



**NEXUS**  
THINK TANK

ÉDUCATION ET FORMATION

# IA à l'école

Neuf thèses sur les designs pédagogiques de la transition cognitive

## QUESTION DE RECHERCHE

« *Quels designs pédagogiques permettent que l'intelligence artificielle générative soutienne effectivement l'apprentissage scolaire, et ne se substitue pas à l'effort cognitif qui en est la condition ?* »

## Sommaire

I. Note de cadrage : méthode, périmètre, hiérarchisation des sources

II. Cartographie des positions

II.1 Positions ministérielles françaises

II.2 Positions parlementaires françaises

II.3 Institutions et autorités administratives indépendantes françaises

II.4 Positions syndicales et représentation des familles

II.5 Chercheurs français — sciences cognitives et sciences de l'éducation

II.6 Positions internationales : UNESCO, OCDE, Conseil de l'Europe, Commission UE

III. État empirique synthétique

III.1 L'étude pivot Bastani 2025

III.2 Cinq convergences empiriques solides

III.3 Mécanismes cognitifs documentés

IV. Inventaire des designs pédagogiques évalués

V. État des expérimentations françaises et internationales

V.1 France : MIA Seconde, expérimentations académiques, données d'usage

V.2 Comparaisons internationales pays par pays

VI. Effets sur les enseignants et le métier

VII. Enjeux d'équité

VIII. Cadre AI Act et conséquences opérationnelles

IX. Articulation aux trois transitions transverses Nexus

X. Controverses identifiées du champ

XI. Angles morts et limites empiriques

XII. Cahier des sources

XII.1 Premier rang : peer-reviewed, autorités publiques

XII.2 Second rang : think tanks, presse de référence, enquêtes professionnelles

XII.3 Préprints à manier avec prudence

XII.4 Sources écartées

XII.5 Fiches d'études-clés

XII.6 Note méthodologique de triangulation

XIII. Note d'usage et clôture

## I. Note de cadrage : méthode, périmètre, hiérarchisation des sources

### I.1 Objet de la synthèse méthodologique

La présente synthèse méthodologique a pour fonction de restituer l'état de l'art empirique disponible, à la date de mai 2026, sur la question des designs pédagogiques de l'IA en milieu scolaire. Elle est conçue comme le compagnon empirique du rapport de fond Rapport\_IA\_Ecole\_v1-0, qui en tire neuf thèses formalisées. Lorsque le rapport de fond synthétise et conclut, la synthèse méthodologique inventorie, hiérarchise et identifie les controverses. Les deux documents sont à lire conjointement.

Cette répartition des rôles est inscrite dans la Charte Nexus (section VI.4). Le format synthèse méthodologique « privilégie la rigueur de l'inventaire et l'identification des controverses sur la formulation de thèses propres ». Le format rapport de fond « déploie une argumentation longue » et formalise les thèses Nexus avec leurs conditions de réfutation. Aucun des deux ne se substitue à l'autre.

### I.2 Périmètre

Le périmètre est strictement scolaire : primaire et secondaire. L'enseignement supérieur est exclu, sauf lorsque des études supérieures éclairent par défaut le scolaire — auquel cas la limite de validité externe est explicitement signalée. La formation professionnelle continue, la formation des adultes, et la formation en apprentissage sont également exclues à ce stade. Le périmètre géographique principal est la France, avec mobilisation comparée d'une dizaine de pays de référence.

Le périmètre thématique est celui des designs pédagogiques, c'est-à-dire les architectures d'usage qui définissent le rôle attribué à l'IA dans une séquence d'apprentissage. Sont écartées : la gestion administrative des établissements, l'orientation scolaire algorithmique (Affelnet, Parcoursup), la formation continue des enseignants comme objet d'apprentissage en lui-même, l'évaluation sommative.

La date de référence des données est mai 2026, sauf mention contraire. Toute lecture postérieure à août 2026 devra prendre en compte les évolutions intervenues, notamment l'entrée en application intégrale de l'AI Act (2 août 2026) et la publication éventuelle des résultats J-PAL Europe / Sciences Po sur MIA Seconde.

### I.3 Hiérarchisation des sources mobilisées

Conformément à la règle méthodologique de hiérarchisation explicite des sources de la Charte Nexus (section VI.3), les sources sont classées en trois rangs.

Premier rang. Institutions internationales reconnues (OCDE, FMI, Banque mondiale, Eurostat, AIE, OMS, UNESCO), institutions publiques nationales (Insee, Banque de France, France Stratégie, Cour des comptes, autorités administratives indépendantes), publications scientifiques peer-reviewed, rapports parlementaires. Ce rang fournit l'épine dorsale empirique de la synthèse.

Second rang. Rapports de think tanks reconnus (RAND, Brookings, NEPC, Pew, Gallup, IFÉ ENS Lyon, CNECSO), études commerciales d'instituts établis (avec mention explicite de la nature commerciale), enquêtes d'opinion menées par des instituts professionnels (Ifop, Ipsos, Sphinx, Heaven), presse quotidienne de référence (Le Monde, Les Échos, Financial Times, NYT) et presse économique et éducative spécialisée (Café Pédagogique, AEF Info, Education Week, EdSurge).

Sources écartées. Sites de contenu marketing déguisés en études (sites SEO sans démarche éditoriale identifiable), enquêtes de qualité méthodologique douteuse même si abondamment relayées, contenus produits par des acteurs ayant un intérêt commercial direct dans le sujet sans déclaration explicite. Une

source particulière (webolescope.com sur l'expérimentation Versailles) a été écartée pour indices de désinformation possible / contenu généré.

Préprints. Une catégorie spécifique de sources nécessite un traitement à part : les préprints (arXiv, SSRN, OSF) qui circulent dans le débat public avant peer review. La synthèse les mobilise lorsqu'ils sont méthodologiquement crédibles, en signalant systématiquement leur statut. Plusieurs préprints centraux du champ sont traités comme évidence dans le débat public sans avoir passé le filtre du peer review : Kosmyna (MIT) 2025, Lehmann 2025, Tutor CoPilot Stanford 2024, Leite K-12 2025. La synthèse les utilise tout en alertant le lecteur.

