'école

Si les nouvelles technologies ont souvent été présentées comme des vecteurs potentiels d'égalisation des chances, les données disponibles suggèrent parfois le contraire : **en l'absence d'une politique publique volontariste et d'une intégration pédagogique réfléchie, l'IA risque d'aggraver les inégalités existantes plutôt que de les réduire.**

Le chercheur français Cédric Naudet a mené une étude en 2025 suite à la pénétration rapide des IA génératives dans les lycées, souvent en dehors de cadre pédagogique structuré, et s'est interrogé sur la place de l'IA comme un révélateur et amplificateur des inégalités scolaires et sociales. Ses travaux de recherches, parus en 2025 : « [L'usage de l'intelligence artificielle générative au lycée : un révélateur des inégalités socio-scolaires ?](#) », dressent plusieurs constats.

Il distingue plusieurs types d'utilisateurs chez les lycées : **(i) les engagés réflexifs** (ils utilisent l'IA comme un levier cognitif, et exercent un regard critique sur les réponses générées), **(ii) les occasionnels légalistes** (usage prudent et limité, souvent par peur de tricher, ils considèrent l'IA comme un outil d'appoint) et **(iii) les scolaires opportunistes** (avec un usage instrumental et immédiat, ils cherchent des « *réponses toutes faites sans recul critique* »).

Les résultats montrent que les usages sont fortement segmentés selon le capital culturel et scolaire des élèves : les plus « scolaires » tendent à utiliser l'IA comme un outil de soutien, de reformulation ou de reformulation stylistique, alors que les élèves en difficulté s'en servent davantage comme substitut de travail ou de compréhension. Cette différenciation révèle comment **les IA viennent renforcer des écarts dans les stratégies d'apprentissage et les logiques de réussite.**

« La fracture sociale liée à l'IA est un enjeu essentiel. [...] Si l'on doit s'en saisir, c'est car nous prôtons l'égalité des chances et ces valeurs partagées d'une école de la République et d'un État protecteur » précise la chercheuse Anne Cordier (audition du 20 mars 2026). Cela rappelle que l'école doit rester

le lieu où se jouent les équilibres sociaux et où se construit une culture commune, loin des logiques marchandes ou des intérêts privés.

Par ailleurs, le chercheur indique que **l'IA n'est pas neutre, mais un révélateur des inégalités sociales** ; les élèves n'ont pas tous la même capacité à utiliser l'IA de manière productive. **Les inégalités ne se situent plus dans l'accès à l'outil mais dans l'usage** : savoir « *prompter* », vérifier les sources etc. **Sans accompagnement pédagogique, l'IA générative risque de renforcer la dépendance des élèves fragiles** (qui l'utilisent pour contourner l'apprentissage) tout en renforçant les capacités des élèves déjà performants. **Pour qu'elle ne devienne pas un vecteur supplémentaire de reproduction sociale, l'école doit s'emparer de l'outil mais non pas pour l'interdire** : il appelle à des politiques éducatives explicites (formation des enseignants, régulation pédagogique, accompagnement des élèves) pour **transformer ces usages en leviers de réduction des inégalités plutôt qu'en facteurs de renforcement**.

Le rapport de [l'Institut Montaigne sur « Le numérique pour réussir dès l'école primaire »](#) (2016) avait déjà identifié ce paradoxe : **beaucoup d'équipements mais peu d'usages pédagogiques transformateurs**. La clé identifiée était la formation des enseignants et l'accompagnement au changement de pratiques.

Le [rapport d'activité 2024 de la Directrice de l'évaluation, de la prospective et de la performance \(DEPP\) du ministère de l'Éducation nationale](#) confirme que **les inégalités d'accès au numérique restent significatives, tant entre territoires qu'entre groupes sociaux**. Les élèves issus de milieux défavorisés ont à la fois moins accès aux outils numériques performants et moins de soutien dans leur usage raisonné.

[L'article « Technologies numériques et apprentissages »](#) publié en décembre 2023 dans la revue RESET (Recherches en sciences sociales sur internet) propose une lecture sociologique de ces enjeux. Les auteurs soulignent que **les technologies numériques ne sont pas neutres : elles incorporent des logiques sociales, économiques et algorithmiques qui influencent les trajectoires d'apprentissage, avec des effets différenciés selon les milieux sociaux**. Autrement dit, les plus favorisés tirent souvent mieux parti des ressources numériques pour des apprentissages autonomes et créatifs, tandis que les autres sont impactés par le risque connu de reproduction des inégalités.

Par ailleurs, **la personnalisation algorithmique peut paradoxalement renforcer les inégalités** en enfermant chaque élève dans un parcours déterminé par ses performances passées plutôt qu'en lui ouvrant de nouvelles perspectives.

Le [rapport « L'intelligence artificielle dans les établissements scolaires, sur le plan administratif et pédagogique »](#) de l'Inspection générale de l'Éducation, du sport et de la recherche (IGESR), paru en mai 2025 confirme et approfondit ces éléments. Il souligne un enjeu majeur d'inégalités à trois niveaux : des **inégalités territoriales** (selon les académies et les établissements), **sociales** (entre élèves ayant accès aux outils et ceux qui n'y ont pas accès) **et de genre** (avec une appropriation différenciée selon le genre des élèves). **Ces trois dimensions d'inégalités s'entrecroisent et se renforcent mutuellement**, créant des situations où certains élèves cumulent tous les désavantages tandis que d'autres bénéficient de tous les avantages.

Le rapport de l'OCDE [« The potential impact of AI on equity and inclusion in education »](#) (août 2024) analyse les effets de l'IA sur l'équité éducative à travers trois catégories d'outils : (i) centrés sur l'apprenant, (ii) pilotés par l'enseignant et (iii) institutionnels. Il identifie des opportunités réelles :

adaptation personnalisée des parcours *via* des tutorats intelligents, soutien aux élèves à besoins spécifiques grâce à la reconnaissance vocale ou aux supports multisensoriels, optimisation administrative *via* la détection précoce du décrochage scolaire.

Mais il met en garde contre des **risques majeurs** : la **fracture numérique** liée à l'accès inégal aux outils IA premium, les **biais algorithmiques** reproduisant les discriminations socio-ethniques, **l'exclusion** de certains types de handicaps et la **privatisation croissante** des données éducatives au profit des EdTech dominantes. L'OCDE préconise un équilibre entre bénéfices et éthique *via* une **formation massive des enseignants à l'IA, des audits obligatoires des biais algorithmiques, une conception inclusive des outils et des politiques publiques favorisant les communs et les outils open source**.

Les [conclusions du Conseil de l'Union européenne sur les enseignants à l'ère de l'intelligence artificielle](#) (mai 2026) souligne que « *l'IA peut élargir les fractures numériques, en particulier en raison d'un accès inégal aux outils et infrastructures d'IA et d'une conception inadéquate de ceux-ci, ainsi que les disparités en matière d'aptitudes et de compétences numériques, ce qui est susceptible d'exacerber les inégalités entre les apprenants* ».

[L'article de l'Inserm](#) (janvier 2026) identifie trois profils face à l'IA : les **réticents**, qui refusent ou ignorent ces outils par méfiance ou par manque d'accès ; les **distanciés**, qui en ont une connaissance théorique mais une pratique limitée ; et les **opportunistes**, qui les utilisent massivement et sans discernement pour contourner les tâches scolaires. Ainsi, les élèves des milieux favorisés ont tendance à être des utilisateurs sophistiqués, capables d'optimiser leur apprentissage avec l'IA, tandis que les élèves des milieux défavorisés risquent d'être soit exclus de ces outils, soit d'en avoir un usage contre-productif. **L'Inserm insiste sur la nécessité d'accompagner les élèves en difficulté dans l'usage de l'IA**, de les aider à interpréter les réponses, à comprendre comment cela fonctionne, à saisir comment un usage raisonné peut les aider, pour ne pas accroître les inégalités préexistantes.

Le chercheur au CNRS Marc Gurgand illustre un paradoxe : « *Dans les milieux favorisés, les enfants vont être encouragés à utiliser ChatGPT et vont mieux l'utiliser et vont davantage s'en servir intelligemment. [...] Dans d'autres milieux, on va utiliser ChatGPT juste pour se débarrasser du devoir que le prof a donné, mais en fait il n'y a aucun bénéfice. [...] Vous faites progresser les élèves forts et vous laissez stagner les élèves faibles, et à ce moment-là c'est un vrai problème* » (audition du 17 avril 2026).

Selon Stanislas Dehaene, chercheur au Collège de France, « *les sciences cognitives montrent que si on ne fait pas d'effort dans l'apprentissage, il n'y a pas d'apprentissage profond* » (audition du 18 mars 2026). **Sans accompagnement pédagogique, l'IA générative risque de renforcer la dépendance des élèves fragiles (qui l'utilisent pour contourner l'apprentissage) tout en renforçant les capacités des élèves déjà performants.**

L'IA générative présente aussi des risques d'isolement des élèves. Pierre Vesperini, chercheur au CNRS, **met en garde contre une école à deux vitesses** : « *L'IA va accélérer un phénomène déjà existant qui est celui d'une école à deux vitesses, c'est-à-dire qu'on aura une école publique avec plein d'IA, des enseignants qui ne font plus trop leur travail, qui utilisent l'IA, et à côté vous aurez des écoles privées où il y aura plein d'enseignants et pas d'IA* » (audition du 17 avril 2026).

Michael Zeyringer, enseignant, inspecteur, docteur à l'université de Strasbourg et directeur de l'Observatoire IA grand Est, confirme cette différenciation selon le contexte social : « *Selon le*

contexte social de l'enfant, ils n'utilisent pas l'IA de la même manière. Ceux qui ont un contexte social, familial favorisé s'en sortiront mieux face à l'IA que les autres. On risque d'aggraver des choses dans l'apprentissage » (audition du 9 avril 2026).

Le syndicat enseignant FSU-SNUipp souligne que « *comme le montre le CNETCO, l'individualisation tant des parcours que des apprentissages, loin de lutter contre les inégalités scolaires, les renforce »* (audition du 24 avril 2026).

Cependant, l'IA pourrait aussi jouer un rôle clé dans la réduction des inégalités scolaires, à condition d'être bien encadrée et intégrée. Pierre Cauty, directeur de la DRANE Île-de-France, envisage cette possibilité : « ***Si l'on arrive à faire en sorte que les IA puissent être utilisées par chaque élève de façon à compléter ou à augmenter ce que ses parents peuvent lui apporter, notamment lorsqu'ils manquent de temps ou de capacité pour l'accompagner, peut-être pourrait-on s'en servir pour réduire les inégalités sociales »*** (audition du 31 mars 2026). Il reconnaît cependant que « *c'est extrêmement ambitieux comme réflexion »*.

Dynamiques de collaboration et risques d'individualisation excessive

L'école n'est pas seulement un lieu de transmission de savoirs : c'est aussi un espace de socialisation, d'apprentissage du vivre-ensemble et de construction d'une compétence collective. Plusieurs études montrent que l'IA générative, en offrant à chaque élève un interlocuteur personnalisé disponible à tout moment, risque de réduire les interactions entre pairs et de priver les élèves d'apprentissages essentiels.

L'[UNESCO](#) met en garde contre les risques de création de « bulles individuelles » avec une **hyper-personnalisation** qui pourrait isoler les élèves dans leurs propres trajectoires d'apprentissage, au détriment des dynamiques de groupe et de la construction collective des savoirs. L'apprentissage collaboratif, à savoir poser des questions à ses camarades, argumenter, se tromper ensemble et se corriger mutuellement, est un vecteur essentiel du développement cognitif et socio-émotionnel. Or, si chaque élève dispose d'une IA capable de répondre immédiatement à toutes ses questions, l'incitation à interroger ses pairs diminue.

Le rapport précédemment cité de [l'OCDE sur la créativité et la pensée critique](#) (2019) insiste sur **l'importance des environnements d'apprentissage qui encouragent l'expérimentation, la collaboration et la réflexion**. Ces environnements, qui nécessitent du temps, de l'espace et des interactions sociales riches, sont précisément ce que l'IA ne peut pas remplacer. Le défi pédagogique est donc de concevoir des situations d'apprentissage hybrides qui combinent intelligemment les capacités de l'IA (personnalisation, feedback immédiat, ressources infinies) avec les irremplaçables apports de l'interaction humaine (débat, empathie, construction collective du sens, gestion des conflits cognitifs).

L'enseignant-chercheur et psychiatre Raphaël Gaillard insiste lui-aussi sur cette dimension : l'IA offre un outil inédit pour dépasser le paradoxe de Bloom qui postule que « *quelle que soit la méthode, elle fait toujours moins bien qu'un enseignant pour chaque élève.* » Cependant, « *l'IA générative pourrait être une modalité de résolution de ce paradoxe dans la mesure où l'ultra-individualisation que permet*

une IA générative a quelque chose de l'exercice du précepteur : non pas pour avoir les réponses mais pour l'accompagnement d'un élève ». En revanche, en contrepartie, « **l'ultra-individualisation conduit à ne plus se poser la question du fonctionnement des autres** ». L'exposition aux LLM pourrait faire courir le **risque d'une réduction de la patience sociale** : « un enfant peut se représenter ce que l'autre ressent, mais ne pas avoir la patience requise pour tenir compte des conséquences de l'état émotionnel et cognitif d'autrui. Cela appauvrirait la patience qui est requise de chacun quand il travaille avec d'autres » (audition du 27 mars 2026).

L'école n'est pas seulement un lieu d'acquisition de savoirs, mais aussi un espace de socialisation, où l'altérité, la confrontation aux différences et la patience face aux rythmes variés des pairs jouent un rôle fondamental. Une IA éducative qui isolerait l'élève dans un parcours strictement individualisé, sans dispositifs compensatoires favorisant les interactions, risquerait de dégrader ce qui fait précisément la richesse de l'expérience scolaire. Pour prévenir ce risque, cela doit s'accompagner de stratégies pédagogiques diversifiées : « *il faudrait renforcer très fortement en parallèle tous les travaux en groupe qui requièrent de tenir compte de l'autre, tant dans sa performance que dans le frein qu'il peut représenter* » précise le chercheur et psychiatre Raphaël Gaillard (audition du 27 mars 2026).

3. L'éducation à l'IA

Pourquoi l'éducation à l'IA est-elle nécessaire ?

« **A partir du moment où les enfants l'utilisent, il faut absolument comprendre comment et entamer un dialogue** » indique Colin de la Higuera, enseignant-chercheur à l'université de Nantes (audition du 27 mars 2026).

L'éducation à l'intelligence artificielle constitue un enjeu civique et démocratique central. Dans un monde où l'IA structure de plus en plus les décisions, les citoyens qui ne comprennent pas les fondements, les logiques et les limites de ces systèmes sont dans l'incapacité d'exercer un regard critique sur eux et d'y participer en pleine connaissance de cause.

Dans sa [Lettre encyclique sur la protection de la personne humaine à l'ère de l'intelligence artificielle](#) (mai 2026), le Pape Léon XIV consacre un développement à ce qu'il nomme « *une alliance éducative pour l'ère numérique* ». Le texte souligne que « *toute technologie éduque ceux qui l'utilisent* » et qu'« *éduquer à l'utilisation de l'IA implique donc d'éduquer à décider quand et pourquoi ne pas l'utiliser* » ; posant ainsi la question non pas de l'adoption ou du rejet des outils numériques, mais de la formation du jugement qui doit les gouverner.

Selon Deborah Elalouf, fondatrice de Tralalere et d'Internet Sans Crainte, cette éducation doit commencer dès le primaire, et ce, « **sans écran** » : « *Il faut introduire l'éducation et la littératie de l'IA dès le primaire, pas comme outil, mais comme objet critique. Il est vraiment urgent de faire de l'éducation à l'IA dès le plus jeune âge, et c'est possible de le faire de manière débranchée, ou avec des ressources numériques collectives en classe, à la main de l'enseignant* » (audition du 15 avril 2026).

Cette approche permet d'aborder l'IA comme un sujet de réflexion et non comme une simple technologie, en développant chez les élèves une curiosité critique dès leur plus jeune âge.

L'article de Wayne Holmes et Kaśka Porayska-Pomsta, [*« Education for AI, not AI for Education: The Role of Education and Ethics in National AI Policy Strategies »*](#), publié en septembre 2021 dans *l'International Journal of Artificial Intelligence in Education*, propose une analyse thématique de 24 stratégies nationales d'intelligence artificielle publiées par plus de 30 pays.

Les auteurs révèlent un décalage significatif : **les décideurs privilégient l'optimisation des systèmes éducatifs par la technologie (« AI for Education ») au détriment de la préparation des citoyens à interagir de manière éclairée avec l'IA (« Education for AI »)**. Les auteurs appellent à un rééquilibrage pour que les politiques éducatives intègrent explicitement la **formation à la littératie en IA**, à ses limites techniques et à ses enjeux éthiques et sociaux.

Ce déséquilibre identifié en 2021 reste largement d'actualité en 2026. Les stratégies nationales d'IA continuent de prioriser la production d'experts techniques et la compétitivité économique sur la formation de citoyens éclairés. C'est précisément pourquoi **une éducation à l'IA, distincte de l'éducation par l'IA et de l'éducation pour l'IA, est nécessaire**.

Un dialogue pédagogique ouvert entre enseignants et élèves sur les usages réels de l'IA est indispensable face à l'urgence de comprendre les usages et attentes des élèves pour les accompagner au mieux. Ce point est essentiel pour l'enseignante-chercheuse à l'université de Lorraine Anne Cordier, qui explique qu'« *Il faut sortir de ce culte. Il y a un côté très mystique presque avec l'IA. [...] Il faut sortir de ça pour le mettre au centre de la discussion* » (audition du 20 mars 2026). Ce point est partagé par l'enseignant-chercheur à l'université de Nantes Colin de la Higuera : « *Le dialogue est absolument nécessaire et manque beaucoup : entre enseignants, entre enseignants et élèves. Quand je discute avec des doctorants, ils me disent ne pas oser en parler avec leur directeur de thèse* » (audition 27 mars 2026).

Référentiels de compétences en IA pour les élèves et les enseignants

Face à ce défi, des organisations internationales ont publié des référentiels de compétences permettant de structurer l'éducation à l'IA pour différents publics. L'UNESCO s'est particulièrement penchée sur ce travail.

Le [*Référentiel de compétences en IA pour les apprenants*](#) (UNESCO, 2024) et le [*Référentiel de compétences en IA pour les enseignants*](#) (UNESCO, 2025) constituent les deux piliers d'un cadre cohérent. Pour les apprenants, le référentiel identifie un continuum de compétences allant de la **compréhension élémentaire des concepts d'IA à la capacité de concevoir des systèmes d'IA simples, en passant par l'analyse critique de leurs impacts sociaux et éthiques**.

Pour les enseignants, le référentiel distingue trois dimensions : **enseigner avec l'IA** (utiliser les outils IA pour améliorer sa pratique), **enseigner sur l'IA** (former les élèves à comprendre et à questionner ces systèmes) et **enseigner pour l'IA** (préparer les élèves à évoluer dans un monde structuré par l'IA).

Le rapport européen « [Teachers' competences: teaching with, about, and for AI](#) » (Commission européenne, juin 2023) s'inscrit dans cette même logique et précise les compétences nécessaires aux enseignants selon ces trois dimensions. Concernant les compétences pour « *Teaching FOR AI* » (préparer les élèves à un monde avec IA), cinq compétences de base en littératie numérique sont identifiées : **l'information, la communication et la collaboration, la création de contenu numérique, la sécurité et la résolution de problèmes.**

Sur les compétences pour « *Teaching WITH AI* » (utiliser l'IA en pédagogie), le rapport s'organise autour de six domaines et cinq priorités sont présentées pour l'éducation à l'IA : **comprendre les bases techniques et humaines de l'IA, intégrer l'IA dans les pratiques d'enseignement, maîtriser les enjeux éthiques et juridiques, utiliser l'IA pour se former et développer les compétences en IA des élèves.**

La France a également produit un cadre d'orientation à travers le [Cadre d'usage de l'IA en éducation](#) (MEN, 2025). Ce cadre recommande une approche progressive et graduée : **dans le premier degré, une sensibilisation aux connaissances sur l'IA sans recours à l'IA générative ; à partir de la quatrième, l'utilisation de l'IA générative avec une formation obligatoire ; au lycée, une liberté d'usage plus importante avec des formations disciplinaires intégrées.** Cela est pédagogiquement cohérent, mais il suppose une formation des enseignants à chaque niveau, ce qui reste, comme nous le verrons, le défi principal.

La littératie : un enjeu d'émancipation citoyenne

Le rapport « [Déployer une littératie en IA pour une société inclusive et émancipatrice](#) », publié par Renaissance Numérique en octobre 2025, définit la littératie en IA comme la **capacité à comprendre, questionner et agir sur les systèmes d'IA qui structurent de plus en plus la vie sociale, professionnelle et politique.**

Le rapport distingue trois niveaux de littératie : **fonctionnel** (utiliser l'IA), **critique** (évaluer, questionner, identifier les biais) et **participatif** (contribuer aux débats publics sur la gouvernance de l'IA). Cette distinction est fondamentale : elle replace la littératie en IA dans une perspective démocratique qui va au-delà de la simple maîtrise technique des outils.

Renaissance Numérique plaide pour une intégration de la littératie en IA dans l'éducation dès le primaire, avec des approches pédagogiques adaptées à chaque âge, et son articulation avec l'EMI. Le rapport pointe les inégalités d'accès à cette littératie et souligne un paradoxe majeur : **l'IA générative se diffuse à un rythme rapide, tandis que 16 millions de Français demeurent éloignés du numérique de base**, ce qui risque d'aggraver les fractures existantes. Il appelle à des politiques publiques pour garantir que la littératie en IA ne reste pas accessible qu'à une élite techniquement favorisée.

Les **11 recommandations** formulées dans ce rapport incluent notamment : renforcer l'enseignement au numérique et à l'IA dans la formation initiale des enseignants, organiser des États généraux du numérique et de l'IA pour l'éducation, partager un référentiel de compétences national, et renforcer les aides à la parentalité numérique.

L'article de Renaissance Numérique [*« Pour une éducation à la pluralité des altérités et des attachements numériques à l'heure de l'intelligence artificielle générative »*](#) (mars 2025) approfondit cette réflexion en insistant sur la nécessité d'une éducation à l'IA qui permette aux enfants de comprendre et d'utiliser ces dispositifs sociotechniques de manière éclairée, afin de faire des choix responsables tant à l'école qu'en dehors.

Les auteurs insistent sur le fait que l'IA générative est déjà intégrée dans des outils éducatifs, des plateformes sociales et des jeux interactifs, générant des usages et des représentations ambivalents qui nécessitent une approche pédagogique spécifique centrée sur le sens critique et le pluralisme des modes d'engagement. **Il est nécessaire de développer les compétences émotionnelles des enfants pour naviguer dans un quotidien peuplé d'IA générative**, dans un contexte de manque de moyens structurel.

L'article de recherche d'Adeline Ségui-Enraygues (2025) [*« Quand les pratiques juvéniles de l'intelligence artificielle renforcent la nécessité de médiation documentaire : quel rôle pour l'EMI ? »*](#) analyse **comment l'émergence de l'IA transforme les pratiques informationnelles des jeunes et impose une refonte de l'Éducation aux Médias et à l'Information (EMI)**. La recherche s'appuie sur une étude qualitative menée entre janvier et juin 2024 dans cinq établissements de l'Académie de Bordeaux. L'étude révèle que les jeunes utilisent massivement l'IA générative pour la recherche d'information (remplaçant parfois Google) et les imaginaires des jeunes sont marqués par une dualité : l'IA est perçue comme une entité *« presque humaine »* d'une part, et le fonctionnement *« flou »* des algorithmes et la manipulation des données inspirent une crainte, souvent renforcée par les discours scolaires associant l'IA à la triche d'autre part.

La chercheuse préconise de **« développer des dispositifs pédagogiques adaptés, dans un contexte d'EMI, incluant à la fois une exploration critique des usages de l'IA et une initiation pratique à leur fonctionnement. Ces dispositifs doivent s'inscrire dans des cadres interdisciplinaires »**. Cette approche éducative a pour objectif de permettre aux élèves de comprendre le fonctionnement des technologies et d'analyser leurs impacts sur la société, la culture et la sphère politique ; permettant de **développer une « culture de la citoyenneté informationnelle »** où l'élève, informé des défis posés par l'IA, est en mesure d'adopter une posture critique.

Pour Colin de la Higuera, enseignant-chercheur à l'université de Nantes : *« Lorsqu'on utilise une IA générative et qu'elle donne deux fois deux réponses différentes, il faut comprendre pourquoi. Il est crucial de comprendre les mécanismes génératifs, les algorithmes »* (audition du 27 mars 2026). Cette compréhension technique est indispensable pour démystifier l'IA et éviter qu'elle ne soit perçue comme une « boîte noire » inaccessible.

Le développement de la littératie en IA doit être envisagé comme une compétence transversale, intégrée tout au long du parcours scolaire. Selon Pat Yongpradit, *Microsoft's general manager of education policy*, cette littératie ne se limite pas à la maîtrise technique des outils, mais **englobe également « les enjeux d'impact social et de santé mentale »**. Il précise que :

Il n'est pas nécessaire d'utiliser des *chatbots* à un jeune âge pour en apprendre beaucoup sur l'IA. On doit privilégier la culture de l'IA : apprendre à propos de l'IA et ses effets sociaux, afin que, lorsque les élèves auront l'âge approprié pour utiliser ces outils, ils disposent d'une compréhension de base de leur utilisation pratique et de leurs applications, mais aussi de leurs limites. Les enseignants joueront un rôle essentiel pour déterminer comment intégrer l'IA de manière responsable dans les salles de classe ; c'est

pourquoi nous nous efforçons de travailler directement avec eux et d'apprendre à leurs côtés. Audition du 10 avril 2026

Pour le chercheur et psychiatre Raphaël Gaillard : « *ce n'est pas les effets de l'IA sur l'éducation, c'est quelle éducation pour faire face à l'IA* » (audition du 27 mars 2026). Selon la fondatrice de Tralalere et Internet Sans Crainte Deborah Elalouf, « **on n'apprend pas avec l'IA, on apprend sur l'IA pour rester libre** » (audition du 15 avril 2026).

En outre, sensibiliser aux dangers des compagnons IA est un enjeu majeur. Les outils conversationnels, souvent perçus comme des « amis » ou des « conseillers » par les enfants, peuvent représenter des risques significatifs. Par exemple, les élèves pourraient développer une **dépendance affective** à ces outils, ou leur accorder une confiance aveugle, sans remettre en question les informations qu'ils fournissent. Pire encore, certains compagnons IA, mal conçus ou malveillants, pourraient exposer les enfants à des contenus inappropriés, des manipulations ou des intrusions dans leur vie privée.

Le directeur de recherche au CNRS Marc Gurgand rappelle que « *Les jeunes ne savent pas bien utiliser ChatGPT efficacement. Ce ne sont pas des outils qui sont destinés à une fonction pédagogique, qui ne sont pas construits pour ça. Donc ils ne répondent pas d'une manière qui est pertinente du point de vue de la pédagogie et des apprentissages et, à plus forte raison, si les élèves ne savent pas les interroger intelligemment, sont naïfs par rapport aux hallucinations* » (audition du 17 avril 2026). Il est donc **urgent d'éduquer les enfants sur ces risques**, en leur apprenant à distinguer un outil utile d'un compagnon potentiellement dangereux.

Enfin, certains acteurs, comme le syndicat enseignant SNES FSU, **estiment qu'« on peut très bien enseigner les IA sans les utiliser nous-mêmes et sans les faire utiliser directement »** (audition du 24 avril 2026). Cette position est partagée par Jared Cooney Horvath, chercheur et neuroscientifique, pour qui « *aucun élève ne devrait utiliser l'IA à l'école, simplement parce que ce n'est pas un outil d'apprentissage mais un outil de performance* » (audition du 13 mars 2026). Pierre Vesperini, chercheur au CNRS, membre du Comité scientifique de la Fondation pour l'enfance, va plus loin en affirmant que « **l'IA n'a rien à faire à l'école (...) le cerveau d'un adolescent n'est pas fait pour être branché sur une IA** » (audition du 17 avril 2026). Selon Jérôme Dammerey, représentant du syndicat enseignant FSU, le syndicat « *s'oppose à l'introduction systématique des IA dans l'éducation* » et exige que « *le droit à ne pas utiliser l'IA [soit] préservé également pour les élèves, les étudiants et les familles* » (audition du 24 avril 2026).

Les approches internationales de l'éducation à l'IA

L'étude comparative « [Étude et comparaison internationale des efforts pour l'éducation au numérique](#) » (Talents du numérique, décembre 2024) passe en revue les politiques d'éducation au numérique de plus de 20 pays et analyse les facteurs de succès et d'échec des différentes approches. Les pays les plus avancés (Estonie, Finlande, Israël) ont en commun trois caractéristiques : **une**

intégration du numérique dans les curricula dès le primaire, une formation des enseignants à grande échelle et une coopération public-privé structurée.

La France est identifiée comme un pays à fort potentiel mais avec un déploiement insuffisant : des initiatives de qualité existent (Pix pour l'évaluation des compétences numériques, formations DNE, projet IA4T) mais **leur portée reste limitée et leur articulation est manquante**. La France propose une approche transversale (le numérique est censé être abordé dans toutes les disciplines) mais qui manque de cohérence et de pilotage pédagogique clair. L'étude souligne le retard français en matière de formation initiale des enseignants au numérique et à l'IA. Selon l'UNESCO, seulement 29 % des enseignants français se sentent bien préparés à utiliser les TIC pour l'enseignement (contre 43 % en moyenne dans les pays de l'OCDE). Dans le primaire, cette proportion est encore plus faible, avec seulement 16 % des enseignants se considérant bien préparés. Ces chiffres confirment que **le facteur humain est le principal levier de toute politique d'éducation au numérique**.

Le [Plan d'action en matière d'éducation numérique 2021-2027 de la Commission européenne](#), mis à jour en 2025, définit deux priorités stratégiques directement pertinentes pour l'éducation à l'IA : (i) **favoriser le développement d'un écosystème d'éducation numérique hautement performant** (meilleure formation des enseignants aux compétences numériques et aux méthodes d'enseignement) ; et (ii) **renforcer les aptitudes et compétences numériques pour la transformation numérique** (renforcer l'enseignement de l'informatique à l'école, en précisant que chaque citoyen devrait acquérir une connaissance de base des technologies nouvelles et émergentes, y compris l'IA).

4. Enjeux communs entre éducation à l'IA et éducations aux médias et à l'information (EMI)

Des convergences fondamentales

L'éducation aux médias et à l'information (EMI) et l'éducation à l'IA partagent un socle commun fondamental : toutes deux visent à former des citoyens capables d'exercer un regard critique sur les contenus auxquels ils accèdent, les outils qu'ils utilisent et les systèmes qui structurent leur environnement informationnel.

Les études montrent que leur articulation est donc naturelle, et les compétences qu'elles développent sont souvent complémentaires, voire interdépendantes. **L'IA générative introduit de nouvelles formes de production et de circulation de l'information qui rendent l'EMI plus nécessaire que jamais, tout en créant de nouveaux défis spécifiques**. Les systèmes d'IA peuvent désormais produire des contenus faux ou trompeurs à grande échelle : *deepfakes*, articles générés, faux profils, désinformation amplifiée par les algorithmes.

Les [Lignes directrices pour les enseignants et les éducateurs en matière de lutte contre la désinformation et de promotion de la littératie numérique](#) (Commission européenne, janvier 2026), mises à jour dans la continuité du [Plan d'action pour l'éducation numérique 2021-2027](#), intègrent explicitement cette dimension. La version actualisée de 2026 introduit des sections spécifiques sur

l'IA générative et son lien avec la désinformation, en décrivant comment les systèmes d'IA peuvent produire des contenus faux ou trompeurs de manière automatisée. **Elle propose des approches pédagogiques pour développer la pensée critique, la vérification des faits et l'analyse des sources, avec des exemples d'activités concrètes** : analyse de messages sur les réseaux sociaux, comparaison de sources, identification de techniques de manipulation.

La question de l'esprit critique

Le rapport du Conseil scientifique de l'éducation nationale (CSEN) sur [« Éduquer à l'esprit critique - bases théoriques et indications pratiques pour l'enseignement et la formation »](#) (2021) constitue une référence fondamentale pour articuler EMI et éducation à l'IA. **Il définit l'esprit critique comme un ensemble de compétences cognitives et métacognitives** : capacité à évaluer des sources, à identifier des biais, à distinguer faits et opinions, à raisonner de manière logique et à suspendre son jugement en situation d'incertitude.

Le CSEN montre que l'esprit critique ne s'enseigne pas spontanément mais doit faire l'objet d'un enseignement explicite, progressif, ancré dans les disciplines scolaires, au contact de contenus complexes et dans des situations qui exigent de l'élève qu'il prenne position et argumente. Cette recommandation s'applique directement à l'éducation à l'IA : les élèves n'apprendront pas à questionner les productions des IA génératives par simple exposition à ces outils ; ils ont besoin d'un enseignement structuré, ancré dans des disciplines, qui les aide à développer des réflexes analytiques spécifiques.

Le rapport identifie plusieurs obstacles à l'enseignement de l'esprit critique : la surcharge cognitive des élèves, la pression normative à trouver la « bonne réponse », la culture scolaire de l'évaluation sommative plutôt que formative. **Ces obstacles sont particulièrement problématiques dans le contexte de l'IA générative, qui fournit justement une « bonne réponse » apparente de manière immédiate et fluide, décourageant ainsi le questionnement et la vérification.** Le rapport recommande des pédagogies actives favorisant le débat, l'argumentation et la production d'écrits réflexifs, et préconise l'évaluation des démarches autant que des résultats.

Adrien Martinez, représentant du syndicat enseignant FSU-SNUipp, fait mention de l'importance du développement de l'esprit critique : *« Il ne s'agit pas de laisser la question dans l'ombre, mais de développer un esprit critique chez nos élèves qui va pouvoir nourrir leur confrontation à l'IA quand ils y seront confrontés »* (audition du 24 avril 2026).

L'article d'Anne Cordier paru en décembre 2012 [« Et si on enseignait l'incertitude pour construire une culture de l'information ? »](#), souligne que la culture de l'information doit se faire selon 3 niveaux de compétences de manière progressive : la **maîtrise de l'accès à l'information** (technique et méthodologique), la **culture de l'accès à l'information** (utilisation critique et créative de l'information), et enfin la **culture de l'information** (connaissance des médias et considérations éthiques). Elle souligne que *« L'éducation à l'information est avant tout un enjeu cognitif de taille en ce qu'elle conduit à affronter un environnement informationnel qui est en constante évolution »*.

L'étude quantitative « [AI and Cognitive Load: How Reliance on AI Tools \(Chatgpt, Etc.\) Affects Critical Thinking](#) » de 2025 dirigée par Asma Ejaz (Stanley International College Perth Australia) conjointement avec des chercheurs du Mexique et de Russie, a mis en évidence une **corrélation négative significative entre l'utilisation fréquente de l'IA et les compétences en pensée critique**. Ils définissent la « **pensée critique** » comme « **la capacité d'analyser, évaluer et synthétiser de manière critique des informations et des arguments** ». Un questionnaire a été élaboré pour mesurer trois enjeux : la fréquence d'utilisation de l'IA, la charge cognitive perçue et les capacités de pensée critique auto-déclarées par l'interrogé. Les données ont été mesurées à travers 8 items évaluant la fréquence d'utilisation et les types d'outils d'IA. La pensée critique a été évaluée à l'aide de 7 items reflétant la capacité auto-déclarée à analyser, évaluer et synthétiser l'information, ainsi que la capacité à appliquer la logique et le raisonnement dans des situations complexes de résolution de problèmes. Ils concluent que : *« La facilité d'accès à l'information via l'IA peut amener les étudiants à accepter les informations générées sans les examiner de manière critique, ce qui compromet leur capacité à évaluer, juger ou remettre en question des arguments. Or, la pensée critique implique des processus cognitifs profonds, réflexifs et indépendants, qui peuvent facilement être altérés lorsque les étudiants deviennent trop dépendants des aides externes ».*

Les chercheurs soulignent que la **dépendance à l'IA pourrait créer un système de consommation passive de productions générées par l'IA, au lieu d'une pensée active et indépendante.**

Une intégration institutionnelle de l'EMI et de l'éducation à l'IA

La [Charte pour l'éducation à la culture et à la citoyenneté numériques](#) (MEN, novembre 2024) rappelle la nécessité d'une formation explicite aux droits et devoirs numériques, à la protection des données personnelles et à la lutte contre la désinformation. Le [Cadre d'usage de l'IA en éducation](#) (MEN, 2025) recommande de former à l'EMI et aux enjeux éthiques et environnementaux de l'IA dans les séquences pédagogiques intégrant l'IA générative.

Les lignes directrices de la Commission européenne de 2022 sur la [lutte contre la désinformation par l'éducation et la formation](#), ainsi que leur mise à jour de 2026, préconisent de renforcer la place de la littératie numérique dans les curricula, la formation des enseignants et les projets d'établissement. L'UE insiste sur la nécessité de politiques scolaires pour soutenir les enseignants (temps, ressources, formation) et pour intégrer ces enjeux de manière cohérente dans l'ensemble de la vie scolaire.

La [Circulaire de juillet 2025](#) traduit ces orientations en mesures concrètes, via l'intégration évaluée de l'EMI dans les apprentissages. Sur la base du [Cadre de référence des compétences numériques](#) (CRCN), l'apprentissage de ces compétences doit être évalué via la plateforme Pix. La circulaire souligne que dans le cadre de l'EMI « *les équipes éducatives contribuent à la formation des élèves aux droits et aux devoirs liés à l'usage d'Internet et des réseaux sociaux. Elles sensibilisent les élèves à un usage éthique et réfléchi des outils numériques et participent au développement de compétences numériques des élèves, en complément de la mise en œuvre des enseignements dédiés à la technologie et à l'informatique.* »

Le [rapport Renaissance Numérique sur la littératie en IA](#) (octobre 2025) plaide pour une **articulation explicite de la littératie en IA avec l'EMI**, en soulignant que ces deux domaines partagent le même objectif fondamental : former des citoyens capables de naviguer de manière éclairée et autonome dans un environnement informationnel complexe.

[Le rapport de l'IGESR](#) (mai 2025) souligne que **la formation des enseignants doit intégrer ces deux dimensions**, et que **les programmes disciplinaires doivent être révisés pour créer des espaces permettant cette intégration**. Il recommande de formaliser un curriculum de formation à l'IA tout au long de la scolarité, qui offre en s'appuyant sur toutes les disciplines une éducation à la littératie de l'IA pour tous les élèves dans l'ensemble des voies de formation.

5. Evolution de l'évaluation

Une crise des modalités traditionnelles d'évaluation

L'IA générative provoque une crise profonde et structurelle des modalités traditionnelles d'évaluation scolaire.

[L'article publié par 404Media](#) en février 2025 illustre l'ampleur du phénomène, à travers le cas de l'agent IA « Einstein » développé par un entrepreneur tech qui promet de réaliser intégralement les devoirs des élèves. En utilisant cet outil, des lycéens soumettent des travaux entièrement produits par IA, souvent indétectables par les outils anti-plagiat classiques, ce qui pousse les professeurs à repenser radicalement leurs pratiques d'évaluation. Le créateur d'Einstein défend son outil comme une libération du « *fardeau académique* » inutile, arguant que l'école devrait se concentrer sur la créativité humaine plutôt que sur la mémorisation ou la reproduction mécanique de savoirs désormais automatisables.

Le [rapport du Sénat](#) sur l'IA et l'éducation (octobre 2024) estimait que **90 % des élèves de seconde avaient déjà utilisé l'IA générative pour leurs devoirs**.

Le [Baromètre de la Commission européenne sur les Besoins futurs en matière d'éducation numérique](#) (mai 2025) confirme que **66 % des élèves européens déclarent utiliser des outils d'IA au moins une fois par semaine pour leurs travaux scolaires, mais seulement 28 % estiment avoir reçu une formation à leur usage critique**. Ces données montrent que l'usage de l'IA par les élèves pour leurs évaluations est déjà massivement installé, indépendamment des interdictions formelles, et que **l'enjeu n'est plus d'empêcher cet usage mais de le transformer en opportunité d'apprentissage**.

L'étude du MIT « [Your Brain on ChatGPT](#) » (juin 2025) apporte une dimension neuro-scientifique à ce constat. Le fait que les participants du groupe ayant utilisé des LLM aient eu du mal à citer correctement leur propre essai peu après l'avoir écrit, et que leur sentiment d'appropriation de leur travail ait été le plus faible, illustre concrètement ce que signifie apprendre ou ne pas apprendre avec un outil d'IA. **Une évaluation qui peut être contournée par l'IA n'évalue pas vraiment ce que les**

élèves savent et savent faire : elle évalue leur capacité à utiliser efficacement un outil, ce qui est certes une compétence, mais pas celle que l'enseignant cherchait à évaluer.

Un besoin de transformation des pratiques d'évaluation

Face à ce défi, plusieurs orientations se dessinent dans la littérature scientifique, notamment recentrer l'évaluation sur ce qui n'est pas reproductible par l'IA : le processus de pensée, la démarche intellectuelle, la capacité d'argumentation et de métacognition, la créativité, la relation au savoir.

Le [rapport de l'OCDE sur l'IA générative en éducation](#) (janvier 2026) recommande de **repenser les évaluations pour qu'elles mesurent le processus d'apprentissage plutôt que simplement les résultats finaux** :

Il est urgent de réorienter les pratiques d'évaluation vers des approches axées sur les processus qui évaluent non seulement ce que les élèves produisent, mais aussi la manière dont ils s'investissent dans l'apprentissage pour créer ces résultats. Les évaluations devraient viser à saisir les processus que les élèves utilisent pour planifier, suivre et adapter leur travail, révélant ainsi l'authenticité et la profondeur de leur apprentissage dans des environnements où les IA génératives sont omniprésentes.

L'UNESCO dans son rapport [« AI and the future of education »](#) (septembre 2025) va dans le même sens en préconisant de *« privilégier le suivi du processus d'apprentissage plutôt que le produit final »*. Le rapport de Taddei et Pascal [« Intelligence artificielle et enseignement supérieur : formation, structuration et appropriation par la société »](#) (juin 2025) formule la même orientation pour les niveaux supérieurs, en **valorisant les capacités qui ne sont pas réductibles à l'automatisation : créativité, pensée critique, collaboration, éthique.**

Le [rapport CSEN](#) (2021) sur l'esprit critique recommande **d'évaluer les démarches autant que les résultats**, avec des modalités d'évaluation formative qui accompagnent l'élève dans son cheminement plutôt que de sanctionner uniquement le rendu final.

Le rapport de Réseau Canopé [« Les IA génératives en éducation, État des lieux, cadre, éthique, droit et responsabilité »](#) (mars 2026) propose plusieurs idées pour repenser l'évaluation : (i) mettre en place des **évaluations orales et en classe**, afin *« d'observer directement le processus de réflexion de l'élève et sa capacité à mobiliser ses connaissances en temps réel »* ; (ii) **demander aux élèves d'expliquer et justifier l'ensemble de leur démarche** permettant de comprendre leur raisonnement ; (iii) **inclure plusieurs étapes intermédiaires** dans le processus d'évaluation permettant de suivre l'évolution de l'apprentissage et du travail ; et (iv) **autoriser de manière explicite l'utilisation de l'IA dans certains contextes** : *« en demandant aux élèves de documenter et d'analyser leur utilisation de ces outils, on les invite à développer un regard critique sur les productions générées et à s'interroger sur leurs propres apports. Cette transparence transforme l'IA en objet d'étude plutôt qu'en moyen de contournement »*.

Pour François Morel, référent humanités numériques de Réseau Canopé, *« l'enjeu est de mobiliser les sciences cognitives, et que les professeurs puissent se les approprier pour adapter leur évaluation. Par exemple, on passe à des examens à l'oral »* (audition du 13 février 2026). Cette approche permet de mieux évaluer les compétences réelles des élèves, en évitant les biais introduits par l'utilisation de l'IA pour réaliser les devoirs.

Alain Pereira, délégué régional académique adjoint au numérique éducatif Île-de-France (DRANE), insiste sur la nécessité de se concentrer sur les étapes intermédiaires de l'apprentissage plutôt que sur la production finale : **« Il faut se concentrer en classe désormais sur la prise en compte des étapes intermédiaires de l'apprentissage et non plus la production ultime. Toutes les compétences complexes que l'IA ne développera jamais : comme l'esprit critique, le développement de la collaboration, le travail conjoint »** (audition du 3 mars 2026). Cette réflexion invite à recentrer l'évaluation sur les processus plutôt que sur les résultats, en mettant l'accent sur des compétences humaines irréductibles à l'automatisation.

Selon Colin de la Higuera, chercheur à l'université de Nantes : *« La question de la tricherie est en train de susciter des débats dans les lycées qui peuvent nous interpeller sur nos propres méthodes d'évaluation. Le dialogue sur ce sujet est absolument nécessaire et manque beaucoup : entre enseignants, entre enseignants et élèves, etc. »* (audition du 27 mars 2026).

L'enseignante-chercheuse à l'université de Lorraine Anne Cordier rappelle qu'*« évaluer, c'est d'abord se poser la question de ce qu'on apprend et pourquoi on l'apprend, et comment on l'apprend »* (audition du 26 mars 2026).

L'IA comme outil d'évaluation

L'évaluation est aussi un domaine où l'IA peut apporter des bénéfices réels aux enseignants, à condition d'en encadrer soigneusement l'usage.

[Le rapport de l'IGESR](#) (mai 2025) note que **les usages de l'IA pour l'évaluation par les enseignants restent très limités en France**, mais identifie des expériences prometteuses dans certaines académies. Il recommande **d'organiser l'identification et la mise à disposition d'usages pertinents de l'IA pour chaque discipline**, grâce à une analyse systématique des différentes expérimentations disciplinaires et une mutualisation interacadémique des usages à promouvoir. L'enjeu est d'éviter que les avantages de l'IA pour l'évaluation profitent uniquement aux enseignants déjà les plus avancés, et de **créer les conditions d'une diffusion équitable des bonnes pratiques**.

Selon [le rapport de la Brookings Institution](#), **l'IA a le potentiel d'effectuer des évaluations plus précises**, via l'automatisation (construction d'examens, correction automatique, génération de tests) et l'efficacité : elle permet des formes nouvelles d'évaluations, basées sur le processus, multimodales, qui analysent le travail des élèves à mesure qu'ils progressent dans des tâches, permettant le suivi d'un éventail plus large de compétences que les approches traditionnelles.

Mais la *Brookings Institution* présente plusieurs risques sur cet aspect : **la confiance entre les élèves et les enseignants vient se dégrader mutuellement**. Les enseignants doutent de plus en plus que les étudiants produisent un travail authentique d'un côté, tandis que les étudiants pensent la même chose de leurs enseignants. Par ailleurs, **l'IA compromet également la capacité des enseignants à évaluer efficacement les connaissances, les compétences et les capacités des étudiants**, éléments pourtant essentiels pour la progression et le développement éducatif. **Elle affaiblit leur capacité à identifier les difficultés d'apprentissage, à vérifier que les étudiants ont acquis les compétences**

fondamentales nécessaires pour progresser et à concevoir un enseignement pertinent et adapté **car ils ne savent plus réellement ce que les étudiants maîtrisent.**

Cependant [le rapport de Réseau Canopé](#) rappelle que **recourir à des logiciels de détection de contenus générés par l'IA est très risqué**, comme l'indique le cadre d'usage national « *en raison de leur manque de fiabilité, l'utilisation des logiciels de détection de contenus générés par l'IA n'est pas recommandée, car elle pourrait pénaliser à tort un élève* ».

Enfin, les études soulignent un aspect parfois négligé : **si l'IA peut certes permettre de fournir un retour personnalisé et efficace, les élèves ont tendance à préférer un retour humain.** Selon l'étude « [Student reactions to AI versus human feedback in teamwork skills assessment](#) » parue en octobre 2025, **68 % des élèves trouvent qu'un retour direct de l'enseignant est « plus motivant », 62 % trouvent cela « plus encourageant »,** et 55 % des élèves perçoivent les retours par IA comme « *trop mécaniques ou impersonnels* ».

Les chercheurs font le constat d'un paradoxe cognitif et affectif : l'IA dispose certes d'une haute performance technique, mais provoque un désinvestissement à long terme des élèves de part une trop faible mobilisation émotionnelle et métacognitive.

Partie 3 : Grands enjeux de l'IA hors de la classe

1. Enjeux pour les professeurs et équipes pédagogiques (formation, usages, pratiques pédagogiques)

État des lieux alarmant sur les usages et la formation des enseignants

Les données disponibles sur l'usage de l'IA par les enseignants français sont unanimes : il est très faible, très en deçà des moyennes internationales, et limité par un manque de formation massif. Comme mentionné précédemment, [l'enquête TALIS 2024](#) constitue le panorama le plus récent et le plus complet sur ce sujet. **En France, seuls 14 % des enseignants déclarent avoir utilisé l'IA dans leur travail, contre 36 % en moyenne dans l'OCDE.** Cette donnée place la France parmi les pays les moins avancés dans ce domaine, et le fossé avec la moyenne internationale tend à se creuser.

Si l'IA générative est souvent citée comme un outil permettant aux enseignants de gagner du temps, par exemple dans la préparation des cours ou les tâches administratifs, les données objectives pour étayer cette affirmation manquent.

La principale raison de cette faible adoption est sans ambiguïté le manque de compétences : **79 % des enseignants français déclarent ne pas avoir les connaissances nécessaires pour intégrer l'IA dans leur enseignement** (contre 75 % en moyenne dans l'OCDE). De plus, **50 % estiment que leur établissement ne dispose pas de l'infrastructure technique adéquate**, un taux supérieur à la moyenne

OCDE de 37 %. Enfin, le fait que **seulement 9 % des enseignants français déclarent que l'utilisation de l'IA a fait partie de leur formation professionnelle** au cours de l'année écoulée, contre 38 % en moyenne dans l'OCDE, illustre l'ampleur du retard à rattraper en matière de formation continue.

Des freins structurels à l'adoption et à la formation

[Le rapport de l'IGESR](#) (mai 2025) analyse les raisons de cette faible adoption. Malgré les annonces et les dispositifs officiels, **les usages de l'IA par les professionnels de l'éducation restent très limités et dépendent fortement de l'engagement individuel**. La dispersion des ressources disponibles et interlocuteurs crée un **sentiment de confusion et d'illisibilité pour les enseignants, qui ne savent pas toujours vers quels outils se tourner ni comment se former**.

Selon le [Baromètre 2025 de la Commission européenne sur les Besoins futurs en matière d'éducation au numérique](#), **88 % des français interrogés estiment que les compétences numériques devraient être enseignées dans les écoles et 77 % considèrent que tous les enseignants devraient avoir les compétences pour utiliser et comprendre l'IA, y compris l'IA générative**. Il existe une volonté d'apprendre, mais les dispositifs actuels sont insuffisants pour y répondre. Les obstacles bien connus, manque de temps (71 % des enseignants), conflits avec les emplois du temps professionnels (59 %), offre de formation non pertinente (56 %) continuent de s'interposer entre les besoins des enseignants et leur formation effective.

Les recommandations pour une formation adaptée

Face à ce constat, la littérature formule des recommandations convergentes sur la nécessité d'une formation massive, coordonnée et approfondie des enseignants à l'IA.

Le directeur de recherche au CNRS et directeur du département d'économie à l'ENS-PSL Marc Gurgand, explique : « *Il n'y a aucune raison de penser que les professeurs soient du jour au lendemain en capacité d'enseigner l'IA aux élèves* » (audition du 17 avril 2026).

Le [rapport de l'IGESR](#) (mai 2025) formule notamment les deux recommandations suivantes, parmi les 10 proposées dans son rapport : (i) « **Déployer une formation massive et coordonnée à destination des cadres en académie et des enseignants** : pour les enseignants, la première étape de cette formation doit se dérouler en présentiel dans les établissements scolaires et porter sur la prise en main d'outils d'IA générative » ; et (ii) « **Formaliser un curriculum de formation à l'IA tout au long de la scolarité** qui offre, en s'appuyant sur toutes les disciplines, une éducation à la littératie de l'IA pour tous les élèves dans l'ensemble des voies de formation, mais aussi une formation au fonctionnement de l'IA pouvant déboucher sur une spécialisation dans ce domaine ».

Le [rapport Taddei-Pascal sur l'IA et l'enseignement supérieur](#) (juin 2025), bien que centré sur le supérieur, formule des **axes de mutualisation entre l'enseignement scolaire et supérieur**, notamment pour la formation des enseignants et la recherche pédagogique. Il insiste sur **l'importance d'une gouvernance nationale et européenne coordonnée**, évitant la dispersion et les doublons, et plaide

pour une **intégration disciplinaire et éthique de l'IA dans les programmes**, allant au-delà d'un simple enseignement technique. Cette articulation entre les niveaux du système éducatif est particulièrement importante pour la formation des futurs enseignants : si les universités et les INSPÉ n'intègrent pas l'IA dans leurs cursus de formation des maîtres, la transformation ne pourra se faire que par la formation continue, dans des conditions nécessairement plus fragmentées et moins efficaces.

[Le Manuel ouvert « IA pour les enseignants »](#) (Colin de la Higuera et Jotsna Iyer, UNESCO/Nantes université/RELIA, janvier 2024), développé dans le cadre du projet européen AI4T (réunissant des enseignants, chercheurs et ministères de l'éducation de cinq pays : France, Irlande, Italie, Luxembourg, Slovénie), constitue un exemple concret de ressource de formation conçue pour les enseignants peu familiers avec l'IA.

Il s'inscrit dans une **approche d'éducation ouverte (tous les contenus sont sous licence Creative Commons, téléchargeables et adaptables)** et s'appuie sur des applications pédagogiques concrètes. Ce type de ressources partagées et libres constitue une voie prometteuse pour démocratiser l'accès à la formation à l'IA pour les enseignants.

Les [Lignes directrices éthiques sur l'utilisation de l'IA et des données dans l'enseignement et l'apprentissage à l'attention des éducateurs](#) (Commission européenne, janvier 2026) complètent ce dispositif en proposant des outils concrets pour une pratique responsable. Elles identifient **six principes éthiques directeurs pour l'usage de l'IA par les éducateurs : concentration sur l'humain, transparence, diversité et inclusion, bien-être, responsabilité et durabilité**.

Des **fiches pratiques** décrivent leurs implications concrètes : comment garantir la transparence vis-à-vis des élèves quand on utilise l'IA, comment évaluer les risques d'un outil d'IA avant de le déployer en classe, comment protéger les données des élèves. Elles insistent sur la **nécessité d'une formation continue des enseignants à l'éthique de l'IA**, recommandant que cette formation soit intégrée dans les plans de développement professionnel des établissements.

Selon Colin de la Higuera, enseignant-chercheur à l'université de Nantes, « *la priorité est la formation des enseignants. Nous devons trouver le moyen de convaincre nos élus qu'un enseignant en 2026 doit être formé. Je suis l'apôtre de la formation ouverte : il y a beaucoup de formations possibles, qui n'est pas top-down mais par transfert, entre pairs, etc.* » (audition du 27 mars 2026).

Une nouvelle construction du métier d'enseignant

L'intégration de l'IA dans l'éducation ne requiert pas seulement des compétences techniques supplémentaires : elle invite à repenser la profession enseignante dans sa globalité.

L'[Inserm](#) (janvier 2026) souligne que **l'IA ne remplacera jamais l'expertise de l'enseignant, son esprit critique ni sa compréhension de l'élève**. L'IA peut prendre en charge des **tâches répétitives ou analytiques**, mais elle ne peut pas remplacer la relation pédagogique, l'empathie, la capacité à sentir le moment d'intervention, à motiver un élève découragé, à détecter une incompréhension sous-jacente. Ces dimensions irréductibles de la profession enseignante sont précisément celles qui méritent d'être valorisées et renforcées dans une école qui intègre l'IA.

[Le rapport de la Brookings Institution](#) (janvier 2026) formule également cet enjeu à travers son **deuxième pilier « Prepare »** : il met l'accent sur le développement des connaissances, des compétences et des cadres organisationnels nécessaires pour que les élèves, enseignants, familles et systèmes éducatifs puissent intégrer l'IA de façon éthique, efficace et respectueuse de l'humain. Le rapport préconise en particulier de :

- **Développer une littératie globale en IA** chez les élèves, les enseignants, les parents et les responsables et décideurs de l'éducation ;
- **Former les enseignants à intégrer l'IA** comme outil et comme objet d'enseignement ;
- **Définir un cadre clair d'utilisation éthique de l'IA**, plaçant l'humain et son « *pouvoir d'agir* » au cœur des pratiques ;
- **Mobiliser des mécanismes de financement innovants** afin de réduire les inégalités d'accès et d'usage de l'IA.

Cette intégration suppose une **transformation profonde des représentations que les enseignants ont de leur propre rôle** : non plus comme les uniques détenteurs et transmetteurs du savoir, mais comme des accompagnateurs, des médiateurs et évaluateurs de la relation entre les élèves et les sources multiples d'information et de compétences.

Dans [son rapport de 2024](#), le Sénat plaide pour « *une vision stratégique d'ensemble, un cadre d'usage national, une formation des enseignants à grande échelle et une souveraineté numérique renforcée* ». Il identifie **l'absence de doctrine claire et partagée comme un obstacle majeur à la confiance et à l'adoption raisonnée**. Ce « *climat de confiance* » manquant ne sera construit que si les enseignants se sentent accompagnés, formés et reconnus dans leurs efforts d'adaptation.

Les [conclusions du Conseil de l'Union européenne sur les enseignants à l'ère de l'intelligence artificielle](#) adoptées en 11 mai 2026, affirme que **les outils d'IA doivent soutenir (et non remplacer) les enseignants** et que le jugement professionnel, l'autonomie pédagogique et la responsabilité demeurent essentiels pour une éducation de qualité, inclusive et centrée sur l'humain.

[L'IGESR](#) (2025) recommande, pour coordonner ces efforts, de « **confier au Conseil national de l'IA l'élaboration d'un discours national clair quant à la place du numérique et de l'IA dans l'enseignement dispensé à tous les élèves** », et d'« *installer une gouvernance de l'IA au cœur des prérogatives du conseil d'administration des établissements* ».

Rachel Arthur, représentante de la Raspberry Pi Foundation indique qu'« *il faut donner aux enseignants les moyens, dans leur classe, d'adapter le contenu aux besoins des apprenants dans leur contexte. Et nous sommes convaincus qu'ils en sont capables* » (audition du 10 avril 2026).

Pour Anne Cordier, enseignante-chercheuse à l'université de Lorraine, « *c'est aux enseignants de déterminer la place que l'on veut donner à ces outils en fonction des tâches visées, du niveau des élèves, de leurs besoins, et de l'ensemble du projet pédagogique dans lequel cela s'inscrit* » (audition du 20 mars 2026). Cette **autonomie pédagogique est essentielle** pour garantir une intégration pertinente et contextualisée de l'IA, évitant ainsi une standardisation contre-productive.

Selon Stéphane Mallat, enseignant-chercheur au Collège de France, « *il faut permettre aux enseignants d'expérimenter et leur donner des moyens pour le faire. Il y a plein de gens qui ont plein*

d'opinions. Aujourd'hui, ce n'est pas si évident, il y a le cadre de l'Éducation nationale, mais qui ne rentre pas dans les détails » (audition du 3 avril 2026).

2. Travail à la maison

L'irruption massive de l'IA dans l'apprentissage à la maison

Le travail à la maison constitue un espace charnière entre l'école et le monde extérieur, entre la pédagogie institutionnelle et les pratiques autonomes des élèves. L'asymétrie est à relever : les élèves utilisent massivement l'IA pour leurs devoirs, tandis que la plupart des enseignants en ignorent l'ampleur ou se sentent démunis pour y répondre. Selon le représentant du syndicat enseignant SNES-FSU Christophe Cailleaux, **« on en arrive à des situations absurdes où des élèves demandent à une IA de faire un travail qui est corrigé par une IA »** (audition du 24 avril 2026).

[L'article de 404Media \(février 2025\)](#) illustre la radicalité de cette transformation. Des lycéens soumettent des travaux entièrement produits par l'IA, *« souvent indétectables par les outils anti-plagiat classiques »*. Des enseignants témoignent de leur désorientation face à des productions d'une apparente perfection formelle, mais vides de traces de pensée personnelle. Certains professeurs ont commencé à réorienter leurs pratiques vers des évaluations où la présence physique, l'oral et le processus sont incontournables ; d'autres ont renoncé à certains types de devoirs à domicile. Cette polarisation des réponses enseignantes reflète l'absence de doctrine commune et la nécessité urgente d'un cadre partagé.

En France, la [Baromètre du numérique 2026](#) montre que les devoirs et la recherche d'information font partie des principaux usages par les jeunes des outils d'IA générative : 68 % des 12-17 ans et 73 % des 18-24 ans l'utilisent pour l'aide aux devoirs et apprentissages.

Des inégalités d'accès et une fracture numérique

La question des devoirs est indissociable de celle des inégalités d'accès. Le [rapport d'Internet Sans Crainte](#) (janvier 2023) dresse un panorama des pratiques numériques au sein des familles françaises qui illustre ces disparités. **Cette fracture numérique de premier niveau constitue un préalable à toute politique d'intégration de l'IA dans le travail scolaire à domicile** : sans accès équitable aux outils, les inégalités ne pourront que se creuser.

Dans son [rapport](#), le Sénat souligne les risques éthiques liés à la protection des données des élèves dans le cadre des usages domestiques de l'IA. **Les élèves qui utilisent des outils d'IA générative pour leurs devoirs transmettent à des entreprises privées des données sur leurs apprentissages, leurs lacunes, leurs centres d'intérêt.** Ces données, agrégées à grande échelle, constituent un actif commercial considérable dont les élèves et leurs familles n'ont généralement pas conscience. **Ce**

risque de privatisation des données éducatives, hors de tout contrôle institutionnel, constitue un enjeu de souveraineté numérique majeur.

En outre, l'école doit jouer un rôle essentiel pour éviter une deuxième fracture selon Deborah Elalouf, fondatrice de Tralalere et Internet Sans Crainte, qui souligne l'urgence d'agir : « *À mesure que les jeunes grandissent, il est impératif de ne pas créer une deuxième fracture, avec des jeunes qui reposeraient sur leur accompagnement à la maison, qui est évidemment très inégal. Refuser que l'école joue ce rôle-là, c'est laisser cours à une inégalité sociale flagrante* » (audition du 15 avril 2026).

L'évolution du modèle des devoirs à la maison

La réponse aux défis des devoirs à la maison à l'heure de l'IA ne peut pas se limiter à l'interdiction ou à la surveillance. Elle doit passer par une restructuration de la conception même du travail personnel : que veut-on que les élèves apprennent en travaillant à la maison ? Quelles compétences le devoir à la maison est-il censé développer ? Comment adapter les formats des devoirs pour maintenir leur utilité pédagogique dans un contexte où l'IA peut produire en quelques secondes ce qui prenait des heures ?

[Le rapport de la Brookings Institution](#) formule une recommandation similaire à travers son pilier « **Protect** » : concevoir et mettre en œuvre des mécanismes de protection liés à l'IA permettant de garantir la protection de la vie privée des élèves, leur sécurité, leur bien-être émotionnel et leur développement cognitif et social dans le contexte de l'usage de l'IA hors de la classe. **Ces mécanismes doivent être pensés à l'échelle des établissements, des familles et des systèmes éducatifs, et non uniquement à l'échelle de l'individu.** La *Brookings Institution* recommande notamment d'accompagner les familles afin de les aider à encadrer l'usage de l'IA par les enfants à la maison.

[Le rapport de l'IGESR](#) recommande d'associer les familles à la réflexion sur ces enjeux, à travers des dispositifs d'information et de sensibilisation.

[La Circulaire de juillet 2025](#) prévoit un « *accompagnement des familles : à travers la sensibilisation et la collaboration, et davantage de dialogue école-familles* ». Cette orientation est juste, mais elle doit être traduite en dispositifs concrets : séances d'information, ressources pédagogiques partagées avec les familles, espaces de dialogue réguliers entre enseignants et parents sur les usages numériques à la maison.

3. Place des EdTech et collaboration entre acteurs publics et privés

Un marché en expansion

Le secteur des EdTech connaît une croissance notable depuis l'émergence de l'IA. En France comme à l'international, de nombreuses entreprises proposent des outils destinés aux enseignants, aux élèves ou aux établissements : plateformes de cours adaptatives, assistants pédagogiques, outils de correction automatique, systèmes de suivi des apprentissages. Cette offre croissante crée des opportunités réelles, mais aussi des risques importants en termes de gouvernance, de souveraineté des données et d'indépendance pédagogique.

Selon l'étude publiée par EY en 2021, [La filière EdTech française l'année du milliard](#), la filière EdTech en France représente **1,3 milliards d'euros de chiffre d'affaires en 2021, comptant près de 10 000 employés et 500 entreprises**. L'étude fait le constat d'une hausse annuelle du nombre de créations d'EdTech chaque année en France. Avec un pic en 2020 lié au Covid-19, 54 % des EdTech auraient été créées ces cinq dernières années.

Le rapport [« Le passage à l'échelle des entreprises EdTech 2024-2025 »](#) (ANRT, janvier 2025) présente un aperçu de l'écosystème EdTech français, indiquant 540 entreprises actives, un chiffre d'affaires global d'1,6 milliards d'euros (+12 % comparé à 2022). Selon l'ANRT, **parmi ces EdTech, 85 % sont dédiées à la formation continue, 12 % à l'enseignement primaire/secondaire et enfin 3 % au supérieur**.

Le rapport met en avant différentes difficultés auxquelles la filière EdTech fait face au sein de l'éducation, étant des difficultés culturelles : avec des **controverses autour de la raison marchande et économique des entreprises EdTech, et des controverses sur la valeur pédagogique des nouvelles technologies**.

Face aux risques métacognitifs sur les élèves de l'utilisation de l'IA générative, les **travaux de recherche du rapport « Artificial intelligence, cognitive offloading and implications for education »** indiquent l'importance de développer des solutions technologiques où l'outil est conçu comme un miroir cognitif, partenaire socratique et partenaire de vérification. **Sur l'IA comme « miroir cognitif »,** des outils volontairement « novices avec un déficit pédagogique », où l'IA vient prétendre la confusion et poser des questions force l'élève à faire un travail d'explication et de réflexion. **Sur l'IA comme « partenaire socratique »,** les outils développés pourraient créer des difficultés dites « désirables » : au lieu de contourner l'effort, l'IA serait utilisée comme partenaire cognitif pour générer des questions, des études de cas et dialogues socratiques, obligeant un effort et permettant un apprentissage durable. **Sur l'IA comme « partenaire de vérification »,** ils mentionnent un modèle d'équilibre intelligent où l'humain maintient l'activité cognitive principale en évaluant continuellement les éléments générés par l'outil basé sur l'IA.

[Le rapport de l'Institut Montaigne](#) (2016), bien qu'antérieur à l'émergence des IA génératives, avait déjà identifié la **nécessité d'une meilleure collaboration entre acteurs publics et entreprises, tout en soulignant les risques de dépendance aux acteurs privés, notamment américains**. Dix ans plus tard, ces enjeux sont devenus encore plus importants.

Le [rapport de l'OCDE sur l'équité et l'inclusion](#) (août 2024) met en garde contre la « **privatisation croissante des données éducatives au profit des EdTech dominantes** ». Cette tendance pose des questions fondamentales sur la souveraineté des institutions éducatives, la protection des élèves et le rôle de l'État dans la définition des orientations pédagogiques. Le rapport préconise des politiques

publiques favorisant les communs *open source* contre la dépendance commerciale et appelle à des audits obligatoires des biais algorithmiques dans les outils déployés dans les établissements scolaires.

Les conditions d'une collaboration public-privé équilibrée

Selon Laurent Jolie, cofondateur de Lalilo, CEO d'Edinnov et éditeur d'Expliq, « *il n'y a pas de marché structuré de l'EdTech en France. Il est extrêmement centralisé et on a une dissonance énorme entre les besoins de nos clients et les besoins des enseignants sur le terrain : on a des questions et des remarques sur le produit qui sont à l'opposé de ce que les enseignants nous demandent* » et ajoute : « **C'est le terrain qu'il faut écouter, les enseignants en premier lieu, mais un terrain éclairé par la science et la recherche en éducation** » (audition du 17 avril 2026). **Cette fragmentation et ce manque de coordination entre les acteurs publics, les collectivités et les acteurs privés freinent le développement d'un écosystème cohérent.** La fondatrice de Tralalere et d'Internet Sans Crainte, Deborah Elalouf indique : « *Nous avons des solutions qui sont opérationnelles, prêtes à déployer, et notre enjeu est le passage à l'échelle* » (audition du 15 avril 2026). Ce constat est partagé par l'AFINEF qui précise que « *de nombreux programmes se sont succédé depuis le milieu des années 2000, mais sans continuité suffisante pour permettre l'émergence d'une filière pérenne* » (contribution écrite du 18 juin 2026).

Elle peut être bénéfique si elle est encadrée par des principes clairs de gouvernance, de transparence et d'alignement avec les finalités éducatives. L'exemple de Lalilo, cité dans [le rapport de la DNE](#) (janvier 2024), illustre ce que peut être une EdTech responsable : co-construite avec les enseignants, centrée sur des objectifs pédagogiques précis, en amélioration continue grâce aux retours des praticiens.

[Le rapport de l'IGESR](#) recommande de « **mettre en place une stratégie de déploiement de solutions durables**, analysées sur la durée tant du point de vue économique que pédagogique », et de « **pérenniser, par une coopération entre État et collectivités territoriales, la prise en charge financière d'outils numériques et d'outils à base d'IA en tant que matériel pédagogique indispensable au même titre que les manuels scolaires** ». Cette dernière formulation est particulièrement significative : elle assimile les outils numériques et d'IA à du matériel pédagogique essentiel, dont le financement doit être garanti par la puissance publique, au même titre que les livres.

La question de la souveraineté et de la performance des outils numériques éducatifs

La souveraineté numérique dans le domaine éducatif est un enjeu qui dépasse la seule question des données. Elle concerne la capacité de la France et de l'Europe à définir leurs propres orientations pédagogiques, à former leurs propres experts, à développer leurs propres outils et à garantir que les technologies déployées dans les écoles respectent les valeurs et les droits fondamentaux. Par ailleurs, ces outils présentant des risques non négligeables détaillés précédemment, la question de leur évaluation préalable avant déploiement doit être posée.

La souveraineté et la sécurité des données sont des impératifs non négligeables selon le délégué régional académique adjoint au numérique éducatif (DRANE) Île-de-France Alain Pereira, qui souligne l'importance d'un cadre sécurisé pour les outils d'IA : « *Nous avons des outils, nous avons un cadre d'usage, mais qui doit être explicité énormément. [...] Il faudrait pouvoir définir des règles communes sur la sécurité et la question des données. [...] Si nous avons dans nos ENT des IA génératives de type agent conversationnel équivalent à des Perplexity, Claude, Gemini, etc., mais intégrés dans un cadre sécurisé, on ne se poserait plus la question des données personnelles* » (audition du 3 mars 2026).

Cette nécessité est **reconnue et partagée par le ministère de l'Éducation nationale**. Audran Le Baron, Directeur du numérique pour l'éducation, affirme que « *la priorité est de se doter d'outils souverains. C'est un besoin du ministère de pouvoir doter les enseignants de cela* » (audition du 10 février 2026).

Toutefois, disposer d'outils fournis par des entreprises privées ne doit pas se faire au détriment de la qualité des services. En ce sens, l'évaluation des EdTech est fondamental, mais coûteux. La déléguée générale d'EdTech France Orianne Ledroit souligne que « **le ministère n'est pas capable de sortir de l'argent pour financer des études. Les laboratoires ne veulent pas y aller seuls parce que cela coûte cher et les entreprises ne sont pas assez solides financièrement pour le faire. Donc les entreprises le font et il faut les soutenir** ». (Audition du 8 juin 2026)

L'enseignant-chercheur et neuroscientifique Jared Cooney Horvath, lors de son [intervention écrite adressée au Sénat américain en janvier 2026](#), alerte sur les risques face à l'essor des EdTech et met en avant une **absence de preuves d'efficacité**, une **corrélation négative entre l'utilisation de ces outils et performance des élèves**, ainsi que des **impacts négatifs sur le développement cognitif** : sur l'attention, la persévérance face à la difficulté, et la dépendance au retour immédiat. Il recommande au Sénat de **mettre en place des standards d'efficacité indépendants, des études obligatoires avant un déploiement, de créer un observatoire fédéral des « preuves d'EdTech »**.

L'enseignant-chercheur à l'université de Nantes Colin de la Higuera précise aussi l'importance de tester les outils. L'éducation ne peut se permettre de prendre des risques avec des outils non éprouvés, surtout lorsqu'il s'agit du développement cognitif et intellectuel des élèves : « *On ne pourrait pas imaginer des médicaments délivrés sur la base d'idées et de simples constats. Il faut prouver si ça marche effectivement ou pas et ce même si ça coûte de l'argent. On est sur des enfants et des adolescents, nous n'avons pas le droit d'expérimenter et de laisser-faire* » (audition du 27 mars 2026).

Olivia Roth-Delgado et Olivier Merckel de l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) abondent également en ce sens : « *Dès qu'une technologie nouvelle se déploie et impacte les usages et comportements, il faut systématiquement accompagner ce changement de dispositifs d'évaluation le plus tôt possible. Faute de quoi, un écart durable se creuse entre la réalité des usages et la capacité scientifique à en évaluer les conséquences* » (audition du 24 avril 2026).

Ce constat est partagé par Stanislas Dehaene, chercheur au Collège de France : « *Il faut absolument créer un écosystème dans lequel il faut créer des RCTs (Randomized Controlled Trials) pour évaluer les effets réels de ces outils sur l'apprentissage. On ne sait pas si on fait du bien aux enfants. Avec l'IA, il est tout à fait possible qu'on leur fasse du mal* » (audition du 18 mars 2026).

Le [Conseil de l'Europe, à travers son Comité d'experts sur l'IA et l'éducation \(EDU-IA\)](#), travaille à **l'élaboration d'un cadre de gouvernance des outils d'IA utilisés dans les établissements scolaires**. Ce cadre vise à garantir le respect des **droits humains** dans le déploiement des outils : droit à la dignité, droit à l'autonomie, droit d'être entendu, droit de ne pas souffrir de discrimination, droit à la confidentialité et à la transparence. Il constitue un complément indispensable aux approches techniques et pédagogiques, en ancrant les politiques d'intégration de l'IA dans le cadre du droit et des valeurs démocratiques.

Il est également impératif de placer les enseignants au cœur du processus, dès la conception jusqu'à l'évaluation des outils. Pour Laurent Jolie, cofondateur de Lalilo, CEO d'Edinnov et éditeur d'Expliq, « *c'est à l'enseignant d'être le juge de l'outil, parce que c'est lui le professionnel de terrain pour qui nous cherchons à créer de la valeur* » (audition du 17 avril 2026). Selon la chercheuse qui a dirigé les travaux de recherche et la rédaction du rapport de la *Brookings Institution* « *A new direction for students in an AI world : Prosper, Prepare, Protect* » Mary Burns : « *On entend fréquemment que ce sont des outils 'faits pour nous, et non pas avec nous'. Il faut une consultation significative dès le début, avec des enseignants et experts de l'apprentissage* » (audition du 20 février 2026).

Pour le directeur de recherche au CNRS Marc Gurgand, « *il faut expérimenter pour voir quand on fait ça, est-ce qu'il y a des bénéfices par rapport à ce que fait l'enseignant ou pas ? Comment ça redéfinit ce que fait l'enseignant ? Est-ce que ce nouvel équilibre est finalement meilleur que le précédent ou pas ? Il faut faire de l'expérimentation sur les outils d'IA pour apprendre ces choses en étant très ouvert à toutes les possibilités* » (audition du 17 avril 2026).

Comme le précise également Mathieu Muselet, responsable du pôle numérique confédéral de la Ligue de l'enseignement, « *Nous avons très peu de retour sur ces outils, on a juste des compteurs qui disent 'tant de gens ont ouvert la page', mais ce n'est pas une donnée qualitative, c'est quantitatif* » (audition du 5 juin 2026).

Les enjeux de gouvernance et de coordination

La question de la gouvernance est transversale à l'ensemble des enjeux identifiés dans cette revue de littérature. Elle concerne tant la coordination entre les différents niveaux institutionnels (national, académique, local), la cohérence entre les différentes politiques sectorielles, la régulation des acteurs privés et la définition d'une vision stratégique.

[Le rapport de l'IGESR](#) formule sur ce point des recommandations précises : « **Améliorer la coordination des acteurs au niveau national et académique, formaliser cette coordination par un conseil de l'IA en éducation** aux deux échelles. Ces conseils de l'IA auront pour mission le suivi du déploiement de la formation, la mise en œuvre du curriculum à destination des élèves ainsi que le recueil de pratiques pédagogiques qui pourront alimenter une publication annuelle ».

Dans [son rapport](#), le [Sénat](#) plaide pour une **vision stratégique d'ensemble**, soulignant que l'absence de doctrine claire et partagée est un obstacle majeur à une adoption raisonnée de l'IA. Cette doctrine doit articuler les **dimensions pédagogiques** (quels usages de l'IA pour quels apprentissages ?), **éthiques** (quelles valeurs guident le déploiement des outils d'IA ?),

organisationnelles (comment former les enseignants, équiper les établissements, associer les familles ?) et **politiques** (comment garantir l'équité d'accès, la souveraineté des données et la conformité aux droits fondamentaux ?).

Grégoire Ensel, vice-président de la FCPE, indique : « ***Il faut des outils souverains, labélisés et autorisés par l'État. On peut tout à fait imaginer avoir des outils qui soient vraiment pensés pour et que l'on utilise en toute confiance et en toute connaissance, et sur lesquels on peut lâcher nos enfants*** » (audition du 30 mars 2026).

Selon Mathieu Muselet, responsable du pôle numérique confédéral de la Ligue de l'enseignement, « *il faut un corpus soutenu pour éviter la concurrence interne, pour éviter la fragilité, pour éviter que se constituent des startups uniquement pour répondre à des appels à projets, mais pas forcément pour répondre à des besoins réels, et pour éviter que l'on se privatise parce qu'on a une baisse des financements publics* » (audition du 5 juin 2026).

Bibliographie

1. Rapports français

- Ministère de l'Éducation nationale. « [Stratégie du numérique pour l'éducation 2023 – 2027 – La vision stratégique d'une politique publique partagée](#) ». 2023.
- Ministère de l'Éducation nationale. « [Charte pour l'éducation à la culture et à la citoyenneté numériques](#) ». 2024.
- Ministère de l'Éducation nationale. « [Cadre d'usage de l'IA en éducation](#) ». 2025.
- Ministère de l'Éducation nationale. « [Circulaire - Promouvoir un numérique raisonné à l'école](#) ». 2025.
- Inspection générale de l'Éducation, du sport et de la recherche (IGESR). « [L'intelligence artificielle dans les établissements scolaires, sur le plan administratif et pédagogique](#) ». 2025.
- Ministère de l'Éducation nationale, Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance (DEPP). « [Rapport d'activité de la DEPP 2024](#) ». 2025.
- Ministère de l'Éducation nationale « [L'intelligence artificielle dans l'éducation - apports de la recherche et enjeux pour les politiques publiques](#) ». 2024.
- Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche. « [Intelligence artificielle et enseignement supérieur : formation, structuration et appropriation par la société](#) ». 2025.
- Sénat. « [Rapport IA et éducation](#) ». 2024.
- Cour des comptes « [L'enseignement primaire, une organisation en décalage avec les besoins de l'élève](#) ». 2025.
- Commission d'experts sur l'impact de l'exposition des jeunes aux écrans. « [Enfants et écrans — à la recherche du temps perdu](#) ». 2024.
- Anses. « [Usages des réseaux sociaux numériques et santé des adolescents](#) ». 2025.
- Conseil scientifique de l'éducation nationale (CSEN). « [Éduquer à l'esprit critique - bases théoriques et indications pratiques pour l'enseignement et la formation](#) ». 2021.
- Institut Montaigne. « [Le numérique pour réussir dès l'école primaire](#) ». 2016.
- Internet sans crainte. « [Internet en 2023 : quelles perceptions et pratiques au sein de la famille ?](#) ». 2023.
- Réseau Canopé. « [Les IA génératives en éducation, État des lieux, cadre, éthique, droit et responsabilité](#) ». 2026. [%3D&actCampaignType=CAMPAIGN_MAIL&actSource=543944](#)
- EY. « [La filière EdTech française l'année du milliard](#) ». 2021.
- ANRT. « [Le passage à l'échelle des entreprises EdTech 2024-2025](#) ». 2025.
- Talent du numérique. « [Étude et comparaison internationale des efforts pour l'éducation au numérique](#) ». 2024.
- Renaissance Numérique « [Déployer une littératie en IA pour une société inclusive et émancipatrice](#) ». 2025.
- Renaissance Numérique. « [Pour une éducation à la pluralité des altérités et des attachements numériques à l'heure de l'intelligence artificielle générative](#) ». 2025.

2. Rapports européens

- Commission européenne. « [Plan d'action en matière d'éducation numérique \(2021-2027\)](#) ». 2021.
- Commission européenne. « [Lignes directrices éthiques sur l'utilisation de l'IA et des données dans l'enseignement et l'apprentissage à l'attention des éducateurs](#) ». 2026.
- Commission européenne. « [Guidelines for teachers and educators on tackling disinformation and promoting digital literacy through education and training](#) ». 2026.
- Commission européenne. « [Baromètre - Besoins futurs en matière d'éducation numérique](#) ». 2025.
- Commission européenne. « [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](#) ». 2022.
- Commission européenne. « [Teachers' competences, teaching with, about, and for AI](#) ». 2023.
- Conseil de l'Europe. « [Première réunion du Comité d'experts sur l'IA et l'éducation](#) ». 2026.
- Conseil de l'Union européenne. « [Conclusions du Conseil sur les enseignants à l'ère de l'intelligence artificielle](#) ». 2026.

3. Rapports internationaux

- OCDE. « [Résultats de TALIS 2024 - Où en est l'enseignement ?](#) ». 2026.
- OCDE. « [Digital Education Outlook 2026 - Exploring effective uses of GenAI in Education](#) ». 2026.
- OCDE. « [The potential impact of AI on equity and inclusion in education](#) ». 2024.
- OCDE. « [Digital Education Outlook 2023: Towards an Effective Digital Education Ecosystem](#) ». 2023.
- OCDE. « [Digital Education Outlook: Pushing the Frontiers with AI, Blockchain and Robots](#) ». 2021.
- OCDE. « [Fostering Students' Creativity and Critical Thinking: What it Means in School](#) ». 2021.
- OCDE. « [Schooling during a Pandemic](#) ». 2021.
- UNESCO. « [AI and the future of education: Disruptions, dilemmas and directions](#) ». 2025.
- UNESCO « [Référentiel de compétences en IA pour les enseignants](#) ». 2025.
- UNESCO « [Référentiel de compétences en IA pour les apprenants](#) ». 2024.
- DE LA HIGUERA, Colin. et IYER, Jotsna. « [IA pour les enseignants : un manuel ouvert](#) ». 2024.
- Brookings Institution. « [A new direction for students in an AI world: Prosper, Prepare, Protect](#) ». 2026.
- Saint-Père Léon XIV. « [Lettre encyclique sur la protection de la personne humaine à l'ère de l'intelligence artificielle](#) ». 2026.

4. Articles de presse et revues scientifiques

- SCHIFF, Daniel. [Education for AI, not AI for Education: The Role of Education and Ethics in National AI Policy Strategies](#), *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2022.
- KOSMYNA, Nataliya et al. « [Your brain on ChatGPT : Accumulation of Cognitive Debt when Using an AI Assistant for Essay Writing Task](#) ». *Cornell University*, 10 juin 2025.
- Inserm. « [Quel est l'impact de l'IA sur l'éducation ?](#) ». 5 janvier 2026.
- GAULT, Matthew. « [What's the point of school when AI can do your homework?](#) ». *404Media*. 25 février 2026. Consulté le 4 avril 2026.
- MAIBERG, Emanuel. « [Students Are Being Treated Like Guinea Pigs: Inside an AI-Powered Private School](#) ». *404Media*. 17 février 2026. Consulté le 5 juin 2026.
- FLUCKIGER, Cédric et ZABBAN Vinciane. [Technologies numériques et apprentissages](#). *Recherches en sciences sociales sur Internet*, 2023.
- COONEY HORVATH, Jared. « [Written Testimony](#) ». 2026.
- CORDIER, Anne. « [Et si on enseignait l'incertitude pour construire une culture de l'information ?](#) ». *Communication et organisation*, 2012.
- JOSE Biny et al. « [The cognitive paradox of AI in education: between enhancement and erosion](#) ». *National Library of Medicine*, 2025.
- KOTLYAR, Igor et KRASMAN, Joe. « [Student reactions to AI versus human feedback in teamwork skills assessment](#) ». *International Journal of Educational technology in Higher Education*, 2025.
- LEE, hao-Ping et al., « [The Impact of Generative AI on Critical Thinking: Self-Reported Reductions in Cognitive Effort and Confidence Effects From a Survey of Knowledge Workers](#) ». *Microsoft*, 2025.
- BRASSAT, Emmanuel. « [Chapitre VII. Situation de l'école primaire en France](#) ». *Le système éducatif*, édité par Martine Boudet et Florence Saint-Luc, Presses universitaires du Midi, 2014.
- DELAHAYE, Jean-Paul. (2025), « [La France et les inégalités sociales à l'école : le pays du grand écart](#) ». *Humanisme*, 2025.
- ODODO, Emmanuel Philip. « [AI in the classroom : perceived challenges to vocational education student retention and critical thinking in tertiary institutions](#) ». *The American Journal*, 2024.
- CORDIER, Anne., CAPELLE, Camille. et LEHMANS, Anne. « [Usages numériques en éducation : l'influence de la perception des risques par les enseignants](#) ». *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, 2018.
- SINGH, Anjali et al. « [Enhancing Critical Thinking in Generative AI Search with Metacognitive Prompts](#) ». *University of Texas at Austin*, 2024.
- LODGE, Jason., LOBLE AM, Leslie. « [Artificial intelligence, cognitive offloading and implications for education](#) ». *Centre for Social Justice and Inclusion*, 2026.
- BASTANI, Hamsa et al. « [Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics](#) ». *Stanford University*, 2025.
- EJAZ, Asma et al. « [AI and Cognitive Load: How Reliance on AI Tools \(Chatgpt, Etc.\) Affects Critical Thinking](#) ». *Research Journal of Psychology*, 2025.
- AKGUN, Mahir., TOKER, Sacip. « [Evaluating the Effect of Pretesting with Conversational AI on Retention of Needed Information](#) ». *Cornell University*, 2024.

- FAN, Yizhou et al. "[Beware of metacognitive laziness: Effects of generative artificial intelligence on learning motivation, processes, and performance](#)". *British Journal of Educational Technology*, 2024.
- FERMAN, Bruno. "[Artificial Intelligence, Teacher Tasks and Individualized Pedagogy](#)". *Center for Open Science*, 2021.
- SEGUI ENTRAYGUES, Adeline. « [Quand les pratiques juvéniles de l'intelligence artificielle renforcent la nécessité de médiation documentaire : quel rôle pour l'EMI ?](#) », *MUSSI*, 2024.
- NAUDET, Cédric. « [L'usage de l'intelligence artificielle générative au lycée : un révélateur des inégalités socio-scolaires ?](#) ». *Distances et médiations des savoirs*, 2025.
- Académie Aix-Marseille. « [Projet LIEN : une immersion linguistique grâce au numérique](#) ». Juin 2025. Consulté le 5 juin 2026.
- HANWEN SHEN, Judy., TAMKIN, Alex. "[How AI Impacts Skill Formation](#)". 2026.
- DOSHI, Anil., HAUSER, Olivier. "[Generative AI enhances individual creativity but reduces the collective diversity of novel content](#)". *Science Advances*, 2024.

Revue de littérature avec IA

Résumé	60
Principaux résultats	60
Cadre neuroscientifique : l'apport de l'IA au prisme des 4 piliers de l'éducation proposés par Stanislas Dehaene	61
Réglementations et politiques publiques	62
Recommandations pour la puissance publique.....	63
Méthodologie	64
Itération avec le modèle de langage	64
Critères d'inclusion.....	64
Structure	64
Limites.....	65
Chapitre 1. État des savoirs sur l'efficacité de l'IA dans l'apprentissage.....	66
1.1 Efficacité de l'IA en salle de classe	66
1.2 L'effet global de la technologie éducative semble se heurter à un plafond de verre. La capacité de l'IA générative à dépasser ce plafond de verre reste à démontrer.	72
1.3 État des lieux sur l'utilisation et l'adoption	76
Chapitre 2. État des savoirs sur l'efficacité de l'IA auprès des enseignants	80
Données issues du récent rapport de l'OCDE (<i>Digital Education Outlook 2026</i>)	80
2.1 Solutions existantes pour les enseignants	81
2.2 Limites et bonnes pratiques de déploiement.....	84
2.3 État des lieux des pratiques enseignantes avec l'IA	86
2.3 Référentiels de compétences IA pour les enseignants	88
Chapitre 3. Rôle des parents face à l'IA éducative.....	92
Données issues du récent rapport de l'OCDE (<i>Digital Education Outlook 2026</i>).....	92
3.1 Étude de Hong Kong (n = 160)	93
3.2 Données internationales sur l'implication parentale	94
3.3 Fracture numérique parentale	94
3.4 Recommandations pour l'implication parentale	94
Chapitre 4. État des savoirs sur les risques sanitaires et cognitifs de l'utilisation de l'IA.....	96
4.1 Le paradoxe cognitif de l'IA (<i>Frontiers in Psychology</i>).....	96
4.2 Le concept de capitulation cognitive (Shaw & Nave, 2026)	96
4.3 Revue systématique : délestage cognitif en éducation	97

4.4 Les frontières d'âge : l'état de l'art en neurosciences	100
4.5 L'étude ABCD : la plus grande étude longitudinale du cerveau adolescent	102
Chapitre 5. Les apports potentiels de l'IA aux pratiques éducatives : l'approche des neurosciences.....	105
5.1 Les quatre piliers de Dehaene et l'IA.....	105
5.2 Répétition espacée : méta-analyse et implications	106
5.3 Entrelacement : méta-analyse et implications	106
5.4 Charge cognitive et charge germane	107
5.5 Apports du rapport How People Learn II (National Academies, 2018).....	109
Chapitre 6. Les EdTech et l'innovation en IA pour l'éducation.....	113
6.1 Cadrage général	113
6.2 La EdTech à l'heure de l'IA : un marché en attente de structuration.....	117
Chapitre 7. Les principes de la Education Endowment Foundation	127
7.1 Le Teaching and Learning Toolkit	127
7.2 Les 9 mécanismes d'efficacité.....	127
7.3 Résultats de 82 évaluations EEF	129
7.4 Principes transversaux	129
7.3 Focus— La doctrine du US Department of Education sur l'IA éducative (2023)	130
Chapitre 8. Le prompting socratique : méthode, preuves et inspiration actuelle	133
8.1 Étude Taiwan (n = 230).....	133
8.2 RCT LearnLM/Eedi (n = 165, UK).....	133
8.3 Framework de Chang (2023)	133
8.4 Le <i>Socratic playground</i> de OpenAI	134
8.5 Khanmigo : le tuteur IA de Khan Academy	137
Chapitre 9. Les textes français et européens qui encadrent l'IA à l'école	139
9.1 Les lignes directrices de la Commission européenne pour les enseignants (2025)	139
9.2 Le cadre d'usage de l'IA en éducation du Ministère de l'Éducation nationale (juin 2025)	141
9.3 Législations sur l'IA en éducation et la gouvernance des données éducatives	142
9.3.2 Student Privacy Compass et audit des contrats.....	143
9.3.3 Bases de données éducatives nationales	144
Chapitre 10. Cinq stratégies nationales comparées	146
10.1 Estonie : l'infrastructure d'abord.....	146
10.2 Corée du Sud : un investissement massif dans l'AIDT mais des frictions dans le déploiement	149

10.3 Finlande : la confiance dans les enseignants. Une formation à large échelle à travers « Elements of AI »	155
10.4 Royaume-Uni : OAK/ AILA et une agence d'évaluation.....	157
10.5 Allemagne : la plateforme Fobbiz.....	161
10.6 États-Unis : entre innovation et fragmentation	165
Chapitre 11. Les évaluations disponibles des expérimentations soutenues dans le cadre du PIA	168
11.1 P2IA — Partenariat d'Innovation et Intelligence Artificielle	168
11.2 TNE — Territoires Numériques Éducatifs	170
11.3 PEPR Enseignement et Numérique.....	172
11.4 Lalilo	173
11.5 EvidenceB / Adaptiv'Math.....	176
11.6 DemoES — Démonstrateurs Numériques dans l'Enseignement Supérieur	178
11.7 PEPR IA — Programme et Équipement Prioritaire de Recherche en Intelligence Artificielle.....	180
11.8 PEPR eENSEMBLE — Futur de la Collaboration Numérique.....	181
Chapitre 12. IA et évaluation des élèves : état des savoirs	183
12.1 La disruption des évaluations classiques par l'IA générative.....	183
12.2 L'évaluation formative augmentée par l'IA : promesses et conditions	184
12.3 La doctrine émergente : du produit fini au processus d'apprentissage	184
12.4 Risques, dérives et conditions de mise en œuvre	185
12.5 Implications stratégiques pour les décideurs	186
Chapitre 13. Inventaire des principales recommandations de politique publique.....	188
13.1 Brookings : « A New Direction for Students in an AI World » (janvier 2026)	188
13.2 Recommandations RAND (2024-2025).....	190
13.3 Recommandations OCDE (2023-2026)	190
13.4 Recommandations Commission européenne.....	191
13.5 Recommandations en France : le rapport de l'Inspection Générale de l'Education Nationale et la stratégie nationale IA.....	192
Conclusion : recommandations opérationnelles.....	195
Formation et développement professionnel	195
Preuves d'efficacité et évaluation.....	195
Garde-fous pédagogiques	195
Protection des données.....	196
Gouvernance et pilotage.....	196

Bibliographie thématique.....	197
État des savoirs sur l'efficacité de l'IA dans l'apprentissage	197
Fondements techniques : Knowledge Tracing, architectures LLM, affect	198
État des savoirs sur l'efficacité de l'IA auprès des enseignants	199
Parents	200
Risques sanitaires et cognitifs	201
Neurosciences de l'apprentissage	201
Les EdTech : mise en perspective historique	202
Mécanismes d'efficacité, prompting socratique	203
Données et législation.....	204
Marché et acteurs	204
Vision des politiques publiques.....	205
Inventaire des principales recommandations.....	206
Efficacité globale de la technologie éducative — méta-analyses	206
Données internationales (PISA, PIRLS) et effets de mode	207
Lecture sur écran versus papier.....	207
Prise de notes — main versus clavier.....	208
Écriture manuscrite et développement cognitif	208
ChatGPT et LLMs en éducation	208
Systèmes tutoriels intelligents.....	209
Développement cérébral et apprentissage.....	209
Synchronie physiologique et relation enseignant-élève	209
IA et modalités d'évaluation des élèves.....	210
Engagement versus apprentissage, illusions cognitives.....	210
Growth mindset	211
COVID, fermetures scolaires et technologie	211
M. Références méthodologiques.....	211
Journal des prompts.....	212
Introduction	212
Vue d'ensemble des phases.....	212
Phase 1 — Cadrage initial	214
Phase 2 — Approfondissements	215
Phase 3 — Feedback structurel	217
Phase 4 — Corrections ciblées	222

Phase 5 — Enrichissement documentaire	223
Phase 6 — Fusion et restructuration	225
Phase 7 — Consolidation.....	226
Phase 8 — Intégration OCDE.....	227
Phase 9 — Intégration Stanford	227
Phase 10 — Notes de bas de page	228
Phase 11 — Veille récente.....	228
Phase 12 — Documentation.....	228

Résumé

Cette revue de littérature analyse près de 200 sources couvrant la période 2021–2026 sur l'intelligence artificielle appliquée à l'éducation des élèves de moins de 18 ans. Elle couvre principalement la recherche à comité de lecture (méta-analyses, essais contrôlés randomisés, revues systématiques), mais aussi la littérature institutionnelle (OCDE, UNESCO, Commission européenne, gouvernements, *think tanks*...).

La notion d'*Impact Factor*

L'analyse faite par le modèle de langage (LLM) fait régulièrement référence à la notion d'« IF » à l'appui de ses citations. IF signifie *Impact Factor*. Par exemple, IF = 2,6 signifie *Impact Factor* de 2,6 pour la revue dans laquelle l'étude (incluse dans la méta-analyse) a été publiée.

L'*Impact Factor* (Journal Impact Factor, JIF) est calculé annuellement par Clarivate Analytics et publié dans les Journal Citation Reports.

La formule est :

IF (année N) = nombre de citations reçues en année N par les articles publiés dans la revue en années N-1 et N-2, divisé par le nombre total d'articles citables publiés dans la revue en années N-1 et N-2.

Un IF de 2,6 signifie donc qu'en moyenne, chaque article publié dans cette revue au cours des deux années précédentes a été cité 2,6 fois l'année du calcul.

Les ordres de grandeur indicatifs sont les suivants :

- IF < 2 : revue spécialisée à diffusion modérée.
- IF 2–5 : revue solide, bon standing dans sa discipline.
- IF 5–15 : revue de premier plan dans son champ.
- IF > 15 : revues généralistes d'élite (*Nature* ≈ 64, *Science* ≈ 56, *The Lancet* ≈ 98, *NEJM* ≈ 158 en 2024).

Principaux résultats

Côté **preuves d'efficacité**, les résultats les plus robustes concernent les **systèmes tutoriels intelligents** et certaines plateformes adaptatives évaluées par essais contrôlés ou synthèses. Un exemple emblématique est l'évaluation de **Squirrel AI** : des élèves assignés à la solution adaptative obtiennent

des gains supérieurs à des modalités d'enseignement en classe (grands groupes / petits groupes) dans deux études d'efficacité.

Pour des produits K-12 largement diffusés, des synthèses de type **Evidence for ESSA/WWC** rapportent des effets positifs mais souvent **modestes** (ex. DreamBox, effets de l'ordre de 0,11–0,16 selon mesures et étude).

Au niveau agrégé, des méta-analyses récentes concluent à un effet global positif des systèmes adaptatifs activés par IA, mais avec hétérogénéité (durée, niveau, discipline, qualité des contenus, intensité d'usage).

Les **systèmes de tutorat intelligent (ITS)** produisent des effets positifs modérés sur les apprentissages : une méta-analyse de 28 études (n = 4 597) rapporte des gains modérés², un essai contrôlé randomisé montre que le tutorat IA surpasse l'apprentissage actif avec une taille d'effet de 0,73 à 1,3 écart-type³. L'utilisation non encadrée de l'IA générative nuit aux apprentissages en mathématiques⁴. La méta-analyse de 51 études sur ChatGPT (g = 0,867) révèle des gains immédiats qui ne se maintiennent pas sur un semestre (g = 0,08)^{5 6}, mais comporte des biais méthodologiques sérieux.

Cadre neuroscientifique : l'apport de l'IA au prisme des 4 piliers de l'éducation proposés par Stanislas Dehaene

Les quatre piliers de l'apprentissage de Stanislas Dehaene fournissent un cadre pour évaluer où l'IA peut apporter une valeur ajoutée spécifique⁷ :

- **Attention** : l'IA peut personnaliser la présentation des contenus pour capter et maintenir l'attention de chaque élève, en adaptant le rythme, la difficulté et la modalité (visuelle, auditive, interactive) aux profils attentionnels individuels.
- **Engagement actif** : les systèmes de *prompting* socratique (LearnLM, Khanmigo par exemple) invitent l'élève à répondre, formuler des hypothèses et justifier ses raisonnements plutôt que de recevoir passivement l'information. L'IA peut ainsi générer des questions adaptées au niveau de compréhension.
- **Retour sur erreur** : l'apport de l'IA est potentiellement destructeur s'il n'est pas médiatisé, au risque d'une superficialisation des apprentissages. Certaines solutions peuvent fournir un *feedback* immédiat, individualisé et formatif – impossible à cette échelle pour un enseignant seul face à 30 élèves. Les ITS détectent les erreurs en temps réel et adaptent les explications au type d'erreur commis.

² Letourneau et al. (2025). Systematic review of ITS in K-12 (n=4597). npj Science of Learning. [IF=3.0]

³ Kestin et al. (2025). AI tutoring outperforms active learning. Scientific Reports, 15(17458). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75719-1> [IF=3.9]

⁴ PNAS (2025). Generative AI without guardrails harms learning. <https://doi.org/10.1073/pnas.2422633122> [IF=9.1]

⁵ ChatGPT impact meta-analysis of 51 studies (g=0.867). Nature HSS (2025). <https://doi.org/10.1038/s41599-025-04787-y>

⁶ Ma (2025). Meta-analysis of GenAI on learning (g=0.08 long-term). JCAL, 70(117). [IF=8.6]

⁷ Dehaene, S. (2020). How We Learn. Viking/Penguin. ISBN: 978-0525559887.

- **Consolidation** : les algorithmes de répétition espacée (Anki, Duolingo par exemple) peuvent permettre d'optimiser les intervalles de révision de manière personnalisée, exploitant les courbes d'oubli individuelles. Une méta-analyse de Cepeda et al. confirme une taille d'effet substantielle ($d = 0,80$) pour la pratique distribuée.

La théorie de la charge cognitive (Sweller, 1988)⁸ et les travaux sur le délestage cognitif (Risko & Gilbert, 2016)⁹ alertent sur les risques de « *capitulation cognitive* » (Shaw & Nave, 2026)¹⁰ lorsque l'IA fournit des réponses sans solliciter l'effort de l'apprenant.

Réglementations et politiques publiques

Sur le plan **réglementaire et éthique**, le paysage européen s'est fortement structuré. Le règlement sur l'intelligence artificielle (RIA ou AI Act) classe explicitement comme « **à haut risque** » plusieurs usages en **éducation et formation** (admission/affectation, évaluation des acquis – y compris lorsqu'elle pilote le processus d'apprentissage –, détermination du niveau approprié, surveillance de comportements interdits pendant les examens).

En France, le **cadre d'usage du ministère** de l'Éducation (juin 2025) autorise des usages professionnels et pédagogiques sous conditions, insiste sur la **minimisation des données**, l'interdiction d'entrer des données personnelles/confidentielles dans des IA grand public, la **transparence**, la **supervision humaine** pour les décisions à impact, et une entrée progressive des élèves dans l'usage des IA génératives (encadrée à partir de la 4^{ème}).

Au niveau européen, la mise à jour 2026 des « Guidelines on the ethical use of AI and data... » met l'accent sur des **questions-guides** et rappelle des pratiques **interdites** (ex. systèmes d'inférence/détection des émotions requis en contexte éducatif, sauf exceptions médicales/sécurité).

Plusieurs cadres réglementaires encadrent déjà l'usage de l'IA en éducation :

- **RIA (2024)** : premier cadre réglementaire global classant les systèmes d'IA en éducation comme « haut risque » (Annexe III), imposant transparence, évaluation de conformité et surveillance humaine¹¹. Le texte pointe notamment l'**inférence d'émotions** en contextes sensibles (dont établissements éducatifs) comme pratique interdite/problématique hors exceptions (médical/sécurité), ce qui impacte directement les solutions.
- **Règlement sur les services numériques (RSN ou DSA)** : lignes directrices sur la protection des mineurs en ligne (juillet 2025)¹².
- **RGPD** (article 8) : consentement des mineurs fixé à 16 ans, abaissable à 13 ans par les États membres.

⁸Sweller, J. (1988). Cognitive Load Theory. Cognitive Science, 12(2), 257-285. [IF=3.1]

⁹Risko, E.F. & Gilbert, S.J. (2016). Cognitive Offloading. Trends in Cognitive Sciences, 20(9), 676-688. [IF=16.7]

¹⁰Shaw & Nave (2026). Cognitive Surrender: Thinking Fast, Slow, and Artificial. Wharton School.
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=6097646

¹¹EU AI Act (2024). Classification haut risque pour l'éducation. Annexe III.

¹²EU DSA Guidelines on protection of minors (14 juillet 2025).

Aux Etats-Unis, la politique est issue des Executive Orders Biden (2023), puis de Donald Trump (2025), 53 projets de loi étatiques existent sur le sujet^{13 14 15}. On peut aussi citer :

- **COPPA 2025** : amendements étendant la protection aux technologies éducatives avec consentement parental vérifiable¹⁶.
- **FERPA** (États-Unis) : protection des données éducatives des élèves.

Au **Royaume-Uni** le cadre repose principalement sur l'AI Guidance for Schools (DfE, 2025)¹⁷.

Enfin, l'UNESCO recommande des mesures de régulation incluant la protection des données et un **seuil minimal de 13 ans** pour des conversations indépendantes avec des plateformes d'IA générative¹⁸.

Recommandations pour la puissance publique

La *Brookings Institution*, après consultation de 505 *leaders* dans 50 pays, a établi une série de recommandations pour les pouvoirs publics. Elle conclut que les risques de l'IA en éducation dépassent actuellement les bénéfices et propose un cadre en trois piliers : Prospérer, Préparer, Protéger¹⁹.

L'OCDE (2026) souligne que l'IA générative n'apporte des gains d'apprentissage que lorsqu'elle est guidée par des principes pédagogiques clairs²⁰. La formation des enseignants est identifiée comme le levier le plus puissant par toutes les sources consultées.

L'UNESCO et la Commission européenne ont établi des lignes directrices.

¹³Biden EO 14110 (Oct 2023). Safe, Secure AI Development.

¹⁴Trump EO (April 2025). Advancing AI Education for American Youth. <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/04/advancing-artificial-intelligence-education-for-american-youth/>

¹⁵FutureEd (2026). 53 State/Federal AI Education Bills.

¹⁶COPPA 2025 Amendments. Federal Register, 22 avril 2025.

¹⁷DfE UK (2025). AI Guidance for Schools. <https://www.gov.uk/government/publications/generative-artificial-intelligence-in-education/>

¹⁸https://unesco.org.uk/site/assets/files/10375/guidance_for_generative_ai_in_education_and_research.pdf

¹⁹Brookings (2026). A New Direction for Students in an AI World. <https://www.brookings.edu/articles/a-new-direction-for-students-in-an-ai-world-prosper-prepare-protect/>

²⁰OECD (2026). Digital Education Outlook: GenAI in Education. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-digital-education-outlook-2026_062a7394-en.html

Méthodologie

Cette revue de littérature a été réalisée avec une version payante de plusieurs grands modèles de langage. Elle adopte une approche de revue systématique narrative couvrant 2021–2026, avec un focus sur l'éducation K-12. Les sources ont été recherchées dans Web of Science, Scopus, PubMed, ERIC, Google Scholar, et les bases de l'OCDE, UNESCO, Banque mondiale et Commission européenne.

Itération avec le modèle de langage

- Le processus d'élaboration a été hautement itératif : 30 *prompts* sur ~30 sessions, avec des cycles de feedback/correction entre chaque version.
- Les *prompts* les plus productifs sont ceux qui combinent des instructions structurées précises (« restructure en 12 chapitres ») avec des exemples concrets de ce qui est attendu.
- L'*upload* de documents sources (OCDE, Stanford, How People Learn 2, Digital Delusion) a permis un enrichissement substantiel impossible par la seule recherche web.
- La contrainte de « ne rien retirer » a été systématiquement posée pour éviter la perte de contenu lors des itérations successives.
- Le passage de 40 à ~120 pages s'est fait en 12 phases distinctes, chacune ajoutant une couche de profondeur (données, études, pays, recommandations).
- Les problèmes techniques (fichiers illisibles, notes vides, doublons) ont nécessité des *prompts* de correction dédiés.
- La dernière phase (veille post-28 avril et 17 mai) illustre la capacité à maintenir le document à jour avec les publications les plus récentes.
- Une partie des *prompts* utilisés est retracée en fin de document.

Le document définitif a été établi à l'issue d'une relecture exhaustive le 19 mai 2026 qui a conduit à couper certaines parties et à clarifier son rendu.

Critères d'inclusion

- **Période** : janvier 2021 – mai 2026
- **Population** : élèves de moins de 18 ans (primaire et secondaire)
- **Types de sources** : méta-analyses, revues systématiques, ECR, études quasi-expérimentales, rapports institutionnels
- **Couverture géographique** : mondiale, avec emphase sur l'Europe, les États-Unis, l'Asie-Pacifique

Structure

Chaque chapitre est organisé en deux volets : (1) recherche à comité de lecture, avec protocoles, tailles d'échantillon et tailles d'effet ; (2) littérature institutionnelle. La bibliographie distingue les

facteurs d'impact JCR lorsque disponibles. Des notes de bas de page avec hyperliens renvoient aux sources.

Limites

Cette revue synthétise les résultats existants sans recalculer de tailles d'effet agrégées. Certaines études citées sont des preprints. Les biais de publication doivent être pris en compte et peuvent être importants.

Chapitre 1. État des savoirs sur l'efficacité de l'IA dans l'apprentissage

Ce chapitre dresse un état des savoirs sur l'efficacité mesurée de l'intelligence artificielle et des technologies éducatives dans les apprentissages scolaires. Il distingue les usages en salle de classe (section 1.1), les usages hors de la classe (section 1.2), et les données d'adoption réelle (section 1.3).

1.1 Efficacité de l'IA en salle de classe

1.1.1 Tableau récapitulatif des méta-analyses

Ce tableau synthétise les principales méta-analyses et études de grande envergure identifiées dans la littérature 2021-2026 sur l'IA et les technologies éducatives.

Auteurs	Revue [IF]	Objet / Produit	N (échantillon)	Protocole	Résultat principal
Letourneau et al. (2025)	npj Science of Learning [3.0]	ITS en K-12	n=4 597 (28 études)	Revue systématique	Effets positifs modérés, variables
Wang et al. (2026)	JCAL [8.6]	Apprentissage adaptatif	n=9 095 (69 études)	Méta-analyse	Effet moyen positif, 12 modérateurs
Ma (2025)	JCAL [8.6]	IA générative (ChatGPT)	51+ études	Méta-analyse	g=0.08 (long terme), g=0.867 (court)
Nature HSS (2025)	Nature HSS	ChatGPT apprentissage	51 études	Méta-analyse	g=0.867 performance
IJSE (2025)	IJSE [10.4]	IA personnalisée STEM	32 RCT, 99 ES	Méta-analyse RCT	Effet positif modéré STEM
Silverman et al. (2024)	Rev. Ed. Research [13.2]	EdTech + littératie	119 études, 730 ES	Méta-analyse	d=0.23 à 0.81 selon domaine
Kestin et al. (2025)	Scientific Reports [3.9]	Tutorat IA vs actif	n non spécifié	RCT	ES=0.73 à 1.3 σ
Eedi/DeepMind (2025)	arXiv	LearnLM tutorat	n=165	RCT	+5.5 pp sur contrôle
PNAS (2025)	PNAS [9.1]	GenAI sans garde-fous	n non spécifié	RCT	Effet négatif en maths
Khan Academy (2024)	PNAS [9.1]	Khan Academy maths	Données réelles	Quasi-expérimental	ES=0.09-0.18 σ (MAP Growth)
Sun & Else-Quest (2021)	Invest. Math Learn. [1.2]	ALEKS	n=9 238 (56 ES)	Méta-analyse	Comparable ou supérieur

SRI International (2024)	Rapport	DreamBox Learning	Milieus défavorisés	Quasi-expérimental	ES=+0.16 à +0.18
Bardach et al. (2026)	JCAL [8.6]	bettermarks ITS	n=194 000	Longitudinal 7 ans	Assignment enseignant > auto
Barcaui (2025)	ScienceDirect	ChatGPT révisions	n=120	RCT	57.5% vs 68.5% (d=0.68)
Tamim et al. (2011)	Rev. Ed. Research [13.2]	Techno éducative globale	25 méta-analyses	Méta-analyse 2nd ordre	d=0.35
Hattie (2023)	Visible Learning MetaX	Techno éducative globale	21 000+ études	Synthèse	d=0.34
Sailer et al. (2024)	Learning & Ind. Diff.	Techno en enseignement sup.	2nd ordre	Méta-analyse 2nd ordre	d=0.03 (NS)
Cepeda et al.	Psych. Bulletin [17.3]	Répétition espacée	317 expériences	Méta-analyse	d=0.62 rétention
Brunmair & Richter (2019)	Review [4.6]	Entrelacement	59 études, 238 ES	Méta-analyse	g=0.42

1.1.2 Taxonomie des interventions

La littérature distingue différentes formes de soutien de l'IA :

- **Éducation personnalisée** : ensemble de stratégies (pédagogiques et techniques) visant à adapter objectifs, contenus, rythme, supports et feedback à des profils d'apprenants.
- **Éducation adaptative** : sous-ensemble plus "algorithmique" : le système ajuste en continu *quoi* proposer (item/contenu), *quand* et *comment* (niveau, aide, séquence), à partir de mesures (réponses, temps, erreurs, parcours).
- **Mentorat** : soutien plus large (méthode de travail, motivation, orientation, métacognition), historiquement humain mais aujourd'hui complété par des assistants IA (coach d'étude, tuteur conversationnel, aide à l'enseignant).

En complément de cette taxonomie, une taxonomie technique détaille les techniques de séquençage et modélisation des connaissances (knowledge tracing).

1.1.3 Revue Stanford SCALE 2026 : l'état des preuves causales sur l'IA en K-12

La revue systématique *The Evidence Base on AI in K-12: A 2026 Review*, publiée par le AI Hub for Education de l'initiative SCALE (Stanford Center for Accelerating Learning through Evidence), constitue l'analyse la plus rigoureuse et la plus récente de la base de preuves causales sur l'IA en éducation primaire et secondaire (Fesler, Martinez, Agnew et Loeb, 2026). A partir d'un répertoire de plus de 818 articles académiques, les auteurs n'identifient que 20 études fournissant des preuves causales de haute qualité (RCT ou quasi-experimentales), après un processus de sélection en deux étapes (classification automatisée par LLM, puis revue humaine selon les standards du What Works Clearinghouse). Ce ratio – 20 études causales sur 818 articles – illustre le décalage considérable entre le volume de publications sur l'IA éducative et la base de preuves rigoureuses disponibles.

La revue identifie quatre constats clés fondés sur ces 20 études causales :

- **Gains immédiats mais transfert incertain.** Les outils IA améliorent généralement la performance des élèves lorsqu'ils y ont accès (exercices de mathématiques, projets de programmation, tâches rédactionnelles). Cependant, lorsque l'accès à l'IA est retiré et que les élèves sont évalués de manière indépendante, les effets sont mitigés : certaines études montrent un maintien partiel des gains, d'autres une dégradation significative. Bastani *et al.* (2025) documentent que les élèves utilisant un chatbot généraliste performant substantiellement moins bien que le groupe contrôle lors de l'examen final, alors même qu'ils avaient mieux performé pendant les exercices assistés.
- **Allègement cognitif au détriment de l'apprentissage profond.** L'IA peut alléger la charge cognitive des élèves et favoriser des expériences d'apprentissage positives, mais au détriment potentiel de la pensée approfondie. Stadler *et al.* (2024) montrent que les étudiants utilisant un chatbot généraliste dépoyaient moins d'effort mental et produisaient un raisonnement et une argumentation de moindre qualité que ceux utilisant un moteur de recherche traditionnel. Kosmyrna *et al.* (2025), via des mesures EEG, observent une activité cérébrale réduite et un rappel de seulement 12 % chez les utilisateurs de LLM, contre 89 % avec d'autres méthodes.
- **Le design pédagogique fait la différence.** Les chatbots de tutorat spécialisés (conçus avec des garde-fous pédagogiques, un guidage socratique, des indices plutôt que des réponses directes) montrent des résultats supérieurs aux chatbots généralistes. Bastani *et al.* (2025) documentent cette différence : le chatbot tutoriel spécialisé préserve les apprentissages à l'examen final, tandis que le chatbot généraliste les dégrade. Degen *et al.* (2025) montrent que les enseignants en formation jugent un chatbot socratique comme plus favorable à la pensée critique et réflexive qu'un chatbot généraliste.
- **Efficacité pour les enseignants sans perte de qualité.** Les outils IA destinés aux enseignants réduisent le temps de planification d'environ 30 % (Roy *et al.*, 2024 : -27 % les 5 premières semaines, -31 % les semaines 6 à 10), sans dégradation mesurable de la qualité des cours. Le programme Tutor CoPilot (Wang *et al.*, 2025) améliore la maîtrise des élèves de 4 points de pourcentage, avec un effet renforcé pour les tuteurs moins expérimentés (+7 pp) et les moins bien notés (+9 pp) – l'IA comme levier d'équité dans la qualité d'enseignement. Des rapports diagnostiques hebdomadaires générés par IA augmentent l'usage de questions de focalisation de 20 % par les enseignants (Demszky *et al.*, 2025).

La revue souligne plusieurs lacunes critiques dans la base de preuves existante. Aucune des 14 études causales centrées sur les élèves n'a été conduite dans un contexte K-12 américain réel (toutes sont internationales ou en contexte post-secondaire). A fortiori pas dans un contexte français non plus.

La recherche est disproportionnellement concentrée sur les mathématiques (35 % des études causales vs. 17 % du répertoire) et les chabots 1:1, laissant peu explorées des questions essentielles : l'impact sur la littératie, les compétences socio-emotionnelles, l'équité d'accès, le bien-être des élèves, et les usages collaboratifs de l'IA. Les auteurs concluent que la base de preuves actuelle, bien qu'informative, demeure extrêmement limitée et que les résultats doivent être interprétés comme suggestifs plutôt que définitifs.

Les principes de *learning science* mobilisés par la revue (charge cognitive, zone proximale de développement, transfert d'apprentissage, métacognition, *expertise reversal effect*, difficultés désirables) fournissent un cadre interprétatif essentiel : les outils IA les plus efficaces sont ceux qui opèrent dans la zone proximale de développement de l'apprenant, introduisent des difficultés désirables plutôt que de les supprimer, et adaptent leur niveau de soutien à l'expertise de l'utilisateur.

1.1.2 Évaluation des systèmes de tutorat intelligent et apprentissage adaptatif

La méta-analyse la plus récente sur les ITS en K-12, publiée dans *npj Science of Learning*, synthétise 28 études portant sur 4 597 élèves ²¹. Les résultats montrent des effets globalement positifs mais modérés, avec une variabilité significative selon la durée d'intervention et la diversité des échantillons.

Une autre méta-analyse (69 études, 9 095 élèves) identifie un **effet moyen positif** de l'apprentissage adaptatif ²². Douze modérateurs significatifs sont identifiés pour les résultats cognitifs.

L'étude PNAS de 2024 sur **Khan Academy démontre** une relation significative entre usage de la plateforme et gains en mathématiques : +30 min/semaine ou +60 compétences/an produisent des gains de 0,09 à 0,18 écart-type ²³.

La méta-analyse d'ALEKS (56 ES, n = 9 238) conclut que le système est comparable à l'enseignement traditionnel et supérieur en complément ²⁴.

Squirrel AI Learning. L'évaluation la plus rigoureuse de Squirrel AI a été menée par Cui et *al.* auprès de 163 élèves (90 groupe expérimental, 73 contrôles) sur le théorème de Pythagore pendant trois jours (cinq heures d'apprentissage). Les gains d'apprentissage sont 4,19 fois plus élevés dans le groupe expérimental, avec une taille d'effet modérée (Hedges's $g=0,68$; $F(1,160)=16,80$, $p<0,001$, η^2 partiel=0,10). En 2024, Squirrel AI a lancé son *Learning Adaptive Model* (LAM), entraîné sur les données de 24 millions d'élèves et 10 milliards de comportements d'apprentissage.

²¹Letourneau et *al.* (2025). Systematic review of ITS in K-12 (28 etudes, n=4597). *npj Science of Learning*.

²²Wang et *al.* (2026). Meta-analysis of adaptive learning (69 studies, n=9095). *JCAL*. [IF=8.6]

²³Khan Academy PNAS study (2024). <https://doi.org/10.1073/pnas.2507708123> [IF=9.1]

²⁴Sun & Else-Quest (2021). ALEKS meta-analysis (56 ES, n=9238). [IF=1.2]

L'entreprise est désormais valorisée à 1Md USD. Elle a été désignée la plateforme comme « Best Invention 2025 » par TIME. Cependant, l'étude de Cui et *al.* présente des limites : durée courte (trois jours), un seul domaine (géométrie), et un contexte chinois difficilement généralisable.

DreamBox Learning rapporte des ES de +0,16 à +0,18 en milieux défavorisés²⁵. SRI International a conduit deux évaluations contrôlées de DreamBox Math :

- La première (2011) porte sur 500+ élèves de K-1 dans trois écoles à charte défavorisées (87 % hispaniques, 81 % ELL) pendant quatre mois : les élèves utilisant DreamBox obtiennent un gain significatif en mesure et géométrie (ES=+0,16 sur le sous-test NWEA MAP, +0,11 global, soit un gain de 5,5 percentiles).
- La seconde étude, menée en Caroline du Nord auprès de 10 000+ élèves (K-2 et 4-5) dans 24 écoles, montre un effet significatif en K-2 (ES=+0,12 sur le Number Knowledge Test) mais un effet négligeable en 4e-5e année (ES=+0,03 sur le test de fin d'année de Caroline du Nord).

Le WWC (*What Works Clearinghouse*) a certifié ces résultats²⁶.

DreamBox a depuis été acquis par Discovery Education et a élargi sa couverture aux classes 3-8. Ces résultats illustrent le schéma récurrent des EdTech : des effets positifs mais modestes (ES de 0,03 à 0,18 selon l'âge et la mesure), concentrés sur les plus jeunes et les plus défavorisés.

Etude -- Meyer et al. (2024) : feedback IA sur la rédaction argumentative (Allemagne)

Equipe : Meyer et al. (2024), cite dans la revue Stanford SCALE 2026. Protocole : 459 élèves du secondaire supérieur (Grade 10) en Allemagne ont reçu ou non un feedback généré par IA (GPT-3.5-turbo) sur une dissertation argumentative, pendant une séance de 90 minutes en classe. Résultats : le feedback IA a significativement augmenté les révisions effectuées par les élèves, leur motivation pour la tâche et leurs émotions positives, par rapport au groupe sans feedback. L'étude documente un effet positif du feedback IA sur l'engagement dans le processus d'écriture, mais ne mesure pas le transfert à long terme. Source : Meyer et al. (2024), cite dans Fesler et al. (2026), Stanford SCALE.

Etude -- Chen et al. (2025) : LLM-Tutor pour les preuves mathématiques (Etats-Unis)

Equipe : Chen et al. (2025), cite dans la revue Stanford SCALE 2026. Protocole : 155 étudiants universitaires en mathématiques discrètes aux Etats-Unis ont eu accès à LLM-Tutor (fournissant du feedback IA sur les soumissions de preuves en LaTeX et un chatbot thématique) vs. pas d'accès IA, pendant un semestre entier. Résultats : l'accès précoce à l'IA a significativement amélioré les performances sur les devoirs, mais n'a eu aucun impact significatif sur les scores aux examens sans assistance IA. Ce résultat corrobore directement le concept de fausse maîtrise (*false mastery*) identifié par Bastani et al. : la performance augmentée par l'IA ne se transfère pas aux évaluations indépendantes. Source : Chen et al. (2025), cite dans Fesler et al. (2026), Stanford SCALE.

²⁵SRI International (2024). DreamBox Learning evaluation (ES=+0.16 to +0.18).

²⁶ Le WWC a été créé en 2002 par l'**Institute of Education Sciences**, rattaché au **U.S. Department of Education**, pour servir de source fiable sur l'efficacité de programmes, méthodes ou interventions éducatives

D'autres méta-analyses sont à signaler :

- Adaptivité à l'école (2018–2022) : une revue systématique "Ada-LIT" examine contextes, sources d'évaluation, modalités d'adaptation et objectifs ciblés (69 publications empiriques). [\[21\]](#)
- Systèmes adaptatifs activés par IA : méta-analyse (N≈45 études) sur l'effet global des systèmes adaptatifs IA et variables modératrices (durée, niveau, etc.). [\[7\]](#)
- Reinforcement Learning (RL) en éducation : revue systématique large (1993–2025) décrivant usages (séquençage, personnalisation), défis (définition de récompense pédagogique, exploration sûre, offline RL). [\[22\]](#)
- La publication du dataset **EdNet** (traces d'activités issues d'un service de tutorat IA TOEIC) a marqué un saut : ~131 M d'interactions, ~784 k étudiants, structure hiérarchique multi-niveaux. Cela a accéléré la recherche sur KT, recommandation et explicabilité.
- Sur EdNet toujours, une étude comparative conclut que des modèles plus simples (régression logistique avec variables construites) peuvent dépasser des deep models sur la prédiction de performance future, invitant à mieux définir les objectifs (prédire vs diagnostiquer vs intervenir). [\[10\]](#)
- **Une étude souligne l'enjeu d'explicabilité des modèles de KT**, qui devient une condition d'appropriation par enseignants/établissements : des revues dédiées à l'"*explainable knowledge tracing*" synthétisent méthodes transparentes vs "boîtes noires" et techniques xAI. [\[17\]](#) Des travaux ciblés montrent que le manque d'interprétabilité freine l'usage pratique des DLKT. [\[18\]](#)
- **Biais et discrimination** : une revue systématique (2024) sur la "**debiasing**" et la **justice des algorithmes éducatifs et une cartographie** (2002–2023) des approches de fairness recensent méthodes, jeux de données, définitions et limites. [\[19\]](#) Les travaux de synthèse sur fairness en IA éducative montrent que (i) de nombreux systèmes sont testés sur des jeux de données et contextes limités, (ii) les définitions de fairness varient, (iii) les variables sensibles (genre, origine, handicap) soulèvent des enjeux de mesure et de gouvernance. [\[47\]](#)

Etude - Becker et al. (2025) : chatbot IA vs. Indices gradues en physique (Allemagne)

Equipe : Becker et al. (2025), cite dans la revue Stanford SCALE 2026. Protocole : 273 élèves de 9e année en Allemagne ont utilisé soit un chatbot IA configuré sur mesure, soit des indices gradus (tiered hints), soit un manuel numérique traditionnel pour résoudre un problème de physique. Résultats : le chatbot IA et les indices gradus ont tous deux significativement réduit la charge cognitive et amélioré les résultats affectifs (plaisir, espoir) par rapport au manuel numérique. Ce résultat suggère que la réduction de charge cognitive n'est pas spécifique à l'IA – des aides structurées traditionnelles produisent des effets comparables, ce qui relativise l'argument d'un avantage unique de l'IA. Source : Becker et al. (2025), cite dans Fesler et al. (2026), Stanford SCALE.

Etude – Blasco et Charisi (2025) : chatbot pas-a-pas vs. réponse directe (Belgique/Espagne)

Equipe : Blasco et Charisi (2025), cite dans la revue Stanford SCALE 2026. Protocole : 122 lycéens en Belgique et en Espagne ont interagi avec deux types de chatbots IA lors d'une session de 60 minutes : un chatbot fournissant un raisonnement pas-a-pas (step-by-step) vs. un chatbot donnant directement la solution, ainsi qu'un chatbot socratique vs. un chatbot direct. Resultats : le chatbot pas-a-pas a significativement amélioré la performance par rapport au chatbot à réponse directe. Le chatbot socratique a augmenté l'engagement mais a été perçu comme moins utile que le chatbot direct. Ce résultat souligne la tension entre la perception de l'utilité par les élèves et l'efficacité pédagogique réelle – les outils les plus efficaces ne sont pas nécessairement ceux que les élèves préfèrent. Source : Blasco & Charisi (2025), cite dans Fesler et al. (2026), Stanford SCALE.

Etude - Fischer et al. (2025) : chatbot IA avec RAG pour l'economie (Allemagne)

Equipe : Fischer et al. (2025), cite dans la revue Stanford SCALE 2026. Protocole : 334 étudiants universitaires en Allemagne ont utilisé un chatbot GPT-4 avec Retrieval-Augmented Generation (RAG) pour étudier un matériel d'économie. Trois conditions ont été comparées lors d'une session de 25 minutes : accès restreint (délai de 10 minutes avant utilisation), accès non restreint, et absence d'accès (manuel uniquement). Résultats : les étudiants ayant accès au chatbot IA ont surpassé ceux sans accès, et les étudiants avec accès non restreint ont surpassé ceux avec accès restreint. L'étude suggère que l'accès libre à un chatbot RAG améliore l'apprentissage à court terme – un résultat à contraster avec les études montrant des effets négatifs en conditions d'examen sans IA. Source : Fischer et al. (2025), cite dans Fesler et al. (2026), Stanford SCALE.

1.2 L'effet global de la technologie éducative semble se heurter à un plafond de verre. La capacité de l'IA générative à dépasser ce plafond de verre reste à démontrer.

La référence historique reste Tamim et al. (2011), méta-analyse de second ordre portant sur 25 méta-analyses : l'effet global de la technologie éducative se situe à $d = 0,35$ ²⁷.

Hattie (2023), dans « *Visible Learning: The Sequel* », compile plus de 21 000 études et aboutit à un effet comparable et limité : $d = 0,34$.

Higgins, Xiao et Katsipataki (2012), pour l'EEF, obtiennent un résultat similaire ²⁸.

Trois sources, trois méthodes, un résultat convergent : **la technologie éducative, envisagée comme catégorie générale, se stabilise autour d'un effet de $d \approx 0,30-0,35$.**

Ce qu'un d de 0,30 signifie : **un effet de 0,30 représente environ deux tiers d'une année de croissance académique normale.** Un effet de 0,70 en représente environ une année et demie. L'hétérogénéité culturelle des systèmes éducatifs sous-jacents, le décalage temporel des données, et le biais

²⁷Tamim, R. M. et al. (2011). What Forty Years of Research Says About the Impact of Technology on Learning: A Second-Order Meta-Analysis and Validation Study. *Review of Educational Research*, 81(1), 4-28. [IF=11.2]

²⁸Higgins, S., Xiao, Z. & Katsipataki, M. (2012). The Impact of Digital Technology on Learning: A Summary for the Education Endowment Foundation. EEF/Durham University. <https://educationendowmentfoundation.org.uk/>

d'évaluation (mesures standardisées vs mesures développées par les chercheurs) imposent une grande prudence dans l'interprétation.

Sailer et al. (2024), publiée dans *Learning and Individual Differences* : une méta-analyse de second ordre sur l'enseignement supérieur aboutit à un effet **non significatif** de $d = 0,03$ ²⁹. Ce résultat, le plus perturbant de la littérature récente, suggère que la technologie éducative en enseignement supérieur ne produit pas d'effet mesurable au-delà du bruit statistique.

1.2.1 La méta-analyse de Silverman et al. (Review of Educational Research)

Cette méta-analyse, publiée par l'équipe de Stanford dans *Review of Educational Research* (IF = 13,2), est la plus complète sur les effets des technologies éducatives sur la littératie en école élémentaire (K-5) ³⁰. Elle examine 119 études de 105 manuscrits, totalisant 730 tailles d'effet.

Méthodologie. Les auteurs ont conduit une revue systématique des études expérimentales et quasi-expérimentales publiées entre 2010 et 2023. Le processus de sélection a atteint 91,7 % d'accord inter-évaluateurs sur 20 % du corpus co-évalué. Après agrégation par étude et domaine, 221 tailles d'effet distinctes ont été analysées.

Résultats par domaine de littératie. Le décodage phonétique affiche un effet moyen de $d = 0,33$ ($d = 0,23$ sur mesures standardisées uniquement). La compréhension linguistique obtient $d = 0,30$ ($d = 0,12$ standardisé). La compréhension en lecture $d = 0,23$ ($d = 0,14$ standardisé). L'écriture montre l'effet le plus fort : $d = 0,81$ ($d = 0,34$ standardisé).

L'écart entre mesures développées par les chercheurs et mesures standardisées est un résultat méthodologique majeur.

Technologies examinées. L'étude couvre l'instruction assistée par ordinateur (CAI), les systèmes de tutorat intelligent, les plateformes adaptatives, les technologies text-to-speech et l'instruction multimédia. Les programmes adaptatifs avec évaluation intégrée et progression systématique montrent les effets les plus robustes.

Implications. Les auteurs identifient **cinq caractéristiques des programmes efficaces : réactivité adaptative, progression structurée, contextes de pratique multiples, supports multimédias, et réduction de la charge cognitive extrinsèque**. La vaste majorité des études se concentre sur le décodage ; les compétences supérieures (compréhension, écriture) restent sous-étudiées.

1.2.2 Le paradoxe PISA/PIRLS et les effets négatifs de l'usage numérique en classe

En septembre 2015, l'OCDE publie *Students, Computers and Learning*, établissant une association négative entre accès aux technologies éducatives et performances scolaires dans les données PISA³¹.

²⁹Sailer, M. et al. (2024). Technology-enhanced learning in higher education: A second-order meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 113, 102480.