Note sur les conflits d'intérêts. Une fraction non négligeable des études citées sont financées ou conduites par les éditeurs d'IA eux-mêmes : Microsoft Research (Lee 2025), Banque mondiale + Microsoft Copilot (Edo State 2025), Google Research (Patterson), MIT Media Lab (financements corporate), AFT-OpenAI-Microsoft (formation enseignante US). Cela n'invalide pas mécaniquement les résultats, mais impose une pondération systématique, qui est signalée à chaque mobilisation.

#### **I.4 Méthode de triangulation**

Conformément à la règle méthodologique de triangulation de la Charte Nexus (section VI.3), les données structurantes ont été triangulées sur au moins deux sources indépendantes. Pour les données contextuelles, une seule source de premier rang a été jugée suffisante. La section XII.6 restitue le détail des triangulations effectuées et les divergences qui subsistent.

#### **I.5 Structure du document**

La synthèse est structurée en treize sections :

- la section I (présente note) expose le cadrage méthodologique ;
- la section II cartographie les positions des acteurs (ministérielles, parlementaires, institutionnelles, syndicales, scientifiques, internationales) ;
- la section III synthétise l'état empirique : étude pivot, convergences, mécanismes cognitifs ;
- la section IV inventorie les designs pédagogiques évalués ;
- la section V restitue l'état des expérimentations françaises et internationales ;
- la section VI documente les effets sur les enseignants et le métier ;
- la section VII traite les enjeux d'équité ;
- la section VIII expose le cadre AI Act et ses conséquences opérationnelles ;
- la section IX articule la matière aux trois transitions transverses Nexus ;
- la section X identifie explicitement les controverses du champ ;
- la section XI signale les angles morts et limites empiriques ;
- la section XII propose un cahier des sources hiérarchisé et commenté ;
- la section XIII clôt par une note d'usage.

## II. Cartographie des positions

La cartographie qui suit restitue les positions publiquement exprimées par les principaux acteurs du champ français et international, à la date de référence. Elle est conduite, conformément à la section III.1 de la Charte Nexus, dans un esprit d'analyse argumentée et non de soutien ou d'opposition partisane. La diversité des positions exprimées dans le champ est restituée comme un fait, sans qualification militante.

### II.1 Positions ministérielles françaises

L'État français a opéré un tournant doctrinal en juin 2025 avec la publication du Cadre d'usage de l'IA en éducation par le MENESR (14 juin 2025), fruit d'une consultation nationale conduite de janvier à mai 2025. Le cadre autorise sous conditions, privilégie les solutions libres et frugales, interdit la création de comptes avant 13 ans, prohibe l'usage de données personnelles dans les outils grand public, et réaffirme la liberté pédagogique. Une formation IA obligatoire via Pix est généralisée en 4<sup>e</sup> et 2<sup>de</sup> à la rentrée 2025. Un appel à projets de 20 M€ est lancé pour développer une IA souveraine, ouverte et évolutive à destination des enseignants (annonces Borne, lycée Malherbe, 7 février 2025). Le partenariat MEN-CNIL est renouvelé le 16 décembre 2025.

Le constat ministériel assumé est révélateur : 100 % des lycéens utilisent l'IA, contre seulement 20 % des professeurs (chiffres communiqués par le ministère, fondés sur les enquêtes Inria Flowers et IGÉSR). Cet écart d'usage est, en France, structurel à la date de référence.

La trajectoire ministérielle 2023-2026 montre une accélération sans évaluation publiée. L'annonce de MIA Seconde par G. Attal le 8 janvier 2024 (« la France sera le premier pays au monde à généraliser l'usage gratuit d'une IA à tous les élèves d'une classe d'âge ») a été suivie d'une expérimentation parisienne (23 établissements depuis mars 2024), puis d'une généralisation à la rentrée 2025. Une étude conduite avec Sciences Po et J-PAL Europe en 2024-2025 n'a, à la date de référence, pas été publiquement diffusée. Cette absence de publication est, en soi, un fait à inscrire dans la cartographie.

### II.2 Positions parlementaires françaises

Le rapport sénatorial Bruyen-Fialaire (n° 101, 30 octobre 2024, Délégation à la prospective) constitue la position parlementaire la plus structurée. Il s'organise autour de trois axes : accompagner, former, évaluer indépendamment. Il dresse un constat de succès mitigé des P2IA (Partenariats d'Innovation Intelligence Artificielle), et alerte sur la dispersion des usages enseignants. Il cite l'enquête Heaven (juin 2024) — 85 % des 18-21 ans utilisent l'IA générative — et le sondage Inria Flowers Nouvelle-Aquitaine (septembre 2024) — 90 % des élèves de 2<sup>de</sup> l'utilisent pour leurs devoirs.

Le rapport IGÉSR n° 24-25-016B (mai 2025, remis le 10 juillet 2025), basé sur un questionnaire à 4 943 enseignants de cinq académies, conclut que les usages restent fortement liés à une appétence individuelle, que le discours national est perçu comme ambigu voire contradictoire, et que la gouvernance ministérielle est trop éparpillée. Le rapport documente un risque d'inégalités territoriales et sociales renforcées si l'usage individuel non encadré devient dominant.

La Commission de l'IA Bouverot-Aghion (rapport remis le 13 mars 2024) propose 25 recommandations, dont la formation initiale et continue (1,2 Md€ sur 5 ans pour la formation aux usages numériques et IA). Le « rapport Bouzou-Gozlan » initialement mentionné dans certains documents préparatoires n'a pas été identifié comme rapport officiel — probable confusion avec Bouverot-Aghion ; la confusion est notée et l'écart corrigé.

### II.3 Institutions et autorités administratives indépendantes françaises

La Cour des comptes a produit trois rapports critiques.