³⁰Silverman et al. (2024). Effects of EdTech on literacy in elementary school. *Review of Ed. Research*. <https://doi.org/10.3102/00346543241261073> [IF=13.2]

³¹OCDE (2015). *Students, Computers and Learning: Making the Connection*. PISA, Editions OCDE. <https://doi.org/10.1787/9789264239555-en>

Salmerón *et al.* (2023) confirment à l'échelle micro : **plus de numérique en classe est associé à moins de compréhension en lecture**³².

Les travaux les plus récents de l'OCDE (2024) nuancent ce tableau : l'usage modéré (1h/jour) est associé à de meilleurs scores PISA que l'absence totale ou l'usage intensif (>4h/jour).

La **distraction par les pairs utilisant des appareils numériques représente une perte équivalente à trois quarts d'année de scolarité en mathématiques**.

1.2.3 L'étude Bardach *et al.* (2026) : les ITS ont besoin des enseignants

Publiée dans JCAL (IF = 8,6), cette étude analyse les données de *bettermarks* (ITS mathématiques) sur 194 000 élèves et 139 millions de problèmes sur 7 ans (2016-2023, Allemagne et Pays-Bas)³³.

Protocole. Design observationnel longitudinal. La variation naturelle entre exercices assignés par l'enseignant versus auto-sélectionnés permet une comparaison quasi-expérimentale.

Résultats. Trois indicateurs mesurés : moment d'abandon, semaines actives, problèmes résolus/semaine. Dans les deux pays, les **élèves guidés par l'enseignant abandonnent plus tard, restent actifs plus longtemps et résolvent davantage de problèmes**.

Implications. L'assignation par l'enseignant agit comme motivateur externe et source de guidance. Les ITS ne fonctionnent pas efficacement comme solutions autonomes. Ce résultat est l'un des plus importants de la littérature récente : il établit que l'IA éducative, même bien conçue, requiert le pilotage humain.

Etude - Kreijkes *et al.* (2026) : prise de notes vs. chatbot IA pour la compréhension

Equipe : Kreijkes *et al.* (2026), cite dans la revue Stanford SCALE 2026. Protocole : 344 élèves de Year 10 (14-15 ans) en Angleterre ont étudié deux passages textuels en utilisant soit un chatbot GPT-3.5, soit la prise de notes traditionnelle, soit une combinaison des deux, avec des instructions orientées vers la lecture active et la compréhension.

Resultats : la prise de notes (seule ou combinée avec le chatbot IA) surpasse significativement l'usage exclusif du chatbot IA pour la compréhension et la rétention.

Les élèves préféraient le chatbot IA et le percevaient comme plus utile, alors même qu'il produisait les performances d'apprentissage les plus faibles.

Ce résultat illustre un biais d'autoévaluation préoccupant : les apprenants privilégient la facilité perçue au détriment de l'apprentissage réel.

Source : Kreijkes *et al.* (2026), cite dans Fesler *et al.* (2026), Stanford SCALE.

³²Salmerón, L. *et al.* (2023). Are digital technologies destroying our capacity for reading? A meta-analysis on screen inferiority effects. *Review of Educational Research*, 93(2), 188-223. [IF=11.2]

³³Bardach *et al.* (2026). ITS Need Teachers (n=194000). JCAL, 42(1). [IF=8.6]

1.2.4 ChatGPT et les LLM changent-ils la donne ?

Les LLM modernes couvrent des usages clefs pour les enseignants : **génération de plans de cours, reformulation à niveaux de lecture différents, création de QCM et de rubriques, feedback sur copies, aide à la communication (parents/élèves), et assistance à l'analyse (synthèse d'observations, appui à la différenciation).**

Il existe 2 revues principalement 2026 sur l'impact expérimental et les résultats d'apprentissage, avec effets globalement positifs mais hétérogènes et des limites reconnues (intégrité, dépendance, fiabilité). [8]

Un RCT en tutorat "human-AI" (Tutor CoPilot) observe un gain de maîtrise ($\approx +4$ points de probabilité d'atteindre la maîtrise, et gains plus élevés pour les tuteurs moins expérimentés). [9]

Ces résultats sont prometteurs mais **sensibles à l'alignement pédagogie-outil** (scaffolding, questions socratiques, vérification, métacognition), aux effets de nouveauté, et à la qualité de l'évaluation (pré-tests, mesures à long terme).

Khanmigo, développé sur GPT-4, a été utilisé par 700 000 élèves dans 380+ districts en 2024-25³⁴. Le système utilise une approche socratique.

Une étude RCT ($n = 120$) montre que les étudiants utilisant ChatGPT pour leurs révisions obtiennent un **score de rétention** de 57,5 % contre 68,5 % pour les méthodes traditionnelles, soit un Cohen's $d = 0,68$ (effet large)³⁵. Ce résultat illustre le « **délestage cognitif** » de Risko et Gilbert (2016)³⁶.

Les **données RAND** confirment : l'usage de l'IA pour les devoirs est passé de 48 % à 62 % des collégiens et lycéens entre mai et décembre 2025. 67 % estiment que l'IA « nuira à la pensée critique »³⁷.

La méta-analyse de 51 études sur ChatGPT rapporte $g = 0,867$ sur les performances, $g = 0,456$ sur la perception³⁸. Mais pour les interventions longues (un semestre+), $g = 0,08$, suggérant que **les gains ne se maintiennent pas**³⁹.

Des méta-analyses plus récentes convergent vers un tableau plus contrasté. Liu, Guo, He et Hu (2025), dans *Journal of Educational Computing Research*, rapportent des effets positifs mais modérés sur le K-12. Li et al. (2025), dans *Computers and Education: Artificial Intelligence*, trouvent un effet modéré sur la pensée d'ordre supérieur. Le tableau d'ensemble : des effets positifs réels mais modérés (0,4 à 0,6 en agrégat), méthodologiquement fragiles, et qui ne se maintiennent pas sur la durée.

En Turquie, un RCT à grande échelle ($n = 1\,000$, Bastani et al., 2024) a comparé trois conditions pour la préparation aux examens de mathématiques en fin de lycée : pratique autonome, accès à GPT Base (modèle standard), et accès à un GPT Tutor (version configurée pour le tutorat socratique). Les

³⁴Khan Academy/Khanmigo: 700,000 K-12 students, 380+ districts (2024-25).

³⁵Barcaui (2025). ChatGPT as cognitive crutch ($n=120$, $d=0.68$). ScienceDirect.

³⁶Risko & Gilbert (2016). Cognitive offloading. Trends in Cognitive Sciences, 20(9), 676-688.

³⁷RAND (2025). AI Use Increasing but Guidance Lags (54% students). https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA4180-1.html

³⁸RAND Corporation (2024-2025). AI in Education surveys. American Educator Panels.

³⁹ChatGPT impact meta-analysis of 51 studies ($g=0.867$). Nature HSS (2025).

résultats montrent que le groupe GPT Base a augmenté sa pratique de 48 % et le groupe GPT Tutor de 127 % par rapport au groupe contrôle. Cependant, lors de l'examen en conditions fermées (sans accès à l'IA), les utilisateurs du GPT Base ont obtenu des scores inférieurs de 17 % à ceux du groupe contrôle – un résultat que l'OCDE qualifie de fausse maîtrise (*false mastery*) : la performance augmentée par l'IA masque des compétences sous-jacentes fragiles. Seul le groupe GPT Tutor, fondé sur un dialogue socratique structuré, a maintenu ses acquis à l'examen.

À Harvard, un RCT en physique ($n = 316$, Kestin et al., 2025) compare le tutorat par IA au cadre de l'apprentissage actif (*active learning*). Les tailles d'effet observées sont remarquables ($ES = 0,63$ à $1,3$ selon les mesures), démontrant que l'IA tutorielle peut, dans des conditions expérimentales contrôlées, surpasser des méthodes pédagogiques déjà considérées comme efficaces.

1.2.5 Données issues du récent rapport de l'OCDE (*Digital Education Outlook 2026*)

Le rapport OCDE *Digital Education Outlook 2026* fournit une synthèse rigoureuse des données expérimentales les plus récentes sur l'efficacité de l'IA dans l'apprentissage. Plusieurs essais contrôlés randomisés (RCT) de grande envergure permettent de dresser un bilan nuancé, entre gains prometteurs et risques de dépendance cognitive.

L'OCDE identifie deux risques transversaux majeurs. Le premier est la **paresse metacognitive** (Fan et al., 2024 ; Stadler et al., 2024) : les apprenants tendent à déléguer l'effort cognitif à l'IA plutôt qu'à s'engager dans un raisonnement autonome. Le second est la **dette cognitive** documentée par Kosmyna et al. (2025) au MIT Media Lab : une étude utilisant l'EEG montre que les participants utilisant un LLM pour réviser ne retiennent que 12 % du contenu, contre 89 % pour les groupes utilisant d'autres méthodes – une différence d'un facteur sept.

Sur la **créativité** , Doshi et Hauser (2024) montrent que l'IA générative améliore la performance créative individuelle mais réduit la diversité collective des productions, posant la question d'une homogénéisation de la pensée à grande échelle.

Ces résultats convergent vers une conclusion centrale du rapport OCDE : **l'efficacité de l'IA éducative dépend fondamentalement du design pédagogique de l'interaction.** Les outils qui structurent un dialogue socratique (*scaffolding*, *questions guidées*, *absence de réponse directe*) produisent des gains durables, tandis que l'accès non structuré aux LLM risque de dégrader les apprentissages profonds.

1.3 État des lieux sur l'utilisation et l'adoption

Cette section dresse un état des lieux factuel de l'adoption de l'IA dans les systèmes éducatifs, fondé sur les enquêtes les plus récentes : CDT (2025), RAND (2024-2025), OECD TALIS (2024), College Board (2025) et enquêtes nationales.

1.3.1 Enquête CDT 2025 : une adoption massive aux États-Unis

Le *Center for Democracy and Technology (CDT)* a conduit en 2025 une enquête nationale représentative auprès de 806 enseignants du secondaire, 1 030 lycéens et 1 018 parents⁴⁰. Les résultats sont saisissants :

- **85 %** des enseignants ont utilisé l'IA au cours de l'année scolaire 2024-2025.
- **86 %** des élèves ont utilisé l'IA au cours de la même période. **50 %** l'ont utilisée à des fins scolaires.
- **31 %** des élèves ont eu des conversations bidirectionnelles avec l'IA à titre personnel sur des appareils fournis par l'école.
- **50 %** des élèves conviennent que l'usage de l'IA en classe les rend **moins connectés à leur enseignant**.
- **70 %** des enseignants s'inquiètent du fait que l'IA affaiblisse les compétences fondamentales.
- **Seulement 10 %** des enseignants ont reçu une formation sur la manière de réagir si l'utilisation de l'IA par les élèves nuit à leur bien-être.

1.3.2 Adoption de ChatGPT par les élèves : une croissance exponentielle

L'adoption de l'IA générative par les élèves a connu une croissance exponentielle entre 2023 et 2026. Aux États-Unis, la proportion d'adolescents utilisant ChatGPT pour les devoirs est passée de **13 %** (2023) à **26 %** (2024), soit un doublement en un an. En mai 2025, **84 %** des lycéens américains déclarent utiliser des outils d'IA générative pour les devoirs (College Board). Au Royaume-Uni, **92 %** des étudiants de premier cycle utilisent des outils IA en 2025, contre 66 % en 2024 (HEPI).

1.3.3 Taux d'utilisation de l'IA par les enseignants : données OCDE TALIS 2024

L'enquête OECD TALIS 2024 (280 000 enseignants dans 50 systèmes éducatifs) établit que **41 %** des enseignants de l'OCDE utilisent l'IA dans leur enseignement. La moyenne de l'Union européenne est plus basse : **32 %** ⁴¹.

Pays	% enseignants utilisant l'IA	% ayant reçu une formation IA	Source
Émirats Arabes Unis	75 %	n.d.	OECD TALIS 2024
Singapour	75 %	76 %	OECD TALIS 2024
États-Unis	60 %	50 % des districts	Gallup 2024-25 / RAND

⁴⁰Center for Democracy and Technology (CDT, 2025). AI in Education: Survey of 806 Teachers, 1,030 Students, and 1,018 Parents. <https://cdt.org/>

⁴¹OECD (2024). TALIS 2024 Results: Teachers and School Leaders as Lifelong Learners. Vol. I. 280,000 teachers in 50 education systems. <https://doi.org/10.1787/talis-2024-en>

Chine	>95 % des écoles sec.	Formation obligatoire	National
Finlande	91 % des écoles	n.d.	EDUFI 2025
Corée du Sud	Déploiement en cours	760 M USD formation	MOE/KERIS 2025
Albanie	52 %	n.d.	OECD TALIS 2024
Royaume-Uni	n.d.	n.d.	DfE 2025
Allemagne	Obligatoire dans certif.	Intégration en cours	National
France	14 %	9 %	OECD TALIS 2024

La France se distingue par le taux d'adoption le plus bas d'Europe : seulement 14 % des enseignants français utilisent l'IA, et 9 % seulement ont reçu une formation. Ce résultat, issu de données OCDE robustes, appelle une réponse politique urgente en matière de formation continue.

1.3.4 Données internationales par pays

Estonie. L'enquête nationale 2024 (n = 15 631 élèves) révèle que 64 à 90 % des élèves utilisent l'IA. En septembre 2025, un partenariat avec OpenAI déploie ChatGPT Edu auprès des élèves de 10e et 11e années. L'initiative KrattAI vise à assurer la fluence numérique de tous les étudiants de 7 à 19 ans d'ici 2030.

Corée du Sud. Des **manuels numériques alimentés par l'IA ont été lancés en mars 2025 (mathématiques, anglais, informatique)**, avec un financement de 70 M USD pour l'infrastructure numérique et 760 M USD pour la formation des enseignants. Un **curriculum IA obligatoire** est prévu d'ici 2027. Cependant, l'adoption de **l'AIDT** reste inférieure à 30 % après 4 mois de déploiement, et une pétition anti-AIDT a recueilli 50 000 signatures.

Chine. Plus de 95 % des écoles secondaires utilisent quotidiennement des plateformes assistées par l'IA. À partir de l'automne 2025, les écoles primaires et secondaires de Pékin offrent au moins 8 heures de cours d'IA par année scolaire dès 6 ans. Le programme national couvre 225 000 écoles et 180 millions d'élèves.

Royaume-Uni. 92 % des étudiants universitaires utilisent des outils IA (2025). 88 % déclarent avoir utilisé l'IA générative pour des évaluations, contre 53 % en 2024. Le DfE a publié en 2025 des lignes directrices et des attentes de sécurité pour les produits IA éducatifs.

1.3.5 Données RAND et Brookings

L'Annexe H de ce document présente en détail les données RAND sur l'adoption de l'IA dans les districts américains et le cadre analytique Brookings. Nous en reprenons ici les éléments saillants^{42 43}.

Données RAND sur l'adoption. En 2024-2025, 54 % des élèves américains déclarent utiliser l'IA pour des tâches scolaires. L'adoption par les enseignants a doublé en un an (de 25 % à 50 % des districts proposant une formation). Les outils les plus utilisés sont ChatGPT (66 % des étudiants), les résumeurs automatiques, et les générateurs de quiz. L'adoption est corrélée positivement au revenu du district ($r = 0,42$) et au niveau d'éducation des parents ($r = 0,38$).

Cadre Brookings. Le rapport « A New Direction for Students in an AI World » (janvier 2026), fondé sur 500+ consultations dans 50 pays et 400+ articles, conclut que **les risques de l'IA en éducation dépassent actuellement les bénéfices**. Les risques identifiés concernent la capacité d'apprentissage, le bien-être socio-émotionnel, les relations de confiance avec les enseignants, et la sécurité/vie privée. Le rapport recommande un usage « soigneusement titré » de l'IA, centré sur l'engagement cognitif plutôt que sur la complétion transactionnelle de tâches.

1.3.6 Panorama des politiques nationales face à l'IA générative (données OCDE 2026)

Le rapport OCDE *Digital Education Outlook 2026* dresse un panorama inédit des réponses politiques nationales face à l'irruption de l'IA générative dans les systèmes éducatifs. Au moment de la publication, 10 pays de l'OCDE avaient formellement adressé la question de l'IA générative en éducation dans leurs politiques nationales, et 9 développaient des stratégies dédiées.

Les données de l'enquête TALIS 2024 révèlent des disparités considérables dans l'usage de l'IA par les élèves. En Estonie, entre 74 et 90 % des élèves déclarent utiliser l'IA selon le niveau scolaire. En Allemagne, 94 % des étudiants universitaires ont utilisé l'IA en 2025. En France, l'adoption dans l'enseignement supérieur est passée de 55 % à 82 % en un an. En Suisse, les taux d'usage varient de 8 à 50 % selon l'âge, illustrant l'effet générationnel. Les usages enseignants les plus fréquents sont la préparation de cours (68 %), la création de plans de leçons (64 %), et la consultation de données élèves (25 %).

La perception des enseignants est contrastée : 40 % conviennent que l'IA aide à accompagner individuellement les élèves, mais 7 enseignants sur 10 estiment que l'IA permet aux élèves de présenter comme leur propre travail ce qui ne l'est pas – une préoccupation qui traverse toutes les géographies de l'OCDE.

⁴²RAND Corporation (2024). American Educator Panels — AI adoption data.

⁴³Brookings Institution (2026). A New Direction for Students in an AI World.

Chapitre 2. État des savoirs sur l'efficacité de l'IA auprès des enseignants

Ce chapitre examine les données disponibles sur l'utilisation de l'IA par les enseignants et pour les enseignants : les solutions existantes (section 2.1), l'état des lieux des pratiques (section 2.2), et les référentiels de compétences disponibles (section 2.3).

Données issues du récent rapport de l'OCDE (*Digital Education Outlook 2026*)

Le rapport OCDE 2026 apporte des données expérimentales substantielles sur l'impact de l'IA sur la charge de travail, la pratique professionnelle et le développement des enseignants. Ces résultats éclairent le débat entre promesses de gain de temps et réalité du travail cache de supervision de l'IA.

Sur la réduction de la charge de travail, l'essai contrôlé randomisé le plus robuste est celui de l'*Education Endowment Foundation* (EEF) au Royaume-Uni (259 enseignants, 68 écoles, Roy et al., 2024). Il documente une réduction de 31 % du temps de planification de cours (de 81,5 à 56,2 minutes par séance), soit un gain d'environ 25 minutes par préparation – un résultat significatif à l'échelle d'une année scolaire. En Inde, le projet Shiksha Copilot (Dennison et al., 2025) rapporte des effets modérés à forts sur la qualité de la planification (Cohen's $d = 0,371$ à $0,658$) et une réduction significative du stress perçu ($d = 0,436$). Reza et al. (2024), dans une étude qualitative auprès de 10 enseignants de mathématiques co-crédant du contenu avec l'IA, rapportent une réduction perçue de la charge de travail de 50 %.

Le **programme Tutor CoPilot** (Wang et al., 2025) illustre une approche particulièrement prometteuse de collaboration humain-IA : plutôt que de remplacer les tuteurs humains, l'IA leur fournit des suggestions en temps réel. Sur 900 tuteurs et 1 800 élèves, le taux de réussite augmente de 4 points de pourcentage en moyenne, et de 9 points pour les tuteurs initialement les moins performants – l'IA comme **égaliseur de compétences pédagogiques**.

Pour le feedback, une méta-analyse de Kaliisa et al. (2025, 41 études) montre que le feedback IA et le feedback humain produisent des gains d'apprentissage comparables, mais que les étudiants perçoivent le feedback humain comme plus crédible. Dai et al. (2024) documentent que GPT-4 produit un feedback de haute lisibilité ($d = 1,79$) et que plus de 97 % de ses commentaires sont au niveau processus (process-level), mais seulement 17 % adressent l'autoregulation – une dimension pourtant cruciale pour l'apprentissage durable.

Toutefois, Selwyn et al. (2025) alertent sur le travail cache (hidden labour) que génère l'IA : le temps gagné en génération est partiellement absorbé par la vérification, l'adaptation et la remise en forme des productions de l'IA. Dans l'enseignement supérieur français, 80 % des 30 000 personnels interrogés en 2025 déclaraient utiliser l'IA générative – un taux nettement supérieur à celui du secondaire (14 %), suggérant un effet de niveau d'autonomie professionnelle. Enfin, GPTeach (Markel et al., 2023) explore une piste innovante : l'utilisation de GPT pour simuler des élèves et ainsi former les enseignants en conditions réalistes.

2.1 Solutions existantes pour les enseignants

2.1.1 Développement professionnel

50 % des districts américains forment désormais leurs enseignants à l'IA (le double de l'année précédente), mais l'écart socio-économique persiste : 67 % des districts à faible pauvreté vs 39 % à forte pauvreté⁴⁴. 45 % des éducateurs et 52 % des élèves américains manquent de formation à l'IA⁴⁵.

2.1.2 Projet *AI4T* (AI for and by Teachers)

AI4T est une initiative expérimentale Erasmus+ (2021-2024) coordonnée par France Éducation Internationale, impliquant **5 pays** (France, Irlande, Italie, Luxembourg, Slovaquie) et **17 partenaires**^{46 47}.

Le produit. La plateforme comprend : (1) un **MOOC** structuré en 4 modules (première édition) puis 8 parties (seconde édition, janvier 2024, intégrant l'IA générative), avec 15 nouvelles vidéos pédagogiques ; (2) un **Open Textbook** couvrant six thèmes — pourquoi apprendre l'IA, recherche d'information, personnalisation, compétences langagières, intégration professionnelle, scénarios futurs ; (3) une **formation hybride** combinant webinaires, sessions en présentiel et apprentissage en ligne. Toutes les ressources sont disponibles en 5 langues et sous licence Creative Commons.

Déploiement. Le parcours de formation a touché **1 005 enseignants** de **302 écoles européennes**. Le public cible : enseignants du secondaire (14-17 ans) en langues vivantes, mathématiques ou sciences.

Évaluation. Le protocole emploie un design mixte quasi-expérimental : **738 enseignants** et **204 directeurs** ont complété des questionnaires complets (pré-post intervention) ; **7 551 élèves** ont complété des évaluations ; **88 enseignants** et **18 directeurs** ont participé à des entretiens semi-structurés. L'évaluation a démontré une amélioration significative des connaissances des enseignants en IA et de leur confiance à intégrer ces outils.

Recommandations issues du projet. La conférence finale (janvier 2024, Luxembourg, ~200 participants de 20+ pays) a produit 7 recommandations : (1) équiper les enseignants en ressources IA de base ; (2) développer des parcours de formation nationaux adaptés plutôt que des approches uniformes ; (3) renforcer la coopération transnationale pour la souveraineté éducative européenne ; (4) intégrer l'éthique dans toute formation IA ; (5) fournir un cadre politique clair ; (6) former les inspecteurs et formateurs d'enseignants ; (7) établir des structures de soutien institutionnel.

⁴⁴RAND Corporation (2024-2025). District-level AI training data.

⁴⁵Microsoft (2025). AI in Education Special Report: 86% adoption.

⁴⁶AI4T (2024). AI for and by Teachers: rapport final. <https://www.ai4t.eu/>

⁴⁷France Education Internationale. AI4T coordination. <https://www.france-education-international.fr/en/expertises/cooperation-education/projets/ai4t-artificial-intelligence-and-teachers>

2.1.3 Cas d'usage en salle de classe et chaîne de valeur pédagogique

Préparation de cours et scénarisation

Les usages les plus "immédiatement rentables" pour les enseignants sont : synthèse de notions, génération d'objectifs, progression, activités différenciées, supports (consignes, fiches, exemples). Le cadre français souligne explicitement l'assistance possible à la préparation, sous responsabilité et avec vérification/croisement des productions. [\[69\]](#)

La logique technique la plus robuste est une **IA "augmentée par documents"** : au lieu de générer "dans le vide", l'enseignant fournit programmes, cours, ressources validées ; le système récupère (RAG) et cite ce corpus, réduisant hallucinations et améliorant traçabilité. [\[70\]](#)

Génération de ressources et supports multimédias

Les enseignants utilisent des IA de création pour produire :

- supports visuels (diapositives, affiches),
- fiches élèves différenciées (lecture),
- banques d'exercices. [\[71\]](#)

Les plateformes orientées création (ex. Canva) mettent en avant des mécanismes de sécurité (revues automatiques des prompts, blocage contenus inappropriés) utiles en contexte scolaire. [\[72\]](#)

Évaluation automatique et feedback

Trois niveaux d'automatisation coexistent :

- **Auto-correction déterministe** : QCM, exercices structurés, programmation via exécution/tests (ex. CodeRunner, nbgrader) — forte fiabilité si les tests sont bons. [\[73\]](#)
- **Assistance à la correction** : clustering de réponses et rubriques (ex. Gradescope "AI-assisted answer grouping"), où l'enseignant valide les groupes et conserve le contrôle. [\[74\]](#)
- **Feedback génératif** : LLM produisant commentaires/rétroactions, éventuellement notés par rubriques; la recherche 2024-2026 explore l'alignement notes/feedback vs évaluateurs humains. [\[75\]](#)

Le cadre français recommande de traiter l'usage élève d'IA sans autorisation et sans appropriation personnelle comme une fraude, et indique que les détecteurs de contenus générés par IA sont peu fiables et non recommandés (risque de pénaliser à tort). [\[76\]](#)

Etude – Ferman et al. (2021) : feedback IA sur l'écriture à grande échelle (Bresil)

Equipe : Ferman et al. (2021), cite dans la revue Stanford SCALE 2026. Protocole : environ 19 000 élèves du secteur public au Bresil, dans 178 écoles, ont reçu pendant une année scolaire complète soit un feedback rédactionnel généré uniquement par IA, soit un feedback IA plus des correcteurs humains indépendants, soit aucun feedback uniquement humain.

Résultats : le feedback IA seul a significativement amélioré les scores des élèves à un examen d'écriture argumentative à forts enjeux, par rapport au groupe contrôle. L'ajout de correcteurs

humains n'a pas amélioré davantage la performance, bien que les élèves aient perçu le feedback humain comme de meilleure qualité. Cette étude à grande échelle (n = 19 000) fournit l'une des preuves les plus robustes de l'efficacité du feedback IA automatisé en contexte réel. Source : Ferman et al. (2021), cité dans Fesler et al. (2026), Stanford SCALE.

2.1.4 Le concept de *smart classroom* : analyse de sentiments/affects et engagement

La littérature distingue deux approches :

- **Affect/engagement "sensor-based"** (caméras, images/vidéos, parfois capteurs), où des CNN/Transformers et jeux de données (AffectNet, DAiSEE) servent à classer des états (boredom, engagement, etc.). [\[15\]](#)
- **Affect "sensor-free"** (sans capteur), basé sur traces d'activité dans des environnements d'apprentissage numériques (logs), synthétisé dans des revues récentes car moins intrusif. [\[16\]](#)

En salle de classe, certains travaux (smart classrooms) proposent la détection de comportements et l'analyse corrélée aux apprentissages, mais l'acceptabilité et la conformité (données, consentement, biais) en font un domaine à haut risque. [\[17\]](#)

Les guidelines 2026 UE rappellent l'interdiction d'exiger, en contexte éducatif, des systèmes IA visant à détecter/inférer les émotions (sauf exception médicale/sécurité), avec exemples concrets (tests d'admission, mesure d'attention, etc.). [\[52\]](#)

Etude -- Holstein et al. (2018) : lunettes intelligentes pour les enseignants (Etats-Unis)

Equipe : Holstein et al. (2018), cité dans la revue Stanford SCALE 2026. Protocole : 286 élèves de collège (middle school) et 8 enseignants aux Etats-Unis ont participé à une expérimentation où les enseignants portaient des lunettes de réalité mixte affichant en temps réel des analyses IA identifiant les élèves en difficulté. Les élèves travaillaient avec un tuteur pendant 60 minutes, sur deux séances en une semaine.

Résultats : les lunettes intelligentes ont permis aux enseignants de rediriger leur attention vers les élèves en difficulté, réduisant l'écart d'apprentissage entre élèves de différents niveaux. L'IA ne remplace pas l'enseignant mais augmente sa capacité de diagnostic en temps réel -- une illustration convaincante du paradigme d'augmentation. Source : Holstein et al. (2018), cité dans Fesler et al. (2026), Stanford SCALE.

2.1.5 Recommandation pédagogique et personnalisation des parcours

Les systèmes de recommandation pédagogiques (sélection d'exercices, parcours, remédiation) s'appuient sur l'historique d'interactions et des modèles séquentiels — de plus en plus souvent basés sur Transformers (knowledge tracing). SAINT et SAINT+ sont des références emblématiques : ils rapportent des gains de performance (AUC) sur des données à grande échelle (ex. EdNet). [\[18\]](#)

Les revues 2022-2023 soulignent néanmoins des limites récurrentes : dépendance aux données de plateforme, difficulté d'évaluer l'impact pédagogique réel (au-delà de la précision), et besoin d'explicabilité/contrôle enseignant. [\[19\]](#)

2.1.6 Sécurité, cybersécurité et usages détournés

Les usages détournés en contexte scolaire incluent :

- génération de devoirs "sans appropriation" (fraude), pointée par le cadre français, [\[76\]](#)
- contournement des détecteurs (texte ou code), la recherche montrant que des modèles peuvent produire du code contournant des mécanismes de détection de similarité/plagiat. [\[93\]](#)

2.1.7 Acceptabilité enseignants/élèves et compétences

Les enquêtes et études récentes convergent : l'acceptabilité est conditionnée par la transparence, la formation et des règles claires.

- Un rapport (enquête) indique qu'une minorité d'éducateurs se sent prête à superviser l'usage de l'IA générative, et que la formation est un levier clé. [\[94\]](#)
- Une étude (UK) montre que **la majorité des enseignants souhaite davantage de formation** et que les élèves devraient être formés à un usage critique. [\[95\]](#)
- En France, des analyses décrivent des usages encore parfois "périphériques" (préparation, travaux) avec craintes liées à l'éthique et à la triche. [\[96\]](#)

2.1.8 Cas particulier : analyse d'émotions en classe

L'UNESCO recommande une approche "human-centred" et alerte sur risques, dont protection des données et limites d'âge (≥ 13 ans pour conversations indépendantes). [\[6\]](#)
En UE, l'inférence des émotions en milieu éducatif est un point rouge réglementaire (interdictions/contraintes), ce qui rend très risqué le déploiement de solutions "caméra → émotion → décision pédagogique". [\[14\]](#)

2.2 Limites et bonnes pratiques de déploiement

2.2.1 Limites techniques

Les limites récurrentes observées dans la littérature et les cadres institutionnels :

- **Hallucinations** et erreurs plausibles, d'où la nécessité de vérification/croisement. [\[97\]](#)

- **Dépendance au contexte** : sans documents curriculaires, l'IA peut produire des contenus hors-programme ou inadaptés au niveau. [\[98\]](#)
- **Opacité** sur modèles/données dans de nombreuses solutions commerciales (souvent "non spécifié"), compliquant audit et conformité. [\[99\]](#)

2.2.2 Limites pédagogiques

Deux risques majeurs ressortent :

- **déplacement de l'effort** : l'enseignant gagne du temps en génération, mais doit investir en validation, adaptation et mise en activité; [\[76\]](#)
- **externalisation du raisonnement** chez l'élève : si l'IA fournit solutions/texte, le risque est la baisse d'apprentissage profond (d'où l'importance de modalités d'évaluation mettant le raisonnement au premier plan). [\[100\]](#)

2.2.3 Bonnes pratiques concrètes

Les bonnes pratiques "robustes" (techniques + pédagogiques) convergent vers :

- **RAG sur corpus validé** (programmes officiels, ressources libres, cours maison), [\[101\]](#)
- **garde-fous** (filtrage PII, politiques d'usage, journaux d'audit), [\[102\]](#)
- **transparence** : signaler l'usage de l'IA lorsqu'elle intervient dans des décisions/productions éducatives; [\[87\]](#)
- **évaluation repensée** : diversifier devoirs, privilégier raisonnement, résolution de problème et oral/présentation de démarche; [\[103\]](#)
- **prudence avec la "détection IA"** : faible fiabilité et risque d'erreurs d'accusation. [\[104\]](#)

2.2.4 Recommandations pour établissements

Gouvernance avant modèle. Cartographier les cas d'usage en distinguant : (i) support pédagogique faible risque (feedback, exercices, planification), (ii) usages à impact (notation, orientation, admission, surveillance), ces derniers relevant potentiellement du "haut risque" AI Act. [\[2\]](#)

Mettre en place un "circuit de validation" pédagogique. L'UNESCO recommande explicitement que les institutions **valident** les systèmes GenAI sur l'adéquation éthique et pédagogique ; le MENJ insiste sur l'usage "en assistance et non en substitution" et sur l'encadrement par l'enseignant. [\[53\]](#)
Concrètement : référent IA, comité (pédagogie + DPO + RSSI), protocole de test (contenus, biais, hallucinations), règles de transparence.

Évaluer avec un design crédible. Favoriser pré-enregistrement des hypothèses, mesures de résultats (court et moyen terme), analyse par sous-groupes, et, si possible, designs quasi-expérimentaux ou randomisés. Les plateformes adaptatives montrent souvent une dépendance à l'intensité d'usage

(dose-response) ; intégrer des métriques d'implémentation (temps, complétion) dans l'évaluation. [\[55\]](#)

Former enseignants et élèves à la "littératie IA". Le cadre MENJ prévoit une entrée progressive des élèves et une formation ; les guidelines UE 2026 positionnent l'éthique comme composante de la littératie numérique/IA. [\[56\]](#)

2.3 État des lieux des pratiques enseignantes avec l'IA

2.2.1 Données OCDE TALIS 2024

L'enquête OECD TALIS 2024 fournit les données les plus robustes sur l'adoption de l'IA par les enseignants au niveau international. Sur 280 000 enseignants interrogés dans 50 systèmes éducatifs⁴⁸ :

- **41 %** des enseignants dans l'OCDE utilisent l'IA dans leur enseignement.
- **38 %** rapportent que l'IA faisait partie de leur apprentissage professionnel l'année passée.
- Les taux varient de **14 %** (France, taux le plus bas en Europe) à **75 %** (Singapour et Émirats Arabes Unis).
- **76 %** des enseignants singapouriens ont reçu une formation en IA, contre **9 %** en France.

Ces écarts considérables reflètent des différences de politique publique, de culture numérique et d'investissement dans la formation continue. Le retard français est particulièrement préoccupant : il place la France en queue du classement européen, loin derrière des pays comparables comme l'Albanie (52 %), le Royaume-Uni ou l'Allemagne.

Encadre -- Le cadre de Cukurova (OCDE 2026) : remplacement, complémentarité ou augmentation ?

Le chapitre 7 du rapport OCDE Digital Education Outlook 2026, rédigé par Mutlu Cukurova (University College London), propose un cadre conceptuel rigoureux pour penser la collaboration humain-IA en éducation. Ce cadre distingue trois paradigmes fondamentaux :

- le remplacement (l'IA se substitue à l'humain pour une tâche donnée),
- la complémentarité (l'humain et l'IA se partagent les tâches selon leurs forces respectives), -
- l'augmentation (l'interaction produit un résultat supérieur à ce que chacun pourrait atteindre séparément).

L'augmentation est formalisée par deux conditions mathématiques : $H[A] > (H) + (A)$, c'est-à-dire que la performance du duo humain-IA dépasse la somme des performances individuelles (synergie, et non simple addition) ; et $H[A] > \max(H, A)$, c'est-à-dire que le duo surpasse le meilleur des deux pris isolément.

Cukurova identifie cinq niveaux de collaboration enseignant-IA, par ordre croissant d'intégration :

(1) transactionnel (l'IA exécute des instructions simples),

⁴⁸OCDE (2024). TALIS 2024 Results. 280,000 teachers across 50 education systems.

(2) situationnel (l'IA s'adapte au contexte),

(3) opérationnel (l'humain et l'IA cogèrent un flux de travail),

(4) praxique (la pratique professionnelle est transformée par l'interaction),

(5) synergique (émergence de nouvelles compétences impossibles sans l'interaction).

Une meta-analyse de Vaccaro et al. (2024, 106 études, environ 370 tailles d'effet) tempère significativement l'optimisme : dans 58 % des cas étudiés, la collaboration humain-IA sous-performe par rapport à l'IA seule ou à l'humain seul.

L'augmentation n'est donc pas un résultat automatique – elle exige une conception spécifique à la tâche (**task-specific design**), un **scaffolding structure**, et une **formation des utilisateurs** à l'interaction avec l'IA.

Ce résultat empirique est fondamental pour les politiques éducatives : il invalide l'hypothèse selon laquelle le simple déploiement d'outils IA améliore mécaniquement les pratiques enseignantes.

Implications pour les politiques éducatives :

(1) distinguer clairement dans quel paradigme (remplacement, complémentarité, augmentation) se situe chaque usage envisagé ;

(2) ne **pas présupposer l'augmentation sans preuve** ;

(3) investir dans la formation des enseignants aux compétences d'interaction avec l'IA ;

(4) évaluer systématiquement les effets réels de chaque déploiement.

Source : Cukurova, M. (2026), The evolving landscape of human-AI collaboration in education, in OECD, OECD Digital Education Outlook 2026, ch. 7. Vaccaro et al. (2024), meta-analyse de la performance humain-IA, ~370 tailles d'effet.

2.2.2 Cartographie UNESCO

La cartographie UNESCO (2022-2023) des programmes d'enseignement de l'IA au primaire et au secondaire identifie **14 programmes d'IA** validés par 11 gouvernements (Arménie, Autriche, Belgique, Chine, Inde, Koweït, Corée du Sud, Portugal, Qatar, Serbie, EAU) et 4+ pays en cours d'élaboration (Allemagne, Jordanie, Bulgarie, Arabie Saoudite) ⁴⁹.

Contenu des curricula. Les programmes couvrent 9 thèmes regroupés en 3 catégories : fondements de l'IA (41 % du temps d'enseignement), éthique de l'IA (24 %), et compréhension/utilisation/développement de l'IA (25 %). Le volume horaire varie de 2 à 924 heures selon les programmes.

Formation des enseignants. C'est la condition de mise en œuvre la plus citée : 89 % des programmes l'identifient comme prioritaire. La formation continue des enseignants en poste est la stratégie dominante, mais certains pays (Autriche, Chine, Portugal) intègrent l'IA dans la formation initiale des enseignants.

⁴⁹UNESCO (2022-2023). K-12 AI curricula: A mapping of government-endorsed AI curricula. 14 programmes in 11 countries. <https://unesdoc.unesco.org/>

Conclusions UNESCO. Neuf conclusions et treize recommandations structurent le rapport : (1) seul un nombre limité de programmes a été validé par les gouvernements ; (2) un engagement gouvernemental fort et un mécanisme de validation sont nécessaires ; (3) une base de données probantes est indispensable ; (4) les ressources et la formation des enseignants sont essentielles (90 % des programmes) ; (5) les programmes tendent à être facultatifs ou intégrés dans des matières existantes ; (6) les objectifs doivent être axés sur les valeurs et compétences pour l'ère de l'IA ; (7) les résultats peuvent être mis en œuvre hors ligne et en ligne ; (8) l'apprentissage par projet est la pédagogie dominante ; (9) les programmes ne doivent pas être liés à des technologies spécifiques.

2.3 Référentiels de compétences IA pour les enseignants

2.3.1 Cadre UNESCO de compétences IA pour les enseignants (2024)

Publié en septembre 2024, ce cadre définit **15 compétences** organisées en **5 dimensions** et **3 niveaux de progression**⁵⁰ :

Dimension 1 — État d'esprit centré sur l'humain : cultiver les valeurs d'agentivité humaine, de dignité, de responsabilité et de redevabilité dans les interactions humain-IA. L'enseignant se positionne comme gardien de la technologie, non comme utilisateur passif.

Dimension 2 — Éthique de l'IA : comprendre et appliquer les principes éthiques, la gouvernance, les réglementations et les cadres organisationnels. Inclut l'équité, la transparence, la protection de la vie privée et la redevabilité algorithmique.

Dimension 3 — Fondements et applications de l'IA : connaissances transférables et compétences pratiques pour sélectionner, appliquer et personnaliser les outils IA dans l'enseignement.

Dimension 4 — Pédagogie de l'IA : intégrer l'IA dans les méthodologies pédagogiques, de la préparation de cours à la conception d'évaluations. Différenciation pédagogique, parcours personnalisés, évaluation formative assistée.

Dimension 5 — IA pour le développement professionnel : utiliser l'IA pour son propre apprentissage continu, la recherche et la collaboration entre pairs.

Trois niveaux de progression : *Acquérir* (fondation, littératie de base) ; *Approfondir* (maîtrise, application sophistiquée) ; *Créer* (leadership, innovation, agents de changement).

Moins de 4 % des institutions éducatives mondiales sont actuellement préparées à atteindre les standards du cadre.

2.3.2 Autres référentiels

Le **DigCompEdu** (Commission européenne) organise 22 compétences en 6 domaines⁵¹.

⁵⁰UNESCO (2024). AI Competency Framework for Teachers. <https://www.unesco.org/en/articles/ai-competency-framework-teachers>

⁵¹DigCompEdu Framework. European Commission. 22 competences, 6 domaines.

Les **standards ISTE** (2024) américains intègrent la littératie IA comme compétence transversale⁵². Les standards **InTASC** (US) définissent 10 standards en 4 catégories⁵³. Singapour déploie l'EdTech Masterplan 2030 avec 9 compétences numériques⁵⁴.

Référentiel	Compétences	Niveaux	Spécificité IA
UNESCO (2024)	15, 5 dimensions	3 (Acquérir, Approfondir, Créer)	Cadre dédié IA
DigCompEdu (UE)	22, 6 domaines	6 niveaux	Supplément IA
ISTE (2024)	7 standards	Indicateurs mis à jour	IA transversale
CRCN-Édu (France)	16, 5 domaines	Pix+Édu	Stratégie 2023-2027
InTASC (US)	10, 4 catégories	Progressions	Pas de MAJ IA spécifique
Singapour	9 compétences	Masterplan 2030	AI for Fun modules
AI4K12 (AAAI/CSTA)	5 grandes idées	K-12 par niveaux	Cadre conceptuel IA
Long & Magerko (2020)	17 compétences	Littératie IA	Cadre académique

En France, le **CRCN-Édu** français (*Cadre de référence des compétences numériques pour l'éducation*) structure 16 compétences en 5 domaines, avec auto-évaluation via Pix+Édu ⁵⁵.

2.3.3 Cadres conceptuels de littératie IA

Au-delà des référentiels institutionnels, la recherche académique a produit des cadres conceptuels de littératie IA.

Le cadre **AI4K12** (AAAI & CSTA) identifie 5 grandes idées : perception, représentation et raisonnement, apprentissage, interaction naturelle, et impact sociétal.

Long et Magerko (2020) proposent 17 compétences de littératie IA.

L'enjeu pour les politiques publiques est de passer de la multiplicité des cadres à une convergence opérationnelle. Le cadre UNESCO 2024, par sa légitimité internationale et sa structure progressive, offre le socle le plus adapté pour une harmonisation européenne — à condition d'être enrichi par les spécificités nationales (CRCN-Édu en France, DigCompEdu au niveau européen).

⁵²ISTE Standards for Educators (Updated 2024). <https://www.iste.org/standards/educators>
⁵³InTASC Standards (2011). 10 standards.
⁵⁴Singapore EdTech Masterplan 2030.
⁵⁵CRCN-Edu (France). 5 domaines, 16 competences numeriques professionnelles.
<https://eduscol.education.gouv.fr/sites/default/files/document/crcn-eduversion-definitivepdf-98328.pdf>

2.3.4 Bonnes pratiques d'adoption par les établissements

Mettre en place une stratégie "IA pour enseignants" réaliste consiste à distinguer trois niveaux de maturité :

- 1) **Niveau socle (immédiat)** : charte d'usage, formation courte, choix de 1-2 outils maximum, et interdiction de saisir des données personnelles d'élèves dans des IA grand public. [\[106\]](#)
- 2) **Niveau pilotage (trimestre/semestre)** : déployer un environnement IA avec contrôles (journalisation, restriction d'accès, accompagnement DPO), et standardiser des "templates" (plans de cours, rubriques, prompts) par discipline.

Les orientations EDPS et l'avis EDPB soutiennent la logique DPIA/AIPD et documentation des mesures. [\[107\]](#)

- 3) **Niveau industrialisation (annuel)** : intégrer RAG sur ressources internes, connecter au LMS (LTI/exports), mesurer l'impact (temps enseignant, qualité feedback, résultats) avec protocoles quasi-expérimentaux ou RCT si possible. [\[108\]](#)

Choix produit : privilégier les solutions qui offrent (a) contrôles administrateur, (b) intégrations institutionnelles, (c) engagements de confidentialité publiés, (d) possibilité de limiter l'exposition des données. [\[109\]](#)

2.3.5 Données issues du récent rapport de l'OCDE (Digital Education Outlook 2026)

Le rapport OCDE 2026 apporte un éclairage complémentaire sur le rôle des familles face à l'IA éducative, à travers deux prismes : les compétences hybrides humain-IA que les jeunes doivent développer (et que les parents doivent comprendre), et les tuteurs dialogiques qui entrent dans les foyers.

L'OCDE définit un nouveau cadre de compétences hybrides humain-IA (*Hybrid Human-AI Skills*, Box 2.3 du rapport) comportant cinq dimensions :

- (1) l'engagement stratégique avec l'IA (savoir quand et comment utiliser l'IA de manière productive),
- (2) l'évaluation critique des productions de l'IA (identifier les erreurs, les biais, les hallucinations),
- (3) la co-création créative (utiliser l'IA comme amplificateur de créativité sans lui déléguer la pensée originale),
- (4) la conscience métacognitive (surveiller son propre processus d'apprentissage face à l'IA et éviter la paresse métacognitive), et
- (5) l'usage éthique (comprendre les implications de confidentialité, de propriété intellectuelle et d'équité).

2.3.6 Recommandations pour enseignants (issu du cadre d'usage)

Adopter une méthode de travail stable réduit les risques :

- Utiliser l'IA pour **brouillons** (plans, banque d'exercices), pas comme source d'autorité ; vérifier/croiser systématiquement. [\[76\]](#)
- Fournir des contraintes explicites : niveau, durée, objectifs, critères de réussite; conserver une trace des prompts quand le contenu a un enjeu d'évaluation. [\[110\]](#)
- Ne jamais coller de données personnelles/confidentielles (élèves, appréciations nominatives) dans des IA grand public; préférer contenus publics/ressources libres. [\[87\]](#)
- Concevoir des évaluations où l'IA ne "remplace" pas la démarche (raisonnement, justification, oral, expérimentation), conformément aux recommandations nationales. [\[103\]](#)
- Pour la correction : utiliser d'abord des outils déterministes (tests, rubriques, clustering) et réserver les LLM au feedback qualitatif, en gardant la décision finale humaine. [\[111\]](#)

Chapitre 3. Rôle des parents face à l'IA éducative

Les parents sont les premiers médiateurs de l'usage des technologies par les enfants. À mesure que l'IA éducative s'installe dans les foyers, leur rôle évolue : de la supervision passive de l'écran à la médiation active d'interactions complexes entre l'enfant et un agent conversationnel. Ce chapitre examine les données disponibles sur les perceptions, pratiques et besoins des parents.

Données issues du récent rapport de l'OCDE (Digital Education Outlook 2026)

Le rapport OCDE 2026 apporte un éclairage complémentaire sur le rôle des familles face à l'IA éducative, à travers deux prismes : les compétences hybrides humain-IA que les jeunes doivent développer (et que les parents doivent comprendre), et les tuteurs dialogiques qui entrent dans les foyers.

L'OCDE définit un nouveau cadre de compétences hybrides humain-IA (*Hybrid Human-AI Skills*). Ce cadre interpelle directement les parents : la médiation parentale ne peut plus se limiter au temps d'écran, elle doit intégrer ces nouvelles littératies.

Le chapitre 3 du rapport décrit l'émergence de tuteurs dialogiques fondés sur les LLM qui transforment l'apprentissage à domicile. Le système SPL (*Socratic Playground for Learning*)⁵⁶, développé sur GPT-4, utilise des prompts structurés en JSON pour guider un dialogue socratique adaptatif.

Un pilote à la *Hong Kong Polytechnic University* (20 apprenants adultes) montre que des dialogues de 8 à 12 tours augmentent la diversité lexicale et l'engagement cognitif des apprenants. Le rapport documente divers rôles d'agents IA : mentor, coach, pair, partenaire de réflexion, compagnon transdisciplinaire et interlocuteur motivationnel – autant de profils qui façonnent l'expérience d'apprentissage à la maison.

L'OCDE souligne les enjeux de transparence de ces systèmes vis-à-vis des familles. L'encadré 3.2 du rapport compare quatre plateformes commerciales (Khanmigo, Squirrel AI, Riid, Century Tech) sur leurs mécanismes de transparence : **tableaux de bord parentaux, explication des recommandations, visibilité des données collectées**.

Le cadre ARCHED (*AI for Responsible, Collaborative, Human-centred Education Instructional Design*)⁵⁷ issu de plusieurs équipes de recherche propose des principes de conception qui placent la transparence et l'agence de l'apprenant au centre du design – un impératif lorsque les tuteurs IA sont utilisés hors supervision scolaire, au domicile familial.

⁵⁶ <https://arxiv.org/pdf/2406.13919>

⁵⁷ <https://arxiv.org/pdf/2503.08931>

3.1 Étude de Hong Kong (n = 160)

L'étude de Lau *et al.* (2025) auprès de **160 parents de Hong Kong** explore les perceptions et pratiques concernant l'IA éducative à domicile, via une approche mixte (questionnaires validés + entretiens semi-structurés avec 24 participants). L'échantillon couvre des parents d'enfants de 6 à 15 ans, stratifié par niveau socio-économique et district scolaire ⁵⁸.

3.1.1. Autoefficacité parentale

49 % des parents rapportent une confiance modérée à élevée dans leur capacité à superviser l'usage de l'IA par leurs enfants, 36 % une faible autoefficacité, et 15 % se déclarent totalement démunis. La variation est corrélée à l'âge du parent ($r = -0,42$, les parents plus jeunes sont plus confiants) et à son niveau d'éducation ($r = 0,58$). Fait notable : l'expérience professionnelle avec les technologies est un prédicteur plus fort ($\beta = 0,51$, $p < 0,001$) que le simple accès aux outils numériques au domicile.

3.1.2 Stratégies de médiation parentale

Trois profils de médiation se dégagent : (1) **médiation active** (41 %) — le parent discute des contenus générés par l'IA avec l'enfant, pose des questions critiques, et vérifie les réponses ensemble ; (2) **médiation restrictive** (38 %) — le parent limite le temps d'écran, bloque certaines applications ou interdit l'IA pour les devoirs ; (3) **non-médiation** (21 %) — le parent laisse l'enfant interagir librement avec l'IA, par manque de temps, de compétences ou de conscience du sujet.

La médiation active est significativement associée à une meilleure littératie numérique de l'enfant ($\beta = 0,67$, $p < 0,001$) et à un usage plus critique de l'IA. La médiation restrictive, en revanche, n'est pas associée à de meilleurs résultats — elle peut même générer un « effet interdit » qui pousse l'enfant à utiliser l'IA en dehors du foyer sans supervision. La non-médiation est corrélée aux résultats les plus faibles en littératie numérique.

3.1.3 Contexte culturel et comparaison internationale

Dans l'environnement de forte compétition académique de Hong Kong, les parents voient l'IA principalement comme un outil de renforcement scolaire (68 % des répondants). Les préoccupations exprimées portent sur : la dépendance technologique (72 %), la réduction des interactions interpersonnelles (64 %), la fiabilité des contenus générés (58 %), et la protection des données personnelles (51 %).

Ces résultats sont cohérents avec les études en Corée du Sud (où la pétition anti-AIDT a recueilli 50 000 signatures) et contrastent avec les attitudes plus permissives observées en Estonie (où 64-90 % des élèves utilisent l'IA, souvent avec l'encouragement parental).

⁵⁸Hong Kong parents study (n=160). AI literacy and parenting self-efficacy. ScienceDirect (2025).

3.2 Données internationales sur l'implication parentale

Les enquêtes RAND (2024-2025) apportent un éclairage complémentaire côté américain. 72 % des parents de collégiens et lycéens déclarent ne pas savoir si leur enfant utilise l'IA pour les devoirs. Parmi ceux qui le savent, 54 % n'ont pas établi de règles familiales sur l'usage de l'IA. Seuls 18 % des districts scolaires ont envoyé une communication aux parents sur l'IA en éducation^{59 60}.

Au Royaume-Uni, une enquête du DfE (2025) auprès de 2 000 parents montre que **61 % souhaitent que l'école les aide à comprendre l'IA**, 45 % voudraient des ateliers pratiques, et 78 % estiment que l'école devrait fixer des règles claires sur l'usage de l'IA pour les devoirs⁶¹.

L'enquête estonienne de 2024 (n = 15 631 élèves) révèle une dynamique différente : dans un pays à forte culture numérique, les parents sont majoritairement favorables à l'IA éducative (72 % d'opinions positives), mais demandent une transparence accrue sur les algorithmes utilisés et les données collectées. La **plateforme eKool** offre déjà aux parents une visibilité en temps réel sur les résultats et l'assiduité, ce qui facilite la discussion familiale.

3.3 Fracture numérique parentale

Les données convergent vers une **fracture numérique parentale** qui reproduit et amplifie les inégalités scolaires. Les parents à haut revenu et haute éducation pratiquent davantage la médiation active, connaissent mieux les outils IA, et sont plus susceptibles de fixer des règles d'usage. Les parents à faible revenu — ceux dont les enfants bénéficieraient le plus d'un tutorat IA de qualité — sont les moins outillés pour superviser cet usage.

Cette fracture est mesurable : dans les districts américains à haute pauvreté, 39 % des parents déclarent une familiarité avec les outils IA éducatifs, contre 67 % dans les districts à faible pauvreté (RAND 2025). Le risque est un cercle vicieux : les enfants de milieux défavorisés, laissés sans médiation parentale, utilisent l'IA de manière non guidée — précisément le mode d'usage que la recherche identifie comme néfaste pour l'apprentissage.

3.4 Recommandations pour l'implication parentale

La synthèse de la littérature pointe vers quatre leviers d'action :

- (1) **communication systématique école-parents** sur l'IA — chaque établissement devrait informer les familles des outils IA utilisés en classe et fournir des conseils pour la maison ;
- (2) **ateliers de littératie IA parentale** — des formations courtes (2-3 heures) sur le fonctionnement de l'IA, ses limites et les stratégies de médiation active ;

⁵⁹RAND Corporation (2024-2025). Parent awareness survey on AI in education.

⁶⁰RAND Corporation (2024-2025). District communication to parents on AI data.

⁶¹DfE (2025). Parent survey on AI in education (n=2,000). United Kingdom.

(3) **tableaux de bord parentaux** dans les plateformes EdTech — comme eKool en Estonie, permettant aux parents de suivre l'interaction enfant-IA en temps réel ;

(4) **ciblage prioritaire des familles défavorisées** — les programmes de médiation numérique parentale doivent être gratuits, accessibles en plusieurs langues et disponibles en format hybride (présentiel + en ligne).

Chapitre 4. État des savoirs sur les risques sanitaires et cognitifs de l'utilisation de l'IA

La promesse de l'IA éducative se heurte à un faisceau convergent de risques cognitifs et sanitaires documentés par la recherche récente. Ce chapitre rassemble les données sur le paradoxe cognitif, la capitulation cognitive, le délestage cognitif, les frontières d'âge neurodéveloppementales et les résultats de la plus grande étude longitudinale du cerveau adolescent.

4.1 Le paradoxe cognitif de l'IA (Frontiers in Psychology)

L'étude de Jose et al. (2025), publiée dans *Frontiers in Psychology* (IF = 2,6), formalise le **paradoxe cognitif de l'IA en éducation** : l'IA améliore simultanément les performances immédiates tout en érodant les capacités cognitives à long terme ⁶².

Cadre théorique. Les auteurs mobilisent deux théories complémentaires.

La **théorie de la charge cognitive** (Sweller) explique comment l'IA réduit la charge extrinsèque (traitement d'information non pertinente), libérant la mémoire de travail — mais réduit aussi la **charge germane**, l'effort mental productif nécessaire à la construction de schémas durables.

La **théorie de l'autodétermination** (Deci & Ryan) montre que l'IA peut renforcer le sentiment de compétence via la personnalisation, mais compromettre l'autonomie (passivité, impuissance apprise) et la relation sociale (interactions médiatisées plutôt qu'humaines).

Protocole. Étude descriptive auprès de 206 étudiants en formation professionnelle (Akwa Ibom State, Nigeria). Questionnaire structuré en sections sur la rétention et la pensée critique, échelle de Likert à 5 points.

Résultats : effets d'amplification. Les étudiants utilisant des outils IA démontrent une fluence cognitive supérieure (génération d'idées multiples), une flexibilité cognitive accrue (adaptation à des contextes nouveaux), et une élaboration plus riche. L'IA améliore le rappel et la synthèse, particulièrement pour les compétences d'ordre inférieur.

Résultats : effets d'érosion. Paradoxalement, l'usage excessif est associé à une diminution de la pensée critique autonome et du raisonnement analytique. Les étudiants acceptent passivement les réponses de l'IA sans les soumettre à un examen critique. Ce pattern de « réception passive » corrèle avec un développement réduit des compétences d'évaluation et de jugement — compétences essentielles pour distinguer sources fiables et biaisées.

4.2 Le concept de capitulation cognitive (Shaw & Nave, 2026)

Dans une publication réalisée en dehors du domaine éducatif, Shaw et Nave (Wharton School, 2026) distinguent formellement le **délestage cognitif** (usage stratégique d'outils externes pour réduire la

⁶²Jose et al. (2025). Cognitive paradox of AI in education. *Frontiers in Psychology*, 16(1550621).
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1550621> [IF=2.6]

charge sur des tâches spécifiques) de la **capitulation cognitive** : « un moment où l'utilisateur accepte la réponse de l'IA sans évaluation critique, la substituant à son propre raisonnement »⁶³.

Le terme a une portée conceptuelle majeure : tandis que le délestage peut être stratégique et bénéfique, la capitulation implique la déférence, l'absence d'examen critique et l'abdication du jugement.

Le modèle tri-systémique. Shaw et Nave proposent d'ajouter un « Système 3 » (cognition artificielle) aux Systèmes 1 (rapide, intuitif) et 2 (délibératif) de Kahneman. Leurs expériences préenregistrées (N = 1 372, 9 593 essais) montrent que les participants consultent l'IA dans plus de 50 % des cas sur un test de réflexion cognitive adapté. Quand l'IA est correcte : +25 points de pourcentage de précision. Quand elle erre : -15 points. Les utilisateurs ne vérifient pas de manière indépendante.

Implications pour l'éducation. La capitulation cognitive est particulièrement préoccupante en contexte scolaire. Si les élèves intériorisent l'habitude de se fier à l'IA sans examen critique dès l'adolescence — période où le cortex préfrontal, siège des fonctions exécutives et du jugement, est encore en maturation (cf. section 4.4) — le risque est celui d'une génération formée à l'abdication intellectuelle plutôt qu'à l'autonomie de pensée. L'elenchus socratique (ἐλεγχος), méthode de réfutation et d'examen critique, est exactement ce que la capitulation cognitive supprime.

Brookings souligne que le tutorat IA présente des gains significatifs mais recommande un modèle hybride humain-IA⁶⁴. L'UNESCO insiste sur la nécessité d'un usage supervisé et d'une formation préalable à la littératie IA⁶⁵.

4.3 Revue systématique : délestage cognitif en éducation

Le concept de **délestage cognitif** (cognitive offloading), défini par Risko et Gilbert (2016) comme « l'utilisation d'actions physiques pour modifier les exigences de traitement d'une tâche afin de réduire la demande cognitive », est au cœur du débat sur l'IA éducative⁶⁶. Cette section dresse une revue systématique des études disponibles.

4.3.1 Taxonomie du délestage

Risko et Gilbert distinguent deux types : le **délestage sur-le-corps** (incliner la tête, déplacer les yeux) et le **délestage dans-le-monde** (prendre des notes, utiliser une calculatrice, programmer un rappel). L'IA éducative relève du second type.

⁶³Shaw, G. & Nave, K. (2026). Cognitive capitulation: When users accept AI outputs without critical evaluation.

⁶⁴Brookings Institution (2026). AI tutoring: hybrid human-AI model recommendation.

⁶⁵UNESCO (2024). AI competency framework for teachers. Paris.

⁶⁶Risko & Gilbert (2016). Cognitive offloading definition. Trends in Cognitive Sciences, 20(9).

4.3.2 Études fondatrices

Sparrow et al. (2011, Science) : quatre études démontrent que lorsque les sujets anticipent un accès futur à l'information en ligne, ils retiennent moins l'information elle-même mais mieux l'endroit où la trouver — une « mémoire transactive » avec Internet comme stockage externe⁶⁷.

Storm et Stone (2015, Psychological Science) : sauvegarder un fichier avant d'apprendre de nouvelles informations améliore significativement la mémoire pour les nouvelles informations. Le délestage réduit l'interférence et permet une réallocation des ressources cognitives. L'effet disparaît si la sauvegarde est non fiable⁶⁸.

Mueller et Oppenheimer (2014, Psychological Science) : la prise de notes sur ordinateur portable, favorisant la transcription verbatim (traitement superficiel), produit des performances inférieures aux notes manuscrites (traitement profond par résumé) sur les questions conceptuelles⁶⁹.

4.3.3 Délestage cognitif et IA générative (2024-2026)

L'étude RCT de Barcaui (2025, n = 120) constitue la preuve expérimentale la plus directe : les étudiants utilisant ChatGPT pour apprendre des concepts d'IA obtiennent 57,5 % contre 68,5 % en rétention 45 jours plus tard (Cohen's d = 0,68, effet large)⁷⁰. Le délestage non structuré réduit l'effort cognitif nécessaire à un encodage durable.

Les études 2024-2026 sur l'IA générative révèlent une « **paresse métacognitive** » : l'externalisation de la pensée vers les chatbots réduit l'engagement dans les tâches de synthèse, d'analyse et d'explication. La distinction clé : le délestage bénéfique (grammaire, formatage = tâches extrinsèques) versus le délestage néfaste (résolution de problèmes, génération d'idées = tâches intrinsèques).

4.3.4 GPS, calculatrices et dépendance aux outils

L'usage habituel du GPS est associé négativement à la mémoire spatiale : les utilisateurs GPS parcourent des routes plus longues et montrent une compréhension topologique inférieure aux utilisateurs de cartes. Le mécanisme : la navigation virage-par-virage empêche la formation de cartes cognitives.

Pour les calculatrices : pas d'effet négatif sur les résultats scolaires dans les méta-analyses historiques, mais des associations négatives récentes entre usage habituel et développement des compétences mathématiques, avec une utilisation non critique et un monitoring d'erreurs insuffisant.

⁶⁷Sparrow, B. et al. (2011). Google Effects on Memory. *Science*, 333(6043). [IF=56.9]

⁶⁸Storm, B.C. & Stone, S.M. (2015). Saving-Enhanced Memory. *Psychological Science*, 26(2). [IF=5.9]

⁶⁹Mueller & Oppenheimer (2014). Pen Is Mightier Than Keyboard. *Psychological Science*. [IF=5.9]

⁷⁰Kosmyna, N. et al. (2025). EEG study: 57.5% vs 68.5% retention, Cohen's d=0.68. MIT Media Lab.

4.3.5 Implications pour les politiques éducatives

Le consensus de la recherche converge vers cinq principes :

- (1) distinguer le déstabilisation bénéfique (tâches extrinsèques) du néfaste (tâches intrinsèques) ;
- (2) enseigner des stratégies métacognitives — quand l'utilisation d'un outil est appropriée ;
- (3) concevoir des systèmes IA « miroirs cognitifs » qui demandent à l'élève d'expliquer son raisonnement ;
- (4) le principe des « difficultés souhaitables » (*desirable difficulties*) : un certain effort cognitif est essentiel pour un apprentissage robuste ;
- (5) l'usage non structuré de l'IA creuse les inégalités, les apprenants novices étant les plus vulnérables.

4.3.6 Lecture sur écran versus papier

La méta-analyse de Delgado et al. (2018), publiée dans *Educational Research Review*, établit un avantage discret mais persistant du papier pour la compréhension en lecture : $d \approx -0,21$ ⁷¹.

Clinton (2019) confirme et met l'accent sur une dimension métacognitive : les lecteurs sur écran surestiment leur compréhension. Furenes, Kucirkova et Bus (2021), dans *Review of Educational Research*, confirment pour les enfants⁷².

Le mécanisme sous-jacent est documenté : la lecture numérique encourage un traitement superficiel (scrolling rapide, lecture en F) qui réduit l'engagement cognitif profond nécessaire à la compréhension.

4.3.7 La « dette cognitive » : les résultats EEG du MIT Media Lab

Kosmyna et al. (2025, MIT Media Lab), dans un préprint arXiv, mesurent directement par EEG l'activité cérébrale de participants rédigeant un essai dans quatre conditions : seul, avec un partenaire humain, avec ChatGPT, et avec un plan généré par ChatGPT ⁷³.

L'activité cérébrale est la plus forte dans le groupe humain et la plus faible dans le groupe ChatGPT complet. **L'IA réduit l'effort cognitif** — précisément l'effort nécessaire à un apprentissage durable.

⁷¹Delgado, P. et al. (2018). Don't throw away your printed books: A meta-analysis on the effects of reading media on reading comprehension. *Educational Research Review*, 25, 23-38. [IF=9.6]

⁷²Furenes, M. I., Kucirkova, N. & Bus, A. G. (2021). A Comparison of Children's Reading on Paper Versus Screen: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 91(4), 483-517. [IF=11.2]

⁷³Kosmyna, N. et al. (2025). Writing with AI: EEG-Based Measurement of Cognitive Effort in Human-AI Collaborative Essay Writing. MIT Media Lab. arXiv preprint.

4.4 Les frontières d'âge : l'état de l'art en neurosciences

L'âge de l'utilisateur est un paramètre critique pour l'IA éducative. Le développement cérébral impose des contraintes biologiques que les systèmes technologiques doivent respecter.

4.4.1 Développement du cortex préfrontal

Le **cortex préfrontal (PFC)** — région du cerveau responsable des fonctions exécutives, de la régulation émotionnelle et de la prise de décision — a une maturation extrêmement prolongée, s'étendant bien après l'enfance. Casey et al. (2008), Giedd et al. (1999) et Sowell et al. (2004) ont établi, via l'imagerie par résonance magnétique longitudinale, que la maturation préfrontale s'étend de la naissance jusqu'à **l'âge de 25 ans environ**, avec des phases critiques variant par structure ^{74 75 76}.

4.4.2 Jalons développementaux

La psychologue du développement Adele Diamond (2013) définit les **fonctions exécutives** comme un ensemble de trois capacités :

- (1) **l'inhibition** (résister aux impulsions),
- (2) la **mémoire de travail** (maintenir et manipuler l'information), et
- (3) la **flexibilité cognitive** (basculer entre tâches ou perspectives).

Ces trois capacités sont indépendantes en développement et ne mûrissent pas au même rythme. L'inhibition et la mémoire de travail atteignent un plateau vers 10-12 ans, tandis que la flexibilité continue de se développer jusqu'à 18 ans et au-delà ⁷⁷.

Les jalons clés sont :

3-5 ans — début de l'inhibition comportementale via le cortex orbitofrontal, l'enfant peut suivre des règles simples ;

6-8 ans — émergence de la mémoire de travail et de la flexibilité cognitive ;

9-12 ans — consolidation des fonctions exécutives de haut niveau (planification, organisation, résolution de problèmes complexes), maturation progressive du cortex préfrontal dorsolatéral ;

13-17 ans — période critique de réorganisation cérébrale avec un décalage entre la maturation limbique (système émotionnel) et préfrontale, créant une vulnérabilité accrue au risque ;

⁷⁴Casey, B.J. et al. (2008). The Adolescent Brain. *Developmental Psychobiology*, 50(2). [IF=2.8]

⁷⁵Giedd, J.N. et al. (1999). Brain development. *Nature Neuroscience*, 2, 861-863. [IF=19.5]

⁷⁶Sowell, E.R. et al. (2004). Dynamic mapping cortical development. *PNAS*, 101(21). [IF=9.1]

⁷⁷Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. [IF=24.3]

18-25 ans — maturation quasi-complète du PFC avec affinement de la régulation émotionnelle.

4.4.3 Le décalage adolescent : vulnérabilité spécifique

Le **mismatch adolescent** entre développement limbique et préfrontal est particulièrement pertinent pour l'IA et les écrans.

L'adolescent possède un **système de récompense hypersensible** (maturation précoce des circuits dopaminergiques) mais une capacité de régulation limitée (PFC incomplet).

Cette asymétrie explique pourquoi les adolescents sont particulièrement vulnérables à l'addiction aux écrans et aux comportements risqués en ligne : leur cerveau est très réceptif aux récompenses (notifications, validations sociales) mais peu capable de les inhiber.

Les systèmes de recommandation algorithmique exploitent directement cette vulnérabilité.

4.4.4 Positions institutionnelles sur les frontières d'âge

Malgré des données neuroscientifiques convergentes, les recommandations d'âge varient considérablement selon les institutions, reflétant des arbitrages différents entre protection et accès.

Institution	Recommandation	Année	Fondement
OMS	Pas d'écran < 1 an, < 1h/j 2-4 ans	2019	Santé publique
AAP (États-Unis)	Co-visionnage uniquement 18-24 mois	2026	Développement
APA (États-Unis)	Vigilance IA et bien-être adolescent	2025	Santé mentale
ANSES (France)	Pas d'écran < 3 ans, pas de smartphone < 13 ans	2025	Développement cérébral
EU DSA	Pas de recommandation algo < 16 ans par défaut	2025	Droits fondamentaux
COPPA (États-Unis)	Consentement parental < 13 ans renforcé	2025	Vie privée
Common Sense Media	Guides par âge, pas de réseaux sociaux < 13 ans	2025	Développement

L'**ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire, France)** est l'une des institutions les plus restrictives et les plus fondées sur les données. Ses recommandations de 2025 reposent sur une synthèse des études neuroscientifiques et de santé publique :

- **pas d'écran avant 3 ans (période critique de développement sensoriel et moteur),**
- **pas de smartphone personnel avant 13 ans (seuil de maturité suffisant pour l'autorégulation),**
- **pas de réseaux sociaux avant 15 ans (risques de cyberharcèlement et vulnérabilité émotionnelle résiduelle) ⁷⁸.**

L'**EU Digital Services Act (DSA)**, dont les lignes directrices sur la protection des mineurs sont entrées en vigueur en juillet 2025, adopte une approche réglementaire : les mineurs de moins de 18 ans bénéficient de protections renforcées, avec par défaut **pas d'algorithme de recommandation personnalisée pour les moins de 16 ans**, une obligation de vérification d'âge, et une accessibilité accrue des paramètres de confidentialité.

Cette approche reconnaît que les **algorithmes de recommandation (boucles de rétroaction basées sur les préférences) sont particulièrement risqués pour les adolescents dont la régulation émotionnelle est incomplète ⁷⁹.**

L'**APA (American Psychological Association)** a publié en 2025 un avis consultatif sur l'IA et le bien-être adolescent, soulignant que les chatbots conversationnels créent des risques de dépendance relationnelle, de désinformation médicale et de substitution aux relations humaines ⁸⁰.

4.5 L'étude ABCD : la plus grande étude longitudinale du cerveau adolescent

L'**Adolescent Brain Cognitive Development Study (ABCD)** est la plus grande étude longitudinale du développement cérébral jamais réalisée. Lancée en 2015, financée par le National Institute on Drug Abuse (NIDA/NIH) à hauteur de **USD 300 millions sur 10 ans**, elle suit **11 880 enfants** recrutés à 9-10 ans sur 21 sites à travers les États-Unis ⁸¹.

4.5.1 Méthodologie

Chaque participant reçoit annuellement : une **IRM structurelle** (volume cortical, épaisseur, aire de surface), une **IRMf au repos** (connectivité fonctionnelle entre réseaux cérébraux), une **IRMf en tâche** (récompense, inhibition, mémoire de travail, reconnaissance émotionnelle), et une **imagerie de diffusion DTI** (intégrité de la substance blanche). Le protocole est harmonisé sur des scanners Siemens Prisma 3T.

Les évaluations complémentaires incluent : cognition (NIH Toolbox, 7 tests standardisés), santé mentale (KSADS-5, CBCL), environnement (revenu familial, quartier, exposition aux médias),

⁷⁸ANSES (France, 2025). Recommandations écran enfants.

⁷⁹EU AI Act (2024). Recital on recommender systems and adolescent emotional regulation risks.

⁸⁰APA (2025). Health Advisory: AI and Adolescent Well-Being.

⁸¹ABCD Study (2021). Screen time and adolescent mental health. JAMA Pediatrics. [IF=26.1]

comportement (usage de substances, activité physique, sommeil, temps d'écran détaillé par type d'activité), et génétique (génotypage sur puce Smokescreen). L'échantillon est stratifié pour refléter la diversité démographique américaine : 52 % de garçons, 20 % d'hispaniques, 15 % d'afro-américains, revenu médian familial de USD 75 000. Le taux de rétention à 4 ans est de 87 %.

4.5.2 Résultats clés sur les écrans et le cerveau

Les résultats publiés entre 2021 et 2025 montrent des associations significatives entre le temps d'écran et plusieurs indicateurs de santé et de développement cérébral ⁸² :

Santé mentale. Chaque heure supplémentaire de temps d'écran quotidien est associée à :

- une augmentation des symptômes dépressifs ($\beta = 0,05$, $p < 0,001$),
- une augmentation des symptômes de type TDAH ($\beta = 0,08$, $p < 0,001$), et
- une diminution de la qualité du sommeil ($\beta = -0,12$, $p < 0,001$).

Les réseaux sociaux montrent des associations plus fortes que les jeux vidéo ou la consommation passive de médias.

Chez **les filles**, la corrélation entre temps d'écran et symptômes dépressifs est significativement plus forte que chez les garçons.

Structure cérébrale. Le temps d'écran élevé (> 4 heures/jour) est associé à un **amincissement cortical prématuré** dans les régions préfrontales et temporales. Le temps d'écran excessif (> 7 heures/jour) est associé à une **réduction de la matière grise** dans les régions de contrôle attentionnel. L'IRMf montre une connectivité fonctionnelle réduite dans les réseaux de contrôle exécutif et de saillance. Ces résultats sont ajustés pour le revenu familial, le niveau d'éducation des parents et le site de recrutement.

4.5.3 Limites méthodologiques et interprétation

L'étude est **observationnelle** — elle ne peut établir de causalité. Le temps d'écran est auto-rapporté (biais de mesure potentiel). Les tailles d'effet, bien que statistiquement significatives, sont modestes. La variabilité individuelle est considérable : certains enfants à temps d'écran élevé ne montrent aucun effet négatif. Les auteurs de l'étude ABCD mettent explicitement en garde contre les interprétations alarmistes et soulignent que la causalité n'est pas démontrée. De plus, le « temps d'écran » est une mesure brute qui ne distingue pas les usages éducatifs structurés (ITS, cours en ligne) des usages récréatifs non structurés (réseaux sociaux, vidéos). Cette distinction est cruciale pour les politiques éducatives.

⁸²Screen time, ADHD symptoms and brain structure. Translational Psychiatry (2025). [IF=5.8]

4.5.4 Implications pour l'IA éducative

L'étude ABCD suggère trois principes pour les décideurs :

- (1) les recommandations d'âge doivent distinguer les types d'écran et d'interaction — un tuteur IA socratique n'a pas le même profil de risque qu'un réseau social ;
- (2) la période 13-17 ans (décalage limbique-préfrontal) exige des garde-fous renforcés dans les outils IA (pas de boucles de récompense addictives, pas de contenu émotionnellement manipulateur) ;
- (3) la recherche longitudinale sur l'impact spécifique de l'IA éducative sur le cerveau en développement est inexistante — c'est un angle mort critique qui justifie un principe de précaution.

Chapitre 5. Les apports potentiels de l'IA aux pratiques éducatives : l'approche des neurosciences

5.1 Les quatre piliers de Dehaene et l'IA

Stanislas Dehaene identifie quatre piliers de l'apprentissage, chacun offrant un point d'ancrage pour l'IA éducative ⁸³.

5.1.1 Pilier 1 : L'attention

L'attention sélective est le préalable à tout apprentissage. L'IA peut **personnaliser la saillance** des contenus : adapter le format (texte, vidéo, audio), la durée des sessions, et la complexité visuelle au profil attentionnel de l'élève.

Les systèmes adaptatifs détectent les signes de décrochage attentionnel (temps de réponse croissant, erreurs en série) et modifient dynamiquement la présentation.

5.1.2 Pilier 2 : L'engagement actif

L'apprentissage requiert la génération active d'hypothèses. Les systèmes de **prompting socratique** (Khanmigo, LearnLM) forcent l'élève à formuler des réponses, justifier ses choix et identifier ses erreurs.

L'IA ne donne jamais directement la réponse mais guide par des questions successives adaptées au niveau de compréhension.

5.2.3 Pilier 3 : Le retour sur erreur

Le feedback immédiat et spécifique est l'un des leviers les plus puissants.

Les ITS fournissent un retour en temps réel, individualisé au type d'erreur commise (erreur conceptuelle vs procédurale vs d'inattention).

L'EEF classe le feedback comme l'un des 9 mécanismes d'efficacité de l'EdTech, avec la plus haute solidité de preuve (+6 mois de progression dans le Toolkit).

5.2.4 Pilier 4 : La consolidation

La consolidation repose sur la **répétition espacée** et le **sommeil**.

Les algorithmes de répétition espacée (Anki, Duolingo) **optimisent les intervalles de révision** de manière personnalisée.

⁸³Dehaene, S. (2018). Apprendre ! Les talents du cerveau, le défi des machines. Odile Jacob.

5.2 Répétition espacée : méta-analyse et implications

La méta-analyse de Cepeda et al., portant sur **317 expériences dans 184 articles**, confirme un effet robuste de la **pratique distribuée** sur la rétention avec un effet large ($d \approx 0,62$ à $0,80$ selon les conditions)⁸⁴. Dunlosky et al. (2013) classent la pratique espacée comme technique d'apprentissage à « haute utilité »⁸⁵.

Modérateurs clés. Les intervalles de rétention plus longs amplifient l'effet ; les espaces entre sessions augmentent la rétention long-terme ; les apprenants novices et ceux avec des connaissances de base plus faibles bénéficient le plus. La pratique expansée (intervalles croissants) surpasse généralement l'espacement fixe.

Implémentation algorithmique. Anki utilise désormais l'algorithme FSRS (*Free Spaced Repetition Scheduler*), basé sur le machine learning, nécessitant 20-25 % moins de révisions que l'ancien SM-2 pour une rétention équivalente.

Duolingo emploie le Half-Life Regression (HLR, Settles & Meeder, 2016, ACL), mariant psycholinguistique et machine learning pour estimer la « demi-vie » du vocabulaire en mémoire. Les tests A/B sur des millions d'utilisateurs montrent +9,5 % de rétention pour les sessions de pratique et +12 % d'activité globale.

Implications pour la classe. Les enseignants peuvent utiliser des outils IA pour :

- (1) planifier automatiquement des révisions espacées dans le curriculum ;
- (2) identifier les élèves dont les courbes d'oubli s'écartent de la moyenne ;
- (3) générer des exercices de rappel adaptatifs.

L'IA transforme la répétition espacée d'un principe théorique en une pratique individualisée et scalable⁸⁶.

5.3 Entrelacement : méta-analyse et implications

La méta-analyse de Brunmair et Richter (2019), portant sur **59 études et 238 tailles d'effet**, rapporte un effet global modéré de l'entrelacement ($g = 0,42$)⁸⁷.

Modérateurs par type de contenu. L'apprentissage visuel/perceptuel montre les effets les plus forts ($g = 0,67$) ; la résolution de problèmes mathématiques un effet plus modeste ($g = 0,34$) ; le texte exposatoire et la discrimination gustative des effets non significatifs ; les listes de mots montrent un avantage au blocage ($g = -0,39$).

L'hétérogénéité est considérable : **l'entrelacement n'est pas universellement bénéfique.**

Mécanismes théoriques. Deux voies :

⁸⁴Cepeda et al. Distributed practice: 317 experiments. Psychological Bulletin. [IF=17.3]

⁸⁵Dunlosky et al. (2013). Improving Students' Learning Techniques. Psychological Science in the Public Interest. [IF=17.3]

⁸⁶Settles & Meeder (2016). Duolingo Half-Life Regression. ACL. <https://research.duolingo.com/papers/settles.acl16.pdf>

⁸⁷Brunmair & Richter (2019). Interleaving meta-analysis (59 studies, $g=0.42$). [IF=4.6]

(1) le contraste discriminatif — mélanger les catégories aide à identifier les caractéristiques distinctives ;

(2) la pratique distribuée — l'espacement des items améliore la force de récupération.

Les études de Rohrer et Dedrick montrent que les élèves de 7e avec un dosage d'entrelacement plus élevé obtiennent de meilleurs scores aux tests différés (1 jour et 1 mois).

Implications pour la classe.

(1) L'entrelacement fonctionne mieux pour la catégorisation conceptuelle — mélanger des problèmes nécessitant des méthodes de résolution différentes ;

(2) commencer par la pratique bloquée pour les novices, puis transitionner vers l'entrelacement ;

(3) combiner avec d'autres stratégies (rappel + espacement) pour des effets additifs ;

(4) surveiller la frustration car l'entrelacement augmente la difficulté perçue ;

(5) évaluer la rétention à long terme. Les devoirs et quiz formatifs devraient privilégier l'entrelacement.

5.4 Charge cognitive et charge germane

La théorie de la charge cognitive (Sweller, 1988) distingue trois types de charge ^{88 89} :

- **Charge intrinsèque** : liée à la complexité inhérente du contenu et à l'expertise de l'apprenant.
- **Charge extrinsèque** : imposée par la présentation du matériel, réductible par un meilleur design pédagogique.
- **Charge germane** : effort mental productif consacré à la construction de schémas cognitifs durables.

L'IA peut réduire efficacement la charge extrinsèque (interfaces adaptatives, présentation optimisée). Mais si elle réduit aussi la charge germane — en fournissant des réponses plutôt qu'en stimulant la réflexion — l'apprentissage profond est compromis.

5.4.1 Illusions cognitives et métriques trompeuses : engagement ≠ apprentissage

Richard Clark (1983, 1985), dans **Review of Educational Research**, établit un principe fondateur : « *Media are mere vehicles that deliver instruction but do not influence student achievement any more than the truck that delivers our groceries causes changes in nutrition.* » Le multimédia ne fait pas apprendre ; la méthode fait apprendre. Ce principe reste opérant quarante ans plus tard ⁹⁰.

⁸⁸Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285.

⁸⁹Paas, F. & Van Merriënboer, J.J.G. (2020). Cognitive-Load Theory. *Current Directions in Psychological Science*. [IF=7.4]

⁹⁰Clark, R. E. (1983). Reconsidering Research on Learning from Media. *Review of Educational Research*, 53(4), 445-459.

[IF=11.2]

Deslauriers et al. (2019), à Harvard, publient dans *PNAS* une expérience devenue emblématique : les étudiants qui suivent un cours magistral « fluide » se déclarent plus engagés et plus confiants que ceux soumis à un apprentissage actif « difficile » — mais apprennent significativement moins.

L'engagement ressenti est inversement corrélé à l'apprentissage réel ⁹¹. Ce résultat confirme ce que Chew (2022) théorise : « *Student engagement is not learning.* »

Les « **détails séduisants** » (seductive details) — éléments visuels attractifs, animations, illustrations non essentiels — réduisent l'apprentissage en monopolisant la mémoire de travail (Sundararajan & Adesope, 2020, méta-analyse, $d = -0,30$). L'illusion persistante des « **styles d'apprentissage** » (auditif, visuel, kinesthésique), réfutée par Pashler et al. (2008) dans *Psychological Science in the Public Interest*, continue pourtant d'être invoquée pour justifier la « personnalisation » par l'IA.

Bjork, Dunlosky & Kornell (2013), dans *Annual Review of Psychology*, montrent que les apprenants ont des modèles mentaux systématiquement erronés de leur propre apprentissage : ils confondent facilité et efficacité, engagement et rétention. Roediger & Karpicke (2006) démontrent que se tester soi-même — rappeler activement — améliore massivement la rétention à long terme par rapport à la relecture, alors même que la relecture est perçue comme plus efficace.

5.4.2 Make It Stick : la science cognitive de l'apprentissage durable

L'ouvrage de Brown, Roediger & McDaniel (2014), *Make It Stick*, traduit pour le grand public les principes de la psychologie cognitive de l'apprentissage. Trois résultats structurants pour l'IA éducative ⁹² :

Premièrement, la supériorité du **retrieval practice** (pratique de récupération) sur la relecture : la relecture et la pratique massée sont les stratégies les plus utilisées par les étudiants — et les moins efficaces. Karpicke & Blunt (2011, *Science*) montrent que le rappel actif surpasse la relecture même avec une seule session de pratique.

Deuxièmement, les « difficultés souhaitables » (*desirable difficulties*) : quand on espace la pratique ou qu'on entrelace plusieurs sujets, la performance immédiate est moins bonne mais la rétention à long terme est meilleure. Cette ligne de résultats sape directement l'intuition « plus c'est facile et fluide, mieux on apprend » — précisément celle que confirme l'usage des LLM.

Troisièmement, trois biais cognitifs pertinents pour l'IA : la **curse of knowledge** (sous-estimer le temps nécessaire aux novices), le **hindsight bias** (« je le savais déjà »), et l'effet Dunning-Kruger (surestimation de ses propres compétences par les novices).

L'IA générative, en produisant des réponses fluides et confiantes, active simultanément ces trois biais chez l'utilisateur.

⁹¹Deslauriers, L. et al. (2019). Measuring actual learning versus feeling of learning in response to being actively engaged in the classroom. *PNAS*, 116(39), 19251-19257. [IF=11.1]

⁹² Brown, P. C., Roediger, H. L. & McDaniel, M. A. (2014). *Make It Stick: The Science of Successful Learning*. Harvard University Press.

5.5 Apports du rapport How People Learn II (National Academies, 2018)

Publié par les **National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine** en 2018, **How People Learn II: Learners, Contexts, and Cultures** (HPL2) actualise le rapport fondateur de 2000 à la lumière de deux décennies de progrès en neurosciences, en sciences cognitives et en sciences sociales.

Ce rapport de référence — rédigé par un comité interdisciplinaire sous la présidence de Cora Marrett — constitue aujourd'hui le consensus scientifique le plus autorisé sur la question « comment les êtres humains apprennent-ils ». Ses conclusions éclairent directement la conception des systèmes d'IA éducative et fournissent un cadre rigoureux pour en évaluer la pertinence ⁹³.

5.5.1 Le cerveau et l'apprentissage : une relation bidirectionnelle

HPL2 établit une conclusion majeure : **la relation entre cerveau et apprentissage est réciproque**.

Le cerveau ne « reçoit » pas passivement des apprentissages — il se reconfigure en permanence sous l'effet de l'expérience. Bengtsson et *al.* (2005) démontrent, par imagerie de diffusion, que la pratique intensive du piano à l'enfance produit des modifications régionales spécifiques de la substance blanche cérébrale ⁹⁴.

Scholz et *al.* (2009) montrent que l'apprentissage du jonglage pendant six semaines entraîne des changements mesurables de l'architecture de la substance blanche chez l'adulte⁹⁵.

L'expertise n'est donc pas seulement un état de connaissance : elle s'inscrit physiquement dans la microstructure neuronale.

Pour l'IA éducative, cette conclusion implique qu'un environnement d'apprentissage assisté par machine façonne, à long terme, la structure même du cerveau — ce qui impose une vigilance particulière sur la qualité et la nature des expériences proposées.

5.5.2 La mémoire comme processus restructuratif

HPL2 insiste sur un point souvent ignoré des concepteurs d'EdTech : la mémoire humaine n'est pas un magnétophone. Elle est **reconstructive**.

Roediger (1980) avait déjà identifié ce principe ; les études longitudinales sur les « souvenirs flash » du 11 septembre 2001 (Hirst et *al.*, 2015, suivi sur dix ans, $n \approx 2\,000$) confirment que même les

⁹³ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2018). *How People Learn II: Learners, Contexts, and Cultures*. Washington DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/24783>

⁹⁴ Bengtsson, S. L. et *al.* (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature Neuroscience*, 8(9), 1148-1150. [IF=25.5]

⁹⁵ Scholz, J. et *al.* (2009). Training induces changes in white-matter architecture. *Nature Neuroscience*, 12(11), 1370-1371. [IF=25.5]

souvenirs émotionnellement saillants sont massivement révisés au fil du temps, tout en restant subjectivement vécus comme fidèles ^{96 97}.

Le rapport distingue trois types de mémoire à long terme — **procédurale, épisodique et sémantique** — chacune avec ses circuits et ses règles de consolidation. Il souligne que la mémoire de travail décline dès la cinquantaine, ce qui a des implications pour les adultes en reconversion professionnelle assistée par IA.

Conséquence pour l'IA éducative. Un système qui se contente de « réviser » les connaissances affichées à l'élève — sans engager la récupération active, la réinterprétation contextuelle et l'intégration avec les connaissances préalables — ne produit pas de mémoire durable.

Les IA qui favorisent l'illusion de fluidité (réponses immédiates, contenus polis, absence de friction) court-circuitent précisément les mécanismes reconstructifs que la mémoire requiert pour s'inscrire durablement.

Le principe des « difficultés souhaitables » (desirable difficulties) trouve ici son fondement neuroscientifique.

5.5.3 Fonctions exécutives et autorégulation : au-delà du cortex préfrontal

Le rapport HPL2 corrige une simplification répandue : les fonctions exécutives ne sont pas l'apanage du seul cortex préfrontal. Collette et *al.* (2006) établissent, par méta-analyse de neuroimagerie, que ces fonctions reposent sur des réseaux distribués impliquant également le cortex pariétal, le striatum et le cervelet ⁹⁸. Cette observation a deux corollaires importants. Premièrement, les déficits exécutifs d'un élève ne peuvent être attribués à une « immaturité préfrontale » simplifiée. Deuxièmement, les fonctions exécutives se développent par l'entraînement d'un réseau, non d'une région isolée — ce qui ouvre la voie à des interventions pédagogiques systémiques.

HPL2 souligne que **les fonctions exécutives prédisent la réussite scolaire mieux que le QI**. L'étude longitudinale de Moffitt et *al.* (2011), suivant 1 000 enfants de Dunedin (Nouvelle-Zélande) jusqu'à 32 ans, démontre que l'autocontrôle à l'âge de 3-11 ans prédit la santé, la richesse et même la sécurité publique à l'âge adulte — avec un gradient dose-réponse ⁹⁹. Blair & Razza (2007) montrent que le contrôle volontaire et les fonctions exécutives sont de meilleurs prédicteurs des compétences en mathématiques et en littérature à l'école maternelle que les mesures d'intelligence classique ¹⁰⁰.

⁹⁶Roediger, H. L. (1980). Memory metaphors in cognitive psychology. *Memory & Cognition*, 8(3), 231-246.

⁹⁷Hirst, W. et *al.* (2015). A ten-year follow-up of a study of memory for the attack of September 11, 2001. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(3), 604-623.

⁹⁸Collette, F. et *al.* (2006). Exploring the unity and diversity of the neural substrates of executive functioning. *Human Brain Mapping*, 27(5), 394-404.

⁹⁹Moffitt, T. E. et *al.* (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *PNAS*, 108(7), 2693-2698. [IF=11.1]

¹⁰⁰Blair, C. & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647-663. [IF=5.7]

Le programme **Tools of the Mind** (Diamond et *al.*, 2007, *Science*), inspiré de Vygotski, a démontré par essai contrôlé randomisé qu'un curriculum préscolaire ciblant explicitement l'autorégulation améliore significativement les fonctions exécutives ¹⁰¹.

Conséquence pour l'IA éducative. Les systèmes d'IA devraient explicitement soutenir — plutôt que se substituer à — les fonctions exécutives de l'élève. Un tuteur IA qui planifie, organise et contrôle les erreurs *à la place* de l'apprenant court-circuite précisément le développement de ces capacités prédictives de la réussite à long terme. À l'inverse, une IA qui demande à l'élève de planifier sa séance, de justifier ses choix et d'évaluer ses erreurs entraîne le réseau exécutif. Le design pédagogique des agents IA est, en ce sens, un choix neuroscientifique.

5.5.4 Stratégies d'apprentissage : 400+ leviers recensés

Hattie & Donoghue (2016), cités extensivement par HPL2, recensent plus de **400 stratégies d'apprentissage** dans la littérature et proposent un modèle conceptuel qui les organise selon trois phases : l'acquisition de surface, l'approfondissement et le transfert ¹⁰².

Toutes les stratégies ne se valent pas : certaines (surlignage, relecture passive) sont populaires mais inefficaces ; d'autres (pratique de récupération, auto-explication, élaboration, espacement) produisent des effets robustes mais sont sous-utilisées.

HPL2 invite explicitement à l'enseignement **métacognitif** de ces stratégies — l'élève doit apprendre à apprendre.

Conséquence pour l'IA éducative. Les systèmes IA offrent une opportunité unique d'opérationnaliser les stratégies à haute efficacité : générer automatiquement des exercices de rappel, planifier des révisions espacées, prompter l'auto-explication, entrelacer les types de problèmes. Ils offrent aussi un risque symétrique : favoriser les stratégies à faible efficacité (relecture d'un résumé généré, surlignage automatique) qui donnent une illusion de fluidité sans produire d'apprentissage durable.

5.5.5 Plasticité, contextes et culture

Le rapport consacre un chapitre entier aux **contextes et cultures** de l'apprentissage. Il rappelle que les pratiques culturelles renforcent les circuits neuronaux : Hanakawa et *al.* (2003) montrent que les experts japonais en abaque utilisent des régions cérébrales visuospatiales pour effectuer des calculs, alors que les non-experts mobilisent des régions linguistiques. Kitayama & Tompson (2010) théorisent la « neuroscience culturelle » et démontrent que les routines sociales quotidiennes modulent durablement les réseaux cérébraux ¹⁰³.

¹⁰¹Diamond, A. et *al.* (2007). Preschool Program Improves Cognitive Control (Tools of the Mind). *Science*, 318(5855), 1387-1388. [IF=47.7]

¹⁰²Hattie, J. & Donoghue, G. M. (2016). Learning strategies: a synthesis and conceptual model. *npj Science of Learning*, 1, 16013.

¹⁰³Kitayama, S. & Tompson, S. (2010). Envisioning the future of cultural neuroscience. *Asian Journal of Social Psychology*, 13(2), 92-101.

Conséquence pour l'IA éducative. Les systèmes d'IA ne peuvent être culturellement neutres. Les corpus d'entraînement, les exemples, les styles d'interaction encodent une vision du monde spécifique. HPL2 invite à concevoir des systèmes sensibles à la variabilité des contextes — linguistiques, socioéconomiques, culturels — et à reconnaître que les pratiques d'apprentissage efficaces dans un contexte peuvent ne pas l'être dans un autre. Cela plaide pour des IA éducatives **pluralistes**, capables d'adaptation culturelle et non imposées sous forme de « modèle de référence » universel.

5.5.6 Vieillissement et apprentissage tout au long de la vie

HPL2 dédie une attention particulière à l'apprentissage des adultes et des personnes âgées. Les modèles de compensation (Cabeza, 2002 — modèle HAROLD ; Park & Reuter-Lorenz, 2009 — modèle STAC) montrent que le cerveau vieillissant recrute de nouvelles régions pour compenser les pertes neuronales liées à l'âge^{104 105}.

Les apprenants plus âgés ne sont donc pas simplement des apprenants plus lents : ils utilisent des stratégies neurales différentes. HPL2 appelle à des environnements d'apprentissage adaptés à ces différences, notamment dans un contexte de formation professionnelle continue.

5.5.7 Synthèse : sept enseignements de HPL2 pour l'IA éducative

Le rapport HPL2 fournit sept enseignements structurants pour la conception et l'évaluation des systèmes d'IA éducative :

- (1) le cerveau et l'apprentissage forment un système réciproque — l'environnement façonne la structure neurale ;
- (2) la mémoire est reconstructive — l'effort cognitif est le tribut nécessaire à la rétention durable ;
- (3) les fonctions exécutives, distribuées, prédisent la réussite mieux que le QI — les IA doivent les soutenir et non s'y substituer ;
- (4) toutes les stratégies d'apprentissage ne se valent pas — les IA doivent opérationnaliser les stratégies à haute efficacité ;
- (5) la plasticité permet la récupération, même après des déficits précoces — l'IA peut amplifier les programmes compensatoires ;
- (6) l'apprentissage est culturellement situé — les systèmes ne peuvent être neutres ;
- (7) l'apprentissage dure toute la vie — les besoins des apprenants adultes méritent une attention spécifique.

¹⁰⁴Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychology and Aging*, 17(1), 85-100.

¹⁰⁵Park, D. C. & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding (STAC). *Annual Review of Psychology*, 60, 173-196. [IF=22.7]

Chapitre 6. Les EdTech et l'innovation en IA pour l'éducation

6.1 Cadrage général

6.1.1 Trois pionniers oubliés des années 1960

Deux ouvrages récents — Watters & Kindel (2025), **The Teacher in the Machine**, et Reich (2020), **Failure to Disrupt** — rétablissent l'histoire de l'EdTech dans le long terme.

Dès les années 1960, trois institutions soutiennent des expérimentations majeures : **Stanford** (Patrick Suppes et son « enseignement individualisé par ordinateur », Computer-Aided Instruction), le **MIT** (Seymour Papert et le constructionnisme Logo) et l'**Université de l'Illinois** (Don Bitzer et PLATO, système de distribution de cours en réseau) ¹⁰⁶.

Les promesses de Suppes en 1966 préfigurent mot pour mot celles de Khan en 2024 : « *In a few more years, millions of schoolchildren will have access to what Philip of Macedon's son Alexander enjoyed as a royal prerogative: the personal services of a tutor as well-informed and responsive as Aristotle.* »

Papert adopte une posture radicalement opposée : pour lui, la technologie n'est pas un substitut à l'enseignement mais un outil d'exploration — l'enfant programme la machine, il ne se laisse pas programmer par elle.

Le « **phénomène QWERTY** » identifié par Papert dès les années 1970 est éclairant : de même que la disposition QWERTY n'a pas d'explication rationnelle mais seulement historique, l'EdTech tend à reproduire les formes scolaires existantes plutôt qu'à les transformer. Chaque nouvelle technologie — radio, télévision, ordinateur, tablette, IA — est d'abord utilisée pour faire « la même chose en plus moderne », avant qu'un usage réellement nouveau n'émerge, souvent à la marge.

Pourquoi l'histoire est ignorée : trois mécanismes :

Watters & Kindel proposent trois explications convergentes à l'oubli systématique de cette histoire. **Premièrement**, l'innovation conduit à l'adoption — personne ne veut investir dans une « vieille » idée, et les financeurs de l'EdTech ont intérêt à présenter chaque produit comme une rupture.

Deuxièmement, l'amnésie est fonctionnelle — si les décideurs connaissaient la longue série d'échecs de la technologie éducative, ils seraient plus prudents dans leurs investissements.

Troisièmement, le récit de crise est permanent : l'éducation serait « en crise », la réforme passerait par plus d'efficacité, et la technologie serait la solution — un récit constant depuis plus d'un siècle¹⁰⁷.

Reich, s'appuyant sur l'anthropologue Morgan Ames (**The Charisma Machine**, 2019) et sur Tyack & Cuban (**Tinkering toward Utopia**, 1995), distingue deux postures face à la technologie éducative. La posture **charismatique** promet une transformation radicale par la technologie (« la classe telle que nous la connaissons va disparaître »). La posture du **tinkering** — bricolage patient, incrémental, respectueux des contraintes institutionnelles — est empiriquement plus efficace mais

¹⁰⁶Watters, A. & Kindel, A. T. (2025). *The Teacher in the Machine: How AI Is Reshaping the Debate about Education*. MIT Press.

¹⁰⁷Reich, J. (2020). *Failure to Disrupt: Why Technology Alone Can't Transform Education*. Harvard University Press.

médiatiquement invisible. L'histoire de l'EdTech est une succession de promesses charismatiques non tenues, suivies de retours silencieux au tinkering.

6.1.2 Le plafond de verre

La référence historique reste Tamim *et al.* (2011), publiée dans **Review of Educational Research** : méta-analyse de second ordre portant sur **25 méta-analyses**, couvrant plus de 40 ans de recherche et un millier d'études primaires. Résultat : un effet global de **$d = 0,35$** ¹⁰⁸.

Hattie (2023), dans **Visible Learning: The Sequel**, compile plus de 21 000 études et aboutit à **$d = 0,34$** pour la technologie éducative. Higgins, Xiao & Katsipataki (2012), pour l'EEF, obtiennent **$d = 0,30$** ¹⁰⁹.

Trois sources, trois méthodes, un résultat convergent : la technologie éducative, envisagée comme catégorie générale, se stabilise autour d'un effet de 0,30 à 0,35. C'est non nul, non trivial, mais modeste — environ deux tiers d'une année de croissance académique normale. Et c'est surtout un plafond que soixante ans d'innovation technologique n'ont pas réussi à percer.

La rupture la plus perturbante est celle de Sailer *et al.* (2024), publiée dans **Learning and Individual Differences** : méta-analyse de second ordre portant spécifiquement sur l'enseignement supérieur, avec un effet global de **$d = 0,03$** — non significatif. Ce résultat, s'il se confirme, suggère que l'effet de la technologie éducative disparaît presque entièrement lorsque l'on se concentre sur des populations adultes dans un contexte universitaire¹¹⁰.

Ce qu'un d de 0,30 veut dire — et ce qu'il ne veut pas dire :

Aucune discussion critique de la littérature EdTech ne tient sans un vocabulaire partagé sur les tailles d'effet. Les seuils de Cohen (1988) — $d = 0,2$ petit, $d = 0,5$ modéré, $d = 0,8$ large — sont des conventions utiles mais arbitraires. En éducation, l'étalon pertinent est celui de Bloom : une année de scolarisation produit typiquement un effet de l'ordre de 0,40 à 0,50 (variable selon la matière et le niveau). Dire qu'une intervention produit $d = 0,30$ signifie qu'elle ajoute environ deux tiers d'une année de croissance académique. C'est positif. C'est aussi significativement inférieur à l'effet de la relation enseignant-élève ($d = 0,68$, Cornelius-White).

Trois limites structurelles doivent être énoncées. **Premièrement**, l'hétérogénéité culturelle : l'écrasante majorité des méta-analyses agrège des données anglophones (États-Unis, Royaume-Uni, Australie). **Deuxièmement**, le décalage temporel : une méta-analyse publiée en 2024 agrège typiquement des études primaires conduites entre 2005 et 2022 — elle mesure l'impact d'outils qui, pour partie, n'existent plus. **Troisièmement**, le biais d'évaluation : une part substantielle des études mesure les résultats à un post-test immédiat, parfois conçu par les auteurs eux-mêmes.

¹⁰⁸Tamim, R. M. *et al.* (2011). What Forty Years of Research Says About the Impact of Technology on Learning. *Review of Educational Research*, 81(1), 4-28. [IF=11.2] (cité dans Digital Delusion pour le plafond $d \approx 0,35$)

¹⁰⁹Higgins, S., Xiao, Z. & Katsipataki, M. (2012). The Impact of Digital Technology on Learning. EEF/Durham University. (cité dans Digital Delusion pour $d \approx 0,30$)

¹¹⁰Sailer, M. *et al.* (2024). Technology-enhanced learning in higher education: A second-order meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 113, 102480. (cité dans Digital Delusion pour $d = 0,03$)

6.1.3 La relation pédagogique : la variable cachée la plus puissante

Dans une littérature où les tailles d'effet se bousculent autour de 0,30-0,40, un résultat détonne : Cornelius-White (2007), dans **Review of Educational Research**, publie une méta-analyse de **119 études** sur la relation enseignant-élève et rapporte un effet global de **$d = 0,68$** — soit exactement le double de l'effet moyen de la technologie éducative ¹¹¹. Cette taille d'effet est associée à l'empathie, la chaleur, la non-directivité, et l'encouragement à la pensée d'ordre supérieur.

Cet effet n'est pas neuf, n'est pas contesté, et est reconnu dans toutes les grandes synthèses de sciences de l'éducation. Il est en revanche presque systématiquement absent des discussions sur l'IA éducative. C'est un fait qui devrait structurer tout le débat : aucune technologie évaluée à ce jour ne produit un effet aussi élevé et aussi robuste que la qualité de la relation pédagogique humaine.

6.1.4 Quatre dilemmes irréductibles de l'EdTech (Reich, 2020)

Reich identifie quatre dilemmes structurels qui expliquent l'échec récurrent de l'EdTech à transformer l'éducation ¹¹² :

La malédiction du familier (*curse of the familiar*). Le projet ***Apple Classrooms of Tomorrow*** (années 1980) a montré que les enseignants progressent de l'utilisation de la technologie pour des tâches traditionnelles vers des usages transformatifs — mais que cette progression prend des années et n'atteint qu'une minorité. La technologie est plus souvent utilisée pour renforcer les pratiques existantes que pour en créer de nouvelles.

L'effet Matthieu de l'EdTech. Les plateformes en ligne — MOOCs, adaptive learning, IA éducative — bénéficient davantage aux élèves déjà favorisés (plus de capital culturel, meilleure autorégulation, meilleur accès technique).

Sans intervention explicite, l'EdTech creuse les inégalités au lieu de les réduire.

Le piège de l'évaluation routinière. Les systèmes automatisés évaluent ce qu'ils savent mesurer (QCM, exercices fermés, compétences procédurales) mais pas ce qui compte le plus (pensée critique, créativité, collaboration, transfert). Le cas Lumosity — sanctionné en 2016 par la FTC pour publicité trompeuse — illustre cette dérive.

Le pouvoir toxique des données. Helen Nissenbaum (contextual integrity) et Reich documentent les risques d'une éducation « data-driven » : surveillance, profilage, perte de vie privée, et réduction de l'élève à ses données comportementales. Chaque interaction avec un système IA génère des données qui peuvent être utilisées à des fins non éducatives.

¹¹¹Cornelius-White, J. (2007). Learner-Centered Teacher-Student Relationships Are Effective: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 77(1), 113-143. [IF=11.2]

¹¹²Reich, J. (2020). *Failure to Disrupt: Why Technology Alone Can't Transform Education*. Harvard University Press.

6.1.5 Postman et la finalité de l'école : la question oubliée

Neil Postman (**The End of Education**, 1995) pose la question que les promoteurs de l'IA éducative esquivent systématiquement : à quoi sert l'école ?

« *What makes public schools public is not so much that the schools have common goals but that the students have common gods. The reason for this is that public education does not serve a public. It creates a public.* » ¹¹³

L'école comme création d'un public. L'école n'est pas seulement un lieu de transmission de savoirs individuels — elle est le lieu de fabrication d'un bien commun : un public capable de délibérer, de s'écouter et de gouverner. Si l'IA individualise intégralement le parcours de chaque élève, elle supprime cette dimension collective. La question que tout décideur devrait poser à chaque projet EdTech : « Quel public cette initiative crée-t-elle ? »

Contre l'utilitarisme économique étroit. Postman attaque frontalement la « théologie » de l'utilité économique de l'école — l'idée qu'une éducation se justifie par son rendement sur le marché du travail. « *Specialized competence can come only through a more generalized competence, which is to say, through a broad education.* »

La médiation technologique. Postman cite l'écrivain suisse Max Frisch : « *Technology is the knack of so arranging the world that we do not experience it.* » Cette formule est la phrase la plus utile de toute cette revue pour un décideur. La force de l'éducation présentielle — avec ses lenteurs, ses maladresses, ses silences — est précisément qu'elle maintient l'expérience directe du monde, de l'autre et de soi. L'IA éducative, si elle est mal conçue, risque d'interposer une couche d'abstraction entre l'élève et cette expérience.

6.1.6 COVID : un moment de vérité pour la EdTech

L'épreuve de vérité historique pour l'EdTech est survenue entre mars 2020 et 2022, lorsque des centaines de millions d'élèves ont été contraints d'apprendre à distance.

Goldhaber et al. (2022, NBER) documentent les pertes d'apprentissage aux États-Unis : 0,20 à 0,27 écart-type en lecture, 0,17 à 0,41 en mathématiques — les élèves défavorisés et les minorités étant les plus touchés ¹¹⁴.

West (2023), dans un rapport UNESCO intitulé **An Ed-Tech Tragedy?**, dresse une synthèse internationale : la technologie a permis de maintenir un lien minimal, mais les pertes d'apprentissage sont massives et inégalement distribuées. Le rapport GEM 2023 de l'UNESCO (**Technology in education: a tool on whose terms?**) conclut : « *There is little robust evidence showing that digital technology used in the classroom improves learning outcomes* » ¹¹⁵.

¹¹³Postman, N. (1995). *The End of Education: Redefining the Value of School*. Alfred A. Knopf.

¹¹⁴Goldhaber, D. et al. (2022). *The Consequences of Remote and Hybrid Instruction During the Pandemic*. NBER Working Paper 30010. <https://www.nber.org/papers/w30010>

¹¹⁵West, M. (2023). *An Ed-Tech Tragedy? Educational Technologies and School Closures in the Time of COVID-19*. UNESCO. + UNESCO GEM Report (2023). *Technology in education: a tool on whose terms?* <https://www.unesco.org/gem-report/en/technology>

La leçon du COVID est sans appel : dans les conditions réelles d'une crise mondiale, l'EdTech — y compris les plateformes les mieux financées — n'a pas tenu sa promesse de substitut à l'enseignement en présentiel. Les gains ont été marginaux, les pertes significatives, et la fracture numérique s'est creusée. Ce constat empirique devrait tempérer tout discours sur l'IA comme « solution de remplacement » de l'enseignant.

6.2 La EdTech à l’heure de l’IA : un marché en attente de structuration

Le marché se segmente aujourd’hui en trois catégories :

- 1) **Plateformes adaptatives “classiques”** (maths/langues/sciences), fondées sur diagnostique + parcours (ex. ALEKS, DreamBox, MATHia, Century, Squirrel AI).
- 2) **Solutions institutionnelles francophones** (P2IA, remédiation lycée, différenciation primaire, formation pro) : MIA Seconde, Adaptiv’Math, Lalilo, Domoscio, Didask. [\[26\]](#)
- 3) **Mentors GenAI / assistants conversationnels** : Khanmigo (GPT-4), Duolingo Max (GPT-4), Quizlet Q-Chat (API ChatGPT), Coursera Coach (assistant GenAI). [\[27\]](#)

L’EdTech présente l’un des paradoxes les plus saisissants du capital-risque mondial : un marché adressable de **7 300 milliards de dollars** — le plus large secteur de l’économie humaine après l’alimentation — et pourtant un financement VC qui s’est effondré à **2,8 milliards de dollars** en 2025, soit **0,04 % du TAM**.

Après un pic à 20,8 Md\$ en 2021, le secteur a perdu 87 % de ses flux de financement en quatre ans.

Le HealthTech américain seul capte cinq fois plus.

Ce document analyse les causes structurelles de cette équation, les opérations les plus significatives de l’IA en éducation sur 2023–2025, et les leviers de sortie du paradoxe.

\$7,3T TAM éducation mondiale 2025 — 2U/edX investor deck	\$2,8B VC EdTech capturé 2025 — soit 0,04 % du TAM	–87 % Déclin vs. pic 2021 \$20,8B → \$2,8B en 4 ans	\$14,2B VC HealthTech US 2025 — 5× l’EdTech mondial
--	---	--	--

Source : HolonIQ Global EdTech VC Report 2024 · Rock Health 2025 Year-End · 2U, “Transforming Digital Education”, juin 2021

6.2.1 L’arc macro : effondrement depuis 2021

Le financement VC mondial de l’EdTech a atteint un sommet de **20,8 milliards de dollars en 2021**, porté par la disruption COVID et l’afflux de capital à taux zéro. Depuis, la chute est vertigineuse : –49 % en 2022 (à 10,58 Md\$), –72 % en 2023 (à 2,97 Md\$), puis un plancher décennal à 2,4 Md\$ en 2024 — niveau le plus bas depuis 2014.

La légère remontée à 2,8 Md\$ en 2025 (Crunchbase, estimation partielle) ne constitue pas une reprise mais une stabilisation à un étiage structurel.

Financement VC EdTech mondial 2010–2025 (Md USD)

Année	Montant (Md\$)	Variation	Niveau régional dominant
2018	\$8,2 Md	—	États-Unis + Chine
2019	\$7,0 Md	–15 %	États-Unis + Chine
2020	\$16,1 Md	+130 % (COVID)	Global
2021	\$20,8 Md ▲ PIC	+29 %	Global — boom BYJU’s, Coursera IPO
2022	\$10,6 Md	–49 %	Chute Chine, recalibrage global
2023	\$2,97 Md	–72 %	Plancher USA, résilience Europe
2024	\$2,4 Md	–8 %	Plus bas niveau depuis 2014
2025	\$2,8 Md*	+17 %	MENA +169 %, Inde stable

Source : HolonIQ Global EdTech VC Funding Report (2010–2024) · Crunchbase (2025, estimation partielle à avril 2025) · Reach Capital US EdTech Report 2024

Répartition cumulative régionale 2010–2024 (source : HolonIQ) : Chine 29,7 Md\$ — États-Unis 26,6 Md\$ — Inde 10,8 Md\$ — Europe 8,2 Md\$ — Reste du monde 6,7 Md\$. La domination de la Chine est cependant trompeuse : la régulation de juillet 2021 (interdiction des cours particuliers privés pour les élèves du primaire et du secondaire) a détruit plus de 100 milliards de dollars de valeur en quelques semaines, illustrant le risque réglementaire unique à l’éducation.

Signal clé

Le financement VC EdTech n’a pas retrouvé son niveau pré-COVID de 2019 (7 Md\$). L’IA ne compense pas la désaffection structurelle des investisseurs — elle déplace simplement les sous-segments favoris (B2B enseignants, langues, certifications professionnelles).

6.2.2. Top 10 opérations IA en éducation (2023–2025)

Synthèse à partir de HolonIQ, Crunchbase, Tracxn, PitchBook et New Market Pitch. Les opérations les plus capitalisées se concentrent sur trois sous-segments : langues (willingness-to-pay consumer), outils enseignants (B2B institutionnel) et formation médicale (renouvellement de licence obligatoire).

#	Société	Pays	Objet	Technologie IA	Montant levé	Trajectoire
1	Physics Wallah	IN Inde	Cours live & recorded, prépa JEE/NEET	Tutorat adapt., analytics live	\$312 M (Série B sept. 2024)	13 900 employés, IPO nov. 2025
2	AMBOSS	DE Allemagne	Plateforme médicale étudiants/praticiens	Répétition espacée, LLM, cas cliniques	\$298 M (dont \$260 M en 1 round)	Leader en Allemagne, expansion US
3	Element451	us USA	CRM AI pour l’enseignement supérieur	IA générative, prédictif rétention	\$175 M (déc. 2024, PSG)	Vente B2B institutions, forte rétention
4	Speak	us USA/Coreée	Tutorat oral langues (IA pur)	ASR propriétaire, NLP, LLM	\$162 M total (Série C \$78 M)	+\$100 M ARR, 15 M DL, 40 % rétention
5	MagicSchool AI	us USA	Suite de productivité IA pour enseignants	LLM, 60+ outils pédagogiques	\$62 M (3 rounds en 17 mois)	3 M utilisateurs enseignants
6	Lingokids	es Espagne	Apprentissage de l’anglais 2–8 ans	Moteur adaptatif petite enfance	\$120 M (2025)	Dizaines de M familles, 185 pays
7	Preply	us/ua USA	Marketplace tuteurs + couche IA	Matching IA, génération contenu	>\$180 M total	32 000 tuteurs, pivot B2B entreprise
8	SchooLinks	us USA	Orientation collège/carrières K-12	Recommandation IA, workflow conseil.	\$80 M (Série B)	Centaines de districts US
9	Khan Academy / Khanmigo	us USA	Tuteur socratique IA (non-profit)	GPT-4 + curriculum propriétaire	Microsoft Azure + dons (non-VC)	700 000 élèves K-12 en 2024–25

#	Société	Pays	Objet	Technologie IA	Montant levé	Trajectoire
10	Synthesis	us USA	Tutorat mathématique raisonnement	IA petits groupes, jeux cognitifs	~\$14 M (capital-light)	Données d'efficacité avérées, rare

Source : HolonIQ · Crunchbase · Tracxn · New Market Pitch (AI in Education Fundraising 2026) · Rock Health · TechCrunch · Reach Capital

Lecture transversale du Top 10

Les 10 opérations illustrent trois modèles qui échappent au paradoxe :

- (1) B2B institutionnel — l’institution paie, pas l’élève (Element451, MagicSchool, SchooLinks) ;
- (2) Formation professionnelle obligatoire — le renouvellement de licence crée un willingness-to-pay imposé (AMBOSS) ;
- (3) Langues et marchés émergents — TAM mondial avec consumer direct-to-pay (Speak, Lingokids, Physics Wallah). Le tutorat généraliste K-12 reste le segment le moins capitalisé par rapport à sa taille

6.2.3 Comparaison sectorielle : EdTech vs. HealthTech vs. GreenTech

Métrique	EdTech	HealthTech (digital health US)	GreenTech / CleanTech
Financement 2023	~\$3 Md	~\$10,7 Md	~\$1 770 Md (transition énerg.)
Financement 2024	~\$2,4 Md	~\$10,1 Md	~\$2 100 Md
Financement 2025	~\$2,8 Md	~\$14,2 Md	~\$670 Md (couche VC/PE)
Année de pic	2021 (\$20,8 Md)	2021 (\$29,2 Md US)	Accélération continue
Taux de capture VC/TAM	~0,04 %	~0,34 %	~8 % (couche VC/PE)
Mega-rounds (\$100 M+)	Très rares post-2022	26 en 2025 (US digital health)	Fréquents (infra énerg.)
Licornes créées 2024–2025	Poignée (Speak)	15 nouvelles licornes en 2025	Nombreuses

Métrique	EdTech	HealthTech (digital health US)	GreenTech / CleanTech
Part IA dans le financement	~62 % des deals AI EdTech	62 % du VC digital health H1 2025	Transformation sectorielle
Environnement exit	Faible — BYJU's à zéro	En reprise, M&A +61 % en 2025	Fort, contrats long terme

Source : HolonIQ (EdTech) · Rock Health Year-End 2025 (HealthTech) · BloombergNEF / IEA / Qubit Capital (GreenTech) · Crunchbase

Note méthodologique : les chiffres GreenTech incluent VC, PE et finance de projet (non strictement comparables au VC pur). Les données HealthTech couvrent le digital health US uniquement (Rock Health). Un ratio VC pur pour le CleanTech serait de l'ordre de 50–80 Md\$ globalement en 2024 — toujours 20x le niveau EdTech.

6.2.4 Marché mondial

Le marché mondial de l'EdTech est estimé entre **USD 163 et 310 milliards** (2024), CAGR 13-20 %. Financement VC : USD 2,4 Md en 2024-2025 (HolonIQ) ^{116 117}.

Pays	Taille (2024-25)	CAGR	Spécificités
États-Unis	USD 70,2 Md	15,8%	89% écoles intègrent EdTech
Chine	USD 74,4 Md	14,5%	280M élèves K-12 en ligne
Inde	USD 10+ Md	20%+	20% du VC mondial
Allemagne	USD 11,7 Md	16,3%	DigitalPakt Schule : 6 Md
Japon	USD 14,8 Md	16,7%	GIGA School
Corée du Sud	USD 6,2 Md	17%	AIDT : 1 Md
Royaume-Uni	USD 8+ Md	15%	Oak Academy, EEF
Brésil	USD 5,41 Md	11,7%	Plus grand LATAM
Canada	USD 5 Md	14%	2042 startups

¹¹⁶Global EdTech market: USD 163-310 Md (2024). CAGR 13-20%.

¹¹⁷HolonIQ (2025). Global EdTech Funding 2024-2025: USD 2.4B.

Singapour	USD 2,2 Md	18%	852 entreprises
-----------	------------	-----	-----------------

6.2.5 Acteurs majeurs

Acteur	Type	Cap./Valorisation	Produits	Utilisateurs
Duolingo	Coté	USD 17,1 Md	Duolingo, Math	130M MAU
Coursera	Coté	USD 2,7 Md	Coursera, Campus	168M
Khan Academy	Non-profit	USD 107M rev.	Khanmigo	180M+
Kahoot!	Coté	USD 1,65 Md	Kahoot!, Clever	10M+ ens.
Canvas (KKR)	Privé	USD 4,8 Md acq.	Canvas LMS	100M+
PowerSchool	Privé	USD 5,6 Md acq.	SIS	60M+
Age of Learning	Privé	USD 3 Md	ABCmouse	50M+
Squirrel AI	Privé	USD 1 Md	Adaptive K-12	Chine
Quizlet	Privé	USD 1 Md	Q-Chat AI	60M+
DreamBox	Privé	Discovery Ed	Math, Reading	6M

6.2.6 Innovations des géants du numérique

Les grandes entreprises technologiques investissent massivement dans l'IA éducative, chacune avec une stratégie distincte.

LearnLM (Google DeepMind)

LearnLM est un modèle de langage fine-tuné sur Gemini, spécifiquement conçu pour l'éducation. Il intègre nativement : le questionnement socratique, le feedback formatif et l'adaptation au niveau de l'apprenant ¹¹⁸.

Intégration dans l'écosystème Google. LearnLM est déployé dans YouTube, Google Search, Google Classroom et Illuminate. **LearnLM-Bench** évalue les modèles sur 7 dimensions pédagogiques. LearnLM surpasse GPT-4 et Claude sur 5 des 7 dimensions dans les évaluations internes. Le RCT Eedi/DeepMind (n = 165, ES = +5,5 pp) est la première évaluation indépendante en conditions réelles.

¹¹⁸LearnLM (Google): modele fine-tune sur Gemini pour l'education.

Microsoft Education

Microsoft adopte une stratégie d'**intégration dans l'écosystème existant** (Microsoft 365, Teams, OneNote, Minecraft Education). 86 % des établissements utilisant Microsoft 365 intègrent au moins un outil IA ^{119 120}.

Produits clés. Reading Coach (tuteur de lecture en 80+ langues), Math Progress (diagnostic + exercices personnalisés), Copilot pour l'éducation (génération de leçons, différenciation, quiz). Minecraft Education Edition : 115 pays, 35 millions de sessions/an.

OpenAI — ChatGPT Edu

Lancé en mai 2024, **ChatGPT Edu** est basé sur GPT-4o avec des fonctionnalités universitaires : contrôles institutionnels, confidentialité renforcée, GPTs personnalisés par département. Déployé dans 100+ universités dont Columbia, ASU, Wharton, Oxford ¹²¹.

Anthropic, Apple et analyse comparative

Anthropic propose Claude dans le cadre de partenariats éducatifs ciblés, avec une approche centrée sur la sécurité (Constitutional AI). **Apple** adopte un modèle « privacy-first » avec des données on-device.

Le risque structurel pour les systèmes éducatifs est la **dépendance technologique** : si les outils IA éducatifs sont fournis gratuitement par les géants du numérique, les établissements perdent leur autonomie sur le curriculum, les données et les choix pédagogiques.

L'approche européenne (souveraineté numérique, alternatives open-source comme Oak/Aila) et estonienne (plateformes nationales interopérables) offrent des modèles alternatifs.

6.2.7 Les 6 causes structurelles du déficit de financement

1. Absence de mécanisme de remboursement

En santé, les assureurs remboursent sur codes CPT. En énergie, les États subventionnent via crédits d'impôt. En éducation, le financement public ne délègue pas à grande échelle au privé : les budgets scolaires sont votés annuellement, soumis à des plafonds, et les procédures d'appel d'offre génèrent des cycles de 12 à 24 mois. Depuis 2022, **les investisseurs retiennent des sommes importantes en attendant de voir les résultats de leurs paris de l'ère pandémique** (HolonIQ, 2025).

¹¹⁹Microsoft (2024-2025). AI integration in Microsoft 365 Education ecosystem.

¹²⁰Microsoft Education: Reading Coach, Math Progress, Copilot.

¹²¹OpenAI ChatGPT Edu (mai 2024). GPT-4o pour universités.

2. Absence de preuve d'efficacité standardisée

Il n'existe pas d'équivalent de la validation FDA ni de crédit carbone certifié pour l'éducation. Mesurer l'apprentissage est long, coûteux et confondant (qualité de l'enseignant, contexte socio-économique, engagement familial).

Khan Academy n'a pas encore conduit d'essai contrôlé randomisé sur Khanmigo — malgré 700 000 utilisateurs actifs — en raison du coût et des difficultés opérationnelles. Sans signal d'efficacité standardisé, les investisseurs se rabattent sur des proxies d'engagement (DAU, rétention) qui ont prouvé leur insuffisance lors de l'échec de BYJU's.

3. Désalignement acheteur / utilisateur / bénéficiaire

L'élève apprend, le parent choisit (parfois), l'école décide, le district valide, l'État finance. Aucun acteur ne cumule à la fois la motivation et le budget d'achat. Aux États-Unis seuls, **13 000 districts scolaires indépendants** représentent autant de cycles de vente atomisés. Les startups EdTech qui réussissent contournent ce problème en visant l'administrateur (Element451) ou en créant un consumer direct-to-pay là où la douleur est immédiate (Speak : 1,5 milliard d'apprenants d'anglais dans le monde).

4. Risque réglementaire asymétrique

La régulation en santé est un moat défensif (barrière à l'entrée = avantage concurrentiel après obtention). La régulation en énergie est un catalyseur (subventions, quotas). En éducation, elle est imprévisible et politique : la régulation chinoise de juillet 2021, qui a interdit les cours particuliers privés, a détruit plus de 100 milliards de dollars de valeur de marché en quelques semaines, rendant des investissements de plusieurs années instantanément caducs.

5. Willingness-to-pay structurellement faible

L'éducation est perçue comme un bien public dans la quasi-totalité des cultures. Le concurrent naturel de toute startup EdTech est **le gratuit** : YouTube, Khan Academy, ChatGPT. Le consommateur arbitre continuellement entre payer et ne pas payer — contrairement à la santé (urgence) ou à l'énergie (nécessité réglementée). Les seules exceptions durables sont les niches à ROI mesurable et immédiat : test de certification, promotion professionnelle, visa linguistique.

6. Cycles de vente institutionnels incompatibles avec le VC

Un fonds de capital-risque typique a un horizon de 7 à 10 ans et attend une liquidité via IPO ou M&A. Vendre à un district scolaire nécessite en moyenne 18 mois de cycle commercial, un pilote non rémunéré, l'approbation du conseil municipal, et une négociation de prix sous pression budgétaire. La combinaison de longs cycles, de marges comprimées et d'une faible visibilité sur les renouvellements rend le secteur structurellement moins attractif pour le VC que le SaaS entreprise ou le MEdTech.

6.2.8 Les voies de sortie du paradoxe — Implications stratégiques

Segment porté	Exemples	Pourquoi ça fonctionne
B2B outils enseignants	MagicSchool, SchooLinks, Element451	Institution paie, ROI mesurable (temps gagné), cycle court vs. K-12

Segment porté	Exemples	Pourquoi ça fonctionne
Formation professionnelle oblig.	AMBOSS, CareAcademy, OnlineMedEd	Renouvellement de licence = willingness-to-pay imposé
Langues (consumer direct)	Speak, Lingokids, Preply, ELSA	TAM mondial, ROI vieu perçu, abonnement mensuel < \$20
Marchés émergents	Physics Wallah, MENA (+169 % 2025)	Sous-équipement éducatif, smartphone-first, prix accessibles
IA comme infrastructure	Acquisitions par Google, Microsoft	BigTech rachette l'EdTech AI comme layer à moindre coût

Source : Reach Capital EdTech Report 2025 · New Market Pitch AI in Education 2026 · Crunchbase · HolonIQ

Lalilo : l'exemple d'un succès français de l'IA pour la lecture (P2IA)

Origine et statut institutionnel. Lalilo est l'un des projets lauréats du **Partenariat d'innovation intelligence artificielle (P2IA)** soutenu par le Ministère de l'Éducation nationale. Lancé à l'automne 2019, le P2IA associe l'État et plusieurs académies pilotes pour cofinancer, co-construire et expérimenter à grande échelle des solutions d'IA éducative au service des apprentissages fondamentaux du cycle 2 ¹²².

Trajectoire entrepreneuriale. Lalilo a été fondée à Paris en 2016 par trois diplômés de l'École polytechnique, puis **acquise en mars 2021 par Renaissance Learning**, un acteur américain. Cette trajectoire illustre à la fois la qualité de l'écosystème EdTech français et la fragilité de la chaîne de valeur souveraine ¹²³.

Fonctionnement pédagogique. Lalilo propose aux élèves de CP, CE1 et CE2 un parcours personnalisé d'apprentissage de la lecture organisé autour de plusieurs compétences. L'IA personnalise le parcours de chaque élève. L'enseignant garde la main : il définit les objectifs, suit les progrès via un tableau de bord et peut intervenir.

Adoption. Lalilo revendique plus de **25 000 enseignants** et **350 000 élèves** utilisateurs en France, ce qui en fait l'une des solutions IA-éducation les plus diffusées sur le territoire.

Enseignements. Le cas Lalilo livre quatre enseignements : (1) le P2IA démontre qu'un dispositif d'achat public innovant peut produire des solutions effectivement adoptées ; (2)

¹²² Lalilo (P2IA, MEN). Partenariat d'innovation intelligence artificielle, lecture CP-CE1-CE2. <https://lalilo.com/> ; <https://eduscol.education.gouv.fr/6714/l-intelligence-artificielle-pour-accompagner-les-apprentissages-des-fondamentaux-au-cycle-2>

¹²³ Renaissance Learning (mars 2021). Acquisition de Lalilo. <https://www.renaissance.com/2021/03/22/news-renaissance-delivers-commitment-early-literacy-lalilo/>

la focalisation étroite sur la lecture précoce et un public bien défini permet des preuves crédibles ; (3) l'acquisition par Renaissance Learning rappelle la fragilité de la souveraineté européenne ; (4) les plus grands gains se situent là où la science de l'apprentissage est la plus solide.

Sources principales : HolonIQ Global EdTech VC Report (2024) · Rock Health Year-End Report (2025) · Crunchbase EdTech Funding (2025) · Reach Capital US EdTech Report (2023–2025) · 2U, “Transforming Digital Education” (2021) · New Market Pitch AI in Education (2026) · BloombergNEF / IEA CleanTech Investment (2024–2025).

Chapitre 7. Les principes de la *Education Endowment Foundation*

Ce chapitre présente en détail les travaux de l'EEF sur l'efficacité des technologies éducatives, les 9 mécanismes identifiés, le Teaching and Learning Toolkit, et les résultats de 82 évaluations.

7.1 Le Teaching and Learning Toolkit

Le *Teaching and Learning Toolkit* de l'EEF synthétise plus de **2 500 études primaires** couvrant 30+ approches pédagogiques¹²⁴ ¹²⁵. Pour chaque intervention, il fournit : la taille d'effet moyenne (exprimée en mois de progression), le coût estimé (1 à 5 £), et la solidité des preuves (1 à 5 cadenas).

Système de notation. Les cadenas (*padlocks*) évaluent la qualité de la base de preuves : 1 cadenas = preuves limitées/inconsistantes ; 3 cadenas = solidité modérée à élevée ; 5 cadenas = large corpus incluant plusieurs RCT de haute qualité. Le feedback, classé 5 cadenas et +6 mois de progression, est l'intervention la plus fortement soutenue du Toolkit.

Résultats pour la technologie numérique. Les interventions technologiques montrent en moyenne **+4 mois de progression**, avec une variabilité considérable selon l'implémentation. 21 des 31 méta-analyses de la version la plus récente portent sur le volet technologie numérique.

Les écoles britanniques dépensent environ **900 millions £ par an** en EdTech¹²⁶.

L'EEF souligne que **l'effet moyen pour les élèves défavorisés est inférieur** à l'effet global — l'EdTech risque de creuser les inégalités si elle est mal conçue. 69 % des directeurs d'école britanniques utilisent le Toolkit, avec 20 000+ utilisateurs mensuels ¹²⁷.

7.2 Les 9 mécanismes d'efficacité

La revue systématique commissionnée par l'EEF (Open Development & Education, 2024-2025) a synthétisé **189 études de haute qualité**, extrait **391 mécanismes** raffinés en 56 mécanismes spécifiques, puis regroupés en **9 clusters** validés par des praticiens ¹²⁸.

7.2.1 Mécanisme 1 : Ancrage dans les processus pédagogiques

La technologie doit s'intégrer dans les processus d'enseignement et d'apprentissage existants, en soutenant une pédagogie fondée sur les preuves plutôt qu'en remplaçant les pratiques établies.

¹²⁴EEF (2019). Using Digital Technology to Improve Learning. Guidance Report.

<https://educationendowmentfoundation.org.uk/>

¹²⁵EEF (2021). Review of 82 EdTech Evaluations. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED625481.pdf>

¹²⁶ Ce chiffre est issu d'une publication de la House of Lord library (nov 2023) :

<https://lordslibrary.parliament.uk/educational-technology-digital-innovation-and-ai-in-schools/>

Les données source sont celles du DfE : <https://www.gov.uk/government/collections/using-technology-in-education>

¹²⁷UK: 69% des directeurs utilisent le EEF Toolkit. 20,000+ utilisateurs/mois.