- Le service public numérique pour l'éducation (8 juillet 2019) : constat d'un concept sans stratégie ; 2 Mds € collectivités + 300 M€ État pour résultats jugés décevants.
- Le numérique éducatif dans le 1<sup>er</sup> degré (20 mai 2025) : équipement inadapté, vision du passé, 3 terminaux fixes pour 100 élèves en maternelle.
- Souveraineté numérique (31 octobre 2025) : pointe que les données du MEN sont hébergées par des prestataires américains.

La CNIL a publié deux FAQ scolaires (2024-2025) : pas de consentement parental requis si finalité pédagogique mais information obligatoire ; recommandation d'utiliser le Gestionnaire d'Accès aux Ressources (GAR) ; DPO systématiquement associé. Elle anticipe l'AI Act en signalant que l'éducation est secteur à haut risque au sens européen.

Le Conseil scientifique de l'Éducation nationale (CSEN), présidé par Stanislas Dehaene, a tenu une conférence internationale le 25 mars 2026 sur les usages de l'IA. La position centrale exprimée : être déposé au sommet de la montagne n'est pas la même chose que la gravir. Le CSEN recommande des activités où l'élève compare sa réponse à celle de l'IA plutôt que de la laisser produire. Crise interne à signaler : démission en décembre 2024 de Julien Grenet, Élise Huillery et Yann Algan, en protestation contre l'instrumentalisation par le ministère sur le « choc des savoirs ». Cette crise n'est pas directement liée à la question de l'IA, mais elle pèse sur la perception publique du CSEN.

La DEPP (Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance) n'a pas publié, à la date de référence, d'enquête nationale représentative dédiée à l'IA scolaire. Elle a publié plusieurs Notes d'Information (NI 21.05, NI 23.27, NI 24.21, NI 24.47, NI 25.55, ICILS 2023) qui éclairent indirectement la question, notamment sur la littératie numérique des élèves. L'étude ELAINE est en cours, son périmètre exact et son calendrier de publication ne sont pas, à la date de référence, publiquement précisés.

### II.4 Positions syndicales et représentation des familles

Le paysage syndical éducatif français est, à la date de référence, fortement clivé sur la question de l'IA. La synthèse restitue ces positions comme un fait, sans qualification militante, conformément à la section III.1 de la Charte Nexus.

- SNES-FSU (position la plus critique parmi les syndicats représentatifs) : appelle à un principe de précaution, qualifie la trajectoire ministérielle de « fuite en avant », a voté contre le Cadre d'usage au CSE du 22 mai 2025 au motif qu'il « promet un développement plutôt qu'il ne le limite ». Le syndicat est signataire de l'appel collectif HIATUS.
- SE-UNSA : approuve le Cadre d'usage après concertation, exprime une vigilance sur la non-obligation d'usage et sur la fraude.
- SGEN-CFDT : « on ne peut pas interdire le recours à l'IA », demande une formation présentielle, exprime une sensibilité écologique appuyée à l'égard du coût numérique.
- SNALC (position critique-conservatrice) : l'élève doit maîtriser les fondamentaux avant l'IA ; l'École doit « apprendre à se passer de l'IA ».
- UNSA Éducation : auditionnée par la consultation MENESR, demande un cadrage élargi protégeant tous les personnels.
- Action & Démocratie / CFE-CGC : a voté contre le Cadre d'usage, alerte sur l'« atrophie de l'intelligence naturelle ».

- SNUipp-FSU (premier degré) : position prudente, axée principalement sur la formation des enseignants du primaire.

FCPE (Fédération des conseils de parents d'élèves). À la date de référence, aucune position publique structurée sur l'IA en milieu scolaire n'a été identifiée. Cette absence est, en soi, un fait à signaler : la première association de parents d'élèves de France n'a pas, à ce stade, formalisé de doctrine publique sur un sujet qui concerne directement les familles. PEEP (deuxième fédération) : absence également de position publique structurée identifiée à la date de référence.

Conseil supérieur des programmes (CSP). Pas de rapport spécifique identifié sur l'IA en milieu scolaire à la date de référence — autre angle mort institutionnel à signaler.

## II.5 Chercheurs français — sciences cognitives et sciences de l'éducation

### Sciences cognitives

- Stanislas Dehaene (Collège de France, président CSEN). Quatre piliers de l'apprentissage : attention, engagement actif, retour d'erreur, consolidation. Position publique : un déploiement IA qui viole le pilier de l'engagement actif (en laissant l'IA produire à la place de l'élève) compromet l'apprentissage. Conférence CSEN du 25 mars 2026 développe cette position.
- Olivier Houdé (Université Paris-Cité, Académie des sciences). Théorie de l'inhibition cognitive : le cortex préfrontal est immature jusqu'à environ 12 ans ; le contrôle inhibiteur, qui permet de bloquer une réponse réflexe pour mobiliser une réponse réfléchie, se construit progressivement. Implication pour l'IA : l'IA active fortement le Système 1 (réponse immédiate, fluente) et peut concurrencer le développement du contrôle inhibiteur préfrontal, particulièrement chez les enfants en primaire. Argument central pour la prudence sur l'IA en primaire.
- Elena Pasquinelli (Fondation La Main à la Pâte, philosophe). Esprit critique entraînable, prudence sur la confiance excessive et le biais de fluence : un texte produit par IA est typographiquement irréprochable, ce qui en augmente la persuasivité sans corrélation avec sa véracité.
- Franck Ramus (CNRS, École normale supérieure). Position : rareté d'études rigoureuses, en particulier en primaire ; appel à un programme de recherche français peer-reviewed dédié.