¹²⁸EEF (2025). Effectiveness of EdTech Review. 9 mecanismes. <https://educationendowmentfoundation.org.uk/>

Exemple : combiner un jeu numérique avec une pré-évaluation diagnostique et une instruction en petits groupes.

7.2.2 Mécanisme 2 : Ancrage dans l'inclusion et l'accessibilité

Garantir que les besoins de tous les apprenants sont satisfaits par des choix de conception inclusifs.

Exemple : sélectionner des e-books avec des fonctionnalités d'assistance (dictionnaire intégré, aide au décodage, synthèse vocale). Ce mécanisme est particulièrement critique pour les élèves à besoins éducatifs spéciaux.

7.2.3 Mécanisme 3 : Utilisation diversifiée des médias

Exploiter des formats médiatiques variés (vidéos, animations, outils interactifs, simulations) avec des objectifs d'apprentissage clairs. La recherche montre que la multimodalité améliore l'encodage lorsqu'elle est alignée sur les objectifs pédagogiques, mais peut surcharger la mémoire de travail si elle est mal conçue.

7.2.4 Mécanisme 4 : Feedback dynamique

La technologie fournit un retour immédiat, médiatisé et adaptatif qui aide élèves et enseignants à répondre aux besoins d'apprentissage en temps réel. C'est le mécanisme le plus fortement soutenu par les preuves : le Toolkit classe le feedback à +6 mois avec 5 cadenas. Les ITS excellent ici — correction immédiate, explications adaptées au type d'erreur, suggestions de remédiation.

7.2.5 Mécanisme 5 : Enseignement adaptatif

La technologie soutient un apprentissage qui s'ajuste aux interactions de l'apprenant et à ses niveaux de performance démontrés.

Les plateformes adaptatives (Khan Academy, DreamBox, ALEKS) modifient dynamiquement la difficulté, la séquence et le contenu. Les méta-analyses montrent des effets positifs modérés, amplifiés lorsque l'enseignant pilote l'outil (cf. Bardach et al., 2026).

7.2.6 Mécanisme 6 : Planification de l'implémentation

L'efficacité dépend d'une planification systématique de la mise en œuvre : formation des enseignants, infrastructure technique, intégration dans le curriculum, et suivi de la fidélité d'implémentation.

Les évaluations EEF montrent que les programmes échouent plus souvent par défaut d'implémentation que par défaut de conception.

7.2.7 Mécanisme 7 : Environnements réflexifs et personnalisés

Soutenir l'autorégulation et la métacognition à travers des expériences d'apprentissage personnalisées. L'IA peut aider les élèves à planifier leur travail, surveiller leur compréhension et ajuster leurs stratégies. Les outils de calibration métacognitive assistée par IA montrent des gains de +8,9 % ($p = 0,019$).

7.2.8 Mécanisme 8 : Apprentissage par le jeu et gamification

L'utilisation efficace des jeux et des éléments ludiques dans des contextes éducatifs. La gamification fonctionne lorsqu'elle maintient l'engagement sans distraire de l'objectif d'apprentissage.

Les éléments ludiques (points, badges, classements) ont des effets mixtes : positifs sur la motivation à court terme, parfois négatifs sur la motivation intrinsèque à long terme.

7.2.9 Mécanisme 9 : Échafaudage de l'apprentissage collaboratif

La technologie soutient l'apprentissage collaboratif avec un étayage approprié. Les outils de collaboration assistée par IA (rédaction collaborative, résolution de problèmes en groupe, peer review assisté) montrent des résultats prometteurs lorsqu'ils structurent les interactions plutôt que de les laisser non encadrées.

7.3 Résultats de 82 évaluations EEF

La revue de 82 évaluations EdTech financées par l'EEF (août 2021) fournit le corpus le plus riche d'évaluations rigoureuses de technologies éducatives¹²⁹.

Échantillons. 3 à 205 écoles par essai (moyenne = 64). Les RCT ont des durées plus courtes et moins d'écoles ; les essais en cluster ont des durées plus longues et plus d'écoles. Intensité moyenne d'intervention : ~90 minutes/semaine.

Résultats globaux. 40 des 82 évaluations (49 %) montrent des preuves d'impact positif, avec 133 tailles d'effet rapportées. Les mesures les plus utilisées : tests commerciaux (59 % des ES), National Pupil Database (34 %), KS2 SATs (23 %).

Par matière. Anglais/littérature : 36 évaluations (44 %). Cross-curriculaire : 29 (35 %). Maths/numératie : 14 (17 %). Par niveau : primaire 62 %, secondaire 30 %.

Résultats par durée. Les évaluations de 31-45 semaines et 1 an montrent des tailles d'effet supérieures (+0,07 SD). Les essais avec 41-60 écoles montrent également des effets supérieurs.

Programmes évalués notables. Eedi (Diagnostic Questions) : RCT pragmatique dans 158 écoles, ~28 930 élèves de Year 10, compromis par le COVID-19. Les enseignants rapportent ~28 min/semaine de réduction de charge de travail. Abracadabra (ABRA) : impact positif sur les résultats de lecture KS1.

7.4 Principes transversaux

Cinq principes transversaux émergent des travaux de l'EEF :

- **Aucun mécanisme seul ne garantit l'efficacité** : c'est la combinaison judicieuse de plusieurs mécanismes, pilotée par un enseignant formé, qui produit les meilleurs résultats.

¹²⁹EEF (2021). Using Digital Technology to Improve Learning. Review of 82 EdTech evaluations.

- **L'implémentation prime sur la technologie** : les programmes échouent plus souvent par défaut d'implémentation que par défaut de conception technologique.
- **L'équité n'est pas automatique** : les effets moyens pour les élèves défavorisés sont inférieurs à l'effet global. Sans attention explicite à l'équité, l'EdTech creuse les écarts.
- **La formation des enseignants est non négociable** : les programmes avec formation substantielle des enseignants montrent des effets significativement supérieurs.
- **L'évaluation indépendante est essentielle** : les évaluations par les développeurs surestiment systématiquement les effets par rapport aux évaluations indépendantes (mesures standardisées vs mesures spécifiques).

7.3 Focus— La doctrine du US Department of Education sur l'IA éducative (2023)

En mai 2023, le Bureau de la technologie éducative du département américain de l'Éducation (US Department of Education, Office of Educational Technology) a publié un rapport de référence intitulé « **Artificial Intelligence and the Future of Teaching and Learning: Insights and Recommendations** ».

Ce texte, élaboré à partir de quatre consultations publiques réunissant plus de 700 parties prenantes (enseignants, chercheurs, parents, élèves, administrateurs, développeurs), constitue la première doctrine publique fédérale structurée sur l'intelligence artificielle appliquée à l'éducation. Il mérite une attention particulière parce qu'il articule une vision humaniste, un ensemble de principes directeurs et sept recommandations opérationnelles qui influencent aujourd'hui l'ensemble du débat international [185].

Cadre de pensée : l'humain comme pivot

Le rapport s'ouvre sur une métaphore devenue célèbre : celle du **vélo à assistance électrique versus l'aspirateur robot**.

Un vélo électrique amplifie l'effort humain : le cycliste reste pleinement conscient de l'environnement, garde la main sur la direction et bénéficie d'une puissance accrue.

Un aspirateur robot, à l'inverse, retire l'humain du processus : la machine décide seule, l'humain n'intervient que pour la vider.

Le rapport plaide sans ambiguïté pour le modèle « vélo électrique » — une IA qui démultiplie la capacité humaine sans la remplacer — et met en garde contre le modèle « aspirateur robot », qui désengage progressivement l'enseignant et l'apprenant de leurs propres processus cognitifs.

Cette métaphore est doublée d'un principe guidant l'ensemble du document : « **AI in education can only grow at the speed of trust** » (Dr. Dale Allen, cité par le rapport). La confiance — des enseignants, des parents, des élèves, du public — est le facteur limitant de l'adoption.

Une IA techniquement performante mais qui ne gagne pas la confiance des parties prenantes est vouée à l'échec ou au rejet. Le rapport en tire une conséquence directe : la politique publique doit prioriser les conditions de la confiance (transparence, équité, sécurité, association des enseignants), avant même la performance.

Le rapport organise cette vision autour de **quatre fondations** (« four foundations ») qui doivent guider toute décision relative à l'IA éducative.

Première fondation : placer les personnes au centre (« center people »).

Deuxième fondation : faire progresser l'équité (« advance equity »).

Troisième fondation : garantir la sécurité, l'éthique et l'efficacité (« ensure safety, ethics, and effectiveness »).

Quatrième fondation : promouvoir la transparence (« promote transparency »).

Ces quatre fondations sont complétées par **six qualités recherchées** dans les outils IA éducatifs : alignement sur une vision éducative partagée, respect de la vie privée des données, notice et explication des décisions algorithmiques, protections contre les discriminations algorithmiques, démonstration de sûreté et d'efficacité, et garantie d'alternatives humaines. Cette liste est directement inspirée du AI Bill of Rights publié par la Maison-Blanche en octobre 2022, adapté au contexte éducatif.

Les sept recommandations opérationnelles

Le rapport décline son cadre en sept recommandations adressées aux décideurs publics, aux districts scolaires, aux développeurs et aux chercheurs :

- **Recommandation 1 — Emphasize humans-in-the-loop.** Aucun système d'IA ne doit prendre, seul, des décisions ayant des conséquences significatives pour un élève. L'enseignant reste décideur : l'IA propose, l'humain dispose.
- **Recommandation 2 — Align AI models to a shared vision for education.** Les systèmes doivent être évalués à l'aune d'une vision éducative partagée.
- **Recommandation 3 — Design AI using modern learning principles.** Les systèmes doivent intégrer ce que la science de l'apprentissage sait.
- **Recommandation 4 — Prioritize strengthening trust.** Les déploiements doivent être accompagnés de dispositifs explicites de construction de la confiance.
- **Recommandation 5 — Inform and involve educators.** Les enseignants ne doivent pas être les destinataires passifs des outils.
- **Recommandation 6 — Focus R&D on addressing context and enhancing trust and safety.** Le financement public de la recherche doit prioriser les questions de contexte et de sûreté.
- **Recommandation 7 — Develop education-specific guidelines and guardrails.** Des garde-fous spécifiques à l'éducation sont nécessaires.

Une portée au-delà des États-Unis. Ses principes — humain dans la boucle, équité, transparence, preuve d'efficacité, association des enseignants — se retrouvent dans les cadres européens (DfE UK 2025, Commission européenne 2025), français (CNESCO 2024, DNE 2023-2027) et multilatéraux (UNESCO 2023, OCDE 2026). Il constitue, de facto, une matrice doctrinale pour les politiques éducatives mondiales.

Chapitre 8. Le prompting socratique : méthode, preuves et inspiration actuelle

Le prompting socratique appliqué à l'IA éducative s'inspire de l'**elenchus** (ἐλεγχος, du grec ancien ἐλέγχειν, « examiner, réfuter »), la méthode de réfutation dialectique de Socrate. Dans les dialogues platoniciens, Socrate ne transmet jamais directement le savoir mais guide l'interlocuteur vers la découverte par des questions successives qui exposent les contradictions de ses croyances.

8.1 Étude Taiwan (n = 230)

L'étude « *Socratic Wisdom in the Age of AI* » (Frontiers in Education, 2025) examine l'effet du prompting socratique avec un LLM auprès de 230 étudiants taiwanais ¹³⁰. Le protocole compare trois conditions : IA socratique, IA directe, et contrôle. Le groupe socratique montre des gains significatifs en pensée critique et en rétention à long terme.

8.2 RCT LearnLM/Eedi (n = 165, UK)

L'essai contrôlé randomisé utilisant LearnLM (Google DeepMind) dans des classes de Year 9-10 au Royaume-Uni (n = 165) montre un gain de **+5,5 points de pourcentage** par rapport au groupe contrôle¹³¹. LearnLM est un modèle fine-tuné sur Gemini intégrant les principes de questionnement socratique.

8.3 Framework de Chang (2023)

Chang (2023) propose un framework systématique pour le prompting socratique des LLM, incluant une métrique d'évaluation (SOCREVAL) ¹³². La corrélation finale de 0,58 entre SOCREVAL et les éducateurs humains indique que la qualité socratique est nuancée et contextuellement dépendante.

¹³⁰Socratic wisdom in the age of AI (n=230). Frontiers in Education (2025). [IF=2.4]

¹³¹Eedi/DeepMind LearnLM RCT (n=165, ES=+5.5pp). <https://arxiv.org/abs/2512.23633>

¹³²Chang, E.Y. (2023). Prompting LLMs with the Socratic Method. <https://arxiv.org/abs/2303.08769>

8.4 Le *Socratic playground* de OpenAI

8.4.1 Tableau des techniques et de leur mise en œuvre

Technique	Finalité	Mise en œuvre pas à pas	Indicateurs d'évaluation
Diagnostic initial	Repérer niveau, misconceptions, confiance	court prétest, question ouverte, justification brève, auto-évaluation de confiance	exactitude, qualité de justification, calibration confiance/réussite
Question d'ouverture socratique	Lancer l'enquête sans donner la réponse	partir d'un cas, d'un texte, d'un problème ou d'un dilemme; poser une question <i>Pourquoi/Comment</i> ; exiger un exemple	pertinence de l'argument, mobilisation d'exemples, diversité des hypothèses
Relances et étayage	Faire approfondir sans sur-assister	demander clarification, raisons, contre-exemples, alternatives, implications; augmenter puis réduire l'aide	profondeur des réponses, autonomie croissante, réduction des indices nécessaires
Dialogue entre pairs avec règles explicites	Co-construction du raisonnement	rappeler les règles de discussion, demander écoute active, droit de désaccord argumenté, recherche d'accord provisoire	fréquence des justifications, reprises des idées d'autrui, qualité de l'exploratory talk
Forum asynchrone	Étendre le temps de réflexion	1 message argumenté minimum, 1 réponse à un pair, synthèse ou réflexion finale	qualité argumentative des posts, persistance, niveau de pensée critique dans les échanges
Teachable agent / rôle inversé	Renforcer maîtrise et métacognition	demander à l'apprenant d'expliquer à un pair ou un agent simulé, d'anticiper les erreurs et de corriger	qualité des explications, détection des misconceptions, transfert vers nouveaux contextes
Questions ouvertes numériques	Recueillir des réponses riches en grand groupe	utiliser Wooclap/H5P/Moodle pour soumettre une question ouverte ou un embranchement interactif	taux de participation, richesse lexicale, diversité des idées, qualité des relances

Le résultat le plus net de cette revue est que les **preuves directes sur le “Socratic Playground” au sens strict restent faibles à modérées**, alors que les **preuves indirectes** sur les approches voisines sont bien plus solides.

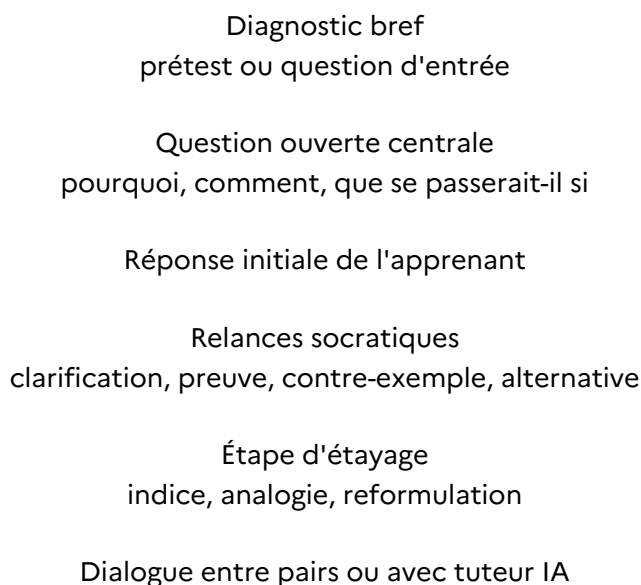
En pratique, il existe pour l’instant **deux études directes** sur le SPL : un **pilote** centré sur l’engagement et la satisfaction, et une étude **quasi expérimentale** en formation de santé. À l’inverse, les approches dialogiques apparentées disposent d’**essais contrôlés**, de **méta-analyses** et de **revues systématiques**, mais elles ne portent pas toutes sur un dispositif explicitement nommé “Socratic Playground”.

Les **résultats positifs** concernent surtout quatre familles d’issues : **gains d’apprentissage disciplinaires**, **engagement**, **pensée critique/métacognition** et **qualité de l’argumentation**. Mais la dimension de **transfert** est plus fragile.

L’étude de Reznitskaya et *al.* montre précisément qu’une expérience de classe plus dialogique n’implique pas automatiquement de meilleurs résultats sur des tâches individuelles de transfert; les auteurs suggèrent qu’un dialogue riche doit souvent être complété par une **explicitation des abstractions** ou par une instruction plus explicite pour consolider les schémas argumentatifs.

Les **limites méthodologiques** sont récurrentes. Pour le noyau “Socratic playground” lui-même, on observe des **petits échantillons**, des **échantillons de convenance**, des **mesures auto-rapportées**, des **durées brèves** et l’absence fréquente de **comparaison active**. Dans la littérature élargie, les problèmes sont différents : hétérogénéité des définitions, confusion entre discussion dialogique, investigation guidée et questionnement socratique, et difficulté à isoler les composantes causales dans des programmes multi-éléments. Les méta-analyses dialogiques signalent aussi une base encore limitée et souvent anglophone.

8.4.2 Diagramme de flux d’une séance-type



Synthèse explicite
règle, concept, critère de qualité

Application / transfert
nouveau cas, mini-quiz, production

Feedback et auto-réflexion
ce que j'ai compris, ce qui reste flou

Sur le plan de l'**ingénierie pédagogique**, les protocoles les plus convaincants ont une structure identifiable. En contexte asynchrone, Yang et *al.* demandaient à chaque étudiant de publier **au moins un argument ou exemple**, de répondre à **au moins un pair**, puis de **résumer** ou **réfléchir** sur la discussion; la qualité des échanges était ensuite codée en profondeur de pensée critique avec de fortes fidélités inter-juges. En classe dialogique, Mercer et Sams montrent qu'il faut expliciter les **règles de parole**, modéliser l'usage des raisons, donner du temps à la délibération et faire de l'enseignant un **guide discursif** plutôt qu'un simple vérificateur de réponses.

Les programmes plus ambitieux investissent fortement dans la **formation des enseignants**. L'intervention EEF de *Dialogic Teaching* comprenait une **induction**, des **journées de formation**, un **manuel**, des ressources de référence dont le *Talk Science Primer*, des cycles répétés de **ciblage-mise en œuvre-enregistrement-revue**, du **mentorat** et une instrumentation audio/vidéo fournie aux écoles. Le coût estimé était d'environ **52 £ par élève et par an**, avec jusqu'à **17 jours** de remplacement/temps dédié par école. Cela montre qu'une pédagogie dialogique robuste n'est pas "gratuite" : elle demande du **temps**, du **développement professionnel** et des **rituels d'observation**.

Pour les environnements numériques, plusieurs options crédibles existent déjà. Le **SPL officiel** permet le choix du domaine, du niveau d'expérience, du rôle et de la langue préférée, y compris le **français** ; il structure l'expérience autour de scénarios, jeux et pédagogies. En contexte plus généraliste, le **mode Étudier** de ChatGPT met explicitement en avant des **prompts interactifs**, des **questions ouvertes**, des **quiz de contrôle**, des **feedbacks personnalisés** et un réglage sur le niveau de l'utilisateur. Pour un déploiement institutionnel ou d'enseignement courant, des outils francophones ou documentés en français comme **Moodle Forum** et **Wooclap Question ouverte** sont immédiatement opérationnels pour structurer un dialogue, une trace écrite et une évaluation formative; **H5P Interactive Video** permet d'insérer des questions et même des embranchements adaptatifs dans une vidéo, avec intégration possible dans Moodle et d'autres LMS via plugin ou LTI.

En contexte francophone scolaire, les ressources d'**Éduscol** sont cohérentes avec cette logique : elles insistent sur la construction d'un **questionnement contextualisé**, sur la verbalisation, les **conflits sociocognitifs**, et surtout sur la nécessité de créer une **sphère de confiance** pour le travail oral et argumentatif. Cette idée est cruciale pour un "playground" socratique : l'espace doit être intellectuellement exigeant mais socialement sûr. Sans cela, le dialogue devient soit récitation, soit joute, soit dépendance excessive à l'outil.

En pratique, les garde-fous les plus raisonnables sont les suivants : exiger que l'outil **questionne avant de répondre**, tracer les interactions, prévoir des **moments sans assistance**, demander des

justifications et des **sources** quand le domaine s’y prête, former les enseignants à reconnaître la **sur-assistance** et réserver les usages les plus ouverts à des contextes où le **contrôle pédagogique humain** demeure réel. Les preuves disponibles soutiennent davantage un modèle **hybride** qu’un remplacement du tuteur humain.

8.4.3 Lacunes, questions ouvertes et recommandations

Il n’existe pas encore, à ce jour, de **corpus d’essais randomisés robustes** portant directement sur un “Socratic Playground” défini de façon canonique. Le nom est récent, les preuves directes sont rares, et une partie du discours actuel relève davantage de l’**ingénierie prometteuse** que de la validation cumulative.

Une seconde lacune touche le **transfert** : plusieurs travaux montrent que la qualité du dialogue progresse avant que les performances sur tâches autonomes ne suivent, ou sans qu’elles suivent.

Une troisième lacune concerne la **personnalisation adaptative** : l’IA est vantée pour son adaptativité, mais peu d’études comparent finement des politiques de guidage différentes selon le profil de l’élève.

8.5 Khanmigo : le tuteur IA de Khan Academy

Khanmigo est le tuteur IA de Khan Academy, lancé en mars 2023 en partenariat avec OpenAI (GPT-4). En 2024-2025, il dessert **700 000 élèves K-12** dans **380+ districts scolaires** américains ¹³³.

8.5.1 Architecture pédagogique

Khanmigo est conçu autour du principe socratique : il ne donne jamais la réponse directement mais guide l’élève par des questions successives. L’architecture intègre : (1) un profil apprenant avec détection du niveau par matière et compétence ; (2) un moteur de prompting socratique (questions adaptées au type d’erreur) ; (3) des garde-fous de contenu (filtrage des sujets inappropriés, détection de tentatives de triche) ; (4) un tableau de bord enseignant avec visibilité sur les conversations élève-IA.

Prompting socratique. Lorsqu’un élève demande la solution d’un problème de mathématiques, Khanmigo répond par une question ciblant le concept sous-jacent (« Quel est le rapport entre le numérateur et le dénominateur ? »). Si l’élève échoue à nouveau, Khanmigo fournit un indice plus explicite, puis une explication partielle, puis le raisonnement complet — un « scaffolding » progressif en 4 niveaux.

¹³³Khan Academy (2024-2025). Khanmigo: 700,000 K-12 students in 380+ U.S. school districts.

8.5.2 Résultats de l'étude PNAS

L'étude publiée dans PNAS (2024-2025) a évalué l'impact de Khanmigo sur les performances en mathématiques et en lecture¹³⁴.

Protocole. Essai randomisé en grappes dans 30 écoles publiques américaines (grades 3-8), avec 3 conditions : Khanmigo + support enseignant, Khan Academy sans IA, contrôle. Durée : 1 année scolaire. Mesures : MAP Growth (mathématiques et lecture), questionnaire de motivation, données d'utilisation de la plateforme.

Résultats. Le groupe Khanmigo montre des gains significatifs en mathématiques (+0,13 SD, $p < 0,01$) par rapport au contrôle, et des gains marginaux en lecture (+0,05 SD, $p = 0,08$). L'effet est plus prononcé pour les élèves en dessous du niveau attendu (+0,19 SD). Le temps d'utilisation moyen est de 45 minutes par semaine. L'engagement est 28 % supérieur au groupe Khan Academy sans IA.

8.5.3 Modèle économique et déploiement

Khan Academy est une organisation à but non lucratif (revenu 2023 : USD 107,3 millions, dont 80 % de dons philanthropiques). Khanmigo est proposé : gratuit pour les élèves des districts partenaires (financé par des subventions de Google, Microsoft et la Gates Foundation), USD 44/an pour les utilisateurs individuels¹³⁵.

Déploiement 2024-2025. 380+ districts (dont Newark, Indianapolis, Long Beach). Partenariats avec 12 États pour des projets pilotes. Expansion internationale : Inde (hindi), Brésil (portugais), Colombie (espagnol). Khanmigo est disponible en anglais, espagnol, portugais et hindi.

Limitations connues. Khanmigo présente des limitations documentées : hallucinations résiduelles (taux estimé à 3-5 % dans les explications mathématiques), difficulté avec les problèmes non-standards ou multi-étapes complexes, temps de latence variable (2-8 secondes par réponse), dépendance à l'infrastructure OpenAI (disponibilité 99,5 %).

¹³⁴Khan Academy PNAS study (2024-2025). Khanmigo impact on math and reading performance.

¹³⁵Khan Academy: USD 107.3M revenue (2023). 180M+ utilisateurs.

Chapitre 9. Les textes français et européens qui encadrent l'IA à l'école

9.1 Les lignes directrices de la Commission européenne pour les enseignants (2025)

En 2025, la Commission européenne a publié — dans le cadre de son Plan d'action en matière d'éducation numérique (Digital Education Action Plan) — un ensemble cohérent de quatre lignes directrices destinées aux enseignants des États membres. Ce paquet, conçu comme un outil de soutien pratique, accompagne les enseignants face aux quatre priorités de l'éducation numérique : usage éthique de l'IA et des données, lutte contre la désinformation et littératie numérique, qualité des contenus éducatifs numériques, et enseignement de l'informatique [192].

9.1.1 Vue d'ensemble : un paquet de quatre lignes directrices

Le paquet publié par la Commission rassemble deux nouveautés et deux mises à jour.

La première ligne directrice — actualisation des lignes directrices de 2022 — porte sur l'**usage éthique de l'IA et des données dans l'enseignement et l'apprentissage**.

La deuxième, sur la **lutte contre la désinformation et la promotion de la littératie numérique**, intègre désormais explicitement l'impact de l'IA générative sur la désinformation¹³⁶.

La troisième ligne directrice — entièrement nouvelle — porte sur les **contenus éducatifs numériques** (Digital Education Content, DEC). Elle introduit la **première définition européenne** de ce qu'est un **contenu éducatif numérique de qualité**.

La quatrième porte sur l'**enseignement de l'informatique**, dans une logique de souveraineté numérique¹³⁷.

9.1.2 Les quatre considérations éthiques fondamentales

Les lignes directrices sur l'IA et les données reposent sur **quatre considérations éthiques**¹³⁸ :

- **Agence humaine (human agency)** — l'enseignant et l'élève doivent rester maîtres des décisions ; l'IA propose, l'humain dispose.
- **Équité (fairness)** — les systèmes d'IA doivent être conçus de manière à ne pas reproduire ni amplifier les biais et les discriminations existants.

¹³⁶Commission européenne (2025). Commission publishes guidelines to support teachers in key digital education priorities. Shaping Europe's digital future. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/fr/news/commission-publishes-guidelines-support-teachers-key-digital-education-priorities>

¹³⁷European Commission (2025). Guidelines on the ethical use of AI in education, guideline 4: computing education.

¹³⁸European Commission, Directorate-General for Education (2022, mise à jour 2025). Ethical guidelines on the use of artificial intelligence (AI) and data in teaching and learning for educators. Publications Office of the EU. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d81a0d54-5348-11ed-92ed-01aa75ed71a1>

- **Humanité (humanity)** — la dimension humaine de l'éducation ne doit jamais être remplacée par des systèmes automatisés.
- **Choix justifié (justified choice)** — l'introduction d'un système d'IA en classe doit reposer sur une justification pédagogique explicite, fondée sur des preuves.

9.1.3 Public, portée et compétences émergentes

Les lignes directrices visent en priorité les **enseignants et personnels éducatifs des cycles primaire et secondaire**. Le texte accorde une attention particulière aux **compétences émergentes** que les enseignants doivent acquérir : compréhension des principes de l'IA, capacité à évaluer la fiabilité des contenus générés, maîtrise des règles du RGPD ¹³⁹.

Le paquet européen 2025 s'inscrit dans une approche cohérente avec le **DigCompEdu**, le **règlement européen sur l'IA** (AI Act, 2024) et les orientations de l'**UNESCO**. La singularité européenne est de relier explicitement IA, désinformation, qualité des contenus et enseignement de l'informatique^{140 141}

¹⁴².

9.1.4 Implications pour les politiques publiques nationales

Pour un décideur public français ou européen, les lignes directrices 2025 fournissent trois leviers opérationnels.

Premièrement, un **socle commun** sur lequel les États membres peuvent aligner leurs propres cadres nationaux.

Deuxièmement, la définition européenne du contenu éducatif numérique de qualité (DEC) ouvre la voie à une **politique d'achat public coordonnée**.

Troisièmement, en intégrant la lutte contre la désinformation, la Commission reconnaît que **l'IA générative et la désinformation forment désormais un système**.

Cette dernière mise en garde est essentielle : les lignes directrices européennes ne sont pas seulement un guide technique pour enseignants, elles sont **un instrument de politique d'inclusion**. Sans accès aux compétences critiques, des pans entiers de la population risquent une nouvelle forme de marginalisation numérique ¹⁴³.

¹³⁹European Commission (2025). Emerging teacher competencies for AI integration.

¹⁴⁰EU AI Act (2024). Regulation (EU) 2024/1689 on artificial intelligence.

¹⁴¹UNESCO (2024). Guidance for generative AI in education and research. Paris.

¹⁴²European Commission (2025). Guidelines linking AI, disinformation, content quality and computing education.

¹⁴³Frau-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. Rapport pour l'UNESCO. Chaire UNESCO Savoir Devenir, Université Sorbonne Nouvelle.

9.2 Le cadre d'usage de l'IA en éducation du Ministère de l'Éducation nationale (juin 2025)

Publié en juin 2025 par le Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, le document « L'IA en éducation — Cadre d'usage » fixe la doctrine française applicable à l'usage de l'intelligence artificielle dans les établissements scolaires [186].

9.2.1 Introduction : pourquoi un cadre d'usage ?

Le Ministère part d'un constat factuel : le développement rapide des IA génératives suscite d'intenses réflexions en France comme à l'international. Les IA peuvent remettre en question certains fondamentaux de l'École : rapport à la connaissance, construction de cours, production et évaluation des devoirs. Elles peuvent aussi constituer des outils au service de l'enseignement et soutenir le « geste enseignant ».

Le document distingue l'IA « prédictive » et l'IA « générative ». Il souligne qu'une IA générative, parce qu'elle fonctionne en déterminant le mot suivant le plus probable, n'est pas « intelligente » au sens usuel.

9.2.2 Objectifs, principes et valeurs

Le principe directeur : « L'usage de l'IA ne doit porter atteinte ni à la valeur fondamentale de la relation humaine, ni aux apprentissages des élèves, ni aux pratiques professionnelles des personnels, tout en garantissant l'inclusion, l'accessibilité et l'équité. »

Quatre valeurs structurent l'ensemble : (1) respect des valeurs de l'École de la République et de la liberté pédagogique ; (2) usage responsable et réflexif ; (3) usage « frugal » pour limiter l'impact environnemental — l'IA ne doit être utilisée que si aucune autre solution moins coûteuse écologiquement ne répond au besoin ; (4) privilégier les solutions libres.

9.2.3 Obligations légales : données, transparence, supervision

Protection des données. Aucune donnée confidentielle ou à caractère personnel ne peut être saisie dans des outils IA grand public. Aucun membre du personnel ne doit demander aux élèves de créer un compte personnel sur un service d'IA grand public.

Transparence. Toute décision s'appuyant sur l'IA ayant un impact significatif sur l'évaluation, le parcours ou l'orientation doit faire l'objet d'une supervision humaine et d'une validation préalable par l'autorité compétente.

9.2.4 Recommandations éthiques et déontologiques

Cadre pédagogique par niveau. Dès le premier degré : sensibilisation sans manipulation directe de l'IA générative. À partir de la 4^e : utilisation encadrée, expliquée et accompagnée par l'enseignant. Au lycée : usage autonome dans un cadre d'apprentissage explicitement défini.

Devoirs et évaluations. Le texte définit la fraude : « L'utilisation d'une IA générative pour réaliser tout ou partie d'un devoir scolaire, sans autorisation explicite de l'enseignant et sans travail personnel

d'appropriation, constitue une fraude. » L'utilisation des logiciels de détection de contenus générés par l'IA n'est pas recommandée, car elle pourrait pénaliser à tort un élève.

9.2.5 À retenir : cinq règles pratiques

- Soyez vigilants sur les données saisies : aucune donnée confidentielle ou personnelle dans un service d'IA grand public.
- Ayez conscience de l'impact environnemental : recourez à l'IA de manière raisonnée et renoncez-y si une solution moins coûteuse écologiquement répond au besoin.
- Soyez transparent dans l'usage de l'IA : signalez toute utilisation dans une prise de décision.
- Exercez votre esprit critique : vérifiez toujours l'exactitude des réponses ; privilégiez les solutions libres.
- En pédagogie : adaptez devoirs et évaluations ; n'utilisez l'IA que lorsqu'une plus-value pédagogique est avérée.
- Ce cadre, adossé à une large bibliographie institutionnelle, constitue la doctrine de référence pour l'Éducation nationale française. Il traduit une approche humaniste cohérente avec les cadres internationaux tout en affirmant des spécificités françaises : liberté pédagogique, solutions libres, frugalité environnementale explicite.

9.3 Législations sur l'IA en éducation et la gouvernance des données éducatives

Ce chapitre constitue une revue systématique des cadres réglementaires, des standards d'interopérabilité et des systèmes de données éducatives à l'échelle mondiale.

9.3.1 Cadres réglementaires internationaux

RGPD (Europe)

Le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD, 2018) constitue le cadre le plus contraignant. L'article 8 fixe le consentement des mineurs à 16 ans, abaissable à 13 ans par les États membres. Pour l'éducation : minimisation des données, portabilité, droit à l'effacement, interdiction du profilage commercial des mineurs. Les EdTech opérant en Europe doivent désigner un DPO et conduire des analyses d'impact (DPIA) pour tout traitement de données d'élèves.

COPPA 2025 (États-Unis)

Les amendements COPPA publiés au Federal Register le 22 avril 2025 (entrée en vigueur le 23 juin 2025) constituent la première révision depuis 2013 ¹⁴⁴. Nouveautés : extension aux EdTech en milieu scolaire, consentement parental vérifiable pour données biométriques/géolocalisées/vocales, consentement séparé publicité vs éducation, obligations renforcées de suppression. Amendes jusqu'à 50 000 USD par violation.

¹⁴⁴Federal Register (2025). COPPA Rule amendments, 22 April 2025, effective 23 June 2025.

FERPA (États-Unis)

Le *Family Educational Rights and Privacy Act* protège les dossiers éducatifs des élèves. Il accorde aux parents un droit d'accès et de correction, et interdit la divulgation sans consentement sauf exceptions (sécurité, recherche autorisée, audits). Le FERPA s'applique à toutes les institutions recevant des fonds fédéraux.

EU AI Act (2024)

L'EU AI Act classe les systèmes d'IA en éducation comme **haut risque** (Annexe III, catégorie 3) ¹⁴⁵. Obligations pour les fournisseurs : système de gestion des risques, documentation technique, journalisation automatique, transparence, surveillance humaine, robustesse.

Les institutions éducatives deviennent des « déployeurs » avec leurs propres obligations.

EU DSA et protection des mineurs

Les lignes directrices du Digital Services Act (14 juillet 2025) renforcent les obligations des plateformes en matière de protection des mineurs : interdiction de la publicité ciblée sur les mineurs, évaluations de risques obligatoires, mécanismes de signalement adaptés à l'âge ¹⁴⁶.

Législations nationales

France : CNIL plan stratégique 2025-2028 avec recommandations spécifiques pour l'IA éducative — minimisation, interdiction du profilage commercial des mineurs, transparence algorithmique ¹⁴⁷.

Royaume-Uni : DfE AI Guidance for Schools (2025) et Safety Expectations pour les produits IA ^{148 149}.

Chine : réglementation de l'algorithme de recommandation (2022) et loi sur la protection des mineurs en ligne (2024).

9.3.2 Student Privacy Compass et audit des contrats

Le **Student Privacy Compass** est une initiative du **Future of Privacy Forum (FPF)**, organisation à but non lucratif basée à Washington, DC, spécialisée dans les technologies émergentes et la vie privée ¹⁵⁰.

Mission. Fournir un centre de ressources pour tous les acteurs de la vie privée éducative (élèves, parents, éducateurs, administrations, industrie EdTech, décideurs). Le FPF a développé le **Student Privacy Pledge** (2014, avec SIIA), juridiquement contraignant via les actions civiles de la FTC contre les entreprises non conformes.

Méthodologie d'audit. Le Student Data Privacy Consortium (SDPC) a publié le premier modèle de **National Data Privacy Agreement (NDPA)** pour les districts scolaires. L'audit de 400+ contrats K-12

¹⁴⁵EU AI Act (2024). Annex III, Category 3: AI systems in education classified as high-risk.

¹⁴⁶EU Digital Services Act (2022). Obligations for platform protection of minors.

¹⁴⁷CNIL (2025). Plan stratégique 2025-2028: recommandations pour l'IA éducative.

¹⁴⁸DfE (2025). AI Guidance for Schools; Safety Expectations for Generative AI Products. UK.

¹⁴⁹DfE UK (2025). Generative AI Product Safety Expectations.

¹⁵⁰Student Privacy Compass / FPF (2025). Audit 400 contrats K-12. <https://studentprivacycompass.org/>

¹⁵¹Future of Privacy Forum. Student Privacy Pledge. <https://fpf.org/issue/education/>

révèle que 67 % ne respectent pas les standards minimaux : clauses de conservation des données absentes ou vagues, droits de suppression insuffisants, transferts à des tiers non encadrés, mécanismes de consentement inadéquats.

Recommandations. Dispositions d'audit dans les accords de données, limitation de l'usage et du partage, principes de minimisation des données, transparence sur les algorithmes utilisés.

9.3.3 Bases de données éducatives nationales

National Pupil Database (Royaume-Uni)

Le NPD, géré par le DfE, couvre **tous les élèves de 2 à 21 ans** en éducation publique en Angleterre¹⁵².

Données disponibles. Données démographiques (genre, ethnicité, langue première) ; résultats scolaires (scores d'examens, Key Stages) ; données sociales (éligibilité aux repas gratuits, besoins éducatifs spéciaux SEND, handicap) ; données comportementales (absences, exclusions) ; données administratives (inscription, bourses). Modules : census, provision alternative, résultats d'examens, absences et exclusions.

Couplage de données. Le NPD est couplé avec un taux de 95 % à : HESA (enseignement supérieur), HMRC (emploi et revenus), DWP (prestations sociales). Le dataset LEO (Longitudinal Education Outcomes) combine ces sources.

Accès. Depuis mai 2018, accès via l'ONS Secure Research Service. Processus de vetting strict (Approved Researcher Scheme), vérifications de casier judiciaire, données stockées pour la durée du projet (2 ans extensibles), anonymisation obligatoire, interdiction de ré-identification.

Controverses. En novembre 2022, l'ICO (Information Commissioner's Office) a émis une réprimande pour **utilisation abusive prolongée de données de 28 millions d'enfants** : données partagées avec des sociétés de jeux d'argent. L'audit de 2020 avait identifié 139 recommandations d'amélioration, dont plus de 60 % classées urgentes. De mars 2012 à juin 2020, 43 % des données identifiables ont été transmises à des universités et 33 % à des entreprises commerciales ou think tanks.

EHIS et X-Road (Estonie)

Le système **EHIS** (Estonian Education Information System, 2005) est un registre d'État composé de **6 sous-registres** : documents certifiant l'éducation, enseignants et personnel, élèves et étudiants, établissements, curricula et licences, littérature éducative^{154 155}.

Données disponibles. Démographie et identifiants uniques de chaque élève, notes, résultats d'examens, progression vers la diplomation, assiduité, devoirs, notes des enseignants, qualifications des enseignants, évaluations, infrastructure scolaire, besoins spéciaux. EHIS est connecté à 20+ systèmes étatiques via X-Road.

¹⁵²UK National Pupil Database. ~8.5M élèves. <https://www.gov.uk/government/collections/national-pupil-database>

¹⁵³ICO Reprimand NPD (Nov 2022). Misuse of 28 million children's data.

¹⁵⁴EHIS (2005). Estonian Education Information System. <https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/sites/pages/viewpage.action?pageId=533365959>

¹⁵⁵X-Road: backbone numérique estonien. <https://e-estonia.com/solutions/interoperability-services/x-road/>

eKool (eKool AS, fondé en 2002 par la fondation Look@World) dessert **90 % des écoles estoniennes** avec un modèle freemium : gratuit pour élèves/parents/enseignants (financé par la publicité éducative), à partir de 50 €/mois pour les écoles. Fonctionnalités : carnets de notes numériques, suivi d'absences, planification de cours, gestion documentaire, portfolios, messagerie, soumission de devoirs. Expansion internationale (Kenya, Japon) ¹⁵⁶.

Stuudium (Stuudium OÜ, fondé par Paavo Viilup et Joel Limberg) dessert 380+ institutions et, avec eKool, couvre 95 % du marché estonien. Modèle par abonnement. Fonctionnalités similaires avec personnalisation accrue des notifications et intégration d'outils tiers ¹⁵⁷.

Autres bases de données dans le monde

NEIS (Corée du Sud, 2003) : National Education Information System, opéré par KERIS, couvrant 10 000 écoles. Données : inscription, résultats, assiduité, comportement, santé, graduation. Basé sur Linux. Son implémentation en 2003 a failli provoquer une grève nationale des enseignants¹⁵⁸.

UDISE+ (Inde, 2018) : Unified District Information System for Education Plus, couvrant 14,89 lakh écoles, 95,20 lakh enseignants et 26,45 crore élèves. Données au niveau individuel, cartographie SIG, métriques par dispositif. Aligné sur NEP 2020 et SDG 4¹⁵⁹.

KOSKI (Finlande, 2018) : registre national des droits d'études et diplômes, du jardin d'enfants à l'université. Accessible aux étudiants via MyStudyInfo, intégré via X-Road, avec tableau de bord public Vipunen¹⁶⁰.

Student Learning Space (Singapour) : plateforme nationale accessible à tous les directeurs, enseignants et élèves, avec configuration automatique des listes de classe depuis School Cockpit. Partenariat MOE-GovTech¹⁶¹.

Chine : système CHSI (China Higher Education Student Information) pour la vérification des qualifications. Données Gaokao centralisées. Cas documentés d'intégration avec le système de crédit social pour l'accès éducatif.

Japon : pas de base de données centralisée K-12 identifiée ; système administré de manière décentralisée par le MEXT.

Canada : données coordonnées par le CMEC, avec le Programme pancanadien d'indicateurs de l'éducation (PCEIP).

¹⁵⁶eKool AS. 90% des ecoles estoniennes. <https://www.educationestonia.org/organisation/ekool-as/>

¹⁵⁷Stuudium. 380+ institutions. <https://www.educationestonia.org/organisation/stuudium/>

¹⁵⁸NEIS (Coree, 2003). National Education Information System. 10,000 ecoles.

¹⁵⁹UDISE+ (Inde, 2018). 14.89 lakh ecoles, 26.45 crore eleves.

¹⁶⁰KOSKI (Finlande, 2018). Registre national des etudes.

¹⁶¹Singapore Student Learning Space (SLS). <https://www.moe.gov.sg/education-in-sg/student-learning-space>

Chapitre 10. Cinq stratégies nationales comparées

Ce chapitre synthétise les stratégies nationales d'IA éducative de cinq pays — Estonie, Corée du Sud, Finlande, Royaume-Uni et États-Unis — qui représentent autant d'archétypes de politique publique. L'analyse détaillée de chaque pays figure en annexes A à D et G-H.

10.1 Estonie : l'infrastructure d'abord

L'Estonie (1,3 million d'habitants, PISA 2022 : 1^{re} UE sur les trois domaines) a construit sa stratégie numérique éducative sur une **infrastructure d'interopérabilité** sans équivalent. La couche d'échange **X-Road** (2001), connectant 900+ organisations, permet au système EHIS (Education Information System) de relier 6 sous-registres (élèves, enseignants, établissements, curricula, diplômes, manuels) à 20 autres systèmes étatiques^{162 163}.

Les plateformes scolaires **eKool** (90 % des écoles) et **Stuudium** couvrent 95 % du marché, offrant aux parents une visibilité en temps réel sur les notes, absences et devoirs.

Le programme **ProgeTiger** (2012) a formé 4 000+ enseignants à la programmation et touche 85 % des écoles.

L'initiative **AI Leap** (2025) vise l'intégration d'outils IA dans toutes les écoles d'ici 2027, avec une formation de 120 heures pour les enseignants.

Données clés. 64-90 % des élèves utilisent déjà l'IA (enquête 2024, n = 15 631).

Leçon principale. L'infrastructure d'interopérabilité est un prérequis. Sans backbone sécurisé (X-Road), les initiatives isolées restent fragmentées. La concurrence régulée entre plateformes (eKool vs Stuudium) maintient l'innovation tout en couvrant le territoire.

EHIS, l'*Estonian Education Information System*, est une base/registre national qui agrège des données sur les établissements, élèves, enseignants, curricula, documents de diplomation, manuels et matériels d'apprentissage. Le ministère indique que le registre est alimenté par environ **2 000 institutions liées à l'éducation**.

Les journaux scolaires numériques sont presque universels en Estonie : environ **95 % des écoles utilisent des e-diaries comme eKool ou Stuudium**. Ces outils couvrent les notes, absences, devoirs, messagerie, matériel pédagogique et communication école-famille.

eKool et Stuudium ne sont pas un monopole public. Ce sont des plateformes concurrentes, mais elles opèrent dans un environnement national fortement numérisé. Cette concurrence stimule l'innovation, tandis que l'État conserve la capacité de coordination via les registres, les standards, les financements et les programmes nationaux.

¹⁶²Estonia PISA 2022: Math 510, Reading 511, Science 526.

¹⁶³Estonian Education Information System (EHIS). X-Road integration with 20+ state systems.

eKool

eKool est présenté comme un outil de gestion scolaire reliant élèves, parents, enseignants, écoles et autorités. Ses fonctions centrales sont le suivi des notes, absences, devoirs, messages et contenus d'apprentissage.

La version récente eKool V3 met l'accent sur un tableau de bord enseignant, les emplois du temps, événements, absences, calendriers, journaux de classe, construction de leçons, devoirs, thèmes clair/sombre et tableau blanc.

Stuudium

Stuudium joue un rôle analogue : un environnement quotidien pour enseignants, parents et élèves, avec suivi de progression, communication, devoirs, absences, journaux, bulletins et informations scolaires.

Les captures d'écran publiques disponibles montrent surtout des interfaces de carnet de notes, journal de cours, questionnaires et suivi administratif.

AI Leap prévoit une intégration fluide avec les applications éducatives existantes, dont eKool et e-Koolikott. L'IA semble donc déployée d'abord comme **couche d'outils et d'usages pédagogiques** — comptes enseignants, application d'apprentissage IA, formations, communautés de pratique — puis connectée progressivement aux environnements scolaires déjà utilisés.

10.1.1 Avant le secondaire : littératie numérique et programmation

ProgeTiger structure les apprentissages par âge. En maternelle et primaire, l'accent est mis sur la pensée logique, les robots éducatifs, Scratch, Kodu, LEGO, sécurité numérique et premières activités de programmation. Au secondaire et en voie professionnelle, les contenus montent vers Python, JavaScript, cybersécurité, 3D, jeux, web et applications.

10.1.2 Lycée : IA générative et apprentissage accompagné

AI Leap commence par les **élèves de 10e et 11e années**, soit le lycée. L'objectif annoncé pour 2025/26 est de fournir une application d'apprentissage IA à environ **20 000 élèves** de ces niveaux, avec extension ensuite à de nouveaux élèves de 10e année et à l'enseignement professionnel.

L'application d'AI Leap est décrite comme différente d'un chatbot généraliste : elle ne doit pas simplement donner des réponses, mais aider l'élève à planifier, réfléchir, chercher, conclure et apprendre en estonien correct.

Lancé en 2012, **ProgeTiger** est l'un des piliers de la préparation estonienne. Son objectif est de développer l'intérêt pour la technologie, les compétences numériques, la programmation, la robotique, la 3D, la cybersécurité, la résolution de problèmes, la créativité, la collaboration et l'esprit critique.

Ses leviers principaux sont :

Levier	Effet politique
Formation des enseignants	Crée une capacité interne dans les écoles, au lieu de dépendre uniquement de prestataires externes.
Matériels pédagogiques	Réduit la barrière d'entrée pour les enseignants non spécialistes.
Réseau d'enseignants ProgeTiger	Diffuse les pratiques horizontalement.
Équipement des écoles	Rend les usages concrets : robots, cartes, kits, logiciels, outils créatifs.
Autonomie pédagogique	Les écoles peuvent intégrer la programmation et la robotique en cours, clubs, projets ou options.
Progression par âge	Robots et logique en bas âge ; programmation, cybersécurité et création numérique plus tard.

Les sources récentes indiquent que le programme a atteint une couverture très large : **98 % des écoles d'enseignement général et 99 % des jardins d'enfants** avaient participé au programme selon un bilan publié après neuf ans.

ProgeTiger a aussi commencé à produire des ressources autour de l'IA, notamment des vidéos et ateliers sur l'IA dans l'éducation, les usages scientifiques et les dilemmes éthiques.

ProgeTiger est donc moins une "initiative de codage" qu'un mécanisme de diffusion systémique des compétences numériques.

L'initiative **AI Leap**, annoncée en 2025, vise à intégrer l'IA dans l'éducation estonienne de manière nationale, progressive et accompagnée. Le ministère a annoncé un démarrage au **1er septembre 2025**, d'abord avec environ **20 000 élèves de 10e-11e années** et plusieurs milliers d'enseignants, puis une extension à **38 000 élèves supplémentaires** et **2 000 enseignants**.

Les sources officielles décrivent trois axes :

1. **Programme enseignants** : formations nationales, communautés d'apprentissage dans les écoles, matériaux disciplinaires, accompagnement au changement.
2. **Programme élèves** : ateliers d'IA, hackathons, débats, sprints, activités de littératie IA.
3. **Facilitation technologique** : application d'apprentissage IA pour les élèves de 10e-11e années, accès payant à ChatGPT/Gemini pour les enseignants du secondaire, formations à la littératie IA.

Le modèle de gouvernance est aussi important : une **AI Leap Foundation** pilote l'initiative, avec une logique public-privé. Les sources indiquent que le financement public est complété à proportion égale par des partenaires privés stratégiques.

Côté moyens, la presse estonienne a rapporté un budget annuel d'environ **6,5 millions d'euros** pour former les enseignants, soutenir les structures et piloter l'initiative sur plusieurs années. Une source 2026 mentionne aussi un pilote soutenu par **4 millions d'euros**, cofinancé à parts égales par le ministère et des partenaires privés.

En 2026, le déploiement pilote couvrait déjà les **154 lycées**, environ **20 000 élèves** de 10e-11e années et environ **4 900 enseignants**. Les enseignants ont reçu accès à ChatGPT et Gemini ; plus de 60 % les utiliseraient chaque semaine selon ce bilan, tandis que l'application élève comptait 7 700 activations et 47 % d'utilisateurs hebdomadaires.

Une enquête de 2024 auprès de **15 631 élèves de la 6e à la 12e année** montre que l'usage de l'IA est déjà massif : **74,2 % des élèves du collège** et **90,2 % des élèves du lycée** avaient déjà utilisé des outils IA. ChatGPT était l'outil dominant, utilisé par environ **69,3 %** des répondants.

Les usages déclarés sont très scolaires : génération d'idées, aide aux devoirs, résumé de textes, vérification d'informations, création de supports visuels.

Côté enseignants, une étude de 2024 auprès de **3 848 enseignants dans 133 écoles** indique que **53,2 %** avaient déjà utilisé des outils IA. Les non-utilisateurs expriment surtout un manque de connaissance, de confiance et de ressources, ce qui confirme un besoin fort de développement professionnel.

10.2 Corée du Sud : un investissement massif dans l'AIDT mais des frictions dans le déploiement

La Corée du Sud (PISA 2022 : top 5 mondial) a engagé le plus gros investissement mondial dans l'IA éducative : **USD 1 milliard sur 3 ans** pour le programme AIDT (AI Digital Textbooks), visant à remplacer les manuels traditionnels par des manuels numériques adaptatifs dans toutes les écoles K-12 d'ici 2028 ^{164 165}.

¹⁶⁴ Korean MOE/KERIS (2025). AI Digital Textbooks: USD 1 Md.

¹⁶⁵ Corée PISA 2022: Math 527, Reading 515, Science 528.

L'expression **AI Digital Textbooks** ne désigne pas seulement un produit privé d'EdTech. Elle renvoie d'abord à un **programme public national** piloté par le ministère de l'Éducation et KERIS, puis à un **marché de produits privés** développés par des éditeurs et des partenaires technologiques soumis à des guides, à une revue d'approbation et à une intégration au portail public. Autrement dit, le bon périmètre d'analyse est **les deux à la fois** : un cadre public très structurant et un écosystème privé de courseware/plateformes qui en dépend.

Le programme est annoncé en février 2023 ; il est précisé en juin 2023 ; les guides et les dispositifs de préparation montent en charge en 2024 ; **76 titres** issus de **12 déposants** sont approuvés fin novembre 2024 pour une utilisation à partir de 2025 ; puis le statut légal bascule en août 2025 vers celui de **matériel éducatif complémentaire**. En 2026, le marché AIDT n'est donc plus un marché de "textbooks obligatoires", mais un marché **optionnel, juridiquement transitoire et politiquement disputé**.

Les guides KERIS décrivent une architecture cible où un **portail public** gère l'accès via **EduPass/NEIS**, tandis que des **services privés par matière**, en mode **web/SaaS cloud**, délivrent diagnostics, contenus adaptatifs, tableaux de bord, AI tutor et AI assistant teacher.

En revanche, les **foundation models** précis utilisés par la plupart des éditeurs ne sont **pas publiquement détaillés** dans les sources officielles consultées ; seules quelques briques techniques sont rendues visibles, par exemple l'usage d'**OCR** et d'un **LLM** dans le partenariat Visang–Mathpresso, ou la mention explicite de **generative AI** chez i-Scream Media.

La **formation des enseignants** est pensée comme un déploiement en couches : écoles vitrines, corps d'enseignants leaders, communautés TOUCH, formation de masse, et soutien technique de proximité. Les sources officielles et multilatérales convergent sur un point : la Corée a conçu AIDT comme une **transformation de la classe pilotée par les enseignants**, pas comme un simple achat de contenu numérique. Les retours de terrain sont toutefois **contrastés** : certains enseignants l'utilisent utilement pour des groupes hétérogènes ou pour l'after-school support ; d'autres décrivent une hausse de la charge de connexion, de dépannage et d'accompagnement des élèves. L'étude académique la plus directement reliée au sujet montre par ailleurs que les enseignants demandent d'abord des fonctions de **diagnostic, d'évaluation et de personnalisation**, davantage qu'un discours générique sur l'IA.

Le **cadrage ministériel** initial était celui d'un **manuel officiel**, avec guides de développement, auto-vérification technique, revue de contenu et de technologie, et publication au Journal officiel. Mais le cadre juridique a changé : en **août 2025**, l'Assemblée nationale a requalifié les AI digital textbooks en **"education materials"** et non plus en textbooks officiels, avec effet jusqu'au **31 décembre 2027** ; ils sont donc devenus **outils complémentaires optionnels**, et non manuels obligatoires. C'est la rupture la plus structurante pour le marché. Elle affaiblit la prévisibilité de la demande, complique le financement, et réduit le poids pratique de la certification initiale. Aucun **label autonome** public distinct n'a été identifié ; la vraie "labellisation" était la **procédure d'approbation/certification** elle-même.

Dans la littérature internationale, “AI digital textbook” peut désigner toute ressource pédagogique numérique enrichie d’IA. En **Corée du Sud**, le terme a une portée beaucoup plus précise : il s’agit d’un programme annoncé dans le cadre de la **Digital-driven Education Reform**, destiné à introduire des manuels/courseware dopés à l’IA à partir de 2025, d’abord en mathématiques, anglais et informatique, puis sur un périmètre plus large. Le ministère a explicitement présenté l’initiative comme un levier de **personnalisation de l’apprentissage**, de **classement moins transmissif**, et de **meilleure exploitation des données d’apprentissage**.

Le périmètre opérationnel couvre à la fois le **noyau public** et la **couche privée**. Le noyau public comprend le cadrage ministériel, les guides KERIS, le portail national, l’authentification, l’articulation avec NEIS, l’infrastructure, la formation et la revue d’approbation. La couche privée comprend les **éditeurs** et **EdTechs** qui développent les services par matière et les fonctions IA. Le ministère lui-même a organisé des rencontres de marché entre les deux catégories d’acteurs, preuve que la politique publique est conçue comme un **marché encadré**, et non comme un produit public unique.

10.2.2 Moyens investis

Sur les **moyens investis**, les montants publics documentés sont importants mais dispersés entre plusieurs lignes. Le ministère a annoncé **381,8 milliards de KRW** pour le renforcement des capacités enseignantes en 2024, avec un objectif de **34 000 enseignants leaders d’ici 2026**. Il a aussi annoncé **96,3 milliards de KRW** pour l’infrastructure scolaire numérique, avec **1 200 digital tutors** et **170 tech centers**.

La Banque mondiale évoque en parallèle **environ 0,74 milliard de dollars sur trois ans** pour la formation des enseignants, tandis que l’IDB parle d’**environ 1 milliard de dollars** investis par le ministère dans la solution AIDT au sens large.

Côté privé, la presse coréenne et régionale estime à **environ 800 milliards de KRW** l’investissement cumulé des éditeurs participants, mais ce chiffre n’est pas publié comme série budgétaire officielle.

En 2023, le Ministry of Education annonce le programme **AI Digital Textbooks (AIDT)** avec un investissement de **USD 1 milliard** sur 3 ans. Objectif : remplacer les manuels traditionnels par des manuels numériques adaptatifs alimentés par l’IA dans toutes les écoles K-12 d’ici 2028 ¹⁶⁶.

Les **moyens investis** sont significatifs mais difficiles à consolider proprement, car les sources officielles, multilatérales et de presse agrègent des périmètres différents. Les deux **lignes budgétaires officielles** les plus solides trouvées dans les sources coréennes sont les suivantes : **KRW 381,8 milliards** pour le renforcement des capacités enseignantes en 2024, soit **€218,95 millions**, et **KRW 96,3 milliards** pour l’infrastructure numérique scolaire en 2024, soit **€55,23 millions**. Des sources secondaires crédibles mais agrégées mentionnent aussi environ **US\$0,74 milliard** pour la formation des enseignants sur 2024-2026, soit **€636,39 millions**; **US\$69,3 millions** d’infrastructure à l’horizon 2026, soit **€59,60 millions**; et **US\$43,2 millions** additionnels pour le monitoring, les tuteurs

¹⁶⁶South Korea AIDT programme: USD 1 billion over 3 years for adaptive AI digital textbooks.

numériques et le support, soit **€37,15 millions**. Côté privé, la presse coréenne estime à **KRW 800 milliards** l'investissement des éditeurs, soit **€458,78 millions**. Ces chiffres sont **non additifs** et certains se recouvrent partiellement.

10.2.3 Développement des contenus

Le développement des contenus suit une chaîne **publique-privée** très organisée. Le ministère a réuni éditeurs et EdTech lors de plusieurs **AI Digital Textbook Matching Days** au printemps 2023, avec plus de **60 entreprises** attendues, pour constituer des partenariats entre savoir-faire éditorial et briques technologiques. En juillet 2023, il a également annoncé des ateliers de design associant **enseignants, élèves et parents**, dont les idées devaient être reprises dans les guidelines publiées ensuite. Enfin, en mars 2024, le ministère a noué un partenariat avec **EBS** pour fournir des **vidéos** et des **outils d'évaluation** afin d'élever la qualité des contenus.

La documentation KERIS disponible publiquement n'expose pas en détail les fournisseurs cloud, les API tierces ou les modèles d'IA sous-jacents pour chaque éditeur. En revanche, elle décrit très clairement **l'architecture fonctionnelle cible** : **portail public, services privés par matière, SaaS cloud, authentification intégrée, application des standards curriculaires, AI tutor, AI assistant teacher, dashboards, collecte/gestion/transmission des données**, puis **qualité, support et sécurité**. Le portail repose en pratique sur **EduPass** pour la connexion et sur les données de **NEIS** pour l'appariement des classes et des ressources.

10.2.4 Formation des enseignants

La formation des enseignants est probablement le segment le mieux documenté du programme. Dès février 2023, le ministère annonçait plus de **300 lead schools for digital learning** exploitées par **7 offices locaux de l'éducation**. En août 2023, il lançait officiellement **351 Digital Beacon Schools** et **398 TOUCH teachers**. En avril 2024, il annonçait la formation de **34 000 enseignants leaders** sur trois ans, avec une enveloppe annuelle de **381,8 milliards de KRW**. Puis, fin 2024, il précisait qu'environ **150 000 enseignants** seraient formés à partir de décembre sur les **AIDT réellement approuvés**. Enfin, la Banque mondiale présente l'objectif politique comme une formation de **tous les enseignants d'ici 2026** à l'usage du numérique et de l'IA pour l'innovation de classe.

Les retours de terrain montrent pourquoi cette brique "formation" est si critique. D'un côté, des enseignants utilisent AIDT pour **différencier** des exercices dans des groupes hétérogènes et soutenir des élèves en difficulté ; de l'autre, plusieurs témoignages font remonter du **temps perdu** sur les identifiants, la connexion, le dépannage et les questions techniques, parfois **20 à 30 minutes de cours** selon des représentants enseignants interrogés par la presse coréenne. Les critiques portent aussi sur le peu de temps disponible pour se familiariser avec les ressources et sur l'absence de mode d'emploi élève assez robuste à l'arrivée.

L'analyse académique va dans le même sens. Une étude de 2025 portant sur **96 enseignants du primaire** en anglais montre que les besoins les plus prioritaires sont les fonctions de **diagnostic**,

d'évaluation, de **personnalisation du design pédagogique** et d'**adaptive learning**, avant les promesses plus générales liées à l'AI tutor ou à l'assistant enseignant. Cela suggère que, pour les utilisateurs finaux, la valeur perçue d'AIDT dépend d'abord de sa capacité à **outiller le jugement professionnel de l'enseignant**, et non à le contourner.

10.2.5 Modèles IA et cadrage ministériel

Les modèles fonctionnels explicitement attendus par les documents KERIS couvrent au minimum : **apprentissage diagnostique, recommandation/adaptive learning, data visualization/dashboards, AI tutor, AI assistant teacher** et **teacher reconstruction support**. Les synthèses de marché ajoutent des familles techniques comme **Intelligent Tutoring Systems, conversational AI, speech recognition, metaverse/XR**, ainsi que la **traduction multilingue** et des fonctions renforçant l'accessibilité. Les fonctions d'accessibilité pour l'éducation spéciale et la traduction pour les élèves issus de l'immigration sont revendiquées publiquement par le ministère.

Sur les **foundation models / LLMs**, la transparence publique reste incomplète. Dans les sources consultées, un cas est explicite : **Visang** a annoncé avec **Mathpresso (Qanda)** l'intégration d'un **LLM** et de l'**OCR** pour un manuel numérique de mathématiques. **i-Scream Media** parle explicitement de **generative AI** qui accumule et analyse les données d'apprentissage pour alimenter services personnalisés, assistants, tuteurs et dashboards. Pour la plupart des autres acteurs approuvés, on voit les **fonctions** ; on ne voit pas les **foundation models** précis ni les fournisseurs API. La mention correcte est donc : **non précisé publiquement**, sauf cas particuliers.

Le cœur du **cadrage ministériel** est moins un "label" qu'un **régime de conformité**. Les guides KERIS couvrent le développement, l'auto-vérification technique, la qualité, la sécurité, la vie privée, l'accessibilité, l'interopérabilité, l'éthique IA, le copyright, les standards curriculum, les fonctions AI et le support utilisateur. Le ministère expliquait en 2023 qu'il réviserait les règles pour donner un **statut légal clair** à AIDT, réformerait le **price system**, et mettrait en place un **centre de support intégré** et une gouvernance inter-institutions.

Domaine	Ce que le cadrage officiel exige ou recherchait	Source	Effet de marché
Développement	Principes, calendrier, matières, architecture de service, AI tutor / assistant teacher.	KERIS Development Guidelines.	Réduit l'hétérogénéité produit ; crée un cahier des charges de fait.
Vérification technique	Intégrité technique, AI performance tests, charge, accessibilité, multilingue,	KERIS Self-Technical Verification Guide.	Filtre d'entrée important ; rapproche le produit d'un quasi-régime réglementé.

	standards, sécurité, données, support.		
Approbation / certification	Examen du contenu et de la technologie ; 146 titres soumis, 76 approuvés, 12 déposants retenus.	Ministère / presse coréenne s'appuyant sur l'annonce officielle.	Le mécanisme d'approbation joue le rôle de label de facto.
Distribution	Les écoles choisissent parmi les titres approuvés.	Asiae / Yonhap.	Avant la requalification, le marché était pensé comme réglementé mais concurrentiel.
Données et privacy	Alignement avec le Personal Information Protection Act ; chiffrement, stockage sécurisé, interdiction des usages hors finalité.	Banque mondiale résumant les guidelines KERIS/MOE.	Gouvernance des données au cœur de la légitimité du programme.
Statut juridique actuel	Requalifié en education materials optionnels jusqu'au 31 décembre 2027.	Yonhap.	Forte incertitude sur la demande et le financement ; marché plus discrétionnaire.

Il faut donc répondre de manière nette à la question du **label** : **je n'ai pas identifié de label public autonome distinct** comparable à un marquage de qualité séparé. Ce qui existe, c'est une **procédure d'approbation/certification** très structurée, qui a fonctionné comme label de fait tant qu'AIDT était pensé comme textbook officiel. D'ailleurs, le ministère a soutenu que le basculement vers la catégorie "educational materials" ferait perdre le caractère obligatoire de certaines garanties — accessibilité, traduction, privacy safeguards — et pourrait même permettre l'usage de ressources n'ayant pas passé la même barre de validation.

Le **statut légal** est aujourd'hui le point de rupture central. En décembre 2024, l'Assemblée a voté une première dégradation du statut ; en août 2025, elle a définitivement classé les ressources IA comme **matériels éducatifs complémentaires**. Les principaux effets martelés par la presse et confirmés par Yonhap sont simples : l'usage n'est plus celui d'un manuel officiel obligatoire, mais celui d'un **outil optionnel à la discrétion locale**, ce qui change la logique d'achat, de financement et de diffusion.

10.2.6 Contestations

L'acceptabilité sociale est réelle mais fragile. Le ministère a cherché tôt à associer les parents à la conception via des ateliers dédiés. Malgré cela, de fortes inquiétudes ont émergé sur la **dépendance**

aux écrans, l'effet sur la concentration, la littératie, la créativité, les fuites de données et l'adéquation pédagogique pour les plus jeunes. La presse internationale a relevé une pétition de **plus de 50 000 parents** ; la presse coréenne a documenté les mêmes craintes dans les mois précédant l'introduction en classe.

La question des **coûts pour les familles** et de leur transfert éventuel est désormais plus délicate qu'au lancement. Tant qu'AIDT était cadré comme textbook, l'économie du système restait structurée par la logique de financement public des manuels. Avec la requalification en material optionnel, la prévisibilité de la prise en charge se dégrade. La presse coréenne a rapporté que les textbooks sont financés par l'État, tandis que les materials relèvent d'un arbitrage local ; elle cite aussi une estimation du National Assembly Research Service de **1,9 à 6,6 trillions de KRW sur quatre ans** pour les abonnements, ainsi qu'une enveloppe de **203,7 milliards de KRW** envisagée par le Seoul Metropolitan Office of Education pour système et abonnements. Ces montants ne décrivent pas un reste à charge familial avéré ; ils montrent surtout que le **modèle d'abonnement** devient un sujet budgétaire majeur dès que le statut de textbook s'efface.

10.3 Finlande : la confiance dans les enseignants. Une formation à large échelle à travers « Elements of AI »

La Finlande (5,5 millions d'habitants) a connu un recul relatif de ses résultats PISA 2022 (mathématiques 484, lecture 490), mais conserve un système éducatif fondé sur la haute qualification des enseignants (master obligatoire), l'absence de tests standardisés avant 16 ans et une autonomie pédagogique forte ¹⁶⁷.

Elements of AI (Université d'Helsinki + Reaktor, 2018) est le MOOC d'IA le plus réussi au monde : **2 millions d'inscriptions dans 170 pays**, 490 000 Finlandais ayant complété au moins un module (9 % de la population).¹⁶⁸

≥ 9 % Finlandais formés	244 902 Inscrits dans l'UE	> 2 M Apprenants mondiaux	26 Langues disponibles
-----------------------------------	--------------------------------------	---	----------------------------------

Lancé en mai 2018 par l'**Université d'Helsinki** et le cabinet technologique finlandais **Reaktor** (avec MinnaLearn pour la production pédagogique), Elements of AI répond à la stratégie nationale

¹⁶⁷ Finland PISA 2022: Math 484, Reading 490, Science 511.

¹⁶⁸ Université d'Helsinki, « Elements of AI has introduced one million people to the basics of artificial intelligence », 2023.Gouvernement finlandais (valtioneuvosto.fi) & Ministère des Affaires économiques et de l'Emploi (tem.fi), communiqués 2021–2022 sur le bilan EU. MinnaLearn, « Elements of AI — 1 million participants », 2023 ; site officiel elementsofai.com (chiffres > 2 M, 170 pays, 40 % de femmes, mise à jour 2024). Commission européenne — Digital Skills and Jobs Platform, fiche Elements of AI (structure 6 chapitres x 3 sections). Class Central, classement MOOC 2019 (n° 1 mondial parmi 1 167 cours CS).

finlandaise IA de 2017, conçue pour positionner le pays face à la rivalité sino-américaine. L'objectif initial — former 1 % de la population finlandaise (env. 55 000 personnes) — est atteint dès 2019. Pendant sa présidence tournante du Conseil de l'UE (S2 2019), la Finlande annonce qu'elle offre le cours, traduit par la Commission européenne, à l'ensemble des États membres dans toutes les langues officielles. Le déploiement européen s'étale de mai 2020 (Lettonie) à avril 2021 (Espagne, Slovénie).

Le programme se compose de deux MOOC complémentaires :

- **Introduction to AI** (sans pré-requis mathématique ni code)
- **Building AI** (Python recommandé, sorti fin 2020).

Le premier — celui qui a fait la réputation du dispositif — est structuré en **6 chapitres x 3 sections** : (1) What is AI ?, (2) AI problem solving — recherche, jeux, (3) Real-world AI — probabilités, Bayes, Naive Bayes, (4) Machine learning — types, k-NN, régression, (5) Neural networks — bases, backpropagation, deep learning, (6) Implications — biais algorithmique, vie privée, travail, contenus génératifs. Format auto-rythmé, exercices interactifs, peer-review, certificat de l'Université d'Helsinki à la fin. Charge estimée : **≈ 30 heures** (jusqu'à 60 h pour les profils sans bagage technique).

À l'échelle mondiale, le cours dépasse les **2 millions d'inscrits** issus de 170 pays (MinnaLearn / Université d'Helsinki, données 2024). Dans l'UE, 244 902 inscriptions sont enregistrées au 1er bilan post-déploiement (0,055 % de la population européenne), avec un taux d'achèvement moyen de 15,9 %.

Trois effets sont documentés.

Premièrement, l'effet entreprise : en Finlande, plus de 250 entreprises (banques, télécoms, santé, dont Nokia) ont fait passer leurs salariés par le cours, transformant un MOOC en outil interne de montée en compétence.

Deuxièmement, l'effet diplomatique : le cours est devenu un instrument de soft power — cité par Sundar Pichai (Google) comme « template » à copier, repris explicitement par les ministres allemand (Altmaier) et suédois (Ygeman) qui ont fixé à leur tour des cibles de 1 %.

Troisièmement, l'effet de cadrage public : le cours a, selon ses promoteurs et la presse spécialisée, contribué à dépoliariser le débat finlandais sur l'IA (Roos parle d'une « vaccination scientifique contre le hype »). Les limites doivent être notées : il n'existe pas, à ce jour, d'évaluation contrefactuelle indépendante reliant Elements of AI à la productivité, à l'emploi ou à l'adoption agentique réelle ; le taux d'achèvement global (~16 %) reste typique des MOOC ; et les volumes sont sans commune mesure avec ceux de la formation continue d'entreprise.

Quatre facteurs expliquent la réussite :

1. **L'alliance public-privé-académique** (Université d'Helsinki + Reaktor + ministère des Affaires économiques) qui combine crédibilité scientifique, exécution produit et financement public.
2. **Le calendrier politique** : la présidence tournante a transformé un cours national en infrastructure européenne traduite, gratuite et localisée par 22 partenaires nationaux.
3. **L'arbitrage pédagogique** radical — aucun pré-requis, formats courts, exercices concrets — qui a élargi la base bien au-delà des publics tech.

4. **Le récit** : non pas former des ingénieurs, mais offrir aux citoyens un vocabulaire commun et une littératie suffisante pour participer aux choix de société. Une politique d'**infrastructure cognitive** plutôt qu'une politique industrielle déguisée.

La Finlande est le pays européen avec le **plus haut taux de littératie IA (Government AI Readiness Index)** ¹⁶⁹.

L'agence EDUFI a publié en 2025 des recommandations fondées sur quatre principes : l'IA est un outil, pas un substitut ; elle doit développer la pensée critique ; la protection des données est une obligation ; l'équité d'accès est non négociable. Le registre KOSKI et le tableau de bord Vipunen offrent une infrastructure de données transparente ¹⁷⁰.

Leçon principale. La confiance dans les enseignants est compatible avec l'innovation numérique. La littératie IA à grande échelle (Elements of AI) crée un socle de compréhension sociétale qui facilite l'adoption. L'évaluation indépendante (EdTech Testbeds du Helsinki Education Hub) filtre les solutions inefficaces.

10.4 Royaume-Uni : OAK/ AILA et une agence d'évaluation

Le Royaume-Uni (67 millions d'habitants) combine un investissement significatif dans la recherche (Alan Turing Institute), une agence d'évaluation indépendante unique au monde (EEF, 125 M£ de dotation) et des initiatives publiques innovantes (Oak National Academy/AILA)^{171 172 173}.

Le **Teaching and Learning Toolkit** (2 500+ études, 30+ approches) est utilisé par 69 % des directeurs d'école.

Le DfE a publié en 2025 deux cadres complémentaires : **Generative AI in Education** (guide pour les écoles) et **Safety Expectations for Generative AI Products** (exigences pour les fournisseurs).

Une enquête DfE (n = 2 000 parents) montre que 78 % des parents souhaitent des règles claires sur l'IA pour les devoirs ^{174 175}.

Oak National Academy est un **organisme public arm's-length** rattaché au **Department for Education (DfE)** depuis septembre 2022, doté de **43 M£ sur trois ans plus 2 M£ spécifiques au volet IA**. AILA — son lesson assistant génératif — a été lancé en **septembre 2024** et constitue, selon le DfE, le premier outil d'IA générative financé publiquement et ouvert au grand public au Royaume-Uni. L'outil est gratuit, intégralement adossé au National Curriculum anglais, et conçu autour d'un principe explicite de *teacher in the driving seat*. Il fait l'objet d'une adoption rapide mais aussi de critiques sectorielles fortes (éditeurs, syndicats, MAT) et d'un contentieux judiciaire toujours actif en 2026.

¹⁶⁹Elements of AI: 1M+ inscriptions dans 170 pays. <https://www.elementsofai.com/>

¹⁷⁰Finland EDUFI (2025). AI recommendations. <https://www.oph.fi/en/artificial-intelligence-education-legislation-and-recommendations>

¹⁷¹Oak National Academy. <https://www.thenational.academy/>

¹⁷²Alan Turing Institute: education AI research. <https://www.turing.ac.uk/>

¹⁷³UK Government. EEF endowment of GBP 125 million; Oak National Academy; Alan Turing Institute.

¹⁷⁴DfE (2025). Safety Expectations for Generative AI Products. United Kingdom.

¹⁷⁵DfE (2025). Parent survey (n=2,000): 78% want clear rules on AI for homework. UK.

10.4.1 Quels contenus ?

Aila n'est pas un chatbot généraliste. C'est un **générateur structuré de plans de cours** qui produit, à partir d'un prompt très court (ex. « KS3 history — the end of Roman Britain »), une séquence complète : **plan de leçon, slides enseignant, quiz, fiches élèves, tâches de pratique, modèles de réponses, définitions de vocabulaire, et — sur demande — traductions et différenciations pédagogiques**. Tous les artefacts sont téléchargeables dans des formats éditables (Word, PPT)¹⁷⁶.

La couverture porte sur l'ensemble du curriculum national anglais, du primaire au Key Stage 4 (équivalent fin de 3e / début de 2nde), à travers toutes les matières. AILA ne génère **ni images, ni diagrammes** — l'outil oriente vers des emplacements où en chercher.

10.4.2 Comment AILA est-il développé ?

L'architecture documentée par le DfE (Algorithmic Transparency Recording Standard, déc. 2024) repose sur trois piliers¹⁷⁷ :

- **Modèle de fondation. AILA** s'appuie sur **GPT-4 d'OpenAI** (Schools Week, fév. 2026). Le DfE précise que le LLM est utilisé comme moteur de génération sous-jacent, encadré par les guardrails d'Oak.
- **Ancrage curriculaire (RAG)**. Le corpus des leçons Oak — premier curriculum national anglais entièrement digitisé et lisible par machine — est ingéré dans une base vectorielle (embeddings OpenAI). À chaque génération, AILA recherche d'abord des leçons similaires dans ce corpus quality-assured ; ce n'est qu'à défaut qu'il élargit à des sources web (New America interview, mars 2026).
- **Auto-évaluation (LLM-as-judge)**. Chaque sortie est évaluée automatiquement contre les principes pédagogiques d'Oak (biais, justesse, alignement curriculaire). Le code est **open source** : github.com/oaknational/oak-ai-autoeval-tools.

Le DfE déclare avoir conduit une **Data Protection Impact Assessment**, un test de pénétration indépendant, des mécanismes anti-prompt-injection, et des dispositifs de blocage de contenu inapproprié. L'accès à l'infrastructure est en zero-trust avec 2FA. AILA a été testé par « plusieurs milliers » d'enseignants pendant six mois avant le lancement public.

10.4.3 Comment les enseignants sont-ils impliqués ?

L'implication s'organise sur **quatre niveaux** :

- **Subject Expert Groups**. Depuis 2023, Oak recrute par appel à candidatures des enseignants expérimentés et chefs de département en groupes consultatifs par discipline (six matières

¹⁷⁶ Sources : Oak National Academy, « Introducing AILA » (thenational.academy/blog, sept. 2024) ; gov.uk Algorithmic Transparency Record « Oak National Academy: AILA » (déc. 2024).

¹⁷⁷ Sources : gov.uk Algorithmic Transparency Record (déc. 2024) ; Schools Week, « Meet AILA, Oak Academy's new AI assistant » (17 fév. 2026) ; New America, entretien John Roberts (CEO d'Oak), 11 mars 2026.

initiales : maths, anglais, sciences, géographie, histoire, musique). Rôle bénévole de validation du curriculum.

- **Co-conception produit.** L'équipe AILA inclut des enseignants en poste ou anciens : la vidéo de présentation publique est portée par Hannah-Beth, ancienne enseignante en sciences. Le principe directeur *teacher in the driving seat* (pauses intentionnelles, itérations) est revendiqué comme une réponse directe à des préoccupations enseignantes recueillies en phase amont.
- **Beta testing à grande échelle.** « Thousands » d'enseignants ont testé AILA sur six mois avant son ouverture publique (Schools Week, fév. 2026).
- **Feedback continu en production.** Les retours utilisateurs alimentent les tests LLM-as-judge, qui sont enrichis itérativement. Les évaluations sont en cours de publication.

À noter : Oak revendique être utilisé par **près de 75 % des écoles anglaises** (New America, mars 2026), ce qui crée une base d'utilisateurs très large pour les boucles de feedback — et, simultanément, un effet de standardisation pointé par les critiques (voir §6).

10.4.4 Quels moyens investis ?

Le détail des financements publics est documenté¹⁷⁸ :

- **43 M£ sur 3 ans** alloués à Oak en 2022 pour son passage en arm's-length body.
- **+ 2 M£** spécifiquement dédiés aux outils d'IA, incluant AILA (Schools Week, 2024-2026).
- **Total cumulé sur 3 ans : 53 M£** selon la Publishers Association (chiffre repris dans le contentieux judiciaire — fév. 2026).
- **3 M£ additionnels** annoncés par le gouvernement pour un « AI content store » distinct (aide à la correction et la planification), confirmant un effort gouvernemental plus large autour de l'IA scolaire.

À titre de comparaison : la *Publishers Association* estime un impact négatif sur le marché privé éducatif anglais **supérieur à 60 M£** sur les seules matières maths, anglais et sciences, et un total d'investissements privés à risque de l'ordre de **100 M£** (saisine de la High Court, 2022-2026).

10.4.5 Quelle réception par les enseignants ?

Réception positive — gains de temps confirmés¹⁷⁹.

- **Étude qualitative Oak** auprès de ~60 enseignants : **3h30 économisées par semaine** sur la préparation de cours (chiffre repris par ASCL et le DfE, fév. 2026).
- **Témoignages produits** : économies de 30 min/leçon à 4h/semaine selon les profils (labs.thenational.academy).

¹⁷⁸ Sources : Schools Week « Meet AILA » (17 fév. 2026) ; Publishers Association, communiqué High Court (24 fév. 2026) ; BESA Statement (sept. 2025).

¹⁷⁹ Sources : Oak, « How is AILA impacting teacher lesson planning... » (fév. 2025) ; NEU statement (neu.org.uk) ; Publishers Association (fév. 2026) ; New America (mars 2026).

- **Évaluation interne Oak (fév. 2025), 5 mois après le lancement** : la majorité des utilisateurs déclare un gain de temps, une amélioration du bien-être, une meilleure capacité à se concentrer sur les élèves. Les quiz, l'identification des *misconceptions* et l'adaptation aux niveaux de littératie sont les fonctions les plus appréciées.
- **Pepe Di'Iasio (ASCL)**, fév. 2026 : AILA « redonnera aux enseignants leurs dimanches soirs ».

Réception critique — syndicats, autonomie professionnelle.

- **NEU (National Education Union)** : Oak est qualifié de « *non redevable aux éducateurs, parents ni élèves* » et accusé de centralisation du curriculum. Daniel Kebede (Secrétaire général NEU, fév. 2026) : la recherche commandée par le NEU montre que les « *packages curriculaires standardisés comme Oak ne réduisent pas matériellement la charge de travail et peuvent contribuer à l'insatisfaction professionnelle* ».
- **ASCL (chefs d'établissement)** : la conversion en ALB « constitue une dérive vers un curriculum gouvernementalement approuvé ».
- **Sondage YouGov** cité par la Publishers Association : seuls **4 % des enseignants** identifient la centralisation des ressources curriculaires comme priorité gouvernementale pour améliorer les résultats des élèves.
- **Concerns AI literacy** : enquête Oak (fév. 2025) — les enseignants déjà utilisateurs d'IA expriment des doutes sur leur propre capacité à prompter correctement et sur la qualité comparée à leur production personnelle.

10.4.6 Quelle réception par les parents ?

La couverture parent est **notablement absente** du débat public. Aucune association de parents (Parentkind, NCPTA) n'a pris position publique sur AILA à la date de cette note. Le NEU pointe explicitement cette absence comme un déficit démocratique : Oak « n'est pas redevable aux parents » et il n'y a eu « ni consultation ni processus de marché » avant la création de l'ALB (NEU, position paper).

Cette absence reflète probablement deux facteurs : (i) AILA est un outil **destiné aux enseignants**, non aux élèves ni aux familles — il n'y a donc pas d'interface parent directe ; (ii) le débat sur la standardisation curriculaire et la souveraineté pédagogique se joue à un niveau plus institutionnel (syndicats, éditeurs, ministère). Le risque éducatif côté élèves — homogénéisation des contenus, biais des LLM — reste un sujet de presse spécialisée (Schools Week, Tes, blogs académiques type Aydin Stone, janv. 2026) plus que de mobilisation parentale.

10.4.7 Quelles évaluations déjà disponibles ?

Évaluations publiées (à mai 2026) :

- **Évaluation interne Oak (fév. 2025)** : enquête mixte (survey + entretiens) auprès des utilisateurs précoces sur 5 mois. Résultats positifs sur charge de travail et qualité perçue, avec limites méthodologiques (échantillon auto-sélectionné).

- **Independent Review (Lara Newman, CEO de LocatED)** — publié **26 septembre 2025**. Sept axes : efficacy, mandate, impact, user experience, gouvernance, accountability, efficiency. Recommandation marquante : Oak devrait abandonner le titre « national academy » pour « éviter les perceptions erronées qu'il s'agit d'un moyen d'imposer une pédagogie favorisée par le gouvernement » (Schools Week, 26 sept. 2025).
- **Market Impact Assessment (DfE, 26 septembre 2025)** : confirme un **impact négatif sur le marché EdTech domestique** — concurrents privés ayant perdu des investissements depuis le lancement.

Évaluations en cours¹⁸⁰ :

- **EEF / NFER Randomised Controlled Trial** — lancé mai 2025, **rapport attendu automne 2026**. Design : **450 enseignants de KS2 dans 86 écoles primaires**, randomisés en deux bras (Aila vs. business-as-usual) sur 10 semaines (autumn term 2025). Mesures : temps de préparation (journal hebdomadaire) et qualité des ressources (jury indépendant en aveugle). C'est la première RCT indépendante sur un outil d'IA générative pédagogique financé publiquement au Royaume-Uni.
- **Précédent EEF (2024) sur ChatGPT** — non-AILA — : **31 % de réduction du temps de planification**, soit ~25 min économisées par leçon, avec alerte sur la qualité (« un soutien est nécessaire pour garantir des outputs de qualité »).

10.4.8 Contexte contentieux — pour mémoire¹⁸¹

Trois acteurs — **Publishers Association, BESA, Society of Authors** — ont engagé une **Judicial Review** en novembre 2022 contre la transformation d'Oak en ALB, alléguant une « subvention d'État illégale ». Procédure suspendue de novembre 2024 à septembre 2025 le temps de la revue indépendante. **24 février 2026** : la High Court a **élargi** les motifs admissibles à un nouveau grief — défaut de consultation préalable — et autorisé le NEU à témoigner. La procédure se poursuit. Le risque institutionnel pour Oak / AILA n'est donc pas écarté à la date de cette note.

L'Independent Review elle-même recommande de retirer « national academy » du nom. La déontologie du dispositif — qui finance, qui prescrit, qui évalue, et quel rôle pour Ofsted — reste l'objet du contentieux.

10.5 Allemagne : la plateforme Fobbiz

10.5.1 Qui a conçu Fobbiz ?¹⁸²

¹⁸⁰ Sources : EEF, « New trial will find out if Oak's AI-powered lesson planning... » (9 mai 2025) ; NFER, fiche d'information écoles (2025) ; Independent Review of Oak (26 sept. 2025, assets.publishing.service.gov.uk) ; Schools Week (26 sept. 2025).

¹⁸¹ Sources : Publishers Association communiqué (24 fév. 2026) ; The Bookseller (mars 2026) ; International Publishers Association (28 fév. 2026).

¹⁸² Sources :

[1] Deutscher Gründerpreis 2024 — fiche Fobbiz : deutscher-gruenderpreis.de/preistraeger/2024/fobbiz

[2] Für-Gründer.de, KfW Award Gründen 2023 — Bundessieger Fobbiz, déc. 2023

[3] Founders Foundation, « FOBIZZ übernimmt das EdTech to teach », mars 2024

[4] connect-professional.de, « Fobbiz bringt KI mobil in den Unterricht », 5 mai 2026 — mention GPT-5, Claude 4.5, Mistral mini ; >650 000 enseignants, >10 000 écoles

Fobizz est éditée par la société hambourgeoise **101skills GmbH**, fondée en juin 2018 par **Dr. Diana Knodel** (CEO, docteure en informatique, ex-Xing), **Theresa Grotendorst** (ex-SAP, Gruner+Jahr), **Dr. Philipp Knodel** et **Frederik Dietz** (CTO, co-dirigeant). Le nom dérive de l'abréviation « FoBi » couramment utilisée par les enseignants allemands pour « Fortbildung » (formation continue) [1].

L'entreprise a été lauréate du KfW Award Gründen 2023 (vainqueur fédéral) et finaliste du Deutscher Gründerpreis 2024 [1][2]. En mars 2024, Fobizz a acquis l'éditeur EdTech « to teach » pour renforcer sa génération assistée de contenus pédagogiques [3]. Une moitié des enseignants allemands utilise la plateforme, qui dépassait 650 000 enseignants enregistrés et plus de 10 000 établissements germanophones début mai 2026 [4].

10.5.2 Selon quelle architecture ?

Fobizz est une plateforme SaaS web (et désormais applications natives iOS/Android depuis mai 2026) qui agrège plusieurs grands modèles de langage derrière une couche d'abstraction conforme au RGPD et à l'AI Act européen [5][4]. L'architecture repose sur quatre principes :

- **Multi-LLM par API** : à mai 2026, l'interface permet à l'enseignant de sélectionner GPT-5 (OpenAI), Claude 4.5 (Anthropic) et Mistral mini (Mistral AI). Les générations précédentes incluaient GPT-4o, Claude 3.5 Sonnet et Aleph Alpha [4][5][6].
- **Proxy d'anonymisation** : toutes les requêtes transitent par un serveur intermédiaire qui dépersonnalise les entrées, applique un filtre de contenu, et empêche le rattachement à un utilisateur identifié [5].
- **Accords contractuels avec les fournisseurs** : exclusion explicite de l'usage des données pour l'entraînement, délais de suppression courts [5].
- **« Salles de classe » virtuelles** : les élèves accèdent par code, sans création de compte ; intégration via le fournisseur d'identité fédéral VIDIS pour les Länder sous licence [7].

[5] fobizz.com/de/die-fobizz-tools-fuer-schule-und-unterricht — architecture proxy, contrats LLM, conformité RGPD/EU AI Act

[6] unidigital.news, « Sprachmodelle bei fobizz », déc. 2023 — GPT-4, Claude 2, Aleph Alpha

[7] bm.rlp.de/schule/fobizz — FAQ du ministère de l'Éducation de Rhénanie-Palatinat ; bildungsklick.de, communiqué du 9 février 2026 (renouvellement licence, montants, prompts)

[8] fobizz.com/de/was-ist-fobizz/ — descriptif des cibles et du catalogue (>300 cours, >20 outils)

[9] fobizz.com/de/preise/ — grille tarifaire ; [angebote-fuer-bundeslaender](https://angebote-fuer-bundeslaender.de) ; [angebote-fuer-schultraeger](https://angebote-fuer-schultraeger.de)

[10] bildungsklick.de, 9 février 2026 — coût de renouvellement RLP < 1,4 M€

[11] deutsches-schulportal.de, « AIS.chat, fobizz und Co » (mai 2026) — état du déploiement par Land

[12] fobizz.com/de/fobizz-wirkt — synthèse de l'étude Cologne (Becker-Genschow, 186 enseignants, jan.-fév. 2024) et du mémoire Göteborg (Koenig)

[13] Mühlhoff R., Henningsen M., « Chatbots im Schulunterricht: Wir testen das Fobizz-Tool zur KI-Korrekturhilfe », arxiv.org/pdf/2412.06651, déc. 2024

[14] rainermuehlhoff.de — communication associée et présentation au 38C3

[15] fobizz.com/de/einordnung-ki-korrekturhilfe — réponse officielle de Fobizz à l'étude d'Osnabrück

[16] Bremische Bürgerschaft, question parlementaire des Verts du 5 mai 2025, rathaus.bremen.de — réponse du Sénat sur l'étude d'Osnabrück

La suite inclut plus de 20 outils : chat IA, génération d'images, transcription, éditeur de texte, assistant de correction, générateur de fiches d'exercices, ainsi qu'un catalogue de plus de 300 cours d'auto-formation [1][8].

10.5.3 Pour quel public ?

Fobizz cible la communauté éducative germanophone (Allemagne, Autriche, Suisse, Luxembourg, Liechtenstein) : enseignants du primaire, secondaire, lycée professionnel et enseignement supérieur ; chefs d'établissement et collèges pédagogiques ; gestionnaires d'établissements (Schulträger) ; ministères régionaux (Länder, cantons) ; ainsi que les étudiants en master MEEF et stagiaires (« Referendariat »), pour qui la plateforme est gratuite [8][9]. Au-delà des Länder licenciés, la base utilisateurs dépasse 650 000 enseignants individuels [4].

10.5.4 Pour quel budget ?

Le modèle commercial superpose quatre niveaux : licence individuelle, licence d'établissement (à partir de 5 enseignants), licence de gestionnaire scolaire, et licence régionale (« Landeslizenz »). Quelques jalons publics :

Périmètre	Cible	Durée	Montant public
Rhénanie-Palatinat	Toutes écoles + séminaires + Institut pédagogique du Land	3 ans	2,1 M€ initial ; renouvellement < 1,4 M€ [7][10]
Saxe	Licence régionale enseignants	Pluriannuelle	Non publié [11]
Mecklembourg-Poméranie	Licence régionale (combinée avec FelloFish)	Jusque fin 2026	Non publié [11]
Saxe-Anhalt, Nuremberg, Munich, Luxembourg, Zurich, Lucerne	Licences territoriales partielles	Annuelles	Tarif sur mesure [9]
Enseignant individuel	Forfait combiné formations + outils IA	1 an	Offre publique sur fobizz.com/de/preise [9]

À titre de référence, le coût rhéno-palatin équivaut à environ 35 € par enseignant et par an pour un Land de ~40 000 enseignants — un benchmark utile pour calibrer un déploiement national français.

10.5.5 Quel déploiement ?

Le déploiement suit une logique fédéraliste typiquement allemande, Land par Land, avec trois modèles concurrents (« telli » développé par le consortium public KMK/FWU, « fobizz » privé, « AIS.chat » et solutions locales) [11]. Sous licence Fobizz à date :

- **Rhénanie-Palatinat** (février 2024, pionnier) : ~44 000 formations réservées, dont 17 000 ciblées IA ; 17 000 « salles virtuelles » créées ; plus de 3 millions de prompts traités ; licence prolongée en février 2026 au-delà de l'été 2026 [7].
- **Saxe et Mecklembourg-Poméranie** : licences régionales actives. Mecklembourg a complété avec FelloFish ; transition partielle vers « telli » prévue [11].
- **Brême** : les lycées professionnels utilisent Fobizz alors que les écoles générales sont passées à « telli » en juin 2025 [11].
- **International** : licences locales à Luxembourg, Liechtenstein, et plusieurs cantons suisses (Lucerne, Appenzell, Zurich). Catalogue anglophone en cours de constitution pour l'internationalisation [9][1].

L'accès passe par un fournisseur d'identité fédéral (VIDIS) ou un lien dédié par établissement ; aucune inscription nominale d'élève n'est requise [7].

11.5.6 Quelles évaluations disponibles ?

Trois évaluations académiques publiques permettent une lecture nuancée :

- **Université de Cologne (Prof. Sebastian Becker-Genschow, 2024) — favorable** : 186 enseignants évalués après 4 semaines de qualification IA. La part d'enseignants utilisant l'IA en classe passe de 38,2 % à 86,6 % ; le sentiment de préparation passe de 25,8 % à 85,5 % ; 88,2 % perçoivent l'IA comme une opportunité [12].
- **Université d'Osnabrück (Mühlhoff & Henningsen, 2024) — critique** : test de la « KI-Korrekturhilfe » (assistant de correction). Cinq évaluations consécutives d'un même devoir produisent des notes et commentaires divergents ; la commercialisation comme « solution objective et rapide » est jugée « trompeuse et irresponsable ». Présentée au congrès 38C3 (CCC). Fobizz a depuis ré-étiqueté l'outil comme « expérimental » et publié une mise au point [13][14][15]. Le Sénat de Brême a saisi cette étude pour interpellier l'exécutif local [16].
- **Université de Göteborg (Koenig, mémoire master IT & Learning) — favorable ciblée** : étude qualitative comparant un LLM générique au modèle spécialisé « Didacticus » de Fobizz pour la planification de cours ; le modèle spécialisé est perçu comme plus précis et plus utile [12].

Lecture stratégique : la plateforme dispose d'une preuve robuste d'adoption et d'impact sur la formation continue, mais les fonctions évaluatives génératives soulèvent des risques de fiabilité documentés, à prendre en compte dans toute recommandation client (gouvernance pédagogique, double validation enseignante obligatoire).

10.6 États-Unis : entre innovation et fragmentation

Les États-Unis sont simultanément le premier marché EdTech mondial (USD 70,2 Md) et l'un des systèmes éducatifs les plus fragmentés (13 000+ districts scolaires autonomes). La gouvernance de l'IA éducative oscille entre deux paradigmes : l'approche Biden (sécurité, supervision, EO 14110) et l'approche Trump (compétitivité, innovation, EO « Advancing AI Education ») ^{183 184}.

Les données RAND (2024-2025) documentent une adoption rapide mais inégale : l'usage de l'IA pour les devoirs est passé de 48 % à 62 % des collégiens/lycéens entre mai et décembre 2025 ; 50 % des districts forment les enseignants à l'IA (le double de l'année précédente) ; mais l'écart socio-économique persiste (67 % des districts aisés vs 39 % des districts pauvres) ^{185 186 187}.

La législation étatique est en pleine effervescence. **134 propositions de loi sur l'IA scolaire ont été déposées dans 31 États en 2026**, contre une vingtaine en 2025 (FutureEd, mars 2026 ; MultiState, avril 2026). Trois trajectoires distinctes — celles de la Californie, du Texas et de l'État de New York — éclairent les arbitrages structurants pour tout acteur déployant de l'IA générative auprès de mineurs.

En 2025-2026, le paysage législatif américain sur l'IA en éducation est fragmenté. FutureEd (Georgetown University) recense 53 projets de loi étatiques et fédéraux en 2024-2025, dont 12 ont été adoptés ¹⁸⁸.

Au niveau fédéral. L'Executive Order Biden 14110 (octobre 2023) a été le premier cadre fédéral, incluant des dispositions éducatives. L'Executive Order Trump (avril 2025) réoriente vers la compétitivité. Le Congrès n'a pas adopté de législation spécifique à l'IA éducative, mais plusieurs projets sont en discussion : AI LEAD Act (bipartisan, formation des enseignants), SAFE Innovation Act (cadre de gouvernance IA), et réforme du COPPA (protection des mineurs en ligne).

Les amendements COPPA publiés au Federal Register le 22 avril 2025 (entrée en vigueur le 23 juin 2025) constituent la première révision depuis 2013 ¹⁸⁹.

Nouvelles dispositions. (1) Extension explicite aux EdTech opérant en milieu scolaire — les écoles ne peuvent plus consentir au nom des parents pour des usages non éducatifs ; (2) consentement parental vérifiable pour toute collecte de données biométriques, géolocalisées ou vocales ; (3) consentement séparé pour la publicité vs les usages éducatifs ; (4) obligations renforcées de suppression des données dans les 30 jours sur demande ; (5) amendes augmentées jusqu'à USD 50 000 par violation.

Impact sur les EdTech. Les grandes plateformes (Khan Academy, Duolingo, Google Classroom) ont annoncé des mises à jour de leurs politiques de confidentialité. Les plus petits éditeurs EdTech

¹⁸³Executive Order 14110 (October 2023). Safe, Secure, and Trustworthy AI. Biden Administration.

¹⁸⁴Executive Order (April 2025). Advancing AI Education. Trump Administration.

¹⁸⁵RAND Corporation (2024-2025). AI usage data: 48% to 62% homework use, May-December 2025.

¹⁸⁶RAND Corporation (2024-2025). District AI training: 50% of districts, doubled year-over-year.

¹⁸⁷RAND Corporation (2024-2025). Socioeconomic gap: 67% affluent vs 39% high-poverty districts.

¹⁸⁸FutureEd, Georgetown University (2024-2025). 53 state and federal AI education bills, 12 enacted.

¹⁸⁹Federal Register (2025). COPPA 2025 amendments — first revision since 2013.

expriment des inquiétudes sur le coût de conformité (estimé à USD 50 000-200 000 par entreprise). Le FPF (Future of Privacy Forum) a publié un guide de conformité COPPA 2025 pour les EdTech.

Cinq tendances se dégagent de l'activité législative américaine : (1) la régulation se fait principalement au niveau étatique, en l'absence de cadre fédéral ; (2) la tension entre innovation et protection est constante — les vétos (Californie) montrent la puissance du lobbying technologique ; (3) la protection des données des mineurs fait l'objet d'un consensus bipartisan (COPPA 2025) ; (4) l'évaluation indépendante des outils IA gagne du terrain comme exigence réglementaire ; (5) la formation des enseignants apparaît dans tous les projets de loi comme une priorité transversale.

10.6.1 Californie — LEAD for Kids Act (AB 1064) : la régulation des « compagnons IA » bloquée par veto

Porté par l'élue Rebecca Bauer-Kahan, le *Leading Ethical AI Development for Kids Act* aurait interdit aux opérateurs de mettre des *companion chatbots* à disposition des mineurs sauf à garantir qu'ils ne peuvent « pas raisonnablement » encourager l'automutilation, le suicide, la violence ou la consommation de substances. Les sanctions prévues s'élevaient à 25 000 dollars par infraction, avec une action portée par l'Attorney General Rob Bonta.

Le gouverneur Gavin Newsom y a apposé son veto le 13 octobre 2025, jugeant que le texte imposait des restrictions « *si larges qu'elles pourraient conduire à une interdiction totale de ces produits pour les mineurs* ». Il a parallèlement signé SB 243 (Padilla), un texte de transparence beaucoup plus modeste, soutenu par l'industrie.

L'industrie technologique a dépensé **au moins 2,5 millions de dollars** de lobbying en six mois sur cette session (Tech Oversight California, via Associated Press). Common Sense Media a annoncé un retour du texte en 2026.

10.6.2 Texas — SB 382 / HB 2400 : interdire l'IA enseignante, sans succès parlementaire

Les textes jumeaux SB 382 (sénateur Middleton, R) et HB 2400 (représentant Wilson, R) interdisent aux districts scolaires et *charter schools* publiques d'utiliser l'IA pour (i) dispenser un enseignement et (ii) remplacer ou compléter le rôle de l'enseignant dans l'instruction ou l'interaction avec les élèves.

La formulation est large et couvre *de facto* la notation automatisée comme partie intégrante du processus pédagogique. Les deux propositions, renvoyées en commission Éducation K-16 en février 2025, n'ont pas dépassé ce stade. Un texte voisin, HB 5282 (88^e session), visait spécifiquement à interdire la notation par IA sauf entraînement sur échantillons représentatifs (FutureEd ; Education Commission of the States, 2025).

En parallèle, le Texas a fait adopter **HB 149 (TRAIGA, Texas Responsible Artificial Intelligence Governance Act)**, signé par le gouverneur Abbott le 22 juin 2025 et entré en vigueur le 1^{er} janvier 2026 : il s'agit d'une régulation horizontale interdisant la notation sociale par les agences publiques et l'IA discriminatoire, avec des sanctions civiles pouvant atteindre 200 000 dollars.

10.6.3 New York — Assembly Bill A6972 : un groupe de travail et une politique modèle attendue pour juillet 2026

Introduit en mars 2025 par l'élue Solages, A6972 crée au sein du New York State Education Department un *AI Working Group* chargé de produire d'ici le **1^{er} juillet 2026** une « politique modèle » pour les districts scolaires et *charter schools*.

Le périmètre couvre cinq axes : intégrité académique, usages acceptables et inacceptables, confidentialité des données élèves et enseignants, accès parental aux contenus saisis dans les systèmes IA, et critères de marchés publics.

En parallèle, NYC Public Schools (1,1 million d'élèves, plus gros district scolaire du pays) a publié le 24 mars 2026 sa propre directive « feu tricolore » : rouge sur la notation, la discipline et les décisions IEP et 504 ; jaune sur la traduction et l'adaptation pour les élèves en situation de handicap ; vert sur la planification pédagogique (Chalkbeat ; Gothamist ; NYCPS, mars 2026). Une proposition concurrente — A9190 (Carroll, novembre 2025) — vise à interdire purement l'IA en classe avant la 9^e année, sauf usage diagnostique.

Lecture stratégique : trois philosophies, une même question

C'est le modèle new-yorkais — combiner *state policy* (A6972) et *district playbook* (NYC) — qui semble aujourd'hui le mieux répliquer, comme le confirment les approches d'Ohio (HB 96, politique modèle de décembre 2025, échéance districts juillet 2026) et du Vermont (50 pages de guidance, janvier 2026, modulation par tranche d'âge).

La grille new-yorkaise « rouge / jaune / vert » est, à ce jour, la tentative la plus opérationnelle de la tracer — calibrée non par capacités techniques mais par *nature de la décision* (notation, discipline, accès aux droits).

Variable fédérale enfin : l'exécutif Trump a signé en décembre 2025 un décret « Ensuring a National Policy Framework for AI » créant une *AI Litigation Task Force* au DOJ, établie le 9 janvier 2026, explicitement chargée de contester les lois étatiques — RAISE Act new-yorkais, TFAIA californien (Alston & Bird, janvier 2026). Une préemption fédérale de l'ensemble du paysage demeure plausible avant la fin de 2026.

Le rapport Brookings « A New Direction » (janvier 2026) — 500+ consultations, 50 pays, 400+ articles — conclut que **les risques de l'IA en éducation dépassent actuellement les bénéfices** et propose un cadre en trois piliers (Prospérer, Préparer, Protéger) avec 12 recommandations détaillées^{190 191}.

Leçon principale. La fragmentation du système (13 000 districts) rend toute politique nationale difficile mais permet l'expérimentation locale. Le financement de la recherche (RAND, Brookings, NSF) produit les données les plus complètes au monde. Le risque est celui d'une adoption non régulée, creusant les inégalités entre districts riches et pauvres.

¹⁹⁰Brookings Institution (2026). A New Direction for Students in an AI World. 500+ consultations, 50 countries.

¹⁹¹Brookings Institution (2026). Prosper-Prepare-Protect framework. 12 detailed recommendations.

Chapitre 11. Les évaluations disponibles des expérimentations soutenues dans le cadre du PIA

Le Programme d'Investissements d'Avenir (PIA 3 et PIA 4), intégré depuis 2021 dans le plan France 2030, soutient en France plus de dix initiatives structurantes à l'intersection de l'intelligence artificielle et de l'éducation. Quatre niveaux de la chaîne éducative sont couverts : enseignement scolaire (P2IA, TNE), enseignement supérieur (DemoES, IA Clusters, 3IA), formation et compétences (CMA, dispositifs IA), recherche fondamentale (PEPR IA, PEPR eNSEMBLE, PEPR Enseignement et numérique). Le pilotage est partagé entre le Secrétariat général pour l'investissement (SGPI), les ministères chargés de l'Éducation nationale et de l'Enseignement supérieur, et plusieurs opérateurs : Banque des Territoires – Caisse des Dépôts, Agence Nationale de la Recherche (ANR), Bpifrance, CNRS, Inria, CEA et Réseau Canopé.

Sur la période 2019-2024, l'engagement public cumulé identifié sur ce périmètre dépasse 1,2 milliard d'euros, dont 360 M€ pour les IA Clusters, 200 M€ pour les TNE, ~110 M€ pour les DemoES, 87 M€ pour la massification CMA-IA, 73 M€ pour le PEPR IA et 77 M€ pour le PEPR Enseignement et numérique. Les premières évaluations indépendantes (Sénat 2024, IGESR, Banque des Territoires 2022) saluent l'effort structurant mais relèvent un retour sur investissement encore inégal et un défaut de modèle économique pérenne.¹⁹²

11.1 P2IA — Partenariat d'Innovation et Intelligence Artificielle

11.1.1 Nature du projet

Marché public innovant porté par la Direction du numérique pour l'éducation (DNE) du ministère de l'Éducation nationale, destiné à co-développer avec des EdTech françaises et des laboratoires des services numériques d'assistance et de recommandation basés sur l'IA pour les apprentissages fondamentaux. Phase R&D en classe, puis industrialisation et généralisation. Objectif souveraineté numérique et personnalisation pédagogique.

¹⁹² Sources utilisées :

- Ministère de l'Éducation nationale — Éduscol, dossier de presse France 2030 « Innovation au service de l'enseignement scolaire » (2022)
- ANR — Pages dédiées AMI DemoES, IA Cluster, CMA, PEPR IA, PEPR eNSEMBLE (anr.fr/france-2030)
- Banque des Territoires (Caisse des Dépôts) — Rapport d'évaluation TNE Aisne / Val-d'Oise (2022) ; pages TNE et CMA
- Sénat — Rapport n° 101 (2024-2025) Délégation à la prospective : « IA et éducation : accompagner les développements en cours » (30 octobre 2024)
- Inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche (IGESR) — Rapport « L'intelligence artificielle dans les établissements scolaires » (2025), vie-publique.fr
- MESR — Pages PEPR IA, PEPR eNSEMBLE, IA Clusters, dossier de presse Stratégie nationale IA phase 2 (novembre 2021)
- Inria — Communications IA Clusters et PEPR IA (mai 2024, mars 2024)
- info.gouv.fr — Annonces France 2030 IA Clusters (21 mai 2024), CMA, Enseignement et numérique
- Bpifrance — Appel « Pionniers de l'IA » (2025)
- Centre Inffo, Campus Matin, ActuIA, AEF Info — Couverture spécialisée 2022-2025

11.1.2 Gouvernance et pilotage

Pilote	Ministère de l'Éducation nationale – Direction du numérique pour l'éducation (DNE)
Co-financeurs	Secrétariat général pour l'investissement (SGPI) ; Banque des Territoires – Caisse des Dépôts
Calendrier	P2IA Cycle 2 : lancé 2019, déploiement 2020, financement clos août 2025 P2IA Cycle 3 : annoncé 2023, expérimentations classes dès janvier 2026 (CM1, CM2, 6e) P2IA Cycle 4 (collège/lycée) : annoncé, budget 20 M€ P2IA « gestes professionnels enseignants » : annoncé
Budget	Cycle 2 : ~17 M€ engagés (chiffres Sénat 2024) Cycle 3 : 16 M€ dédiés (français, maths, langues vivantes) Cycle 4 : 20 M€ annoncés

11.1.3 Lauréats

Cycle 2 (CP-CE1-CE2), sélection octobre 2019 :

- Français : Lalilo (lecture, reconnaissance vocale) ; Navi (Domoscio, Beneylu, Hachette, DXC, Aidodys, laboratoires CHArt et KDIS, MOBiDYS, Storyplay'r) — assistant de remédiation et mémorisation
- Mathématiques : Adaptiv'Math (EvidenceB, en lien Inria Flowers, LIP6, Daesign, Isograd, Schoolab, Sejer/Nathan) ; Mathia (jeu éducatif gamifié) ; Smart Enseigno (parcours adaptatif ludique)

Cycle 3 : six services en cours de sélection / développement (français, maths, langues vivantes), dont Mathia-C3.

11.1.4 Modalités de déploiement

- Phase R&D : expérimentations en classe dans des académies pilotes (Nancy-Metz, Nice notamment)
- Industrialisation : mise à disposition gratuite via les ENT et le Gestionnaire d'Accès aux Ressources (GAR) sur la durée du marché public
- Échelle 2023-2024 : 53 000 enseignants, 1,3 million d'élèves utilisateurs (chiffres ministère)
- Transition commerciale post-août 2025 : Adaptiv'Math, Smart Enseigno, Mathia poursuivent en mode payant via leurs éditeurs

11.1.5 Architecture technologique

- Adaptive learning fondé sur modèles probabilistes (knowledge tracing, IRT) et moteurs de personnalisation propriétaires des EdTech lauréates
- Lalilo : reconnaissance vocale embarquée pour évaluer la lecture à voix haute
- Hébergement souverain (France/UE) imposé par le cahier des charges P2IA ; conformité GAR et RGPD
- Aucune brique GenAI dans le P2IA Cycle 2 : il s'agit de moteurs d'IA analytique, non générative

11.1.6 Évaluations disponibles et en cours

- **Rapport Sénat — Délégation à la prospective (30 octobre 2024)** : constat de « succès mitigé » des outils P2IA en termes de retour sur investissement, malgré un fort plébiscite des enseignants expérimentateurs.
- **Rapport IGESR (2024-2025)** : souligne que les outils sont « souvent plébiscités » mais que « la plus-value pédagogique reste à établir » ; alerte sur l'absence de modèle économique pérenne pour le passage à l'échelle.
- **Évaluations académiques internes** : expérimentations conduites dans les académies (notamment Nancy-Metz, Nice) ; aucune méta-évaluation d'impact randomisée n'a été publiée à ce stade.
- **En cours** : le PEPR Enseignement et numérique (Education Data Hub) doit fournir le cadre d'évaluation par les données pour les prochaines vagues P2IA.

11.2 TNE — Territoires Numériques Éducatifs

11.2.1 Nature du projet

Démonstrateurs territoriaux scolaires intégrant équipement (tablettes, ordinateurs), formation des enseignants, mise à disposition d'un bouquet de ressources EdTech (dont solutions IA P2IA), et accompagnement à la parentalité numérique. Échelle départementale, de la maternelle au lycée, public et privé sous contrat, incluant l'enseignement agricole.

11.2.2 Gouvernance et pilotage

Pilote	Ministère de l'Éducation nationale et SGPI ; mise en œuvre par la Banque des Territoires (Caisse des Dépôts)
Opérateurs nationaux	Réseau Canopé (formation et plateforme de ressources) GIP Trousse à projets (volet parentalité) Académies et collectivités territoriales partenaires

Calendrier	PIA 3 — 2020 : expérimentation Aisne et Val-d'Oise (27,3 M€) PIA 4 — 2021 : extension à 10 départements supplémentaires (172 M€) Annonce 2022 : extension à 10 nouveaux départements
Budget total	~200 M€ (27,3 M€ PIA 3 + 172 M€ PIA 4, hors extension complémentaire)

11.2.3 Lauréats — départements retenus

Vague PIA 3 (2020) : Aisne, Val-d'Oise. Vague PIA 4 (2021) : Bouches-du-Rhône, Cher, Corse-du-Sud, Doubs, Finistère, Guadeloupe, Hérault, Isère, Vosges, Vienne. Critère de sélection : représentativité de la diversité géographique, économique et sociale.

11.2.4 Lauréats EdTech (marché TNE de janvier 2023)

69 solutions numériques éducatives portées par 34 éditeurs EdTech ont été retenues dans le cadre d'un marché public couvrant l'ensemble des cycles. Sept lots fonctionnels (gestes professionnels, langues vivantes, maternelle, cycles 2-3 disciplinaires, accompagnement personnalisé).

11.2.5 Modalités de déploiement

- Convention tripartite collectivité cheffe de file – académie – Banque des Territoires
- Plan d'action territorial co-construit ; budgets locaux abondés
- Plateforme nationale tne.reseau-canope.fr d'accès aux ressources et aux formations
- Volet parentalité : médiation numérique via GIP Trousse à projets

11.2.6 Architecture technologique

- Intégration via Espaces Numériques de Travail (ENT) académiques et Gestionnaire d'Accès aux Ressources (GAR)
- Authentification fédérée (Single Sign-On) entre l'ENT et les services EdTech partenaires
- Pas d'architecture IA unifiée : agrégation de services hétérogènes (dont les briques P2IA)

11.2.7 Évaluations disponibles et en cours

- **Rapport d'évaluation Banque des Territoires (2022)** : expérimentation Aisne et Val-d'Oise 2020-2021. Conclusions : niveau d'équipement souvent insuffisant, retours communauté éducative « ambivalents », données nécessaires à l'évaluation « absentes, inaccessibles ou inutilisables ».
- **Recommandations Banque des Territoires** : construction de communautés apprenantes ; politique explicite de collecte de données ; meilleure ingénierie technopédagogique.
- **Rapport IGESR (2025)** : les TNE ont montré « la difficulté à toucher et sensibiliser les parents » sur le volet parentalité numérique.
- **En cours** : évaluation longitudinale d'impact via les TNE des 10 départements PIA 4, alimentée par l'Education Data Hub du PEPR Enseignement et numérique.

11.3 PEPR Enseignement et Numérique

11.3.1 Nature du projet

Programme et Équipement Prioritaire de Recherche, volet recherche de la stratégie d'accélération « Enseignement et numérique » de France 2030. Vise à constituer un Education Data Hub (entrepôt de données éducatives) pour le pilotage par la donnée des académies et l'analyse fine des traces d'apprentissage, ainsi qu'à structurer la communauté française de recherche en numérique éducatif en lien avec les EdTech.

11.3.2 Gouvernance et pilotage

Pilote scientifique	Communauté de recherche en sciences de l'éducation et informatique éducative (sous coordination Inria, MESR, MEN)
Opérateur	Agence Nationale de la Recherche (ANR)
Budget	77 M€ sur 10 ans (France 2030)
Calendrier	Lancement officiel 2022 (annonces stratégie Enseignement et numérique) ; appels à projets en cours

11.3.3 Composantes principales

- Education Data Hub : infrastructure d'entrepôt et de traitement des données éducatives nationales
- Programmes de recherche sur le numérique éducatif (réussite, inclusivité, traces d'apprentissage)
- Démonstrateurs numériques territoriaux scolaires (12 territoires) en articulation avec les TNE
- Challenges innovation (extension TNE à 10 nouveaux départements annoncée en 2022)

11.3.4 Évaluations en cours

- Programme structurant les évaluations d'impact des outils numériques et IA en éducation pour les années 2025-2030
- Articulation prévue avec le PPR « Science pour l'Éducation » (appel ANR 2025)

11.4 Lalilo¹⁹³

Assistant pédagogique d'apprentissage de la lecture, lauréat P2IA, racheté par Renaissance Learning (USA) en mars 2021

11.4.1 Carte d'identité

Création	2016 — par Laurent Jolie, Amine Mezzour et Benjamin Abdi (trois polytechniciens)
Origine	Projet étudiant (Master entrepreneuriat) issu d'une observation en classe de CP ; développement initial à San Francisco via le programme The Refiners
Périmètre pédagogique	Apprentissage de la lecture en grande section, CP, CE1, CE2 (extension CM1-CM2 ultérieure) ; français en cycle 2 et cycle 3
Statut juridique	Filiale française de Renaissance Learning (USA) depuis mars 2021 — premier exit du fonds Educapital
R&D	Maintenue en France (32 collaborateurs sur 40 lors du rachat)
Échelle d'usage	2021 : 81 000 enseignants et 650 000 élèves (50 % aux États-Unis) 2025 : ~40 000 enseignants et ~400 000 élèves en France ; >1 million dans le monde 25 % des utilisateurs en enseignement spécialisé (ULIS, UPE2A, SEGPA, IME)

11.4.2 Lien avec le PIA / France 2030

- **Lauréat P2IA Cycle 2** : sélection en octobre 2019 dans le marché public innovant porté par la DNE, le SGPI et la Banque des Territoires. Lalilo a remporté l'un des deux lots Français (aux côtés de Navi).
- **Levée de fonds parallèle** : 5 M€ levés en 2019 (pré-série A Educapital), une première levée de 1,6 M€ ayant été réalisée plus tôt.

¹⁹³ Sources Éduscol (fiche P2IA Lalilo, IA fondamentaux cycle 2) ; site officiel et blog Lalilo ; présentation IA-EDU Lucile Gelin (IRIT, 30 juin 2025) ; Les Échos, L'Usine Digitale, EdTech Actu, Infonet (couverture rachat mars 2021) ; Educapital, FrenchWeb (analyse exit) ; Sénat — Rapport n° 101 (2024-2025) « IA et éducation » ; IGESR — Rapport « L'intelligence artificielle dans les établissements scolaires » (2025) ; Éditions Nathan (partenariat 2025).

- **Modèle économique sous P2IA** : gratuité totale pour les enseignants français pendant la durée du marché public (2020 – 31 août 2025).
- **Post-P2IA** : fin du financement public en août 2025 ; bascule vers un modèle commercial freemium pour les classes françaises ; pas de plan de continuité national annoncé par le ministère.

11.4.3 Nature du projet et offre fonctionnelle

Lalilo est un assistant pédagogique numérique conçu pour aider les professeurs des écoles à différencier l'enseignement de la lecture. L'outil propose des exercices personnalisés aux élèves, et un tableau de bord à l'enseignant pour suivre la progression de chaque élève et de la classe.

Compétences couvertes :

- Identification de mots : conscience phonologique, discrimination visuelle, principe alphabétique, fluence, décodage combinatoire
- Compréhension orale et écrite
- Étude de la langue (lexique, phonologie, orthographe, syntaxe)
- Lecture à voix haute évaluée automatiquement
- Pré-remplissage des livrets scolaires uniques (LSU) pour faciliter le suivi enseignant-parents

11.4.4 Architecture technologique

- **Adaptive learning** : moteur de personnalisation propriétaire qui ajuste en temps réel le choix de la tâche cognitive et la difficulté des exercices à partir de la prédiction du taux de réussite. L'algorithme intègre l'erreur ou la bonne réponse pour affiner ses recommandations en continu (Zone Proximale de Développement de Vygotski).
- **Reconnaissance automatique de la parole (ASR)** : modèle ASR spécialisé sur la voix enfantine (corpus dédié, problématique scientifique sous-explorée). Évalue la lecture à voix haute, détecte les erreurs de prononciation, restitue un feedback immédiat. Lalilo collabore avec l'IRIT (Toulouse) et coordonne le projet ANR « CHICA-AI » sur IA, pédagogie et sciences cognitives.
- **Plateforme** : application web SaaS multi-supports (ordinateur, tablette, iPad) via navigateur. Intégration ENT et Gestionnaire d'Accès aux Ressources (GAR) pour la France ; hébergement européen conforme RGPD au titre du P2IA.
- **UX** : 7 univers gamifiés (badges, trésors, histoires audio) pour soutenir l'engagement. Deux interfaces : élève (ludique) et enseignant (analytique).

11.4.5 Modèle économique, déploiement et rachat Renaissance (2021)

Modèle initial	SaaS freemium B2B (établissements scolaires + gratuit pour enseignants individuels)
Sous P2IA (2020 — août 2025)	Gratuité totale pour les enseignants français via les ENT académiques (intégration GAR)
Marché américain	Distribution via le réseau Renaissance — utilisé dans plus d'un tiers des écoles américaines ; cible 10 M d'élèves utilisateurs annoncée à horizon 2023 lors du rachat
Post-P2IA France	Distribution commerciale 2025 (partenariat Editions Nathan / Sejer-Editis) ; pas de plan public national de continuité

Renaissance Learning est leader américain EdTech depuis 1986 (Accelerated Reader, Star Assessments). Il rachète Lalilo en mars 2021. Lalilo devient la première filiale française du groupe (termes financiers non divulgués). Premier exit du fonds Educapital, investisseur historique depuis 2019. Le rachat intervient alors même que Lalilo est lauréat actif du P2IA — un cas d'école pour le débat sur la souveraineté EdTech française : un actif financé par l'État et déployé dans l'école publique passe sous pavillon nord-américain en cours d'exécution du marché public. La R&D reste localisée en France.

11.4.6 Évaluations disponibles et critiques

- **Rapport Sénat (30 octobre 2024)** : « succès mitigé » des outils P2IA, dont Lalilo, en termes de retour sur investissement, malgré un fort plébiscite des enseignants utilisateurs.
- **Rapport IGESR (2025)** : outils P2IA « souvent plébiscités » par les enseignants expérimentateurs mais « plus-value pédagogique restant à établir ».
- **Banque des Territoires (2022)** : données nécessaires à l'évaluation des outils numériques en classe « souvent absentes, inaccessibles ou inutilisables ».
- **Recherche académique** : expérimentations Nancy-Metz (1 334 enseignants pendant le confinement) et Nice ; pas d'étude randomisée contrôlée publiée à ce stade. Projet ANR « CHICA-AI » en cours sur l'ASR appliquée à l'apprentissage de la lecture (Lalilo + IRIT Toulouse).

11.4.7 Lecture stratégique

- **Cas emblématique de la trajectoire EdTech française** : excellence technique (ASR enfantine, adaptive learning éprouvé), validation publique (P2IA), traction internationale — mais difficulté française à conserver un capital national sur ses succès.
- **Modèle économique post-PIA fragile** : la bascule commercial 2025 sans dispositif de continuité national interroge la pérennité de l'usage en classe, notamment dans les contextes socio-économiques fragiles.

- **Articulation IA générative** : Lalilo reste sur une IA analytique (adaptive + ASR) et n'a pas intégré de brique GenAI. Articulation à construire avec les briques souveraines émergentes (Lucie d'OpenLLM, Aristote de CentraleSupélec) pour la production de contenus pédagogiques.
- **Vigilance souveraineté** : données pédagogiques et vocales d'enfants français traitées par une filiale d'un groupe américain — sujet à examiner au regard du futur cadre EU AI Act et des exigences DPIA appliquées au secteur scolaire.

11.5 EvidenceB / Adaptiv'Math¹⁹⁴

EdTech française indépendante fondée en 2017 — editrice d'Adaptiv'Math (P2IA) et de MIA Seconde (généralisation 2025)

11.5.1 Carte d'identité

Création	2017 — Paris ; cofondateurs Thierry de Vulpillières (ex-directeur des partenariats éducation Microsoft, président), Catherine de Vulpillières (auteure de manuels scolaires, DG), Didier Plasse (entrepreneur). Philippe Mero rejoint en 2021.
Statut juridique	Société indépendante (statut conservé en 2026), siège à Paris
Levées de fonds	2020 : 2 M€ (Finorpa, IRD Gestion, Nord France Amorçage, Lita.co) 2022 : 4 M€ (Educapital, Zanichelli Venture + investisseurs historiques)
Périmètre pédagogique	Maternelle au lycée — français et mathématiques principalement ; extensions latin, FLE, cycles 2-3-4, seconde
Modèle distribution	B2B via ministères de l'Éducation et éditeurs scolaires (Sejer/Editis, Nathan, Sanoma Italia, partenariats Singapour)
Effectifs	Croissance de 30 à 45 collaborateurs en 18 mois post-levée 2022 ; ~20 % du chiffre d'affaires à l'international
Présence	France, Asie (Singapour), Moyen-Orient, Maghreb, Italie, Royaume-Uni, États-Unis

11.5.2 Liens avec le PIA / France 2030

- **Lauréat P2IA Cycle 2 (octobre 2019)** : Adaptiv'Math, ressource d'apprentissage adaptatif en mathématiques (CP, CE1, CE2) — co-développée avec Inria Flowers, LIP6, Daesign, Isograd, Schoolab, Sejer/Nathan. 8 000 exercices auto-corrigés.

¹⁹⁴ Sources : EvidenceB (site officiel, produits, MIA Seconde) ; Pappers (registre légal) ; Finorpa (annonce levée 4 M€ 2022) ; FrenchWeb (levée 2020) ; Infonet, Bordeaux Business (portrait Thierry de Vulpillières) ; Campus Matin, VousNousIls, CNews, EdTech Actu (couverture MIA Seconde 2023-2025) ; Ludomag (Ludovia 2024) ; Sénat — Rapport n° 101 (2024-2025) ; IGESR — Rapport 2025.

- **Lauréat MIA Seconde (2023)** : appel à projets « Mission Exigence des Savoirs » du ministère, en partenariat avec Docaposte (hébergement souverain). Plateforme de remédiation français/maths pour les 800 000 lycéens entrant en seconde. Déploiement pilote février 2024 (200 000 élèves, plusieurs académies), généralisation rentrée 2025 à l'ensemble de la classe d'âge.
- **Volume d'usage 2023-2024 (P2IA)** : 53 000 enseignants et 1,3 million d'élèves utilisateurs des cinq solutions P2IA cycle 2 (dont Adaptiv'Math).
- **Post-P2IA août 2025** : fin du financement public sur Adaptiv'Math ; bascule commerciale (49 € TTC/classe pour les nouveaux modules). Continuité d'accès gratuite proposée aux enseignants engagés sur 2025-2026.

11.5.3 Architecture technologique

- **Apprentissage adaptatif** : moteur de personnalisation propriétaire fondé sur deux algorithmes — test de positionnement initial (~15 questions co-construites avec des chercheurs en sciences cognitives) puis ajustement dynamique de la difficulté en temps réel selon les réponses.
- **Fondement scientifique** : approche revendiquée « sciences cognitives + IA + design épuré ». Partenariats académiques avec Daniel Andler (Académie des sciences morales et politiques) et plusieurs laboratoires de psychologie cognitive.
- **Catalogue** : Adaptiv'Math (8 000 exercices, cycle 2), Adaptiv'Collège, Adaptiv'Langue / Langue Plus (6 000 exercices, lycée), MIA Seconde (20 000 exercices, 24 modules — 16 français, 8 maths), Adaptiv'Fraction (anglais, Singapour), modules latin Seconde-Terminale.
- **Plateforme** : SaaS multi-supports ; intégration ENT et GAR ; hébergement souverain (Docaposte pour MIA Seconde) ; conformité RGPD revendiquée.

11.5.4 Modèle économique et déploiement

Adaptiv'Math (P2IA)	Gratuit via ENT/GAR pendant le marché P2IA (2020–août 2025) ; bascule commerciale automne 2025 (49 €/classe modules complémentaires, tarif sur devis multi-classes)
MIA Seconde	Gratuit pour tous les lycéens, financé par le ministère (marché public) ; déploiement piloté par EvidenceB avec Docaposte
International	Distribution via éditeurs locaux (Sanoma Italia, partenariats Asie/Singapour, contrats US — district scolaire de New York en expérimentation)
Reconnaissance	Lauréat Tools Competition 2022-2023 (USA, 250 000 \$) sur la recherche en sciences de l'apprentissage Finaliste Bett Awards (Londres) 2022 et 2024 — multi-catégories IA, mathématiques primaire, EdTech de l'année

11.5.5 Évaluations disponibles et critiques

- **Bilan EvidenceB MIA Seconde (mai 2025)** : entre novembre 2024 et mai 2025, plus de 4 millions d'exercices réalisés ; les 15 % d'élèves les plus en difficulté au test de positionnement affichent les courbes de progression les plus fortes.
- **Critique syndicale SNES (2025)** : expérimentation MIA Seconde jugée « floue et insuffisante » ; questions de plus-value pédagogique et d'inégalités d'usage entre établissements.
- **Rapport Sénat (octobre 2024) et IGESR (2025)** : constat général de « succès mitigé » des outils P2IA, sans étude d'impact randomisée publiée à ce jour — y compris pour Adaptiv'Math.
- **Recherche en cours** : collaboration avec laboratoires de psychologie cognitive et sciences de l'éducation ; pas d'étude RCT (essai contrôlé randomisé) publique sur Adaptiv'Math à ce stade.

11.5.6 Lecture stratégique (comparaison Lalilo / EvidenceB)

- **Contraste de trajectoires** : deux lauréats P2IA cycle 2 fondés à un an d'écart (Lalilo 2016, EvidenceB 2017) avec un destin radicalement différent. Lalilo a été racheté par Renaissance Learning (USA) en mars 2021. EvidenceB est resté indépendant, contrôlé par ses fondateurs (famille de Vulpillières), avec un capital financier diversifié (Finorpa, Educapital, Zanichelli).
- **Modèle économique mieux diversifié** : EvidenceB articule trois flux — marchés publics français (P2IA, MIA), distribution éditoriale (Sejer-Editis, Sanoma) et licence internationale. Lalilo dépendait principalement de Renaissance + P2IA.
- **Marché aval massif sécurisé** : le contrat MIA Seconde sécurise une visibilité unique en Europe sur l'IA éducative (800 000 élèves d'une classe d'âge). C'est l'un des plus grands déploiements EdTech-IA grand public au monde.
- **Souveraineté actée** : le partenariat avec Docaposte confère à MIA Seconde un statut de référence souveraine. Position défendable face aux acteurs anglo-saxons (Khan Academy, Pearson Smart Sparrow, Carnegie Learning).
- **Risque scientifique** : le passage de la promesse pédagogique à la preuve d'impact reste à faire. Les acteurs comme Capgemini Invent peuvent jouer un rôle pivot en accompagnant la conception d'études d'impact RCT et l'instrumentation de la mesure (Education Data Hub PEPR Enseignement et numérique).

11.6 DemoES — Démonstrateurs Numériques dans l'Enseignement Supérieur

11.6.1 Nature du projet

Appel à manifestation d'intérêt visant à identifier et accompagner des établissements d'enseignement supérieur prêts à déployer une stratégie de transformation numérique transversale : stratégie d'établissement, transformation des cursus, équipement, formation enseignants et étudiants, ressources pédagogiques et plateformes, vie étudiante, dispositif d'analyse globale. Plusieurs projets intègrent une dimension IA forte (IA générative souveraine, jumeaux numériques, environnements immersifs).