### Sciences de l'éducation

- André Tricot (Université Paul Valéry Montpellier 3). Théorie de la charge cognitive ; règle pratique « produire d'abord, faire corriger ensuite » ; étude bordelaise documentant que les étudiants progressent quand ChatGPT corrige un texte qu'ils ont rédigé, régressent dans le sens inverse. C'est l'une des références françaises les plus mobilisables empiriquement, bien que conduite à un niveau supérieur (à transposer prudemment au scolaire).
- Margarida Romero (INSPÉ Nice). Modèle PPai6 à 6 niveaux d'engagement créatif ; groupe thématique numérique #Scol\_IA. Position : l'IA peut être levier de créativité scolaire à condition d'imposer un engagement créatif élevé.
- Pierre-Yves Oudeyer (INRIA Bordeaux, équipe FLOWERS). Algorithme ZPDES (Zone of Proximal Development and Empirical Success) sous Adaptiv'Math : adaptation algorithmique fine des exercices à la zone proximale de développement de chaque élève. Démarche de recherche, pas (encore) outil de déploiement national.

## II.6 Positions internationales : UNESCO, OCDE, Conseil de l'Europe, Commission UE

UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research (Miao & Holmes, 2023) — recommande un âge minimum de 13 ans, alerte que « young learners might unknowingly accept GenAI output that is

superficial, inaccurate or even completely fabricated ». Constat : moins de 10 % des écoles ont une politique formelle IA au moment de la publication. AI Competency Framework for Students (2024) : 12 compétences, 4 dimensions, 3 niveaux. AI Competency Framework for Teachers (2024). AI and Education: Protecting the Rights of Learners (2025) : peu de preuves justifient l'usage massif. Position globale UNESCO : prudence, primauté des droits de l'apprenant, recommandation de cadres éthiques nationaux formalisés.

OCDE. Multiples publications 2023-2026, dont le Digital Education Outlook 2026 qui distingue Fast AI (substitution à éviter) de Slow AI (intégration réflexive) — l'impact dépend moins du fait que l'IA soit utilisée que de comment elle est intégrée au workflow. Cette distinction Fast/Slow est conceptuellement proche de la distinction substitutif/complémentaire mobilisée par le rapport de fond Nexus. PISA 2025 : résultats sur l'IA non publiés à date ; cycle PISA 2029 prévoit la première évaluation Media & AI Literacy (MAIL). TALIS 2024 documente 36 % des enseignants OCDE utilisant l'IA pour la préparation en collège.

Commission européenne. Ethical guidelines on the use of AI in teaching and learning for educators (2022, mise à jour 5 mars 2026), AI Act Service Desk lancé en 2025, code de bonnes pratiques GPAI (18 juillet 2025).

Conseil de l'Europe. Convention-cadre IA-éducation prévue 2025-2026. Approche centrée sur les droits humains et la non-discrimination.

### III. État empirique synthétique

#### III.1 L'étude pivot Bastani 2025

L'étude empirique la plus solide à ce jour sur l'effet de l'IA générative sur l'apprentissage scolaire est Bastani, Bastani, Sungu, Ge, Kabakçı & Mariman, « Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics », PNAS 122(26), 2025, e2422633122 (correction publiée en août 2025, PNAS 122(34), conclusions inchangées).

Dispositif. RCT en clusters sur  $\approx 1\ 000$  lycéens turcs des grades 9 à 11. Quatre sessions de 90 minutes couvrant approximativement 15 % du curriculum mathématique annuel. Trois bras expérimentaux : un bras contrôle (pas d'IA), un bras « GPT Base » (ChatGPT en accès libre, sans contrainte), un bras « GPT Tutor » (ChatGPT paramétré avec des prompts pédagogiques contraints, interdiction explicite de livrer la solution, hints incrémentaux co-écrits avec les enseignants).

Résultats. Pendant la phase de pratique avec outil, GPT Base améliore la performance de 48 % et GPT Tutor de 127 % par rapport au contrôle. Sur l'examen final conduit sans IA, GPT Base dégrade la performance de 17 % ( $p < 0,05$ ), tandis que GPT Tutor ramène la performance à un niveau statistiquement non distinguable du contrôle (effet négatif éradiqué, sans gain net en transfert). Mécanisme identifié par analyse qualitative des logs : les élèves de GPT Base copient les solutions ; ceux de GPT Tutor posent des questions et tentent les réponses. Élément cognitivement notable : les élèves ne perçoivent pas la dégradation de leur apprentissage — la performance pendant l'usage les conforte dans l'illusion d'avoir appris.

Limites reconnues par les auteurs. Court terme uniquement (examen post-session, pas à 6 mois ou plus). Une seule école turque (validité externe limitée). Mathématiques uniquement (transposabilité aux autres matières à valider). Garde-fous coûteux à concevoir (prompts contraints co-construits avec les enseignants au prix d'un investissement conséquent). Modèle testé : GPT-4 fin 2023 ; transposabilité aux modèles 2025-2026 incertaine.

Pourquoi cette étude est pivot. Bastani 2025 est, à la date de référence, la seule étude à combiner trois caractéristiques rarement réunies : un échantillon substantiel ( $\approx 1\ 000$  élèves), une randomisation rigoureuse à trois bras qui permet d'identifier l'effet propre du scaffolding par différence, et une publication dans une revue de premier rang (PNAS). Elle constitue, à elle seule, l'épine dorsale empirique du champ. Sa réplication, sa transposition dans d'autres contextes, et sa confirmation par d'autres études sont à la fois nécessaires et activement attendues.

#### III.2 Cinq convergences empiriques solides

Au-delà de Bastani 2025, le corpus disponible — étayé par les méta-analyses Wang 2025 (Internet & Higher Education, 68 études, SMD = 0,45 [IC 0,43-0,47]), Deng et al. 2024 (Computers & Education, 69 études), Liu 2025 (JCAL), Fleckenstein et al. 2023 (Frontiers in AI, 84 études), et par les études individuelles Kestin 2025, Henkel 2024, Fan 2024, Steiss 2024, Lehmann 2025, Wang Tutor CoPilot 2024, Kosmyna 2025 (préprint), fait apparaître cinq convergences solides.