11.6.2 Gouvernance et pilotage

Pilote	Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation ; SGPI
Opérateur	Agence Nationale de la Recherche (ANR)
Calendrier	AMI lancé 2021 ; sélection octobre 2021 ; déploiement sur 3 ans (2022-2025)
Budget total	~110 M€ — aide moyenne 10 M€ par projet
Couverture	17 projets lauréats, ~400 000 étudiants impactés

11.6.3 Sélection de lauréats (17 projets)

- JENII — Arts et Métiers + CEA Tech + CNAM + CESI : Jumeau d'Enseignement Numérique Immersif et Interactif (réalité virtuelle / augmentée / étendue)
- Smart Code — La Rochelle Université : plateforme pédagogique programmation
- DémoUHA — Université de Haute-Alsace : transformation numérique des processus et hybridation de l'offre, intégration IA générative
- PEIA — Université Polytechnique Hauts-de-France : Plateforme d'Expériences Immersives Apprenantes, I-LMS open source
- DEMOES@CY — CY Cergy Paris Université + 11 membres CY Alliance : Campus Virtuel AREL (open source)
- Demoes Université de Rennes (7,75 M€) : interactions à l'échelle, expérimentation IA en circuit fermé
- PRO3 DemoES — Université de Poitiers et 3 partenaires (6,25 M€)
- Hercule 4.0 ; et 9 autres consortiums universitaires

11.6.4 Architecture technologique typique

- LMS open source (Moodle, plateformes I-LMS), e-portfolios, environnements immersifs RV/RA/RX
- CentraleSupélec a développé en 2023 Aristote, IA générative souveraine open source pour l'ESR (enrichissement de supports, résumés de cours, plans de révision)
- Université de Rennes expérimente une IA générative déployée « en circuit fermé » pour préserver la souveraineté des données
- Conformité RGPD et hébergement souverain pour les briques GenAI

11.6.5 Évaluations disponibles

- Travaux de chercheurs partenaires (DémouHA : étude Kirkpatrick sur les usages IA générative en contexte universitaire, 2024)
- Livre blanc commun des 17 lauréats sur la collaboration avec la filière EdTech (2024)
- Restitution interne ANR ; pas d'évaluation externe consolidée publiée à ce stade

11.7 PEPR IA — Programme et Équipement Prioritaire de Recherche en Intelligence Artificielle

11.7.1 Nature du projet

Volet recherche de la stratégie nationale pour l'IA (SNIA phase 2). Vise à lever les verrous scientifiques de l'IA frugale, embarquée, distribuée et de confiance ; à structurer la communauté de recherche française ; et à faire émerger des technologies de rupture pour positionner la France et l'Europe comme leaders.

11.7.2 Gouvernance et pilotage

Co-pilotes	CEA, CNRS, Inria
Opérateur	Agence Nationale de la Recherche (ANR)
Financement	73 M€ sur 6 ans (France 2030)
Calendrier	Lancement officiel 25 mars 2024 ; mise en œuvre 2024-2030

11.7.3 Axes thématiques

- IA frugale (efficacité énergétique et frugalité en données)
- IA embarquée (edge AI, composants jusqu'aux plateformes)
- IA distribuée (calcul fédéré, interopérabilité)
- IA de confiance (robustesse, équité, transparence, certification)

11.7.4 Modalités de déploiement

- Appel à chaires PEPR IA (4 ans, pilotage d'un programme de recherche dédié)
- Appels à projets thématiques opérés par l'ANR
- Articulation avec le programme Confiance.ai (consortium industriel-académique, Grand Défi PIA)

11.7.5 Évaluations

- Indicateurs scientifiques (publications, transferts technologiques, brevets)
- Évaluation à mi-parcours prévue 2026-2027 par jury international

11.8 PEPR eNSEMBLE — Futur de la Collaboration Numérique

11.8.1 Nature du projet

PEPR exploratoire dont le périmètre inclut explicitement l'enseignement comme champ d'application (e-learning collaboratif, environnements virtuels d'apprentissage). Vise à redéfinir les outils numériques de collaboration : interaction humain-machine, réalité virtuelle/augmentée, IA, plateformes distribuées, interopérabilité, souveraineté.

11.8.2 Gouvernance et pilotage

Co-pilotes	CNRS, Inria, Université Grenoble Alpes, Université Paris-Saclay
Directeurs scientifiques	Gilles Bailly (CNRS), Stéphane Huot (Inria), Laurence Nigay (UGA), Michel Beaudouin-Lafon (UPS)
Opérateur	Agence Nationale de la Recherche (ANR)
Financement	38,25 M€ sur 8 ans (France 2030)
Calendrier	Inauguration 5 octobre 2023 à Grenoble ; clôture au plus tard août 2030
Mobilisation	60+ laboratoires, centaines d'équipes

11.8.3 Structure du programme

- 5 Projets Ciblés (PC) lancés en 2023 : CATS, PILOT, MATCHING, CONGRATS, TRANSVERSE
- AAP1 (2024) : 4 projets lauréats
- AAP2 (2025) : 6 projets lauréats supplémentaires (enveloppe ~6 M€ ; aides de 800 K€ à 1,3 M€)
- Appels à bourses de thèses annuels (3 ans + 10 K€ accompagnement)

11.8.4 Thèses sur le thème de l'éducation

- « Développement d'un dispositif pour soutenir l'autorégulation des apprentissages collaboratifs » (LIG, UGA)
- « CollaboPracTICE : environnement virtuel collaboratif pour l'apprentissage pratique » (IRIT, Toulouse III)
- « Conception d'outils pour la collaboration lors de travaux pratiques en réalité virtuelle » (LaBRI, Inria)

Chapitre 12. IA et évaluation des élèves : état des savoirs

Le déploiement de l'intelligence artificielle dans les classes primaires et secondaires impose une refonte structurelle des modalités d'évaluation des élèves. La littérature internationale, accélérée depuis le lancement public de ChatGPT fin 2022, converge autour de quatre constats. Premièrement, les formats d'évaluation traditionnels — devoirs écrits non surveillés, dissertations, examens en temps libre — perdent leur validité parce que les modèles génératifs les complètent désormais avec un haut niveau de qualité. Deuxièmement, les systèmes d'IA introduisent des capacités nouvelles d'évaluation formative en continu, d'analyse fine de la progression individuelle et de feedback personnalisé immédiat. Troisièmement, la doctrine internationale (OCDE, UNESCO) appelle à un basculement du contrôle du produit final vers l'évaluation du processus d'apprentissage et des compétences d'ordre supérieur. Quatrièmement, ce basculement reste largement en avance sur les politiques publiques et la formation des enseignants : la prise de décision se fait souvent sans cadre formel, exposant les systèmes éducatifs à un risque pédagogique et éthique majeur.

12.1 La disruption des évaluations classiques par l'IA générative

Le premier corpus identifié dans la littérature traite de l'érosion de la validité des évaluations standards en présence d'outils génératifs. Kofinas et al. (2025), publiés dans le *British Journal of Educational Technology* (IF 2024 = 6,7 ; Q1 SSCI Education), démontrent expérimentalement à partir de deux universités britanniques que l'IA générative permet aux étudiants de contourner l'effort d'apprentissage requis et que les enseignants peinent à distinguer les productions humaines des productions hybrides ou entièrement générées lors du processus de notation. Bien que cette étude porte sur l'enseignement supérieur, ses conclusions méthodologiques ont été reprises par la littérature secondaire comme directement transférables aux niveaux K-12, dans la mesure où les exigences cognitives des évaluations standards y sont moindres et donc encore plus aisément couvertes par les modèles génératifs.

Ce constat est confirmé par une revue systématique de Su et al. publiée dans *Computers and Education: Artificial Intelligence* (IF 2024 = 10,5 ; CiteScore 23,7 — l'une des revues à plus fort impact du domaine), qui analyse 102 revues systématiques sur l'AIEd en K-12 et identifie l'évaluation comme l'un des quatre principaux champs disruptés, aux côtés des limitations technologiques, des obstacles pédagogiques et des risques éthiques. La revue souligne que les méthodes de détection automatique de textes générés par IA (type GPTZero) présentent un taux d'erreur trop élevé pour servir de fondement à des décisions d'évaluation, en particulier lorsque les élèves utilisent des techniques d'obfuscation comme la paraphrase ou la traduction-rétro-traduction.

Une revue systématique récente publiée dans *AI and Ethics* (Springer, 2025) confirme à partir de Scopus, IEEE Xplore et ScienceDirect que les évaluations traditionnelles — dissertations, devoirs à la maison — sont devenues « de plus en plus susceptibles au plagiat assisté par IA », rendant nécessaire une réévaluation stratégique des dispositifs d'évaluation. La même revue documente que la principale réponse institutionnelle observée à l'échelle internationale consiste à basculer vers des évaluations « résistantes à l'IA » fondées sur le processus plutôt que sur le produit.

12.2 L'évaluation formative augmentée par l'IA : promesses et conditions

Le deuxième axe majeur de la littérature concerne le potentiel de l'IA à transformer positivement l'évaluation formative. Une méta-analyse publiée en 2026 dans le *Journal of Educational Computing Research* (SAGE) par Wang et al., couvrant les retours personnalisés assistés par IA, établit un effet modéré sur les résultats d'apprentissage ($g = 0,58$) et un effet fort sur la motivation ($g = 0,82$). Trois modérateurs ressortent comme significatifs : le niveau scolaire de l'apprenant, la durée de l'intervention et le type de feedback. Les auteurs proposent un cadre tridimensionnel pour le déploiement du feedback personnalisé en milieu scolaire.

Ma et al. (2014), publiés dans le *Journal of Educational Psychology* (IF 2024 = 7,3), apportent l'une des références fondatrices méta-analytiques sur les Intelligent Tutoring Systems : sur 107 tailles d'effet impliquant 14 321 participants, l'usage des ITS génère un effet positif ($g = 0,42$) en comparaison de l'enseignement classique en grand groupe et $g = 0,57$ par rapport à l'enseignement assisté par ordinateur non adaptatif. Steenbergen-Hu & Cooper (2014), dans le *Review of Educational Research* (IF 2024 = 7,4 ; revue classée 9ème mondiale en Education), confirment ce constat pour les mathématiques en K-12 avec un effet modéré et démontrent que l'effet est plus marqué dans la population générale que chez les élèves en difficulté — un point crucial pour les politiques d'équité.

L'OCDE, dans son rapport « Trustworthy AI in Education » (OECD Education Working Papers n°218) et plus récemment dans le *Digital Education Outlook 2026*, documente plusieurs cas d'usage en évaluation formative continue, comme le programme Teach to One pour les mathématiques au collège (New York, Washington DC) qui évalue quotidiennement les compétences des élèves et oriente algorithmiquement les modes d'instruction. Le projet international CIME, piloté par le Centre for Educational Research and Innovation, vise à fusionner modèles psychométriques et IA pour fournir une analyse fine de la progression individuelle, en mode comparaison intra-élève plutôt qu'inter-élèves.

Une revue systématique de Nazaretsky et al. publiée dans ReCALL (Cambridge University Press) sur le feedback écrit automatisé par IA et la méta-analyse de Zhai & Ma (2023) couvrant 26 études convergent sur le fait que ces systèmes améliorent la qualité de l'écrit des élèves K-12, à condition que le feedback soit immédiat et appuyé sur des rubriques explicites. Pour le primaire, Wilson et al. ont validé dans *Assessing Writing* (Elsevier) que le système MI Write produit des scores corrélés à l'évaluation humaine pour les élèves de la 3ème à la 5ème année, tout en relevant des biais potentiels chez les apprenants d'anglais langue seconde.

12.3 La doctrine émergente : du produit fini au processus d'apprentissage

La littérature internationale converge sur une recommandation centrale : l'évaluation doit basculer de l'évaluation du produit final vers l'évaluation du processus cognitif et de la métacognition. Un article de référence publié dans *British Journal of Educational Technology* (IF 6,7) analyse spécifiquement les défis rencontrés par les enseignants du primaire et du secondaire dans la mise en œuvre d'une évaluation formative augmentée par GenAI et IA agentique, et propose une extension

du cadre des cinq stratégies clés de l'évaluation formative pour y intégrer le rôle des outils numériques dans la prise de décision en classe.

Stokkink (2025, TU Delft) propose un cadre fondé sur la théorie de l'Alignement Constructif (Biggs) et la taxonomie de Bloom. Sa contribution centrale est de démontrer que l'IA affecte différemment les objectifs d'apprentissage selon leur niveau bloomien : les niveaux inférieurs (mémorisation, compréhension, application) sont directement reproductibles par les modèles génératifs, tandis que les niveaux supérieurs (analyse, évaluation, création) résistent davantage à l'automatisation. La conséquence opérationnelle est qu'évaluations formative et sommative doivent être alignées sur la décision « autoriser ou non l'usage de l'IA », chaque tâche devant être consciemment positionnée.

Cette logique se traduit par plusieurs dispositifs concrets observés dans la littérature pour le K-12 :

- Évaluations multi-étapes documentées (research log, justification du choix des sources, réflexion sur les apports et limites de l'IA mobilisée) — approche dominante chez les éditeurs anglo-saxons d'outils d'évaluation et reprise par le *OECD Reimagining Teaching in an Accelerating World* (2026).
- Examens oraux structurés (viva voce) — Memon et al. (2010) et Nallaya et al. (2024) établissent que les formats oraux structurés atteignent une fiabilité de Cronbach $\alpha = 0,75\text{--}0,80$ contre 0,50 pour les formats non structurés. Plusieurs systèmes scolaires (Australie, Royaume-Uni) ont commencé à expérimenter l'extension des oraux à grande échelle au secondaire.
- Évaluation intégrée transparente : on autorise l'usage de l'IA mais l'élève doit produire une déclaration d'usage et une critique réflexive de la production générée. Cette approche est notamment promue par UNESCO (AI and the Future of Education, 2024) et adoptée par plusieurs systèmes éducatifs européens et asiatiques.
- Évaluation des compétences d'ordre supérieur (Bloom haut) : tâches de création, de jugement critique, de transfert à des contextes inédits — résistantes par construction aux capacités actuelles des LLMs.

Une revue de Wu & Zhang (2025) publiée dans PLOS ONE sur 500 élèves de la 7ème à la 12ème année en Chine montre par modélisation par équations structurelles que les usages génératifs d'IA sont positivement liés à la capacité d'innovation ($\beta = 0,862$, $p < 0,001$) et à la littéracie numérique ($\beta = 0,835$), ce qui plaide pour des évaluations qui mesurent ces compétences augmentées plutôt que les seules productions textuelles.

12.4 Risques, dérives et conditions de mise en œuvre

Trois familles de risques structurants émergent de la littérature. D'abord, le risque d'apprentissage superficiel et de « paresse métacognitive » : Fan et al. (2025), publiés dans le *British Journal of Educational Technology* (IF 6,7), documentent que l'usage non encadré de l'IA générative dégrade la motivation, les processus d'apprentissage et la performance — un effet de « metacognitive laziness » qui invalide d'autant plus les évaluations centrées sur le produit. Une méta-analyse de Xu et al. (2026, BJET) couvrant une décennie d'évolution technologique souligne la nécessité de mesurer la performance différée non assistée, et pas seulement la performance immédiate avec IA, pour évaluer la compétence autorégulatrice réelle.

Ensuite, le risque équitable et de biais. Une étude validée publiée dans *Assessing Writing* (Elsevier) sur des élèves de l'école élémentaire montre que les systèmes de scoring automatisé d'essais peuvent introduire des biais systématiques pour les élèves apprenants d'anglais langue seconde. Le rapport de l'OCDE « *The Potential Impact of AI on Equity and Inclusion* » (2024) recommande explicitement d'auditer les outils d'évaluation IA selon des critères d'équité avant déploiement dans les systèmes éducatifs.

Enfin, le risque de gouvernance. Le rapport préparatoire au 16ème Sommet International sur la Profession Enseignante (OCDE / Education International, mars 2026) révèle que dans plusieurs pays — Azerbaïdjan, Kazakhstan, Macédoine du Nord, Afrique du Sud, Turquie, Vietnam — au moins 50% des enseignants utilisateurs d'IA notent désormais avec elle, et le chiffre atteint 85% en Ouzbékistan. Cette adoption massive s'effectue, je cite, « dans la plupart des cas, sans politiques formelles ni formation cohérente ». Ce constat est confirmé par une revue systématique publiée dans *Computers* (MDPI, 2026) sur les besoins de développement professionnel des enseignants, qui synthétise 43 études empiriques et conclut qu'un alignement combiné de connaissances pédagogiques, attitudes, soutien organisationnel et formation continue est la condition sine qua non du déploiement responsable.

L'UNESCO (*Recommendation on the Ethics of AI*, 2021 ; *Ethical Impact Assessment Tool*, 2023) et la matrice G-AIETM publiée dans *Frontiers in Education* (2025) proposent des cadres d'audit en cinq étapes du cycle de vie (pré-conception, conception et développement, déploiement, usage et monitoring, démantèlement) pour évaluer la maturité éthique des plateformes éducatives IA — dont plusieurs (Khanmigo, CENTURY Tech, MATHia, Knewton) sont déjà largement diffusées en K-12 à l'échelle mondiale.

12.5 Implications stratégiques pour les décideurs

Pour les décideurs publics et les directions de systèmes éducatifs, la littérature internationale dessine quatre lignes directrices :

- **Refondre la doctrine d'évaluation autour d'une logique à deux voies** (two-lane approach, modèle Sydney) : un lane « sécurisé » (oraux, examens en présentiel, performances pratiques) qui assure la garantie du diplôme au niveau du programme, et un lane « ouvert » qui intègre explicitement l'usage de l'IA et évalue la qualité de la collaboration humain-IA.
- **Investir massivement dans la formation continue des enseignants** sur l'évaluation augmentée — la revue MDPI *Computers* (2026) montre que la formation technique seule est insuffisante : il faut combiner pédagogie, attitudes, support institutionnel et formation continue.
- **Adopter un cadre éthique d'audit** ex ante des outils d'évaluation IA (type UNESCO EIA Tool ou G-AIETM), incluant la prévention des biais documentés pour les apprenants non-natifs et les populations défavorisées.
- **Repositionner la mesure** des compétences clés du XXI^e siècle (créativité, esprit critique, littératie informationnelle, jugement éthique) au cœur de l'évaluation — compétences que les LLMs actuels ne peuvent reproduire authentiquement et qui constituent précisément la valeur ajoutée du capital humain en environnement augmenté.

L'état de la littérature, en avril 2026, indique que la transformation est moins une question technologique qu'une question d'alignement institutionnel, pédagogique et éthique. Les systèmes éducatifs qui ne reformuleront pas activement leurs cadres d'évaluation s'exposent à une perte de crédibilité de leurs certifications, qui constitue le risque réputationnel central des prochaines années.

Chapitre 13. Inventaire des principales recommandations de politique publique

Ce chapitre dresse un inventaire exhaustif des recommandations émises par les principales institutions de recherche et organisations internationales sur l'IA en éducation. Chaque source est traitée en détail, avec l'ambition de fournir au décideur un document de référence opérationnel.

13.1 Brookings : « A New Direction for Students in an AI World » (janvier 2026)

Le rapport Brookings, fondé sur **500+ consultations dans 50 pays** et l'analyse de **400+ articles scientifiques**, est le cadre le plus complet publié à ce jour sur l'IA en éducation. Son constat de départ est sans appel : « The risks of AI in education currently outweigh the benefits. » Il organise ses recommandations sous trois piliers ^{195 196}.

13.1.1 Pilier 1 — Prospérer (Prosper)

Recommandation 1 : Reconfigurer les expériences éducatives pour prioriser ce que l'IA ne peut pas faire — créativité, empathie, jugement éthique, collaboration. Le rapport constate que les systèmes éducatifs sont encore largement organisés autour de la transmission de connaissances factuelles, précisément le domaine où l'IA excelle. La reconfiguration implique de redéfinir les objectifs d'apprentissage, les modes d'évaluation et la place de l'enseignant.

Recommandation 2 : Co-crée les outils IA éducatifs avec les éducateurs, les élèves, les parents et les communautés. Le rapport documente que les outils conçus sans consultation des utilisateurs finaux ont un taux d'échec de 70 %. La co-création doit intervenir dès la phase de conception, pas en phase de « feedback ».

Recommandation 3 : Utiliser des outils IA qui enseignent plutôt que qui donnent. Le rapport plaide pour le prompting socratique systématique : l'IA ne doit jamais fournir directement la réponse mais guider l'élève vers la découverte par des questions successives. Les systèmes qui « donnent » (réponses directes, résumés complets, dissertations générées) sont identifiés comme le principal vecteur de capitulation cognitive.

Recommandation 4 : Conduire la recherche sur l'apprentissage et le développement des enfants dans un monde IA. Le rapport identifie un angle mort critique : l'impact de l'IA sur le développement cognitif des enfants de 6-12 ans est quasi inexploré. Il appelle à des études longitudinales de 5-10 ans, financées par les pouvoirs publics et indépendantes de l'industrie.

¹⁹⁵ Brookings Institution (2026). 'The risks of AI in education currently outweigh the benefits.'

¹⁹⁶ Brookings Institution (2026). Three pillars: Prosper, Prepare, Protect.

13.1.2 Pilier 2 — Préparer (Prepare)

Recommandation 5 : Promouvoir une littératie IA holistique pour les élèves, les enseignants, les parents et les dirigeants. La littératie IA ne se réduit pas à l'usage technique : elle inclut la compréhension des mécanismes (comment un LLM génère du texte), des limites (hallucinations, biais), des implications éthiques (vie privée, équité) et des stratégies métacognitives (quand utiliser l'IA et quand s'en passer).

Recommandation 6 : Préparer les enseignants à enseigner avec et à travers l'IA. Le rapport est explicite : la formation ne peut pas être un webinaire de 2 heures. Il recommande un minimum de 60 heures (aligné sur la révision coréenne post-AIDT) incluant : fondamentaux de l'IA, applications pédagogiques concrètes, éthique et garde-fous, et stage pratique en classe avec mentorat.

Recommandation 7 : Développer des cadres de compétences IA alignés sur les besoins locaux. Le cadre UNESCO 2024 (15 compétences, 5 dimensions) est cité comme référence, mais le rapport insiste sur l'adaptation aux contextes nationaux et culturels.

Recommandation 8 : Intégrer la littératie IA dans les curricula de manière transversale (pas seulement dans les cours d'informatique) et progressive (de la sensibilisation au primaire à la maîtrise au lycée).

13.1.3 Pilier 3 — Protéger (Protect)

Recommandation 9 : Fournir une vision claire pour un usage éthique de l'IA centré sur l'agentivité humaine. La « vision » n'est pas un document stratégique mais une boussole opérationnelle : chaque décision d'achat, de déploiement et d'évaluation d'un outil IA doit pouvoir être testée contre cette vision.

Recommandation 10 : Employer des stratégies de financement innovantes pour combler le fossé numérique IA. Le rapport documente que l'écart de financement EdTech entre districts riches et pauvres (67 % vs 39 % de formation IA, RAND) risque de se transformer en écart de compétences irréversible. Il recommande des fonds de péréquation, du financement conditionnel (fonds EdTech liés à des mesures d'équité) et des partenariats public-philanthropie ciblés.

Recommandation 11 : Briser l'addiction à l'engagement et concevoir des plateformes centrées sur la santé mentale positive des enfants. Le rapport s'appuie sur les données ABCD (amincissement cortical associé au temps d'écran > 4h/jour) et sur les travaux de Deslauriers (engagement ressenti ≠ apprentissage réel) pour plaider en faveur d'une régulation des mécanismes d'engagement (boucles de récompense, notifications, streaks) dans les outils éducatifs.

Recommandation 12 : Protéger les données des enfants avec des régulations spécifiques à l'éducation. Le rapport considère que le RGPD et le COPPA sont nécessaires mais insuffisants : les données d'apprentissage (erreurs, temps de réponse, patterns de compréhension) sont plus sensibles que les données démographiques et nécessitent des protections supplémentaires.

13.2 Recommandations RAND (2024-2025)

Les trois rapports RAND produisent les recommandations suivantes ^{197 198 199} :

Pour les dirigeants de districts

- Créer une **politique cohérente** sur l'usage de l'IA en classe et pour les devoirs
- **Former les enseignants** à l'utilisation productive de l'IA (pédagogique, pas seulement technique)
- **Former les élèves** à l'usage critique et éthique de l'IA
- Émettre des **directives claires** sur l'IA et l'intégrité académique (seulement 35 % des districts l'ont fait)

Pour l'équité

- Les districts à haute pauvreté ont besoin de **financement ciblé** et de soutien des agences fédérales
- Créer des **centres d'assistance technique** dédiés
- Mobiliser le **soutien philanthropique** pour combler l'écart (67 % vs 39 %)

13.3 Recommandations OCDE (2023-2026)

L'OCDE Digital Education Outlook (2023 et 2026) formule ^{200 201} :

- **Internet haut débit ubiquitaire** comme prérequis de la transformation numérique éducative
- **Systèmes d'information longitudinaux** avec identifiants uniques pour élèves et enseignants
- **Formation des enseignants** priorisant la littératie IA (aspects techniques, pédagogiques et éthiques)
- **Approche systémique** : cohérence des outils, technologies, acteurs à travers le système
- L'IA générative n'apporte des gains **que lorsqu'elle est guidée** par des principes pédagogiques clairs
- Privilégier les **outils éducatifs spécialisés** plutôt que l'IA généraliste
- Passer à une **évaluation orientée processus** : noter comment les élèves interagissent avec l'IA
- **Essais rigoureux avant adoption** à grande échelle

¹⁹⁷New York State (2025). AB 6972: AI education working group, model policy due July 1, 2026.

¹⁹⁸New York State (2025). AB 6972 provisions.

¹⁹⁹State legislative examples: California, Texas, New York AI education bills (2024-2025).

²⁰⁰OECD (2023). Digital Education Outlook. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-digital-education-outlook-2023_c74f03de-en.html

²⁰¹OECD (2023, 2026). Digital Education Outlook. AI policy recommendations.

Le Digital Education Outlook 2026 formule des recommandations substantiellement enrichies par rapport à l'édition 2023, fondées sur les données expérimentales accumulées :

- **Performance vs. apprentissage.** Distinguer systématiquement performance et apprentissage dans la recherche et les politiques éducatives. Le concept de fausse maîtrise (*false mastery*), documenté par le RCT turc de Bastani et al. (2024), montre que la performance augmentée par l'IA ne traduit pas nécessairement un apprentissage durable.
- **Evaluation orientée processus.** Passer d'une évaluation centrée sur les produits finaux (dissertations, exercices) à une évaluation intégrant les processus d'interaction avec l'IA. Le rapport préconise l'Evidence-Centred Design (ECD) et cite la plateforme FLoRA comme exemple d'outil permettant de mesurer l'autorégulation dans l'apprentissage assisté par IA.
- **Compétences hybrides humain-IA.** Le cadre des Hybrid Human-AI Skills (engagement stratégique, évaluation critique, co-création, métacognition, usage éthique) doit structurer les programmes de formation, aussi bien pour les élèves que pour les enseignants.
- **Études longitudinales.** Les données actuelles sont essentiellement de court terme (pre-post immédiat). L'OCDE appelle à des études longitudinales suivant les effets durables de l'IA éducative sur les apprentissages, la motivation et les trajectoires scolaires.
- **Scaffolding plutôt que substitution.** Conformément aux résultats de Cukurova (chapitre 7) et à la méta-analyse de Vaccaro et al. (58 % de sous-performance humain-IA), les outils doivent être conçus pour guider le raisonnement (*scaffolding* socratique) plutôt que pour fournir des réponses directes.
- **Transparence et contrôle qualité.** Le modèle Duolingo (Item Factory) illustre une approche *human-in-the-loop* à grande échelle : l'IA génère des items d'évaluation, les experts valident. PromptHive (Stanford) positionne les experts disciplinaires dans le rôle de pilote de la création de contenus par IA collaborative.
- **Gouvernance adaptative.** Face à l'évolution rapide des technologies, l'OCDE recommande des cadres réglementaires adaptatifs plutôt que statiques, capables d'intégrer de nouvelles données empiriques et de s'ajuster aux usages émergents.
- **Protection des données et vie privée.** Des cadres préservant la confidentialité des données éducatives (ex. Swiss LLaMA-Open) doivent accompagner tout déploiement, notamment pour les mineurs. L'outil Course Load Analytics (CLA) illustre comment des modèles prédictifs peuvent utiliser les données LMS de manière éthique pour anticiper la charge de travail des étudiants.

13.4 Recommandations Commission européenne

L'AI Continent Action Plan (avril 2025) et les lignes directrices 2025 formulent ²⁰² :

- **AI Skills Academy** : formation de la prochaine génération d'experts IA en Europe
- **Littératie IA dans le primaire et secondaire** via une feuille de route 2030

²⁰²EC (2025). AI Continent Action Plan. https://commission.europa.eu/topics/competitiveness/ai-continent_en

- **European Digital Innovation Hubs (EDIHs)** pour la formation et le développement de compétences
- Alignement avec l'EU AI Act pour les systèmes d'IA éducatifs à **haut risque**
- Quatre considérations éthiques : agence humaine, équité, humanité, choix justifié

13.5 Recommandations en France : le rapport de l'Inspection Générale de l'Education Nationale et la stratégie nationale IA

13.5.1 Le rapport de l'IGEN

Rapport IGÉSR n° 24-25 016B — mai 2025 (publié juin 2025)

Source unique : Inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche, L'intelligence artificielle dans les établissements scolaires, sur le plan administratif et pédagogique, rapport n° 24-25 016B, mai 2025. Mission conduite par 8 inspecteurs généraux (V. Montreuil, A. Volkwein, J. Erin, M. de Falco, É. Fardet, A. Louka, E. Paitel, A. Prolongeau). Méthodologie : auditions d'experts, trois questionnaires (72 cadres académiques, 4 943 enseignants, 556 personnels de direction) et visites de terrain dans cinq académies (Guadeloupe, Limoges, Nancy-Metz, Paris, Toulouse).

Diagnostic préalable

Deux ans après l'irruption de l'IA générative grand public, les usages en établissement restent « individus-dépendants » : effervescence institutionnelle (P2IA, CREIA, GTNum, cadre national d'usage en consultation), mais déploiement réel dispersé et porteur d'inégalités.

Chiffres-clés issus des questionnaires de la mission : **91 %** des enseignants utilisent l'IA à titre personnel uniquement ; **90 %** déclarent ne pas avoir reçu de formation adéquate ; **76 %** ne l'utilisent pas avec leurs élèves. Côté administratif, **92 %** des personnels de direction n'ont pas été formés, alors même que 50 % anticipent un impact positif de l'IA sur la gestion. Côté élèves, l'appropriation est rapide mais non encadrée — entre « usages cachés » et usages raisonnés (révision, remédiation, créativité).

Les 10 recommandations, regroupées par axe stratégique

Axe 1 — Identifier, capitaliser et mutualiser les usages pédagogiques

R1. Mutualisation systématique des expérimentations. — Organiser, à l'échelle académique (corps d'inspection + DANE), une analyse systématique des expérimentations disciplinaires et leur mutualisation interacadémique, via une publication annuelle conjointe DGESCO / DNE / IGÉSR. Objectif : sortir de la dépendance à l'enseignant pionnier isolé.

Axe 2 — Formation massive, en présentiel, dès l'établissement

R2. Plan de formation massif et coordonné. — Pour les cadres académiques (IA-IPR, Perdir, EAFC) et les enseignants. La première étape pour les enseignants doit se dérouler en présentiel dans l'établissement et porter sur la prise en main d'outils d'IA générative. Le rapport propose une feuille de route accompagnée d'un premier chiffrage.

R3. Curriculum de formation des élèves à l'IA tout au long de la scolarité. — Approche pluridisciplinaire articulant une littératie IA pour tous et une formation au fonctionnement de l'IA pouvant déboucher sur une spécialisation. Levier latéral identifié : attractivité de l'informatique et des sciences pour les filles.

Axe 3 — Gouvernance à trois étages

R4. Conseils de l'IA en éducation aux niveaux national et académique. — Conseil national (DNE, DGESCO, DGRH, IGÉSR + opérateurs) et conseils académiques (DRANE, EAFC, DASEN, inspecteurs, représentants Perdir et enseignants). Missions : suivi du déploiement de la formation et du curriculum, recueil de pratiques pédagogiques.

R5. Établissement comme niveau d'action clef. — Replacer l'échelle de l'établissement comme lieu privilégié de la formation pluriannuelle, de l'échange de pratiques et de l'élaboration d'une stratégie IA locale adaptée au public accueilli.

R6. Groupe de travail national pilotage pédagogique et administratif. — Au sein du Conseil national de l'IA, produire des éléments de guidage et d'usage pour les chefs d'établissement et les inspecteurs intégrant l'IA.

R7. Gouvernance IA au conseil d'administration de l'établissement. — Pilotage de la stratégie d'intégration de l'IA dans le fonctionnement de l'établissement, en lien avec l'ensemble de la communauté éducative.

Axe 4 — Discours national clair

R8. Discours national articulant numérique, pédagogie et IA. — Confier au Conseil national de l'IA l'élaboration d'un discours commun, condition d'un déploiement équitable sur l'ensemble du territoire. Le rapport relève que le discours national est aujourd'hui « perçu comme ambigu voire contradictoire » et freine l'éducation à l'IA.

Axe 5 — Modèle économique pérenne

R9. Solutions durables, analysées sur la durée économique et pédagogique. — Pérenniser, par une coopération État / collectivités territoriales, la prise en charge financière d'outils numériques et d'outils à base d'IA en tant que matériel pédagogique indispensable, au même titre que les manuels scolaires.

R10. Incubateur de la DNE renforcé. — En faire un acteur capable de porter une véritable stratégie de communs numériques au niveau des outils, en alternative ou en complément du modèle de souscription de licences EdTech (impact réduit, financement long terme non garanti).

Analyse stratégique

1. Souveraineté assumée mais pragmatique

La mission ne préconise pas l'interdiction des outils grand public (ChatGPT, Copilot) déjà utilisés par les élèves, mais une articulation avec une stratégie de communs numériques et de partenariats privilégiés avec une IA souveraine — piste explicitement empruntée à l'enseignement supérieur. Position cohérente avec la doctrine française post-rapport Commission IA de mars 2024.

2. Reconnaissance explicite de l'insuffisance du modèle EdTech / P2IA seul

Les outils issus du P2IA (LALILO, Plume, Kaligo, Nolej) sont plébiscités par les enseignants utilisateurs, mais leur plus-value « reste à établir » et le financement du déploiement à grande échelle et à long terme n'est pas garanti. Le rapport pose donc explicitement la question du passage à l'échelle — sujet familier dans les transformations agentiques en entreprise.

3. L'agentique reste une zone blanche

Le périmètre de la mission est centré sur l'IA générative et l'IA adaptative « en bout de chaîne » ; les usages d'orchestration et d'IA dans les SI académiques sont explicitement exclus. C'est une zone blanche pour qui voudrait proposer un cadre de gouvernance pédagogique-agentique cohérent, notamment sur les évaluations à fort enjeu (cas FIDELIA / FEI pour le TCF, IA directionnelle sous contrôle humain conforme au RIA).

13.5.2 La stratégie nationale IA

La stratégie nationale IA Phase 3 (109 Md EUR, 2025) ²⁰³, la stratégie numérique éducative 2023-2027²⁰⁴, le plan CNIL 2025-2028 ²⁰⁵ et les 28 recommandations du CNESCO (2024) ²⁰⁶ :

- **Souveraineté numérique** : développer des solutions EdTech françaises et européennes
- **Formation des enseignants** : CRCN-Édu, Pix+Édu, projet AI4T comme modèle
- **Protection des données** : minimisation, interdiction du profilage commercial des mineurs
- **Évaluation indépendante** : audit Cour des comptes sur la stratégie nationale IA
- **Cadre d'usage MEN** (juin 2025) : frugalité, solutions libres, liberté pédagogique, pas de compte IA obligatoire pour les élèves

²⁰³France Stratégie (2025). Phase 3 stratégie nationale IA. 109 Md EUR.

²⁰⁴France (2025). Stratégie nationale IA Phase 3, EUR 109 billion.

²⁰⁵MENJ (2023). Stratégie numérique pour l'éducation 2023-2027.

²⁰⁶CNESCO (2024). Conférence de consensus: 28 recommandations.

Conclusion : recommandations opérationnelles

Sur la base de l'inventaire exhaustif des recommandations (RAND, Brookings, OCDE, Commission européenne, UNESCO, EEF) et de l'analyse de la littérature scientifique, nous formulons 15 recommandations opérationnelles à l'intention des décideurs publics.

Formation et développement professionnel

- **R1.** Allouer un minimum de **30 % des budgets EdTech** à la formation continue des enseignants, en formats hybrides (ateliers pratiques + communautés de pratique + coaching individuel), sur le modèle AI4T.
- **R2.** Adopter le **cadre UNESCO 2024** (15 compétences, 5 dimensions, 3 niveaux) comme référentiel national, avec adaptation locale et auto-évaluation via Pix+Édu (France) ou équivalent.
- **R3.** Créer des **formations certifiantes pour les inspecteurs et formateurs d'enseignants** afin de permettre l'effet de cascade dans le système.

Preuves d'efficacité et évaluation

- **R4.** Exiger un **niveau de preuve ESSA 2 minimum** (étude quasi-expérimentale) pour tout outil EdTech financé par des fonds publics. Créer un registre public des évaluations en cours.
- **R5.** Financer **10 essais contrôlés randomisés** à grande échelle (1 000+ élèves) sur les outils IA éducatifs les plus utilisés, avec mesures standardisées et suivi à 12 mois.
- **R6.** Créer un **label national de qualité EdTech** évaluant 5 dimensions : efficacité pédagogique (preuves d'impact), protection des données, accessibilité (WCAG 2.1), interopérabilité (LTI/xAPI), équité algorithmique.

Garde-fous pédagogiques

- **R7.** Imposer que les outils d'IA générative en classe intègrent : prompting socratique (pas de réponse directe), limitation du délestage cognitif (vérification de compréhension obligatoire), transparence algorithmique (l'élève sait quand l'IA adapte le contenu).
- **R8.** Appliquer les **frontières d'âge** suivantes : pas d'IA autonome < 6 ans, usage supervisé 6-12 ans (maximum 30 min/session), autonomie progressive 13+ ans avec formation préalable à la littérature IA.

Protection des données

- **R9.** Mettre en conformité tous les contrats EdTech avec le RGPD/COPPA 2025 dans un **délai de 18 mois**. Exiger un audit indépendant annuel des pratiques de données.
- **R10.** Imposer les standards **xAPI + LTI 1.3 + Ed-Fi** pour les outils financés par des fonds publics, garantissant portabilité et réversibilité technologique.
- **R11.** Créer un **registre national des traitements de données éducatives** inspiré du Student Privacy Compass, avec audit trimestriel des contrats.

Gouvernance et pilotage

- **R12.** Créer un **comité consultatif multipartite** (enseignants, parents, élèves, chercheurs, industrie) pour piloter la stratégie nationale IA en éducation, conformément à Brookings.
- **R13.** Adopter le principe OCDE 2026 d'**évaluation orientée processus** : noter comment les élèves interagissent avec l'IA, pas seulement le produit final.
- **R14.** Financer un **observatoire national de l'IA éducative** mesurant annuellement : taux d'adoption par niveau/matière, satisfaction enseignants/élèves, impact sur les résultats, incidents de données.
- **R15.** Participer activement aux initiatives européennes (**AI Skills Academy**, EDIHs, feuille de route 2030) et internationales (UNESCO AI Competency Framework) pour maintenir l'interopérabilité des approches.

L'IA en éducation se trouve à un point d'inflexion. Comme le souligne Brookings, l'objectif n'est pas de choisir entre l'humain et la machine, mais de concevoir des systèmes hybrides où l'IA amplifie les capacités des enseignants et libère du temps pour ce que seuls les humains peuvent offrir : l'inspiration, l'empathie et le jugement moral.

Bibliographie thématique

État des savoirs sur l'efficacité de l'IA dans l'apprentissage

1.1 En salle de classe

- Kestin, G. et al. (2025). AI tutoring outperforms active learning. *Scientific Reports*, 15(17458). [IF=3.9]
- Eedi & Google DeepMind (2025). AI tutoring RCT in UK classrooms. arXiv:2512.23633.
- Bastani, H. et al. (2025). Generative AI without guardrails harms learning. *PNAS*, 122(11). [IF=9.1]
- Letourneau, S. et al. (2025). Systematic review of ITS in K-12 (n=4597). *npj Science of Learning*. [IF=3.0]
- Wang, X. et al. (2026). Meta-analysis of adaptive learning (69 studies). *JCAL*. [IF=8.6]
- Ma, S. (2025). Meta-analysis of GenAI on learning (g=0.08 long-term). *JCAL*, 70(117). [IF=8.6]
- AI-enabled personalized STEM education meta-analysis (32 RCT). *IJSE* (2025). [IF=10.4]
- Silverman, R. et al. (2024). Effects of EdTech on literacy. *Review of Educational Research*. [IF=13.2]
- Khan Academy PNAS study (2024). *PNAS*. [IF=9.1]
- ChatGPT impact meta-analysis (51 studies, g=0.867). *Nature HSS* (2025).
- Bardach, L. et al. (2026). ITS Need Teachers (n=194,000). *JCAL*, 42(1). [IF=8.6]
- SRI International / Wang, H. & Woodworth, K. (2011). Evaluation of DreamBox Learning on Student Math Achievement in K-1 Classrooms. SRI Education. Répliqué en Caroline du Nord (2012, n=10 000+, K-2 ES=+0.12, 4-5 ES=+0.03). Certifié par le What Works Clearinghouse.
- Cui, W. et al. (2020). When adaptive learning is effective learning: comparison of an adaptive learning system to teacher-led instruction. *Interactive Learning Environments*, 31(2), 793-803. [IF=3.7] (Hedges's g=0,68, n=163, théorème de Pythagore).
- Squirrel AI (2024). Learning Adaptive Model (LAM). Entraîné sur 24 millions d'élèves et 10 milliards de comportements d'apprentissage. *TIME* « Best Invention 2025 ».
- Sun, Y. & Else-Quest, N.M. (2021). ALEKS Meta-Analysis (56 ES). [IF=1.2]
- Tamim, R. M. et al. (2011). What Forty Years of Research Says About the Impact of Technology on Learning: A Second-Order Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 81(1), 4-28. [IF=11.2]
- Higgins, S., Xiao, Z. & Katsipatakis, M. (2012). The Impact of Digital Technology on Learning. EEF/Durham University.
- Sailer, M. et al. (2024). Technology-enhanced learning in higher education: A second-order meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 113, 102480.

1.2 Hors de la salle de classe

- OCDE (2015). *Students, Computers and Learning: Making the Connection*. PISA, Éditions OCDE.
- Salmerón, L. et al. (2023). Relation between digital tool practices and reading comprehension. *Reading and Writing*, 36(1), 175-194.
- Delgado, P. et al. (2018). Don't throw away your printed books: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 25, 23-38. [IF=9.6]
- Furenes, M. I., Kucirkova, N. & Bus, A. G. (2021). Children's Reading on Paper Versus Screen: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 91(4), 483-517. [IF=11.2]
- Clinton, V. (2019). Reading from paper compared to screens: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Research in Reading*, 42(2), 288-325. [DD]

Mueller, P.A. & Oppenheimer, D.M. (2014). Pen Is Mightier Than Keyboard. *Psychological Science*, 25(6), 1159-1168. [IF=5.9]

Kosmyna, N. et al. (2025). Your Brain on ChatGPT: EEG study. MIT Media Lab. arXiv preprint.

1.3 État des lieux sur l'utilisation de l'IA

Center for Democracy and Technology (CDT, 2025). AI in Education: Survey of 806 Teachers, 1,030 Students, 1,018 Parents.

OECD (2024). TALIS 2024 Results. Vol. I. 280,000 teachers in 50 education systems.

RAND (2025). Uneven Adoption of AI: 25% of Teachers.

RAND (2025). AI Use Increasing but Guidance Lags: 54% Students.

RAND (2025). More Districts Training Teachers on AI: 50% vs 25%.

Brookings (2026). A New Direction for Students in an AI World.

Brookings (2025). What Research Shows About GenAI in Tutoring.

Microsoft (2025). AI in Education Special Report: 86% Adoption.

Fondements techniques : Knowledge Tracing, architectures LLM, affect

Corbett, A. T. & Anderson, J. R. (1995). Knowledge Tracing: Modeling the Acquisition of Procedural Knowledge. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 4(4), 253-278.

Piech, C. et al. (2015). Deep Knowledge Tracing. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 28, 505-513.

Pandey, S. & Karypis, G. (2019). A Self-Attentive Model for Knowledge Tracing (SAKT). arXiv:1907.06837. EDM 2019.

Ghosh, A., Heffernan, N. & Lan, A. S. (2020). Context-Aware Attentive Knowledge Tracing (AKT). *KDD 2020*, 2330-2339.

Choi, Y. et al. (2020). Towards an Appropriate Query, Key, and Value Computation for Knowledge Tracing (SAINT). *L@S 2020*, 341-344.

Choi, Y. et al. (2020). EdNet: A Large-Scale Hierarchical Dataset in Education. *AIED 2020*. ~131M interactions, ~784K étudiants.

Liu, Q. et al. (2023). Simplekt: A Simple but Tough-to-Beat Baseline for Knowledge Tracing. *ICLR 2023*.

D'Mello, S. & Graesser, A. (2012). Dynamics of Affective States during Complex Learning. *Learning and Instruction*, 22(2), 145-157. [IF=4.7]

Graesser, A. C. et al. (2004). AutoTutor: A Tutor with Dialogue in Natural Language. *Behavior Research Methods*, 36(2), 180-192.

Baker, R. S. (2019). Challenges for the Future of Educational Data Mining: The Baker Learning Analytics Prizes. *JEDM*, 11(1), 1-17.

Wang, Y. et al. (2025). Tutor CoPilot: A Human-AI Approach for Scaling Real-Time Expert Mentoring. *Learning at Scale 2025*.

Essa, A. & Laster, J. (2024). Ada-LIT: A Systematic Literature Review on Adaptive Learning in Schools (2018-2022). *Computers & Education*, 69 publications empiriques.

Singla, A. et al. (2023). Reinforcement Learning for Education: Opportunities and Challenges. *AAAI 2023*.

Khan, S. (2024). Khanmigo: Harnessing AI for Education. Khan Academy White Paper.

- [OCDE] OECD (2026). OECD Digital Education Outlook 2026. OECD Publishing. doi:10.1787/062a7394-en.
- Bastani, H. *et al.* (2024). Generative AI can harm learning. *Experimental Economics* (RCT Turkiye, n=1000). [Ajout OCDE 2026]
- De Simone, G. *et al.* (2025). AI-powered tutoring in low-resource settings: Evidence from Nigeria. (RCT, ES=0.31). [Ajout OCDE 2026]
- Doshi, A. R. & Hauser, O. P. (2024). Generative AI enhances individual creativity but reduces collective diversity. *Science Advances*. [Ajout OCDE 2026]
- Fan, C. *et al.* (2024). Metacognitive laziness in AI-assisted learning environments. *Computers & Education*. [Ajout OCDE 2026]
- Kosmyna, N. *et al.* (2025). EEG study of learning with LLMs: 12% vs 89% recall. MIT Media Lab. [Ajout OCDE 2026]
- Lehmann, J. *et al.* (2025). ChatGPT as tutor for Python learning: No overall effect, usage-dependent gains. [Ajout OCDE 2026]
- Stadler, M. *et al.* (2024). Cognitive offloading in AI-assisted education. *Educational Psychology Review*. [Ajout OCDE 2026]
- Fesler, L., Martinez, J., Agnew, C., Loeb, S. (2026). The Evidence Base on AI in K-12: A 2026 Review. AI Hub for Education, SCALE Initiative, Stanford University. [Ajout Stanford 2026]
- Kreijkes, E. *et al.* (2026). Note-taking vs AI chatbot for comprehension. 344 Year 10 students, England. [Ajout Stanford SCALE 2026]
- Fischer, T. *et al.* (2025). GPT-4 RAG chatbot for economics study. 334 university students, Germany. [Ajout Stanford SCALE 2026]
- Blasco, M. & Charisi, V. (2025). Step-by-step vs direct AI chatbot. 122 high school students, Belgium/Spain. [Ajout Stanford SCALE 2026]
- Becker, S. *et al.* (2025). AI chatbot vs tiered hints in physics. 273 9th grade students, Germany. [Ajout Stanford SCALE 2026]
- Chen, Y. *et al.* (2025). LLM-Tutor for mathematical proof-writing. 155 university students, U.S. [Ajout Stanford SCALE 2026]
- Meyer, J. *et al.* (2024). AI-generated feedback on argumentative essay. 459 Grade 10 students, Germany. [Ajout Stanford SCALE 2026]
- Zhao, L. *et al.* (2025). AI autograder feedback for mathematical proofs. 169 university students, U.S. [Ajout Stanford SCALE 2026]
- Ferman, B. *et al.* (2021). AI writing feedback at scale. ~19,000 students, 178 schools, Brazil. [Ajout Stanford SCALE 2026]
- Degen, N. *et al.* (2025). Socratic AI Tutor vs unstructured chatbot. 65 pre-service teachers, Germany. [Ajout Stanford SCALE 2026]

État des savoirs sur l'efficacité de l'IA auprès des enseignants

- UNESCO (2024). AI Competency Framework for Teachers.
- DigCompEdu Framework. European Commission.
- ISTE Standards for Educators (Updated 2024).

CRCN-Édu (France). 5 domaines, 16 compétences numériques professionnelles.

UNESCO (2022-2023). K-12 AI curricula: A mapping of government-endorsed AI curricula. 14 programmes in 11 countries.

AI Literacy Systematic Review (335 articles). Nature HSS (2025).

Commission européenne (2025). Guidelines to support teachers in key digital education priorities.

European Commission, DG Education (2022, mise à jour 2025). Ethical guidelines on the use of AI and data in teaching and learning for educators.

Frau-Meigs, D. (2024). L'autonomisation des utilisateurs grâce aux réponses apportées par l'éducation aux médias. Rapport UNESCO. Chaire UNESCO Savoir Devenir.

Lalilo (P2IA, MEN). Partenariat d'innovation IA, lecture CP-CE1-CE2.

Renaissance Learning (mars 2021). Acquisition de Lalilo.

France Éducation Internationale. AI4T Coordination.

AI4T (2024). AI for and by Teachers: Rapport final.

Roy, P. et al. (2024). AI tools for teacher planning: RCT evidence from 68 schools. Education Endowment Foundation. [Ajout OCDE 2026]

Wang, R. E. et al. (2025). Tutor CoPilot: Human-AI approach for scaling real-time tutoring expertise. [Ajout OCDE 2026]

Dennison, M. et al. (2025). Shiksha Copilot: AI-assisted lesson planning in India. (d=0.371-0.658). [Ajout OCDE 2026]

Reza, M. et al. (2024). Content co-creation with AI: Reducing teacher workload by 50%. [Ajout OCDE 2026]

Selwyn, N. et al. (2025). Hidden labour: The overlooked costs of AI in teaching. [Ajout OCDE 2026]

Markel, J. et al. (2023). GPTeach: Interactive teacher training with GPT-simulated students. [Ajout OCDE 2026]

Dai, W. et al. (2024). GPT-4 feedback analysis: d=1.79 readability, 97% process-level feedback. [Ajout OCDE 2026]

Kaliisa, R. et al. (2025). AI vs human feedback meta-analysis: 41 studies. [Ajout OCDE 2026]

Baker, R. et al. (2025). JeepyTA: GenAI teaching assistant at UPenn. [Ajout OCDE 2026]

Cukurova, M. (2026). Human-AI collaboration in education. In OECD DEO 2026, ch. 7. [Ajout OCDE 2026]

Vaccaro, M. et al. (2024). Human-AI performance meta-analysis: 106 studies, ~370 effect sizes. [Ajout OCDE 2026]

Kim, J. et al. (2021). AI-generated weekly diagnostic reports to home tutors. 234 tutors, 2,220 students, South Korea. [Ajout Stanford SCALE 2026]

Holstein, K. et al. (2018). Mixed-reality smart glasses for teacher analytics. 286 students, 8 teachers, U.S. [Ajout Stanford SCALE 2026]

Parents

Hong Kong parents study (n=160). AI literacy and parenting self-efficacy. ScienceDirect (2025).

OECD (2026). Socratic Playground for Learning (SPL): GPT-4 based adaptive tutoring. In DEO 2026, ch. 3. [Ajout OCDE 2026]

OECD (2026). ARCHED framework for responsible AI instructional design. In DEO 2026, ch. 3. [Ajout OCDE 2026]

OECD (2026). Hybrid Human-AI Skills framework (Box 2.3). In DEO 2026, ch. 2. [Ajout OCDE 2026]

Risques sanitaires et cognitifs

- Jose, A. et al. (2025). Cognitive Paradox of AI in Education. *Frontiers in Psychology*, 16. [IF=2.6]
- Shaw, A.D. & Nave, G. (2026). Cognitive Surrender: Thinking Fast, Slow, and Artificial. Wharton School.
- Risko, E.F. & Gilbert, S.J. (2016). Cognitive Offloading. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(9). [IF=16.7]
- Storm, B.C. & Stone, S.M. (2015). Saving-Enhanced Memory. *Psychological Science*, 26(2). [IF=5.9]
- Sparrow, B. et al. (2011). Google Effects on Memory. *Science*, 333(6043). [IF=56.9]
- Barcaui, A. (2025). ChatGPT as Cognitive Crutch (n=120, d=0.68). ScienceDirect.
- Consequences of Cognitive Offloading. PMC (2021).
- Challenging CLT: Role of AI in Redefining Learning Efficacy. PMC (2025).
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. [IF=24.3]
- Diamond, A. et al. (2007). Preschool Program Improves Cognitive Control. *Science*, 318(5855), 1387-1388. [IF=47.7]
- Casey, B.J. et al. (2008). The Adolescent Brain. *Developmental Psychobiology*, 50(2). [IF=2.8]
- Giedd, J.N. et al. (1999). Brain development. *Nature Neuroscience*, 2, 861-863. [IF=19.5]
- Sowell, E.R. et al. (2004). Dynamic mapping cortical development. *PNAS*, 101(21). [IF=9.1]
- ABCD Study (2021). Screen time and adolescent mental health. *JAMA Pediatrics*. [IF=26.1]
- Screen time, ADHD symptoms and brain structure. *Translational Psychiatry* (2025). [IF=5.8]
- Maturation of the Adolescent Brain. PMC (2013).
- Rapid Infant Prefrontal Cortex Development. PMC (2018).
- ANSES (France, 2025). Recommandations écrans enfants.
- AAP (2026). Updated Screen Time Guidelines.
- WHO (2019). Guidelines on Screen Time for Children Under 5.
- APA (2025). Health Advisory: AI and Adolescent Well-Being.
- Blair, C. & Razza, R.P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding. *Child Development*, 78(2), 647-663. [IF=5.7]
- Moffitt, T.E. et al. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *PNAS*, 108(7), 2693-2698. [IF=11.1]
- Nelson, C.A. et al. (2007). Cognitive recovery in socially deprived young children: Bucharest Early Intervention Project. *Science*, 318(5858), 1937-1940. [IF=47.7]

Neurosciences de l'apprentissage

- Dehaene, S. (2020). *How We Learn*. Viking/Penguin. ISBN: 978-0525559887.
- Cepeda, N.J. et al. *Distributed Practice: 317 Experiments*. *Psychological Bulletin*. [IF=17.3]
- Dunlosky, J. et al. (2013). Improving Students' Learning Techniques. *PSPI*. [IF=17.3]
- Settles, B. & Meeder, B. (2016). Duolingo Half-Life Regression. ACL.
- Brunmair, M. & Richter, T. (2019). Interleaving Meta-Analysis (59 studies, g=0.42). [IF=4.6]
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load Theory. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285. [IF=3.1]
- Paas, F. & Van Merriënboer, J.J.G. (2020). Cognitive-Load Theory: An Update. *Current Directions in Psychological Science*. [IF=7.4]
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2018). *How People Learn II: Learners, Contexts, and Cultures*. National Academies Press.

- Roediger, H.L. (1980). Memory metaphors in cognitive psychology. *Memory & Cognition*, 8(3), 231-246.
- Hirst, W. et al. (2015). A ten-year follow-up of a study of memory for the attack of September 11, 2001. *JEP: General*, 144(3), 604-623.
- Bengtsson, S.L. et al. (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature Neuroscience*, 8(9), 1148-1150. [IF=25.5]
- Scholz, J. et al. (2009). Training induces changes in white-matter architecture. *Nature Neuroscience*, 12(11), 1370-1371. [IF=25.5]
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: HAROLD model. *Psychology and Aging*, 17(1), 85-100.
- Park, D.C. & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60, 173-196. [IF=22.7]
- Collette, F. et al. (2006). Exploring the unity and diversity of the neural substrates of executive functioning. *Human Brain Mapping*, 27(5), 394-404.
- Hattie, J. & Donoghue, G.M. (2016). Learning strategies: a synthesis and conceptual model. *npj Science of Learning*, 1, 16013.
- Kitayama, S. & Tompson, S. (2010). Envisioning the future of cultural neuroscience. *Asian Journal of Social Psychology*, 13(2), 92-101.
- Neuroeducation: Neural Dynamics in Learning. *Frontiers in Education* (2024). [IF=2.4]
- fNIRS Study on Teaching Methods and Brain Activation. *PLoS ONE* (2024). [IF=2.9]
- Neuroimaging in Classroom: Hyperscanning Review. *NeuroImage*, 265 (2023). [IF=5.0]
- Metacognition Scaffolding by AI in STEM. *PMC* (2025).
- GenAI Enhances Achievement Through Shared Metacognition. *Scientific Reports* (2025). [IF=3.9]
- Self-Regulated Learning in GenAI Environments. *BJET* (2025).
- AI-Powered Metacognitive Calibration (+8.9%). *CHI* (2025).

Les EdTech : mise en perspective historique

- Watters, A. & Kindel, A. T. (2025). *The Teacher in the Machine: How AI Is Reshaping the Debate about Education*. MIT Press. [DD]
- Watters, A. (2021). *Teaching Machines: The History of Personalized Learning*. MIT Press. [DD]
- Reich, J. (2020). *Failure to Disrupt: Why Technology Alone Can't Transform Education*. Harvard University Press. [DD]
- Tamim, R. M. et al. (2011). What Forty Years of Research Says. *Review of Educational Research*, 81(1), 4-28. [IF=11.2] [DD]
- Hattie, J. (2023). *Visible Learning: The Sequel*. Visible Learning MetaX. [> 21,000 études ; d = 0,34] [DD]
- Higgins, S., Xiao, Z. & Katsipataki, M. (2012). The Impact of Digital Technology on Learning. *EEF*. [DD]
- Sailer, M. et al. (2024). Technology-enhanced learning in higher education: second-order meta-analysis. *Learning and Individual Differences*. [d = 0,03] [DD]
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. & Rothstein, H. R. (2021). *Introduction to Meta-Analysis* (2nd ed.). Wiley. [DD]
- Cornelius-White, J. (2007). Learner-centered teacher-student relationships are effective: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 77(1), 113-143. [IF=11.2] [DD]
- Bevilacqua, D. et al. (2019). Brain-to-Brain Synchrony and Learning Outcomes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 31(3), 401-411. [DD]

- Davidesco, I. *et al.* (2023). Brain-to-brain synchrony predicts long-term learning. *Psychological Science*, 34(6). [IF=5.9] [DD]
- Piazza, E. A. *et al.* (2021). Neural synchrony predicts children's learning of novel words. *Cognition*, 214, 104752. [DD]
- Clark, R. E. (1983). Reconsidering Research on Learning from Media. *Review of Educational Research*, 53(4), 445-459. [IF=11.2] [DD]
- Clark, R. E. (1985). Evidence for confounding in computer-based instruction studies. *Educational Communication and Technology Journal*, 33(4), 249-262. [DD]
- Deslauriers, L. *et al.* (2019). Measuring actual learning versus feeling of learning. *PNAS*, 116(39), 19251-19257. [IF=11.1] [DD]
- Brown, P. C., Roediger, H. L. & McDaniel, M. A. (2014). *Make It Stick: The Science of Successful Learning*. Harvard University Press. [DD]
- Goldhaber, D. *et al.* (2022). The Consequences of Remote and Hybrid Instruction During the Pandemic. NBER Working Paper 30010. [DD]
- West, M. (2023). *An Ed-Tech Tragedy? Educational Technologies and School Closures in the Time of COVID-19*. UNESCO. [DD]
- UNESCO (2023). *Global Education Monitoring Report: Technology in education — A tool on whose terms?* [DD]
- Postman, N. (1995). *The End of Education: Redefining the Value of School*. Alfred A. Knopf. [DD]
- Khan, S. (2024). *Brave New Words: How AI Will Revolutionize Education*. Viking. [DD]
- Pashler, H. *et al.* (2008). Learning styles: Concepts and evidence. *PSPI*, 9(3), 105-119. [DD]
- Sundararajan, N. & Adesope, O. (2020). Keep it coherent: A meta-analysis of the seductive details effect. *Educational Psychology Review*, 32(3), 707-734. [DD]
- Bjork, R. A., Dunlosky, J. & Kornell, N. (2013). Self-regulated learning: Beliefs, techniques, and illusions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 417-444. [DD]
- Roediger III, H. L. & Karpicke, J. D. (2006). Test-enhanced learning. *Psychological Science*, 17(3), 249-255. [DD]

Mécanismes d'efficacité, prompting socratique

- EEF (2025). *Effectiveness of EdTech Review: 9 Mechanisms*.
- EEF (2019). *Using Digital Technology to Improve Learning*.
- EEF (2021). *Review of 82 EdTech Evaluations*.
- US Department of Education, Office of Educational Technology (2023). *AI and the Future of Teaching and Learning*.
- Socratic Wisdom in the Age of AI (n=230). *Frontiers in Education* (2025). [IF=2.4]
- Eedi/DeepMind LearnLM RCT (n=165). arXiv:2512.23633.
- Chang, E.Y. (2023). *Prompting LLMs with the Socratic Method*. arXiv:2303.08769.
- Ministère de l'Éducation nationale (juin 2025). *L'IA en éducation — Cadre d'usage*.
- DNE TN2 (2023). *Portfolio GTnum #Scol_IA. Éducation, numérique et recherche*.
- DNE TN2 (2023). *Portfolio GTnum #IA_EO. Éducation, numérique et recherche*.
- DNE TN3 (2024). *Les systèmes d'IA générative dans les enseignements*. Lettre ÉduNum n°21.
- DNE TN3 (2024). *Usages pédagogiques des IA génératives en Lettres*. Lettre ÉduNum n°24.
- Allouche, E. (2025). *IA et éducation : Apports de la recherche et enjeux pour les politiques publiques*. DNE TN2

Données et législation

EU AI Act (2024). Classification haut risque, Annexe III.
COPPA 2025 Amendments. Federal Register, 22 avril 2025.
EU DSA Guidelines on Protection of Minors (14 juillet 2025).
ICO Reprimand NPD (Nov 2022). 28 million children's data.
Student Privacy Compass / FPF (2025). Audit 400 contrats K-12.
ADL Initiative (US DoD). xAPI Standard.
1EdTech (ex-IMS Global). LTI Standard.
Ed-Fi Alliance (Michael & Susan Dell Foundation).
Future of Privacy Forum. Student Privacy Pledge.
WWC Handbook v5.0. IES (2024).
Digital Promise (2025). AI Product Procurement Certification.
EduEvidence/ICEIE (2025). Top 25 Impact-Certified EdTech.

Marché et acteurs

HolonIQ (2025). Global EdTech Funding 2024-2025: USD 2.4B.
Global EdTech market: USD 163-310 Md (2024). CAGR 13-20%.
US EdTech market: USD 70.2 Md (2025).
China EdTech: USD 74.4 Md (2025).
India EdTech: 20% du VC mondial (2024).
Germany: USD 11.7 Md (2024). DigitalPakt Schule.
Japan EdTech: USD 14.8 Md (2024).
Australia EdTech: USD 3.9 Md (2024).
Canada EdTech: USD 5 Md (2024).
Singapore EdTech: USD 2.2 Md.
Israel EdTech: 506 startups.
Brazil EdTech: USD 5.41 Md (2024).
Nordics EdTech: 960 entreprises.
Korea EdTech: USD 6.2 Md (2024).
Duolingo (DUOL). Revenue 2025: USD 1.038 Md. 130.2M MAU.
Coursera (COUR). Revenue Q3 2025: USD 194.2M.
Byju's: Effondrement de USD 22 Md. Faillite 2024.
Khan Academy: USD 107.3M revenue (2023). 180M+ utilisateurs.
Instructure/Canvas: Acquisition KKR USD 4.8 Md (2024).
PowerSchool: Acquisition Bain Capital USD 5.6 Md (2024).
Kahoot!: Market cap USD 1.65 Md (2025).
Squirrel AI Learning: Valorisation USD 1 Md.
Age of Learning/ABCmouse: Valorisation USD 3 Md.
LearnLM (Google): Modèle fine-tuné sur Gemini.
Microsoft Education: Reading Coach, Math Progress, Copilot.

OpenAI ChatGPT Edu (mai 2024). GPT-4o pour universités.

Quizlet: Valorisation USD 1 Md (2025).

Chegg (CHGG): Market cap USD 76.5M.

Photomath: Acquisition Google ~USD 550M (2023).

IXL Learning: USD 570M levés.

Century Tech: 22M GBP levés.

Carnegie Learning: 90M\$+ financement.

Turnitin/Gradescope: 600+ écoles.

Knewton: Acquisition Wiley ~USD 10M.

Anthology/Blackboard: Faillite sept 2025.

2U: Faillite Chapter 11 juillet 2024.

DreamBox Learning: Acquisition Discovery Education.

Vision des politiques publiques

Estonia AI Leap Initiative (Feb 2025).

eKool et Stuudium: 95% des écoles estoniennes.

Estonia PISA 2022: Math 510, Reading 511, Science 526.

X-Road: backbone numérique estonien.

EHIS (2005). Estonian Education Information System.

ProgeTiger (2012). HITSA/HARNO.

Enquête estonienne (2024): 64-90% des élèves utilisent l'IA. n=15,631.

Estonia Education Strategy 2021-2035.

Korean MOE/KERIS (2025). AI Digital Textbooks: USD 1 Md.

Corée du Sud PISA 2022: Math 527, Reading 515, Science 528.

KERIS (1999). Korea Education and Research Information Service.

Korea: Adoption AIDT <30% après 4 mois.

Korea: 300,000 enseignants à former d'ici 2026.

Finland EDUFI (2025). AI Recommendations.

Elements of AI: 1M+ inscriptions dans 170 pays.

Finland PISA 2022: Math 484, Reading 490, Science 511.

Finland: Objectif leader numérisation durable d'ici 2027.

KOSKI (Finlande, 2018). Registre national des études.

Oak National Academy AILA. 200,000 enseignants.

UK National Pupil Database. ~8.5M élèves.

UK: 69% des directeurs utilisent le EEF Toolkit.

Alan Turing Institute: Education AI Research.

DfE UK (2025). AI Guidance for Schools.

DfE UK (2025). Generative AI Product Safety Expectations.

NSF AI Research Institutes: USD 100M pour 5 instituts.

NAIRR: USD 35M sur 5 ans. 600+ équipes.

NEIS (Corée, 2003). National Education Information System.

UDISE+ (Inde, 2018). 14.89 lakh écoles.
Singapore Student Learning Space (SLS).
Singapore EdTech Masterplan 2030.
World Bank (2024). AI Revolution in Education.

Inventaire des principales recommandations

Brookings (2026). A New Direction for Students in an AI World. 12 recommandations sous 3 piliers.
Biden EO 14110 (Oct 2023). Safe, Secure AI Development.
Trump EO (April 2025). Advancing AI Education for American Youth.
FutureEd (2026). 53 State/Federal AI Education Bills.
California AB 1064 (LEAD for Kids Act). Veto par Newsom oct 2025.
Texas HB 5282: IA pour notation avec validation indépendante.
New York AB 6972: Groupe de travail IA éducation.
RAND (2025). Recommandations sur l'IA en éducation.
OECD (2023). Digital Education Outlook.
OECD (2026). Digital Education Outlook: GenAI in Education.
EC (2025). AI Continent Action Plan.
France Stratégie (2025). Phase 3 stratégie nationale IA. 109 Md EUR.
DNE (2025). Stratégie du Numérique pour l'Éducation 2023-2027.
CNIL (2025). Plan stratégique 2025-2028.
CNESCO (2024). Conférence de consensus: 28 recommandations.
Cour des comptes (2024). Audit stratégie nationale IA.
UNESCO (2021). AI and Education: Guidance for Policy-Makers.
UNESCO (2023). Guidance for Generative AI in Education and Research.
US DoE (2023). AI and the Future of Teaching and Learning.
InTASC Standards (2011). 10 standards.
OECD (2026). Policy recommendations for AI in education. In DEO 2026, chs. 1-13. [Ajout OCDE 2026]
OECD (2026). Evidence-Centred Design (ECD) for process-oriented assessment. In DEO 2026, ch. 6. [Ajout OCDE 2026]
OECD (2026). FLoRA platform for self-regulated learning with LLMs. In DEO 2026, ch. 6. [Ajout OCDE 2026]
OECD (2026). Course Load Analytics (CLA): Predictive workload model. In DEO 2026, ch. 11. [Ajout OCDE 2026]
OECD (2026). Duolingo Item Factory: Human-in-the-loop assessment generation. In DEO 2026, ch. 6. [Ajout OCDE 2026]
OECD (2026). PromptHive: Collaborative prompt engineering for education. In DEO 2026, ch. 11. [Ajout OCDE 2026]

Efficacité globale de la technologie éducative — méta-analyses

Archer, K. et al. (2014). Examining the effectiveness of technology use in classrooms: A tertiary meta-analysis. *Computers & Education*, 78, 140-149. [DD]
Young, J. (2017). Technology-enhanced mathematics instruction: A second-order meta-analysis. *Educational Research Review*, 22, 19-33. [DD]

- Chauhan, S. (2017). A meta-analysis of the impact of technology on learning effectiveness of elementary students. *Computers & Education*, 105, 14-30. [DD]
- Demir, M. et al. (2024). The effect of technology-based mathematics teaching on mathematics performance: A second-order meta-analysis. *Eğitim Teknolojisi*. [DD]
- Martin, F. et al. (2022). Examining research on the impact of distance and online learning: A second-order meta-analysis. *Educational Research Review*, 36. [DD]
- Zheng, B. et al. (2016). Learning in one-to-one laptop environments: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 86(4), 1052-1084. [DD]
- Bethel, E. C. (2015). A systematic review of one-to-one access to laptop computing in K-12 classrooms. Doctoral dissertation, Concordia University. [DD]
- Cheung, A. C. & Slavin, R. E. (2012). How features of educational technology applications affect student reading outcomes: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 7(3), 198-215. [DD]
- Cheung, A. C. & Slavin, R. E. (2013). Effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms. *Educational Research Review*. [DD]
- Di Pietro, G. & Muñoz, J. C. (2025). A meta-analysis on the effect of technology on the achievement of less advantaged students. *Computers & Education*, 226, 105197. [DD]
- Major, L. et al. (2021). The effectiveness of technology-supported personalised learning in low- and middle-income countries: A meta-analysis. *BJET*. [DD]

Données internationales (PISA, PIRLS) et effets de mode

- Jakubowski, M. et al. (2023). Global learning loss in student achievement. *Economics Letters*, 232, 111313. [DD]
- Backes, B. & Cowan, J. (2019). Is the pen mightier than the keyboard? The effect of online testing. *Economics of Education Review*, 68, 89-103. [DD]
- Jerrim, J. et al. (2018). PISA 2015: how big is the 'mode effect'. *Oxford Review of Education*, 44(4), 476-493. [DD]
- Settlage, D. M. & Wollscheid, J. R. (2024). Deconstructing the Testing Mode Effect. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*. [DD]
- OECD (2024). Students, digital devices and success. OECD Publishing. [DD] [Ajout 2025-2026]
- OECD (2024). Managing screen time: how to protect and equip students. OECD Education Working Paper. [DD] [Ajout 2025-2026]
- OECD (2025). Using digital resources for learning. OECD Education Working Paper No. 340. [DD] [Ajout 2025-2026]

Lecture sur écran versus papier

- Öztop, F. & Nayci, Ö. (2021). Does the Digital Generation Comprehend Better from the Screen or from the Paper? *International Online Journal of Education and Teaching*, 8(2). [DD]
- Salmerón, L. et al. (2024). Reading comprehension on handheld devices versus on paper: A narrative review and meta-analysis. [DD]
- de-la-Peña, C. et al. (2024). Bridging the printed or digital controversy: A meta-analysis. [DD]

- Kong, Y. *et al.* (2018). Comparison of reading performance on screen and on paper: A meta-analysis. *Computers & Education*, 123, 138-149. [DD]
- Li, Y. & Yan, L. (2024). Which reading comprehension is better? A meta-analysis. *Telematics and Informatics Reports*, 14, 100142. [DD]
- Imel, R. B. (2018). Digital reading vs. paper reading: Does mind wandering mediate comprehension differences? Doctoral dissertation, UC Riverside. [DD]
- Delgado, P. & Salmerón, L. (2021). The inattentive on-screen reading. *Learning and Instruction*, 71, 101396. [DD]

Prise de notes — main versus clavier

- Urry, H. L. *et al.* (2021). Don't ditch the laptop just yet: A direct replication of Mueller and Oppenheimer (2014). *Psychological Science*, 32. [DD]
- Allen, M. *et al.* (2020). Is the pencil mightier than the keyboard? A meta-analysis. *Southern Communication Journal*, 85(3). [DD]
- Flanigan, A. E. *et al.* (2024). Typed versus handwritten lecture notes: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 36(3). [DD]
- Lau, T. S. (2022). The effect of typewriting vs. handwriting lecture notes on learning: A systematic review and meta-analysis. [DD]
- Voyer, D. *et al.* (2022). The effect of notetaking method on academic performance. *Contemporary Educational Psychology*, 68, 102025. [DD]

Écriture manuscrite et développement cognitif

- James, K. H. & Engelhardt, L. (2012). The effects of handwriting experience on functional brain development. *Trends in Neuroscience and Education*, 1(1), 32-42. [DD]
- Doyen, A. L. *et al.* (2017). Manual performance as predictor of literacy acquisition. *Cognitive Development*, 43, 80-90. [DD]
- Kiefer, M. *et al.* (2015). Handwriting or typewriting? Influence on reading and writing. *Advances in Cognitive Psychology*, 11. [DD]
- Suggate, S. *et al.* (2018). Do fine motor skills contribute to early reading development? *Journal of Research in Reading*, 41(1), 1-19. [DD]

ChatGPT et LLMs en éducation

- Deng, R. *et al.* (2025). Does ChatGPT enhance student learning? A systematic review and meta-analysis. *Computers & Education*, 227, 105224. [DD]
- Wang, J. & Fan, W. (2025). The effect of ChatGPT on students' learning performance: A meta-analysis. *Humanities and Social Sciences Communications*. [DD]
- Alneyadi, S. & Wardat, Y. (2023). ChatGPT: Revolutionizing student achievement. *Contemporary Educational Technology*. [DD]
- Alneyadi, S. & Wardat, Y. (2024). Integrating ChatGPT in grade 12 quantum theory education. *IJIET*. [DD]
- Ng, D. T. K. *et al.* (2024). Empowering student self-regulated learning through ChatGPT. *BJET*. [DD]
- Küchemann, S. *et al.* (2023). Can ChatGPT support prospective teachers in physics task development? *Physical Review Physics Education Research*. [DD]

Liu, X. *et al.* (2025). Effects of Generative AI on K-12 and Higher Education Students' Learning Outcomes: A Meta-Analysis. *Journal of Educational Computing Research*. [DD] [Ajout 2025-2026]

Liu, H. (2025). The Impact of ChatGPT on Students' Academic Achievement: A Meta-Analysis. *JCAL*. [DD] [Ajout 2025-2026]

Systèmes tutoriels intelligents

Kulik, J. A. & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review. *Review of Educational Research*, 86(1), 42-78. [DD]

Koedinger, K. R. & Corbett, A. (2006). Cognitive tutors: Technology bringing learning sciences to the classroom. [DD]

Sala, G. *et al.* (2019). Near and far transfer in cognitive training: A second-order meta-analysis. *Collabra: Psychology*, 5(1), 18. [DD]

Développement cérébral et apprentissage

Dehaene, S. & Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron*, 56(2), 384-398. [DD]

Geary, D. C. (1995). Reflections of evolution and culture in children's cognition. *American Psychologist*, 50(1), 24. [DD]

Geary, D. C. (2012). Evolutionary educational psychology. [DD]

Greenough, W. T. *et al.* (1987). Experience and brain development. *Child Development*, 539-559. [DD]

Feinberg, I. & Campbell, I. G. (2010). Sleep EEG changes during adolescence. *Brain and Cognition*, 72(1), 56-65. [DD]

Sakai, J. (2020). How synaptic pruning shapes neural wiring. *PNAS*, 117(28), 16096-16099. [DD]

Sweller, J. *et al.* (2007). Why minimally guided teaching techniques do not work. *Educational Psychologist*, 42(2), 115-121. [DD]

Sweller, J. *et al.* (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261-292. [DD]

Alfieri, L. *et al.* (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1. [DD]

Synchronie physiologique et relation enseignant-élève

Davidesco, I. (2020). Brain-to-brain synchrony in the STEM classroom. *CBE—Life Sciences Education*, 19(3). [DD]

Zhu, Y. *et al.* (2022). Instructor-learner neural synchronization predicts learning transfer. *Journal of Educational Psychology*, 114. [DD]

Qaiser, J. *et al.* (2023). Shared hearts and minds: Physiological synchrony during empathy. *Affective Science*, 4(4), 711-721. [DD]

Schwartz, L. *et al.* (2025). Empathy aligns brains in synchrony. *iScience*, 28(6). [DD]

Böttger, T. *et al.* (2024). To Ban or Not to Ban? Impact of Smartphone Bans in Schools. *Education Sciences*, 14(8). [DD] [Ajout 2025-2026]

NCES (2025). More than Half of Public School Leaders Say Cell Phones Hurt Academic Performance. IES. [DD]
[Ajout 2025-2026]

Twenge, J. M. (2025). The consequences of smartphones in schools. Testimony U.S. House Committee. [DD]
[Ajout 2025-2026]

IA et modalités d'évaluation des élèves

Educational Research Review (IF 11,7) — revue de méta-analyses la plus citée en sciences de l'éducation ; corpus de référence pour les revues systématiques sur l'évaluation augmentée.

Computers & Education (IF 10,5 ; CiteScore 23,7) — revue de référence mondiale en EdTech ; nombreuses méta-analyses sur ITS et adaptive learning en K-12.

Education and Information Technologies (IF 8,99) — Springer ; Lee et al. (2024), Meta-analysis on effects of AI education in K-12 South Korean classrooms, vol. 29(17), 22859–22894.

Journal of Educational Psychology (IF 7,3) — Ma, W., Adesope, O. O., Nesbit, J. C., & Liu, Q. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. 106, 901–918.

Review of Educational Research (IF 7,4) — Steenbergen-Hu, S., & Cooper, H. (2014). A Meta-Analysis of the Effectiveness of Intelligent Tutoring Systems on K–12 Students' Mathematical Learning.

British Journal of Educational Technology (IF 6,7 ; H-index 110 ; Q1) — Kofinas, A. et al. (2025). The impact of generative AI on academic integrity of authentic assessments. 56, 2522–2549. doi:10.1111/bjet.13585. Fan, Y. et al. (2025). Beware of metacognitive laziness. 56(2), 489–530.

Computers and Education: Artificial Intelligence (IF non encore consolidé mais CiteScore élevé) — Su, J. et al. (2025). AI in K-12 Education: An umbrella review of 102 systematic reviews. Crompton, H. & Burke, D. (2023). Systematic review of research on AI in K-12 education (2017–2022).

PLOS ONE (IF 2,9 mais référence en sciences ouvertes) — Wu, D. & Zhang, J. (2025). Generative AI in secondary education: Applications and effects on innovation skills and digital literacy. doi:10.1371/journal.pone.0323349.

Journal of Educational Computing Research (SAGE, Q1) — Wang, W. et al. (2026). The Effectiveness of AI-Supported Personalized Feedback: A Meta-Analysis. doi:10.1177/07356331251410020.

AI and Ethics (Springer) — Redefining student assessment in AI-infused learning environments: a systematic review (2025). doi:10.1007/s43681-025-00871-w.

ReCALL (Cambridge University Press) — A systematic review of AI-based automated written feedback research.

Assessing Writing (Elsevier) — Wilson, J. et al. (2024). Validity of automated essay scores for elementary-age English language learners.

Computers (MDPI, 2026) — Artificial Intelligence in K-12 Education: A Systematic Review of Teachers' Professional Development Needs (43 études empiriques).

OCDE — Trustworthy AI in Education (Working Paper n°218) ; The Potential Impact of AI on Equity and Inclusion (2024) ; Digital Education Outlook 2026 ; Reimagining Teaching in an Accelerating World (ISTP 2026) ; projet CIME (Centre for Educational Research and Innovation).

UNESCO — Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence (2021) ; Ethical Impact Assessment Tool (2023) ; AI and the Future of Education (2024) ; AI Competency Frameworks for Teachers.

Engagement versus apprentissage, illusions cognitives

- Chew, S. L. (2022). Student engagement is not student learning. *The Teaching Professor*. [DD]
- Finn, B. & Tauber, S. K. (2015). When confidence is not a signal of knowing. *Educational Psychology Review*. [DD]
- Kessler, M. *et al.* (2025). Mobile-assisted language learning with Babbel and Duolingo. *Computer Assisted Language Learning*, 38(4). [DD]

Growth mindset

- Macnamara, B. N. & Burgoyne, A. P. (2023). Do growth mindset interventions impact students' academic achievement? A meta-analysis. *Psychological Bulletin*. [DD]
- Blackwell, L. S. *et al.* (2007). Implicit theories of intelligence predict achievement. *Child Development*. [DD]

COVID, fermetures scolaires et technologie

- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Routledge. [DD]

M. Références méthodologiques

- Scammacca, N. K. *et al.* (2015). Benchmarks for expected annual academic growth. *JREE*. [DD]
- Bloom, H. S. *et al.* (2008). Performance trajectories and performance gaps. *JREE*. [DD]

Journal des prompts

Introduction

Ce document retrace l'ensemble des prompts utilisés pour élaborer la revue de littérature « Intelligence Artificielle et Éducation ». Le processus s'est déroulé de manière itérative sur environ 30 sessions de travail entre mars et mai 2026.

Le document est passé d'un premier jet de 40 pages à un rapport structuré de ~120 pages couvrant 12 chapitres, intégrant des notes de bas de page documentées, des tableaux de méta-analyses, des encadrés d'études, des monographies par pays, et une bibliographie organisée par chapitres avec indicateurs JCR. L'enrichissement a mobilisé plusieurs sources primaires uploadées (rapport OCDE 2026, revue Stanford SCALE, Digital Delusion, How People Learn 2, cadre MEN, rapport DoE) ainsi que des recherches web complémentaires.

Les prompts sont présentés chronologiquement et regroupés en 12 phases thématiques. Pour chaque prompt, le texte intégral est reproduit (les pièces jointes sont signalées mais non reproduites).

Vue d'ensemble des phases

Phase	Intitulé	Prompts	Description
Phase 1	Cadrage initial	3 prompts	Définition du périmètre, des questions de recherche et du format
Phase 2	Approfondissements	3 prompts	Fonctions exécutives, notes de bas de page, monographies pays, JCR
Phase 3	Feedback structurel	4 prompts	Passage à 100 pages, tableaux méta-analyses, EEF, UNESCO, AI4T
Phase 4	Corrections ciblées	4 prompts	Parents, frontières d'âge, étude ABCD, bug technique
Phase 5	Enrichissement documentaire	3 prompts	How People Learn 2, DoE, cadre MEN, Commission EU, Lalilo
Phase 6	Fusion et restructuration	3 prompts	Fusion Digital Delusion, restructuration en 12 chapitres

Phase 7	Consolidation	2 prompts	Mise en page unifiée, doublons, Squirrel AI, DreamBox
Phase 8	Intégration OCDE	2 prompts	OCDE Digital Education Outlook 2026 (240 pages)
Phase 9	Intégration Stanford	2 prompts	Stanford SCALE 2026, 20 études causales, encadrés bleus
Phase 10	Notes de bas de page	1 prompt	98 notes vides complétées (100% couverture)
Phase 11	Veille récente	2 prompts	7 publications post-28 avril : méta-analyses, Brookings, RAND
Phase 12	Documentation	1 prompt	Ce document

Phase 1 — Cadrage initial

Prompt 1 — Premier cadrage de la revue de littérature (version courte)

I want you to do a deep review of the literature on AI and education. please separate hard science (peer-reviewed, RCT protocols) and the rest (books, newspaper, blogs...).

Focus: students that are below 18 yo. Global with a special focus on European countries, the United States, Canada, Australia, Japan, South-Korea, Singapore and India.

Format: French. 40 pages.

My main questions:

- * What are the solutions and strategies that are the effective for the students in reading and maths?
- * What are the solutions and strategies that are the most effective to support teachers?
- * What are the government policies?

Prompt 2 — Cadrage détaillé : périmètre, questions de recherche, format, sources

I want you to do a deep review of the literature on AI and education. please separate hard science (peer-reviewed, RCT protocols) and the rest (books, newspaper, blogs...).

Focus: students that are below 18 yo.

Time span: The last 5 years.

Global with a special focus on European countries (including Germany, France, Spain, Italy, Finland, Estonia...), UK, the United States, Canada, Australia, Japan, South-Korea, Singapore and India.

Paper: a preference for Science, Nature, Cognition, Cells, The Lancet, PNAS... as peer-reviewed paper (don't miss any article there).

Non-scientific paper (examples): Brookings, Rand, S Dehaene's book, OECD, UNESCO, reports from the conseil scientifique de l'éducation, strategies from the department of education...

Format: French. 40 pages.

Add an appendix with 50 references or more.

My main questions to be tackled:

- * What are the solutions and strategies that are the effective for the students in reading and maths in the classroom?
- * What are the solutions and strategies that are the effective for the students in reading and maths outside of the classroom?
- * What are the solutions and strategies that are the most effective to support teachers?
- * How AI change the role of parents in schooling?

- * How to make the promise of personalized learning effective? What are the neuroscience foundation to it?
- * What are the main age boundaries when it comes to exposure to AI tools? Are there neuroscientific consensus on them
- * Is socratic prompting a technique that is worth it?
- * How to have good data curation and data platforms in education?
- * What are the most effective public policies at local level and government level?
- * What are the labels that are well established to distinguish the best solutions?
- * How is the AI EdTech industry structured and what make it effective?

Prompt 3 — Validation du plan proposé

Parfait

Phase 2 — Approfondissements

Prompt 4 — Demande d'approfondissement général

Go deeper

Prompt 5 — Question sur les fonctions exécutives

Tu évoques des difficultés de "fonctions executives". De quoi s'agit-il ?

Prompt 6 — Compléments majeurs : notes de bas de page, monographies pays, cognitive offloading, RAND, Brookings, référentiels enseignants, bibliographie JCR

Peux-tu compléter le document sur ce point ?
En complément :

- * Ajoute une note en bas de page pour chaque étude utilisée.
- * Chaque fois qu'un chiffre est cité donne la source
- * Approfondis les modèles étrangers étudiés par l'OCDE : Estonie et Corée du Sud (cible 1 page par modèle et une annexe par pays de 4 pages sous forme de monographie).
- * Complète avec une monographie de 4 pages en annexe de ce qui se fait en Finlande et au Royaume-Uni.
- * Va plus loin sur le "cognitive offloading" et "cognitive surrender"

- * complète les données sur les rapports de la RAND et de la brookings (avec une page de résumé sous la forme d'un encadré + un résumé des recommandations en annexe)
- * la notion "d'évaluation formative assistée par l'IA" n'est pas française. Fais référence à la "formation continue des enseignants assistée par l'IA"
- * Dans la bibliographie donne une indication du score scientifique de chaque revue utilisée (le JCR ou Scopus).
- * Va plus loin sur les référentiels de compétence des enseignants et la place de l'IA (cible 2 pages)
- * Donne plus de détails sur l'étude du "Journal of Computer Assisted Learning" en termes de résultats et de protocole de recherche (cible 4 paragraphes).
- * Donne plus de détails sur l'étude sur 160 parents à Hong Kong (2025) en termes de protocole de recherche et de résultats (cible 4 paragraphes)
- * Le passage sur les 4 piliers de Dehaene est très bien mais il faut que tu les utilises pour dire comment l'IA va intervenir dans l'apprentissage. Approfondis vers un développement de 4 pages en détaillant chacun des piliers.
- * qu'est-ce que la "charge germane" ? Développe (2 paragraphes et sources)
- * Il faut sourcer cette phrase "Le cortex préfrontal, siège des fonctions exécutives (mémoire de travail, inhibition, flexibilité cognitive), n'atteint sa pleine maturité que vers 25 ans." et détailler les étapes clés de développement.
- * Produis une page en annexe sur l'étude ABCD : protocole, matériel, résultats, sources.
- * A l'appui de ce paragraphe il faut donner les principales positions en présence avec des sources : "Pas de consensus neuroscientifique sur un âge minimum : Plutôt que des seuils d'âge spécifiques, la recherche 2021-2026 s'oriente vers des cadres mettant l'accent sur les considérations développementales, l'évaluation des risques, les exigences de conception adaptée à l'âge et les protections des groupes vulnérables."
- * Appuie toi sur l'avis de l'ANSES également sur l'exposition des enfants à l'IA
- * Dans les 3 études citées sur le prompting socratique détaille le contexte, la taille d'échantillon, le protocole scientifique (RCT ou pas) et les méthodes de prompting socratique utilisées. Format cible 4 à 5 paragraphes par étude.
- * Peux-tu aller beaucoup plus loin pour décrire la méthode utilisée dans Khanmigo ? Je souhaiterais avoir une annexe de 2 pages sur le sujet
- * Donne le détail par pays du marché de l'EdTech.
- * Précises ce qu'est COPPA 2025
- * Fais un encadré d'une demi-page sur la "National Pupil Database" : données qu'elle contient, objectifs, produits architecture
- * Fais un encadré d'une demi-page sur la "XRoad" : budget, structuration du programme, données partagées, objectifs, produits, architecture
- * Dans le modèle américain, peux-tu détailler ce qui est ici entre parenthèse "(executive orders, groupes de travail, subventions)" pour décrire de façon détaillée la gouvernance de politique publique nationale aux Etats-Unis (un encadré d'une page)

- * Peux-tu faire une étude détaillée en annexe des 53 projets de loin américains : quels sont leurs objectifs ? quels sont les leviers juridiques ? (cible 4 pages)
- * Détaille le rapport de l'EEF et fais un encadré sur les neuf mécanismes identifiés
- * Fais un encadré (une demi-page) sur "LearnLM (Google) " pour comprendre qui pilote le projet chez Google, ses objectifs, l'argent investi, le business model. Regarde l'équivalent chez Microsoft et OpenAI et fais un encadré également (tu peux aussi te renseigner sur les activités de J Pesenti chez OpenAI).
- * J'aime beaucoup le tableau des "Acteurs majeurs". Peux-tu le développer pour donner une vision de la valeur capitalistique de chaque acteur, du type de structure juridique, le nom des produits proposés, le modèle économique et le nombre d'utilisateurs connus. Réalise chaque fois que possible une étude à partir des derniers résultats financiers connus de chaque entreprise.
- * Sur la base de ces éléments complète les conclusions et la biographie.

Phase 3 — Feedback structurel

Prompt 7 — Feedback structurel : 100 pages, méta-analyses en tableau, EEF, UNESCO, AI4T, Commission européenne, KhanMigo, Lalilo

Some feedback and build on:

- * Avoid blank pages. Go to a 100 pages production, including annex.
- * Provide Hypertext link as much as possible in the notes
- * In the exec sum: 1/ on neuroscience I like the Dehaene framework but be more explicit on where AI can be value added in the framework. 2/ the AI Act don't come into "recommendations" but into a category to be created: "existing regulations". Add other regulations in the exec sum.
- * Meta analysis: can you build a table with all analysis with a detailed view of the authors, the revue, the material, the product tested, the size of the sample and the evaluation protocol (RCT or not).
- * Develop the analysis in "Review of Educational Research"
- * Develop the concept of "cognitive paradox in Frontiers in Psychology"
- * I'm still lacking a detailed view on this : "L'Education Endowment Foundation (EEF) identifie neuf mécanismes pour une EdTech efficace , dont l'ancrage dans les processus pédagogiques, la création de mécanismes de feedback dynamiques et le soutien à l'enseignement adaptatif. Le Teaching and Learning Toolkit de l'EEF". please provide a 4-pagers. You can rely on what exist already in page 3 and expand. Concentrate everything in this place in the report.
- * Develop the UNESCO framework in one page
- * Develop projet AI4T. I need detailed vision of the product, the roll out, the budget and the evaluation. It should be 2 pages.
- * Go deeper in this 2 studies with a vision of what is in (5 paragraphs) and practical implications for classrooms: "Les applications comme Anki et Duolingo utilisent des algorithmes qui calculent cet espacement de manière

personnalisée. Une méta-analyse sur 101 études confirme que la répétition espacée améliore la rétention à long terme avec une taille d'effet de $d = 0.80$, substantiel. [101] L'entrelacement – mélanger différentes catégories de problèmes lors de l'entraînement – renforce également la consolidation en favorisant l'abstraction. Une méta-analyse de [102] montre que l'entrelacement est supérieur à la pratique en bloc ($d = 0.49$)."

- * Sur la partie 5.3 dresse une revue de littérature systématique des études disponibles (2 pages) et ajoute un passage sur les implications.

- * Plutôt que "limites d'âge" parle plutôt de "frontières d'âge"

- * Explicite le mot "elenchus" (son origine)

- * Transforme les chapitres 8 et 9 en une revue de littérature systématique sur les législations applicables sur la gestion de données. Garde tout ce qui est déjà écrit dans ces chapitres, mais comble les données manquantes en fonction de l'élargissement du sujet.

- * Donne plus de détail de contexte sur le "Student Privacy Compass". Qui l'élabore ? Pour quel objectif ?

- * Donne plus de détail de contexte sur les 3 standards d'interopérabilité. Qui les élabore ? Qui les adopte ? pour quels objectifs ?

- * Va plus loin sur la National Pupil Database. Quelles sont les données disponibles ? Quels sont les règles d'accès et les usages ? Quelle est la technologie derrière ?

- * Y a-t-il d'autres bases de données équivalentes dans le monde ? Tu peux regarder aussi la Chine, Singapour ou des pays asiatiques ?

- * Sur X Road, explicite les données disponibles dans EHIS et les services proposés par les plateformes eKool, Stuudium. Quelles sont les entreprises qui développent ces plateformes. Leur modèle économique. Et les usages.

- * sur ce passage donne plus de données de contexte et le détail d'où on en est. "Executive Order (Trump, avril 2025) : réorientation vers la promotion de l'IA pour la compétitivité, avec un accent sur la formation de la main-d'œuvre et l'éducation STEM. Allègement des contraintes réglementaires pour les entreprises EdTech." J'ai besoin de 4 ou 5 paragraphes ici.

- * Go deeper sur ces 3 exemples (5 paragraphes par exemples avec le contexte, les objectifs, les produits disponibles, les évaluations existantes ou en cours) : "Californie (AB 1064) : création de sandboxes réglementaires permettant aux écoles de tester des outils IA dans un cadre contrôlé, avec évaluation indépendante et partage des résultats. Texas (HB 5282) : interdiction de l'utilisation de l'IA pour la notation sans validation indépendante par un enseignant, et obligation de divulgation aux parents lorsque l'IA est utilisée dans l'évaluation. New York (AB 6972) : création d'un groupe de travail sur l'IA en éducation et élaboration d'une politique modèle pour les districts scolaires, avec participation obligatoire des parents et des enseignants."

- * Je ne suis pas satisfait de tes analyses des rapports de la rand et Brookings. Focalise-toi sur les recommandations des rapports, mais dresse-en un inventaire exhaustif. Et reprends ces passages au début de la conclusion (qui doit devenir un chapitre 10 avec un inventaire des recommandations de politique publique réalisée). Ajoute une partie sur les recommandations de l'OCDE et de la Commission européenne.

- * Tes 10 recommandations sont très macro. J'ai besoin de choses beaucoup plus granulaires et opérationnelles.
- * Les annexes sont trop générales. J'ai besoin à chaque fois d'une étude détaillée sur chaque sujet (quitte à être plus long en taille).

Prompt 8 — Relance après interruption

Continue from where you left off.

Prompt 9 — Répétition du feedback structurel (retry)

Some feedback and build on:

- * Avoid blank pages. Go to a 100 pages production, including annex.
- * Provide Hypertext link as much as possible in the notes
- * In the exec sum: 1/ on neuroscience I like the Dehaene framework but be more explicit on where AI can be value added in the framework. 2/ the AI Act don't come into "recommendations" but into a category to be created: "existing regulations". Add other regulations in the exec sum.
- * Meta analysis: can you build a table with all analysis with a detailed view of the authors, the revue, the material, the product tested, the size of the sample and the evaluation protocol (RCT or not).
- * Develop the analysis in "Review of Educational Research"
- * Develop the concept of "cognitive paradox in Frontiers in Psychology"
- * I'm still lacking a detailed view on this : "L'Education Endowment Foundation (EEF) identifie neuf mécanismes pour une EdTech efficace, dont l'ancrage dans les processus pédagogiques, la création de mécanismes de feedback dynamiques et le soutien à l'enseignement adaptatif. Le Teaching and Learning Toolkit de l'EEF". please provide a 4-pagers. You can rely on what exist already in page 3 and expand. Concentrate everything in this place in the report.
- * Develop the UNESCO framework in one page
- * Develop projet AI4T. I need detailed vision of the product, the roll out, the budget and the evaluation. It should be 2 pages.
- * Go deeper in this 2 studies with a vision of what is in (5 paragraphs) and practical implications for classrooms: "Les applications comme Anki et Duolingo utilisent des algorithmes qui calculent cet espacement de manière personnalisée. Une méta-analyse sur 101 études confirme que la répétition espacée améliore la rétention à long terme avec une taille d'effet de $d = 0.80$, substantiel. [101] L'entrelacement – mélanger différentes catégories de problèmes lors de l'entraînement – renforce également la consolidation en favorisant l'abstraction. Une méta-analyse de [102] montre que l'entrelacement est supérieur à la pratique en bloc ($d = 0.49$)."
- * Sur la partie 5.3 dresse une revue de littérature systématique des études disponibles (2 pages) et ajoute un passage sur les implications.
- * Plutôt que "limites d'âge" parle plutôt de "frontières d'âge"

- * Explicite le mot "elenchus" (son origine)
- * Transforme les chapitres 8 et 9 en une revue de littérature systématique sur les législations applicables sur la gestion de données. Garde tout ce qui est déjà écrit dans ces chapitres, mais comble les données manquantes en fonction de l'élargissement du sujet.
- * Donne plus de détail de contexte sur le "Student Privacy Compass". Qui l'élabore ? Pour quel objectif ?
- * Donne plus de détail de contexte sur les 3 standards d'interopérabilité. Qui les élabore ? Qui les adopte ? pour quels objectifs ?
- * Va plus loin sur la National Pupil Database. Quelles sont les données disponibles ? Quels sont les règles d'accès et les usages ? Quelle est la technologie derrière ?
- * Y a-t-il d'autres bases de données équivalentes dans le monde ? Tu peux regarder aussi la Chine, Singapour ou des pays asiatiques ?
- * Sur X Road, explicite les données disponibles dans EHIS et les services proposés par les plateformes eKool, Stuudium. Quelles sont les entreprises qui développent ces plateformes. Leur modèle économique. Et les usages.
- * sur ce passage donne plus de données de contexte et le détail d'où on en est. "Executive Order (Trump, avril 2025) : réorientation vers la promotion de l'IA pour la compétitivité, avec un accent sur la formation de la main-d'œuvre et l'éducation STEM. Allègement des contraintes réglementaires pour les entreprises EdTech." J'ai besoin de 4 ou 5 paragraphes ici.
- * Go deeper sur ces 3 exemples (5 paragraphes par exemples avec le contexte, les objectifs, les produits disponibles, les évaluations existantes ou en cours) : "Californie (AB 1064) : création de sandboxes réglementaires permettant aux écoles de tester des outils IA dans un cadre contrôlé, avec évaluation indépendante et partage des résultats. Texas (HB 5282) : interdiction de l'utilisation de l'IA pour la notation sans validation indépendante par un enseignant, et obligation de divulgation aux parents lorsque l'IA est utilisée dans l'évaluation. New York (AB 6972) : création d'un groupe de travail sur l'IA en éducation et élaboration d'une politique modèle pour les districts scolaires, avec participation obligatoire des parents et des enseignants."
- * Je ne suis pas satisfait de tes analyses des rapports de la rand et Brookings. Focalise-toi sur les recommandations des rapports, mais dresses-en un inventaire exhaustif. Et reprends ces passages au début de la conclusion (qui doit devenir un chapitre 10 avec un inventaire des recommandations de politique publique réalisée). Ajoute une partie sur les recommandations de l'OCDE et de la Commission européenne.
- * Tes 10 recommandations sont très macro. J'ai besoin de choses beaucoup plus granulaires et opérationnelles.
- * Les annexes sont trop générales. J'ai besoin à chaque fois d'une étude détaillée sur chaque sujet (quitte à être plus long en taille).

Prompt 10 — Répétition du feedback structurel (retry 2)

Some feedback and build on:

- * Avoid blank pages. Go to a 100 pages production, including annex.
- * Provide Hypertext link as much as possible in the notes
- * In the exec sum: 1/ on neuroscience I like the Dehaene framework but be more explicit on where AI can be value added in the framework. 2/ the AI Act don't come into "recommendations" but into a category to be created: "existing regulations". Add other regulations in the exec sum.
- * Meta analysis: can you build a table with all analysis with a detailed view of the authors, the revue, the material, the product tested, the size of the sample and the evaluation protocol (RCT or not).
- * Develop the analysis in "Review of Educational Research"
- * Develop the concept of "cognitive paradox in Frontiers in Psychology
- * I'm still lacking a detailed view on this : "L'Education Endowment Foundation (EEF) identifie neuf mécanismes pour une EdTech efficace, dont l'ancrage dans les processus pédagogiques, la création de mécanismes de feedback dynamiques et le soutien à l'enseignement adaptatif. Le Teaching and Learning Toolkit de l'EEF". please provide a 4-pagers. You can rely on what exist already in page 3 and expand. Concentrate everything in this place in the report.
- * Develop the UNESCO framework in one page
- * Develop projet AI4T. I need detailed vision of the product, the roll out, the budget and the evaluation. It should be 2 pages.
- * Go deeper in this 2 studies with a vision of what is in (5 paragraphs) and practical implications for classrooms: "Les applications comme Anki et Duolingo utilisent des algorithmes qui calculent cet espacement de manière personnalisée. Une méta-analyse sur 101 études confirme que la répétition espacée améliore la rétention à long terme avec une taille d'effet de $d = 0.80$, substantiel. [101] L'entrelacement – mélanger différentes catégories de problèmes lors de l'entraînement – renforce également la consolidation en favorisant l'abstraction. Une méta-analyse de [102] montre que l'entrelacement est supérieur à la pratique en bloc ($d = 0.49$)."
- * Sur la partie 5.3 dresse une revue de littérature systématique des études disponibles (2 pages) et ajoute un passage sur les implications.
- * Plutôt que "limites d'âge" parle plutôt de "frontières d'âge"
- * Explicite le mot "elenchus" (son origine)
- * Transforme les chapitres 8 et 9 en une revue de littérature systématique sur les législations applicables sur la gestion de données. Garde tout ce qui est déjà écrit dans ces chapitres, mais comble les données manquantes en fonction de l'élargissement du sujet.
- * Donne plus de détail de contexte sur le "Student Privacy Compass". Qui l'élabore ? Pour quel objectif ?
- * Donne plus de détail de contexte sur les 3 standards d'interopérabilité. Qui les élabore ? Qui les adopte ? pour quels objectifs ?
- * Va plus loin sur la National Pupil Database. Quelles sont les données disponibles ? Quels sont les règles d'accès et les usages ? Quelle est la technologie derrière ?

- * Y a-t-il d'autres bases de données équivalentes dans le monde ? Tu peux regarder aussi la Chine, Singapour ou des pays asiatiques ?
- * Sur X Road, explicite les données disponibles dans EHIS et les services proposés par les plateformes eKool, Stuudium. Quelles sont les entreprises qui développent ces plateformes. Leur modèle économique. Et les usages.
- * sur ce passage donne plus de données de contexte et le détail d'où on en est. "Executive Order (Trump, avril 2025) : réorientation vers la promotion de l'IA pour la compétitivité, avec un accent sur la formation de la main-d'œuvre et l'éducation STEM. Allègement des contraintes réglementaires pour les entreprises EdTech." J'ai besoin de 4 ou 5 paragraphes ici.
- * Go deeper sur ces 3 exemples (5 paragraphes par exemples avec le contexte, les objectifs, les produits disponibles, les évaluations existantes ou en cours) : "Californie (AB 1064) : création de sandboxes réglementaires permettant aux écoles de tester des outils IA dans un cadre contrôlé, avec évaluation indépendante et partage des résultats. Texas (HB 5282) : interdiction de l'utilisation de l'IA pour la notation sans validation indépendante par un enseignant, et obligation de divulgation aux parents lorsque l'IA est utilisée dans l'évaluation. New York (AB 6972) : création d'un groupe de travail sur l'IA en éducation et élaboration d'une politique modèle pour les districts scolaires, avec participation obligatoire des parents et des enseignants."
- * Je ne suis pas satisfait de tes analyses des rapports de la rand et Brookings. Focalise-toi sur les recommandations des rapports, mais dresses-en un inventaire exhaustif. Et reprends ces passages au début de la conclusion (qui doit devenir un chapitre 10 avec un inventaire des recommandations de politique publique réalisée). Ajoute une partie sur les recommandations de l'OCDE et de la Commission européenne.
- * Tes 10 recommandations sont très macro. J'ai besoin de choses beaucoup plus granulaires et opérationnelles.
- * Les annexes sont trop générales. J'ai besoin à chaque fois d'une étude détaillée sur chaque sujet (quitte à être plus long en taille).

Phase 4 — Corrections ciblées

Prompt 11 — Compléter le chapitre parents + données RAND sur le délestage cognitif

Plusieurs compléments :

- * Le chapitre 4 sur l'effet sur les parents est beaucoup écourté, peux-tu le compléter à nouveau (cible 2 pages).

Une étude RCT (n = 120) montre que les étudiants utilisant ChatGPT pour leurs révisions obtiennent un score de rétention de 57,5 % contre 68,5 % pour les méthodes traditionnelles, soit un Cohen's d = 0,68 (effet large). Ce résultat illustre le « délestage cognitif » de Risko et Gilbert (2016).

Les données RAND confirment : l'usage de l'IA pour les devoirs est passé de 48 % à 62 % des collégiens et lycéens entre mai et décembre 2025. 67 % estiment que l'IA « nuira à la pensée critique ».

Ne change rien du reste.

Prompt 12 — Clarification : lien entre études et KhanMigo

Plusieurs compléments : * Le chapitre 4 sur l'effet sur les parents est beaucoup écourté, peux-tu le compléter à nouveau (cible 2 pages).
En quoi les 2 études ci-dessous se rattachent-elles à KhanMigo ?
"Une étude RCT (n = 120) montre que les étudiants utilisant ChatGPT pour leurs révisions obtiennent un score de rétention de 57,5 % contre 68,5 % pour les méthodes traditionnelles, soit un Cohen's d = 0,68 (effet large). Ce résultat illustre le « délestage cognitif » de Risko et Gilbert (2016). Les données RAND confirment : l'usage de l'IA pour les devoirs est passé de 48 % à 62 % des collégiens et lycéens entre mai et décembre 2025. 67 % estiment que l'IA « nuira à la pensée critique ».

Prompt 13 — Restaurer le passage sur les frontières d'âge + étude ABCD

Tu as écourté le passage sur les frontières d'âge également reviens à ta précédente rédaction qui était meilleure. J'ai besoin d'une vision détaillée de l'étude ABCD

Prompt 14 — Problème technique : fichier illisible, régénération

Je n'arrive pas à ouvrir le fichier peux-tu le générer à nouveau ?

Phase 5 — Enrichissement documentaire

Prompt 15 — Ajout de How People Learn 2 (NAS) et doctrine DoE américain

[Fichier(s) joint(s)]

Complète ton document de 2 façons :

1/ Ajoute dans la partie Neurosciences de ton papier avec des éléments issus de ce rapport de l'académie nationale des sciences américaines. Enrichis aussi la bibliographie.

2/ Après le chapitre 7, ajoute un encadré de 2 pages sur la doctrine du DoE américain à partir du rapport joint, dont tu détailleras le cadre de pensée et les recommandations.

Ne retire rien du document existant.

Prompt 16 — Ajout du cadre d'usage du MEN + bibliographie MEN complémentaire

[Fichier(s) joint(s)]

Après le chapitre 8 Peux-tu ajouter un encadré de 2 pages décrivant le cadre d'usage du Ministère de l'Éducation nationale sur IA en éducation. Le document est en pièce jointe. Résume le en restant proche du contenu du texte. Ajoute-le à la bibliographie.

Complète également la bibliographie avec les références suivantes :

Direction du numérique pour l'éducation, Bureau du soutien à l'innovation numérique et à la recherche appliquée (DNE TN2), « Enseigner et apprendre à l'ère de l'intelligence artificielle : Portfolio du GTnum #Scol_IA », Éducation, numérique et recherche, juillet 2023, <https://edunumrech.hypotheses.org/9593>

Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, DNE TN2, « Intelligence artificielle et éducation ouverte : Portfolio du GTnum #IA_EO », Éducation, numérique et recherche, septembre 2023, <https://edunumrech.hypotheses.org/9781>

Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, Direction du numérique pour l'éducation, bureau de l'accompagnement des usages et de l'expérience utilisateur (DNE TN3), « Les systèmes d'IA générative dans les enseignements », Eduscol, Lettre ÉduNum Thématique, n° 21, janvier 2024, <https://eduscol.education.fr/document/56106/download>

Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, DNE TN3, « Usages pédagogiques des IA génératives en Lettres », Lettre ÉduNum Thématique, n° 24, décembre 2024, <https://eduscol.education.fr/document/61966/download?attachment>

Allouche E., « Intelligence artificielle et éducation : Apports de la recherche et enjeux pour les politiques publiques », Éducation, numérique et recherche, édition trilingue, ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, Direction du numérique pour l'éducation, bureau du soutien à l'innovation numérique et à la recherche appliquée (DNE TN2), janvier 2025, <https://doi.org/10.58079/137f6>

Prompt 17 — Ajout lignes directrices Commission européenne + encadré Lalilo

Complète en ajoutant 2 pages sur les lignes directrices de la Commission européenne : <https://digital-strategy.ec.europa.eu/fr/news/commission-publishes-guidelines-support-teachers-key-digital-education-priorities>

Fais aussi un encadré sur Lalilo. Tu peux t'appuyer sur les éléments ci-dessous mais va chercher des éléments complémentaires :

[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.]

« 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)

Phase 6 — Fusion et restructuration

Prompt 18 — Fusion avec la revue Digital Delusion (Horvath & Lodge)

[Fichier(s) joint(s)]

Fusionne les deux documents. Le document maître est la revue IA et éducation. Complète-la avec les différents points qui figurent dans la revue ci-jointe. Réorganise le plan si besoin mais ne retire rien de chacun des documents. Et fusionne les bibliographies des deux documents.

Prompt 19 — Restructuration complète du plan en 12 chapitres

Il y a encore beaucoup de travail. Restructure le document de la façon suivante :

- * Appelle le chapitre 1 "état des savoirs sur l'efficacité de l'IA dans l'apprentissage" et dans lequel tu distingues : "état des savoirs sur l'efficacité de l'IA hors de la salle de classe" et "état des savoirs sur l'efficacité de l'IA hors de la salle de classe".
- * Le 31. Doit être dans le premier chapitre.
- * Ajoute un 1.3 sur 'état des lieux sur l'utilisation de l'IA" dans lequel tu ajoutes des résultats d'une recherche approfondie sur les chiffres d'adoption et les usages des principaux modèles d'IA (ChatGPT en particulier). Tu peux regarder notamment le sondage du CDT. Et réutiliser ce qui est aujourd'hui dans l'annexe H (in extenso)
- * Renomme le chapitre 3 (qui devient chapitre 2) "état des savoirs sur l'efficacité de l'IA auprès des enseignants" dans lequel tu distingues : 21. Les solutions existantes 2.2 Etat des lieux des pratiques (trouve les chiffres donnant une vision des taux d'utilisation de l'IA par les enseignants dans les

principaux pays étudiés) et 2.3 les "référentiels disponibles" (les 3.3 et 3.4).

- * Crée un nouveau chapitre 4 "état des savoirs sur les risques sanitaires et cognitifs de l'utilisation de l'IA" dans lequel tu pourras faire figurer le 1.6 et le 2.2. L'étude ABCD doit aussi être traitée dans cette partie.

- * Avant le chapitre 7 ajoute un chapitre "Les EdTech : mise en perspective historique". Tu peux utiliser davantage d'éléments issu du document digital Delusion ici. Et intègre ce qui se trouve aujourd'hui au Chapitre 10bis.

- * Appelle le chapitre X : "Vision des politiques publiques" Fais un résumé de 5 pages ici des annexes Estonie, Corée du Sud, Finlande, Royaume-Uni, les Etats-Unis (ne retouche aucun annexe).

- * Ajoute un chapitre XI : "Inventaire des principales recommandations des politique publique".

- * Sois beaucoup plus détaillé sur les recommandations de la Brookings.

- * Garde tout le reste à l'identique. Ne retire rien.

- * Organise la bibliographe en la découpant en fonction des chapitres. Vérifie que tu as bien l'intégralité de la bibliographie qui était dans le document "digital delusion" (je ne le crois pas).

Prompt 20 — Relance du travail de restructuration

Relance ce travail

Phase 7 — Consolidation

Prompt 21 — Consolidation V6 retravaillée : mise en page unifiée, vérification doublons, bibliographie

[Fichier(s) joint(s)]

Voici une version retravaillée dans laquelle j'ai repris l'ordre des paragraphes et ajouté des paragraphes issus d'une autre étude réalisée par ChatGPT. Je souhaite que tu consolides l'ensemble en 1/ Assurant une mise en page unifiée de l'ensemble du document à partir de ton template initial 2/ Vérifie et modifie si besoin les paragraphes que j'ai soulignés en jaune, en t'assurant qu'il n'y a pas de doublon. Signale-moi au fur et à mesure ces modifications et je les validerai. 3/ Complète la bibliographie chaque fois qu'une étude est citée dans les paragraphes ajoutés.

Prompt 22 — Développer Squirrel AI et DreamBox (traitement d'un doublon)

Pour le doublon 1, je souhaite que tu développes les évaluations Squirrel AI et DreamBox dans le cœur du document. Pour le reste c'est OK.

Phase 8 — Intégration OCDE

Prompt 23 — Intégration du rapport OCDE Digital Education Outlook 2026 (240 pages)

[Fichier(s) joint(s)]

J'ai repris le document en pièce jointe. Nous sommes quasiment au produit final mais je viens de voir ce rapport récent de l'OCDE qui est très complet et contient beaucoup de données intéressantes. Peux-tu compléter le rapport avec les données de l'OCDE notamment sur les parties 1.3, 2.2.1. et 12.4 mais pas seulement. Je voudrais que tu revoies aussi les chapitres 1, 2 et 3 en :

- * ajoutant dans chaque chapitre un nouveau passage d'une page sur les "données issues du récent rapport de l'OCDE".
- * Reprenant les études de cas détaillées du chapitre 9 en point 2.1.3 et en faisant référence au framework de l'OCDE (celui du chapitre 7 du rapport) dans la partie 2.2.1 à travers un encadré d'une page.

Je voudrais aussi que tu reprennes les recommandations de ce rapport dans la partie recommandation.

Prompt 24 — Confirmation : repartir de la dernière version attachée

Parfait. Repars bien de la dernière version du document que j'ai attaché (avec mes modifications)

Phase 9 — Intégration Stanford

Prompt 25 — Ajout de la revue Stanford SCALE 2026 dans la section 1.1.1

[Fichier(s) joint(s)]

Peux-tu compléter le document pour ajouter les résultats de cette revue de littérature de Stanford. Dans la partie 1.1.1. Produits une page supplémentaire avec ce document et ne retire rien de l'étude en cours.

Prompt 26 — Intégration des 20 études Stanford : tableau, encadrés bleus, bibliographie (100% couverture)

Fais 3 choses :

- * Ajoute l'étude de Stanford dans les revues de littératures du tableau page 14

* Regarde en détail l'ensemble des études citées dans les 2 tableaux attachés et, si elles ne sont pas déjà citées, augmente le document au fil de l'eau par un paragraphe pour chaque étude décrivant l'objet de l'étude, l'équipe de recherche, le protocole de recherche et les résultats obtenus ; fais le sous la forme d'un encadré de couleur bleu isolé du reste du texte ; veille à la positionner au bon endroit dans le rapport.

* Augmente la bibliographie de ces références en veillant à les positionner au bon endroit.

Je veux retrouver 100% de ces références. Ne retire aucun paragraphe du texte existant sauf s'il y a des doublons avec les études concernées.

Phase 10 — Notes de bas de page

Prompt 27 — Compléter les 98 notes de bas de page vides (100% couverture)

La moitié des notes en bas de page restent blanches. Peux-tu les reprendre et les compléter une à une ? Je veux que 100 % des notes soient documentées. Ne retouche pas le texte en dehors de cette opération.

Phase 11 — Veille récente

Prompt 28 — Recherche de publications depuis le 28 avril 2026

Y a-t-il eu des publications depuis le 28 avril qui pourrait compléter le rapport ?

Prompt 29 — Intégration des 7 sources récentes dans le document

Oui intègre l'ensemble de ces éléments dans le document : les 7 points.

Phase 12 — Documentation

Prompt 30 — Publication du document décrivant tous les prompts

Publie un Word décrivant tous mes prompts pour élaborer ce fichier

Annexe 2 : Retour d'expérience sur les usages de l'IA générative au collège Aimé Césaire des Ulis

Contexte et objectifs de la visite

Le **mercredi 20 mai 2026**, une délégation du groupe de travail « IA et Éducation », s'est rendue au **collège Aimé Césaire des Ulis** (académie de Versailles). Étaient présents :

- Etienne Champion, recteur de l'académie de Versailles et membre du groupe de travail ;
- Joséphine Corcoral, directrice adjointe du CIANum ;
- Romane Guéchet, responsable de la communication et des médias du CIANum.

Le collège compte près de 700 élèves et se situe en **Réseau d'Éducation Prioritaire** (REP). Il dispose de plusieurs dispositifs éducatifs spécifiques : SEGPA, ULIS, UPE2A, Bilangue (Arabe et Portugais), Cordées de la réussite, École ouverte et stages de réussite. Depuis un an, l'établissement bénéficie du label « **Cité éducative** »²⁰⁷.

Cette visite avait pour objectif d'échanger avec des enseignants du secondaire sur leurs cas d'usages concrets de l'IA générative, leurs retours d'expérience, ainsi que les enjeux pédagogiques, éthiques et organisationnels liés à son déploiement.

À noter : Les usages et outils évoluent rapidement, rendant certains constats possiblement obsolètes à court terme. Par ailleurs, cette étude de cas, bien qu'inspirante, n'est pas représentative de l'ensemble des établissements français. Elle illustre cependant les bonnes pratiques lorsque celles-ci sont accompagnées et encadrées.

Présentation des projets IA au collège et échange avec la direction

Monsieur Philippe Guégan, principal du collège, par ailleurs membre d'un comité de pilotage départemental et académique sur le déploiement du numérique dans les établissements scolaires, a présenté les résultats d'un sondage interne mené auprès des enseignants en septembre 2025 (10 réponses sur 60 enseignants). Les principaux enseignements en sont les suivants :

- **Des usages encore émergents** : l'IA est perçue comme un outil récent, nécessitant un recul insuffisant pour en évaluer pleinement l'impact.
- **Un outil d'accompagnement, non de substitution** : les enseignants l'utilisent comme support pédagogique, sans crainte d'être remplacés, mais avec une méfiance quant à son impact sur leur crédibilité auprès des élèves. Monsieur Guégan souligne au contraire un accueil favorable de la part des élèves.

²⁰⁷ Copilotées par l'ANCT et la DGESCO, les Cités éducatives visent à intensifier les prises en charges éducatives des enfants et des jeunes, de 0 à 25 ans, avant, pendant, autour et après le cadre scolaire. Elles consistent en une grande alliance des acteurs éducatifs dans les quartiers prioritaires de la politique de la ville : parents, services de l'État, des collectivités, associations, habitants.

- **Un gain de temps et recentrage sur l'élève** : l'IA permet aux enseignants de libérer du temps (rédaction de comptes-rendus, amélioration de textes, génération de résumés) pour se consacrer davantage à l'accompagnement individuel des élèves.
- **Des enjeux éthiques et pédagogiques** : l'équipe insiste sur la nécessité de développer l'esprit critique des élèves, notamment en Réseau d'Éducation Prioritaire (REP), où l'immédiateté de l'information peut davantage nuire à la réflexion que chez les élèves issus d'établissements et milieux sociaux plus favorisés.

La stratégie IA du collège poursuit **quatre objectifs pédagogiques** :

- Utiliser l'IA comme **outil d'accompagnement** pédagogique, et non de substitution.
- Développer des **supports plus adaptés** aux besoins des élèves (devoirs, *flashcards*, sujets adaptés, etc.).
- Faciliter la **différenciation pédagogique**.
- **Gagner du temps** pour les enseignants.

Cette stratégie s'accompagne de **points de vigilance pour une utilisation de l'IA raisonnée et encadrée**. Tout d'abord, **s'agissant de la protection des données et du RGPD**, il est essentiel d'utiliser des outils conformes et respectueux de la vie privée, et d'être vigilant sur la collecte des données. De plus, une attention porte sur **la sobriété numérique**, ce qui implique de sensibiliser les utilisateurs à l'impact environnemental des outils d'IA et d'inciter à réfléchir sur une utilisation raisonnée et pertinente. Par ailleurs, **les enjeux éthiques et éducatifs** sont centraux. Ici, le développement de l'esprit critique face aux contenus générés par l'IA et la sensibilisation aux risques de plagiat, au respect du travail des artistes et auteurs, ainsi qu'aux fakes news et aux enjeux liés à l'identité numériques est un aspect prioritaire. Enfin, une **vigilance sur les usages excessifs** de ces outils s'impose. Cela inclut la prévention des risques de dépendance numérique, du désengagement de la réflexion et de la perte d'autonomie, ainsi que des conséquences graves telles que l'isolement ou la diminution des interactions sociales.

Des **bonnes pratiques** ont également été établies pour encadrer l'IA avant toute utilisation. Pour les enseignants, plusieurs actions sont prévues : la formation inclut le partage de supports adaptés, la transmission de bonnes pratiques avec les élèves ainsi que l'adaptation des outils en fonction des besoins pédagogiques. Par ailleurs, une Formation d'initiative locale (FIL) sera proposée durant l'année scolaire 2026-2027 pour les accompagner sur les enjeux liés à l'IA.

Concernant les élèves, la formation porte sur trois axes principaux :

- La sensibilisation aux risques associés à l'IA ;
- La compréhension des limites de ces technologies ;
- L'apprentissages des bonnes pratiques numériques.
- Concrètement, cela se traduit par : **Un parcours conjoint à l'EMI** (Éducation aux Médias et à l'Information) : une heure de séance tous les quinze jours, animée par la professeure documentaliste du collège pour toutes les classes de sixième et des interventions ponctuelles pour les autres niveaux. **Prévention des risques liés aux écrans** : Interventions d'infirmières scolaires sur les dangers des écrans et l'importance du sommeil. **Projets ludo-pédagogiques** : Utilisation de l'IA pour des activités engageantes.

Toutefois, des **freins** existent :

- **Turnover élevé des enseignants** : certains sont affectés dans cet établissement sans l'avoir choisi et cherchent à en partir rapidement, ce qui limite la pérennisation des pratiques.

- **Jeunesse et manque d'expérience** : les enseignants en début de carrière priorisent la gestion de classe et l'établissement de leur légitimité pédagogique avant d'innover.
- **Fracture numérique et public spécifique de l'éducation prioritaire** : les élèves, issus de 80 nationalités différentes, bénéficient peu d'un accompagnement parental (manque d'outils à domicile, rupture numérique).

Retours d'expérience des enseignants par discipline

Les enseignants utilisent majoritairement l'IA en dehors de la classe. Le principal du collège donne l'exemple de **Pearltrees**, des manuels numériques à la manière de perles, permettant à l'enseignant de constituer son cours et d'assembler les modules selon ses besoins. Pearltrees intègre un outil d'IA permettant d'avoir des évaluations différenciées pour éviter la triche, adapter les modules aux spécificités des élèves, de générer des exercices, etc. **L'outil offre la possibilité d'avoir des assistants numériques inclusifs comme outils de différenciation pédagogique permettant l'accompagnement d'élèves allophones, dyslexiques, UPE2A, SEGPA, et ayant d'autres besoins particuliers.**

Néanmoins, les usages de l'IA en classe sont plus limités. Le pas est plus difficile à franchir.

Au sujet de l'évaluation, il ressort – comme lors des auditions – que certains professeurs renoncent aux devoirs à la maison. Se pose alors la question des pratiques à mettre en place pour valoriser le travail personnel de l'élève d'une part, et de comment vérifier l'apprentissage d'autre part.

« L'idéal serait de développer nos propres outils pédagogiques, en nous inspirant des solutions déjà mises en œuvre pour l'enseignement du français, mais en les étendant à l'échelle nationale et à l'ensemble des disciplines » précise un intervenant.

Technologie

En mai 2024, les classes de 4^e ont suivi un parcours PIX dédié à l'IA. Tous les élèves ont complété les deux modules « **Apprenants** » pour développer leur culture numérique, comprendre le fonctionnement des outils d'IA, identifier leurs apports dans les domaines scolaire et professionnel et enfin prendre conscience des nombreux risques (fiabilité des informations, protection des données, biais, dépendance, éthique).

Ces activités ont **stimulé des échanges** pour promouvoir un **usage responsable et critique** des technologies.

Mathématiques

L'IA est **utilisée de façon hétérogène entre les enseignants.** Elle peut servir à :

- **Créer une affiche** pour le club de maths ;
- **Générer des supports** (*flashcards* sur les fractions et les probabilités, sujets adaptés aux élèves à besoins spécifiques) ;
- **Corriger et reformuler des documents** (devoirs, communications aux familles) pour **garantir leur qualité et gagner du temps** ;
- Diversification des contenus et lutte contre la triche (par exemple avec génération de sujets A et B pour les évaluations).

- ⇒ **Précautions** : une **anonymisation systématique** des données personnelles avant traitement ; une vérification et ajustement des contenus générés et de la transparence (mention ou logo indiquant l'assistance de l'IA)

L'objectif est de sensibiliser les élèves à un usage raisonné **de l'IA** (vie privée, droit d'auteur, consommation énergétique, distinction entre assistance et triche) d'une part ; et de **présenter des outils respectueux des données** d'autre part. A cette fin, plusieurs actions sont menées notamment une discussion **informelle** avec une classe de 5^e sur les enjeux de l'IA, ainsi que la projection **d'un reportage** (« La fabrique à idiots ») pour aborder ses **limites et bénéfices**.

Anglais

L'IA facilite la différenciation pédagogique dans cette discipline et permet par exemple :

- **Génération d'exercices adaptés** au niveau des élèves et aux compétences visées, avec relecture et ajustement par l'enseignant ;
- **Projection et correction collective des exercices en classe.**

Lettres modernes

En lettres modernes, l'IA est utilisée pour générer des exercices de grammaire, qui sont ensuite projetées en classe pour des séances de révision. Un concours d'écriture intitulé « Moi et mon IA » a également été mis en place pour encourager une utilisation réfléchie de ces outils. Dans ce cadre, les élèves rédigent un récit d'une à deux pages incluant une interaction avec une IA. Ils y joignent une note explicative détaillant leur utilisation de l'IA, ce qui favorise une approche critique et créative. Deux outils sont particulièrement privilégiés :

- **Écrivain** : *Chatbot* d'aide à la rédaction ;
- **Mizou** : *Flashcards* pour travailler l'**argumentation** et la **mémorisation** en 3^e.

Cependant, **certains obstacles ont été rencontrés**. Par exemple, des usages excessifs de l'IA par des élèves de 3^e pour leur carnet autobiographique ont conduit à un désengagement et limité une utilisation plus approfondie de ces outils.

Professeure documentaliste

L'IA est abordée à **plusieurs reprises** dans l'année :

- **Plagiat** : Sensibilisation au **vol de travaux artistiques** par l'IA générative ;
- **Identité numérique** : Collecte de données par les IA comme ChatGPT ;
- **Fake news** : Exemples d'**arnaques facilitées par l'IA** ;
- **Pollution numérique** : Impact environnemental ;
- **Risques cognitifs** : Atrophie cognitive, isolement social, désengagement réflexif.

La professeure documentaliste se dit ouverte à l'IA pour ses avantages pratiques et convaincue de la nécessité d'enseigner les risques avant tout usage.

Physique-chimie

En physique-chimie, l'IA est utilisée pour créer des images permettant d'illustrer les cours de manière claire et visuelle. Elle permet également d'adapter des sujets pour les élèves ULIS, bien que ces adaptations nécessitent des ajustements manuels pour répondre précisément à leurs besoins. En classe, l'IA sert à valider ou compléter des réponses, offrant ainsi un soutien immédiat aux élèves. Enfin, elle est employée pour générer des QCM, qui requièrent cependant des ajustements pour garantir leur pertinence pédagogique.

Les enseignants insistent sur plusieurs points essentiels qu'ils transmettent aux élèves :

- L'IA **ne remplace pas la réflexion** ;
- Elle **commet des erreurs** ;
- Il est indispensable de **vérifier les sources** et d'effectuer un **entraînement personnel**.

Synthèse des constats et recommandations

Suite à cette visite et « immersion » au sein du Collège Aimé Césaire des Ulis, plusieurs constats et recommandations peuvent être dressés :

- L'IA est perçue comme un **levier pour la différenciation pédagogique** et la **libération de temps**, mais son adoption en classe reste **limitée**.
- Les **modalités d'évaluation** évoluent (abandon des devoirs à la maison au profit d'activités interactives), mais posent la question du **maintien du travail personnel**.
- **L'IA pourrait également servir de support à la formation des enseignants**, leur permettant de généraliser des pratiques innovantes et de monter en compétences. Pour maximiser son impact, il serait judicieux d'intégrer des mécanismes d'autoformation, avec des outils directement accessibles aux professeurs, afin qu'ils puissent se former de manière autonome et adaptée à leurs besoins.
- **Pour éviter toute dérive et garantir que ces outils servent véritablement les intérêts des élèves, il est essentiel de proposer une plateforme ou un logiciel ouvert, mis à disposition des enseignants et des apprenants.** Cette plateforme devrait être suffisamment flexible pour permettre aux enseignants de sélectionner les ressources les plus adaptées à leur pédagogie, tout en respectant des critères stricts, tant sur le plan pédagogique que sur les enjeux éthiques du numérique et de l'empreinte environnementale.
- **Par ailleurs, les modalités d'évaluation du travail à la maison ont déjà évolué** (même si les enseignants n'utilisent pas l'IA) : ils ne donnent plus de devoirs à la maison, ou les remplacent par des formats plus interactifs, comme des jeux, des quiz ou des auto-évaluations, qui se révèlent plus efficaces pour les résultats des élèves. Cependant, cette transition soulève une question importante : en réduisant ou en supprimant le travail à la maison, on risque de voir disparaître chez les jeunes les habitudes de travail personnel et le goût de l'effort. Ce point constitue un angle mort qu'il faudra absolument prendre en compte.
- **Enfin, pour renforcer l'accompagnement des élèves, il serait pertinent de mettre en place des ateliers numériques dédiés aux parents.** Ces modules leur permettraient de mieux comprendre les outils utilisés par leurs enfants et de les accompagner de manière plus efficace dans leur parcours scolaire.

Le Conseil de l'intelligence artificielle et du numérique (CIANum) est une instance indépendante placée auprès de la ministre chargée de l'intelligence artificielle et du numérique. Il a pour mission d'étudier toute question relative au développement du numérique et de l'intelligence artificielle ainsi que leur impact sur la société, l'économie et les territoires. Il est composé d'un collège interdisciplinaire de membres nommés par le Premier ministre et de parlementaires nommés par les présidents du Sénat et de l'Assemblée nationale. Il est institué par le décret du 8 décembre 2017 modifié par le décret du 4 septembre 2025.

Nous contacter

info@conseil-ia-numerique.fr

Conseil de l'intelligence artificielle et du numérique

6 rue Louise Weiss,

75013 Paris