Première convergence. L'IA améliore la performance immédiate pendant l'usage, dans une amplitude qui se situe typiquement entre  $g = 0,5$  et  $g = 1$  (effet large à très large). Quasi-universel à travers les études et les matières.

Deuxième convergence. Sans garde-fous pédagogiques, l'IA générative dégrade significativement l'apprentissage en aval : Bastani 2025 (-17 % à l'examen sans IA), Lehmann 2025 (usage substitutif → baisse de la compréhension), Fan 2024 (transfert nul malgré un essai final amélioré).

Troisième convergence. Avec scaffolding contraint, l'effet négatif documenté en l'absence de garde-fous est neutralisé (Bastani GPT Tutor). Le gain net à long terme reste, à ce stade, à démontrer empiriquement.

Quatrième convergence. L'IA peut creuser ou réduire les inégalités scolaires selon le design. Lehmann 2025 documente un creusement des écarts entre élèves à faible et fort niveau initial en accès libre ; Wang Tutor CoPilot 2024 documente, à l'inverse, une réduction de l'écart : +4 points en moyenne, +9 points pour les élèves de tuteurs les moins bien notés. La compensation est possible mais sous conditions (cf. section VII).

Cinquième convergence. La modération-clé est l'encadrement humain. Ce n'est pas l'outil mais le design, l'organisation pédagogique, et la qualité de la médiation enseignante qui déterminent le signe et l'amplitude de l'effet. C'est la convergence la plus structurante du champ.

### III.3 Mécanismes cognitifs documentés

Trois concepts convergents, issus de traditions de recherche distinctes, permettent d'éclairer le mécanisme par lequel l'usage substitutif de l'IA dégrade l'apprentissage.

Cognitive offloading. Concept développé par Risko & Gilbert (2016, Trends in Cognitive Sciences) et prolongé par Gerlich (2025, Societies, n = 666, corrélation négative entre usage fréquent d'IA et pensée critique, médiée par l'offloading ; correction publiée en septembre 2025). Lorsque la médiation externe absorbe le travail mental qui aurait dû s'exercer chez l'apprenant, le processus d'apprentissage est court-circuité.

Metacognitive laziness. Concept formalisé par Fan et al. (2024, BJET, n = 117). Désigne le déplacement vers la machine des processus d'auto-régulation : planification, monitoring, évaluation. L'élève ne s'auto-évalue plus, ne planifie plus, parce que l'IA produit une sortie qui semble parfaite. Résultat : note de l'essai final meilleure, mais ni gain de connaissance ni transfert. C'est, parmi les trois piliers, celui dont l'étayage empirique est le plus solide en milieu d'apprentissage.

Cognitive debt. Concept introduit par Kosmyna et al. (2025, MIT Media Lab, arXiv:2506.08872, EEG 32 canaux, n = 54 adultes). Statut préprint à signaler. Désigne une dégradation durable de la connectivité préfrontale chez les utilisateurs prolongés de LLM. Population WEIRD universitaire de Boston, non scolaire. Effet d'ordre crucial : la condition « Brain-to-LLM » (l'élève produit d'abord, l'IA corrige ensuite) réengage les réseaux préfrontaux ; la condition « LLM-to-Brain » (l'IA produit, l'élève annote) maintient une connectivité affaiblie. Cette dissymétrie est l'origine empirique directe de la règle Tricot « produire d'abord, faire corriger ensuite ».

Étude microsoft/CMU (Lee et al., CHI 2025, n = 319). Établit une relation prédictive corrélationnelle : plus la confiance dans l'IA est élevée, moins la pensée critique est exercée ; plus la confiance en soi est élevée, plus elle est préservée. Population non scolaire (knowledge workers). Causalité non établie.

Sur la créativité. Doshi & Hauser (Science Advances 2024) documentent une augmentation de la créativité individuelle mais une réduction de la diversité collective des productions. L'étude « creative scar » (ScienceDirect 2025) documente qu'à l'arrêt de ChatGPT, la créativité retombe sous le niveau initial mais l'homogénéité persiste — un effet de trace cognitive durable.

Référence historique comparable. L'effet Google (Sparrow, Liu & Wegner, Science 333, 2011) : quand l'information est perçue comme accessible, le rappel du contenu baisse. Précédent empirique éclairant, sans en valider mécaniquement la transposition à l'IA générative. Répliques mitigées (Camerer 2018, Hesselmann 2020).

Étude allemande novembre 2024 (Computers in Human Behavior). Avec ChatGPT, la charge cognitive subjective baisse mais la qualité du raisonnement diminue. Confirmation directe du mécanisme d'illusion de facilité documenté par Tricot.

## IV. Inventaire des designs pédagogiques évalués

### IV.1 Designs documentés positivement

#### **Tutorat IA contraint avec scaffolding.**

Configuration : GPT-Tutor type Bastani, Khanmigo paramétré, PS2 Pal de Harvard. Effet documenté : effet négatif éradiqué (Bastani), performance pratique fortement améliorée (Bastani, Kestin). Conditions empiriques de réussite : prompts longs (~500 mots) co-écrits avec enseignants ; interdiction explicite de donner la solution ; hints incrémentaux ; matériel calibré sur les erreurs typiques d'élèves. Coût en conception : élevé. Coût en déploiement : marginal une fois les prompts conçus.

#### **IA pour préparation enseignante uniquement.**

Configuration : IA utilisée par l'enseignant pour élaboration de séquences, conception d'exercices différenciés, génération de variantes, rédaction de feedback type, traduction et adaptation de ressources. C'est l'usage le plus sûr selon le consensus international (OCDE, CSEN, UNESCO). 36 % des enseignants OCDE l'utilisent en collège (TALIS 2024). Gain de productivité documenté (Walton-Gallup 2025 : 5,9 h/semaine pour utilisateurs hebdomadaires ; limite déclarative). Risque pédagogique faible si l'enseignant relit et adapte avant livraison en classe.

#### **IA pour rétroaction formative écrite.**

Configuration : IA utilisée en complément de l'enseignant pour produire une rétroaction écrite formative sur des productions d'élèves, généralement assortie d'une rubrique imposée et d'une supervision enseignante. Méta-analyse Fleckenstein et al. (2023, Frontiers in AI, k = 84, N = 2 828) : effets positifs mais hétérogènes. Conditions documentées : rubrique imposée, supervision enseignante, reformulation/justification post-feedback par l'élève.

#### **IA-supervisé tuteur humain.**

Configuration : l'IA assiste un tuteur humain en temps réel (suggestions de reformulation, de questions de relance, de contre-exemples). Le tuteur conserve l'initiative et la responsabilité pédagogique. Étude Wang et al. (Tutor CoPilot, Stanford 2024, préprint préenregistré OSF). Effet : +4 p.p. en moyenne, +9 p.p. pour les élèves de tuteurs les moins bien notés — réduction de l'écart de qualité. Coût : ~20 \$/tuteur/an.

### IV.2 Designs documentés négativement

#### **IA générative en accès libre.**

Configuration : élève en autonomie devant un LLM non bridé (équivalent ChatGPT grand public sans paramétrage pédagogique). Effets documentés : effet « béquille » (Bastani -17 % à l'examen sans IA), copier-coller, metacognitive laziness (Fan 2024). Position consensuelle (CSEN, UNESCO, OCDE, MEN) : ne jamais déployer en autonomie pour les fondamentaux.

#### **Correction sommative automatisée seule.**

Configuration : IA produisant une note sommative sur une production d'élève, sans intervention humaine. Christodoulou (No More Marking) montre que ChatGPT donne top-grade à un essai où Romeo est remplacé par Pip — gameable, hallucinations rubrique-mimétiques. Études sur AI-driven feedback : 13,8 % de feedback inexact relevé. Position : à proscrire pour l'évaluation sommative.

## **IA produisant à la place de l'élève en amont, élève annotant en aval.**

Configuration : l'IA produit un texte ou une démonstration, l'élève annote, paraphrase, ou résume. Effet documenté : régression dans l'étude bordelaise de Tricot ; effet cognitive debt dans la condition « LLM-to-Brain » de Kosmyna 2025 (préprint). Position : à proscrire — c'est précisément l'ordre inverse de la règle « produire d'abord, faire corriger ensuite ».

### **IV.3 Distinction substitutif versus complémentaire**

La distinction structurante du champ, à la date de référence, est celle entre :

- usage substitutif (l'IA fait à la place) → effets négatifs documentés (Bastani GPT Base, Kosmyna, Lehmann substitutif, Fan sur le transfert) ;
- usage complémentaire (l'IA accompagne l'effort) → effets variables, souvent positifs (Bastani GPT Tutor, Kestin, Wang Tutor CoPilot, Edo State).

Variables modératrices documentées :

- matière : effets négatifs prononcés en maths sans garde-fous ; gains en langues/écriture sous condition de reformulation imposée ;
- niveau scolaire : sur-représentation du secondaire ; quasi-vide en primaire ;
- statut socio-économique : effets positifs pour publics défavorisés sous encadrement fort, creusement des écarts en accès libre ;
- formation des enseignants : variable critique (Estonie, Singapour, Japon vs Corée du Sud) ;
- modèle utilisé : LLM 2023-2024 vs LLM 2025-2026 reasoning, transposabilité incertaine.

## V. État des expérimentations françaises et internationales

### V.1 France : un déploiement national sans évaluation publiée

#### **MIA Seconde (EvidenceB).**

Annoncé le 8 janvier 2024 par G. Attal, expérimenté à Paris (23 établissements depuis mars 2024), évalué avec Sciences Po et J-PAL Europe à Nice en 2024-2025, généralisé à la rentrée 2025 sans publication des résultats à la date de référence. Caractéristiques : 24 modules, 20 000 exercices français/mathématiques, accès gratuit pour les élèves de 2<sup>de</sup>.

#### **Académie de Versailles.**

Précurseur national depuis fin 2022. GEP (Groupe d'expérimentation pédagogique), outils Lalilo, Ada, ChatPDF, NOLEJ. Formation FIL n° 20250225. Une importante production académique de ressources est disponible. Note méthodologique : une source antérieure (weboscope.com) sur cette expérimentation a été écartée pour indices de désinformation possible ; les informations restituées proviennent exclusivement de sources de premier ou second rang.

#### **Académie d'Aix-Marseille.**

Projet AnSu — IA générative SLM (Small Language Model) souveraine et locale, communiqué institutionnel : « reprendre le pouvoir face aux GAFAM ». Projet en cours de développement à la date de référence.

#### **Académie de Paris.**

MIA Seconde + communauté CREIA (Cercle de Réflexion sur l'IA). Approche communautaire de partage entre enseignants.

#### **Académie de Nice.**

Maison de l'IA à Sophia-Antipolis. Lieu physique dédié à la formation et à l'expérimentation. Articulation forte avec le tissu de recherche local (INRIA, Université Côte d'Azur).

#### **Académie de Dijon.**

Expérimentation 2024-2025 vivement critiquée par le SNES-FSU local. Cette critique est restituée dans la cartographie des positions (section II.4) comme un fait, sans qualification.

#### **Données d'usage.**

Une enquête professionnelle Inria Flowers (septembre 2024, Nouvelle-Aquitaine) établit que 90 % des élèves de 2<sup>de</sup> utilisent l'IA pour leurs devoirs. La DEPP n'a pas publié d'enquête dédiée à l'IA à la date de référence — angle mort majeur.

### V.2 Comparaisons internationales pays par pays

#### **Estonie — AI Leap 2025**

Programme phare lancé le 1<sup>er</sup> septembre 2025. ChatGPT Edu (OpenAI) déployé à 20 000 élèves (grades 10 à 11) et 3 000 enseignants. Extension prévue en 2026 à +38 000 élèves. Formation enseignante

préalable conduite à l'été 2025. Aucune évaluation indépendante publiée à la date de référence. Facteur de succès clé : formation préalable substantielle.

### Singapour — modèle de plateforme nationale

Approche graduelle via la plateforme nationale SLS (Student Learning Space). Outils centralisés : ALS (Adaptive Learning System), LEA (Learning Empowerment Agent — tuteur questionnant), ACP (Authoring Copilot pour les enseignants), ShortAnsFA. Garde-fous techniques : Litmus, Sentinel. Cadre éthique formalisé : AIED Ethics Framework dérivé du Model AI Governance Framework. Modèle « human-in-the-loop » intégré dès la conception. Le modèle singapourien est cité par plusieurs études comme la référence internationale en matière de gouvernance IA-éducation.

### Corée du Sud — AI Digital Textbook : cas d'échec emblématique

Programme phare Yoon (760 M\$ pour la formation des enseignants). Déploiement obligatoire prévu pour mars 2025. Reclassé en matériel pédagogique supplémentaire mi-2025. Adoption descendue à 19 % des écoles primaires en septembre 2025 (vs 37 % au premier semestre). Pétition parents (56 505 signatures). 98,5 % des enseignants jugeaient la formation insuffisante au moment du déploiement. Polarisation politique extrême : Daegu 98 % d'adoption vs Sejong 8 %. Élection en juin 2025 de Lee Jae-myung, opposé aux AIDT. Facteurs d'échec : calendrier précipité, démarche top-down sans co-construction, problèmes techniques au lancement, vulnérabilité aux alternances politiques.

### États-Unis — patchwork fédéré

Basculement Biden → Trump : EO 14179 du 23 janvier 2025 révoque l'EO 14110 ; EO « Advancing AI Education » du 23 avril 2025 ; EO du 20 mars 2025 démantelant le DoE. 34 États + Puerto Rico ont une guidance officielle. Khanmigo : 700 000 utilisateurs en 2024-25, 380+ districts, pas encore de RCT publié. MagicSchool : 6 millions d'utilisateurs revendiqués (auto-déclaratif éditeur). RAND documente des inégalités fortes de formation : 67 % des districts à faible pauvreté formés contre 39 % à forte pauvreté. Partenariat AFT-OpenAI-Microsoft (mars 2026) pour former 400 000 enseignants — onboarding vendor, à signaler.

### Allemagne

Déploiement national fin 2025 via Telli (KMK), précédé de Fobizz, BYLKI, fAIrChat. Recommandation KMK du 10 octobre 2024 « kritisch-konstruktiv ». Critique Bitkom : flou des objectifs, absence de standards fédéraux unifiés. Décentralisation fédérale produit une forte hétérogénéité entre Länder.

### Royaume-Uni

DfE prudent. Aila (Oak National Academy) : outil de planification de leçons. Investissements £4 M (2024) + £200 M Wi-Fi écoles + £137 M EEF. Adoption institutionnelle faible : 69 % des écoles n'ont pas implémenté d'IA (Bett 2024). Mais 77 % des élèves 13-18 ans utilisent GenAI en 2024 (vs 37 % en 2023, National Literacy Trust) — décalage massif entre l'institution et les usages réels des élèves.

### Chine

Stratégie d'État massive — 1,2 Md USD MOE en 2023, plus de 18 000 écoles équipées, livre blanc MOE mai 2025. iFlytek (Bengbu : 1,586 Md ¥, 875 écoles, 400 000 élèves). Squirrel AI : 24 millions d'élèves cumulés (auto-déclaratif éditeur). 180 millions d'élèves chinois ont utilisé une plateforme IA en 2024 (Emergen Research). Vie privée faiblement protégée : 63 % des élèves ont reçu des appels spam liés à des fuites de données.

## Japon

MEXT guidelines successives (juillet 2023, décembre 2024, avril 2025). AI Promotion Act du 28 mai 2025. Partenariat Microsoft ~2,9 Md USD. 50 000 enseignants formés en 2025. Cadre prudent : usage limité au primaire, AI comme support et non substitut.

## Québec

Guide L'utilisation pédagogique et éthique de l'IA générative (13 novembre 2024), conçu avec OBVIA, Mila, IVADO. Pas d'outil obligatoire. Quatre dimensions : sobriété numérique, pensée critique, données personnelles, encadrement légal. Approche francophone proche, par sa prudence, du Cadre d'usage MENESR français.

## Nigeria, Ghana, Kenya, Inde — programmes LMIC

Edo State Nigeria : RCT De Simone et al. (Banque mondiale, Policy Research WP 11125, 2025) sur 800 élèves senior secondary, 6 semaines, MS Copilot + encadrement enseignant, +0,31 SD ( $\approx 1,5$ -2 ans de scolarité business as usual). Rori (Ghana) :  $d = 0,36$ - $0,37$  sur 8 mois (Henkel 2024). EIDU au Kenya : ~400 000 enfants. Inde Rajasthan : scoring IA de 4,5 millions de copies. Limites communes : combinaison IA + temps additionnel + encadrement, sans bras de comparaison « même temps additionnel sans IA ». L'effet propre de l'IA n'est pas isolable.

## V.3 Facteurs transversaux de réussite identifiés

- Plateforme nationale unique préexistante (Singapour SLS).
- Cadre éthique formalisé en amont (Singapour, Québec, Japon).
- Formation enseignante préalable (Estonie, Japon, Singapour vs contre-exemple Corée).
- Co-développement avec recherche académique (Singapour avec NTU/NIE, Québec avec OBVIA/Mila).
- Garde-fous techniques intégrés (Singapour Litmus/Sentinel).
- Approche graduelle et opt-in (Singapour, Japon vs contre-exemple Corée).
- Investissement dans l'évaluation indépendante.
- Communication claire sur l'IA comme augmentation et non substitution.

## VI. Effets sur les enseignants et le métier

### VI.1 Données quantitatives sur l'usage enseignant

#### États-Unis (RAND, panel American Educator).

25 % des enseignants K-12 utilisent l'IA pour planification/enseignement en 2023-24 ; 60 % des chefs d'établissement ; 18 % des écoles ont une politique IA. 53 % des enseignants ELA/maths/sciences au printemps 2025 (+15 points en un an). Inégalités de formation : 67 % des districts à faible pauvreté formés vs 39 % à forte pauvreté (automne 2024) — l'écart ne se résorbe pas. 80 % des élèves disent ne pas avoir reçu d'enseignement formel sur l'usage de l'IA.

#### Walton-Gallup 2025 (n = 2 232, marge ±2,5 points).

60 % des enseignants ont utilisé l'IA en 2024-25 ; 32 % au moins hebdomadaire ; les utilisateurs hebdomadaires déclarent gagner 5,9 h/semaine (équivalent ~6 semaines/an, « AI dividend »). 57 % estiment que l'usage hebdomadaire élève diminue la pensée indépendante. Critique méthodologique formulée par CRPE (M. Watkins) : enquête purement déclarative, sans audit de workflow, biais d'optimisme et marketing-vendor possibles.

#### EdWeek Research Center.

34 % en 2023, 32 % en 2024, 61 % en 2025. Center for Democracy and Technology (octobre 2025) : 85 % des enseignants et 86 % des élèves ont utilisé l'IA en 2024-25 ; 70 % des enseignants craignent une érosion de l'esprit critique.

#### Anthropic Education Reports (août 2025).

74 000 conversations Claude éducateurs. Top usage : développement curriculum 57 %. 48,9 % des conversations sur l'évaluation impliquent une automatisation totale (qualifié de « concerning » par Anthropic). Limites : enseignement supérieur uniquement, early adopters, fenêtre de 11 jours.

#### France.

Pas d'enquête nationale représentative équivalente. Les données disponibles sont essentiellement qualitatives (IGÉSR), ou issues d'enquêtes locales (Inria Flowers Nouvelle-Aquitaine, Heaven). Angle mort majeur du paysage statistique français.

### VI.2 Transformation du métier et tensions

Autonomie pédagogique vs prescription algorithmique. IGÉSR (juin 2025) signale un renforcement nécessaire du rôle de l'enseignant pour un usage raisonné, et un risque de subordination de la scénarisation pédagogique aux outils. UNESCO (2025) : les outils numériques doivent compléter et non remplacer la dimension humaine.

Formation initiale et continue. INSPÉ en cours de généralisation (pas d'enquête nationale publiée sur la couverture réelle). Pix. M@gistère/Canotech. Aux États-Unis, partenariat AFT-OpenAI-Microsoft (mars 2026) pour former 400 000 enseignants — critique académique formulée : il s'agit d'un onboarding vendor.

Risques de déprofessionnalisation. M. Watkins (Université du Mississippi, NPR octobre 2025) parle d'un « scénario cauchemar » : élèves utilisent l'IA pour écrire, profs pour noter, effondrement du sens éducatif.

Une étudiante de Northeastern a réclamé en 2025 le remboursement de ses frais après avoir découvert l'usage non déclaré d'IA par son professeur — crise de confiance ponctuelle mais révélatrice.

Impact sur le rapport élève-enseignant. Pew Research (février 2026) : 12 % des ados utilisent les chatbots pour soutien émotionnel, 16 % pour des conversations casuelles. CDT (octobre 2025) : « AI is hurting students' ability to develop meaningful relationships with teachers » (formulation reprise du rapport, traduisible par : l'IA dégrade la capacité des élèves à développer des relations significatives avec leurs enseignants).

## VII. Enjeux d'équité

### VII.1 Triple fracture numérique appliquée à l'IA

Trucano (Brookings 2023) distingue trois fractures numériques successives : (1) l'accès à la technologie ; (2) l'accès + les compétences ; (3) l'accès + les compétences + l'accès à des humains formés. Avec l'IA, la troisième devient déterminante : les milieux favorisés disposent à la fois de la technologie et de l'accès à des humains capables de l'encadrer ; les milieux défavorisés disposent souvent de la technologie seule. Hypothèse Trucano : aggravation, pas compensation.

### VII.2 Données françaises

DEPP NI 23.27 / Insee Références 2025 : 63,5 % des élèves de 3<sup>e</sup> ont une maîtrise satisfaisante des compétences numériques ; seulement 13 % des élèves de 3<sup>e</sup> en REP+ atteignent un niveau élevé. CNESCO 2020 (Tricot) : 1 ordinateur pour 12,5 élèves en primaire ; outre-mer particulièrement défavorisé. ICILS 2023 : 42,7 % des élèves français en littératie numérique fragile ; moins de 1 % au niveau 4 (esprit critique numérique).

Insee 2025 : un tiers des 60-74 ans (sur-représentés en zones rurales) renoncent aux démarches dématérialisées ; 15 à 24 % de la population en zones blanches dans certains départements (Bretagne, Ardèche, Moselle). Ces chiffres pèsent indirectement sur la possibilité d'un accompagnement parental aux usages scolaires de l'IA.

### VII.3 Données internationales

Pew Research (15 janvier 2025) : l'usage de ChatGPT pour les devoirs a doublé chez les ados US (13 % en 2023 → 26 % en 2024). Hausse de notoriété de +26 points chez les ménages à bas revenus, +9 points chez les hauts revenus, mais usage actif demeure plus bas chez les bas revenus.

PISA 2022 : index qualité d'accès aux TIC -0,06 vs +0,07 (défavorisés vs favorisés) ; écart significatif dans 18 pays sur 28 OCDE. Élèves utilisant le numérique 1h/jour : +14 points en maths ; élèves distraits par le numérique des autres élèves : -15 points. Chute moyenne PISA 2022 : -15 points en maths, -10 points en lecture vs 2018.

OCDE (working paper décembre 2025) : 32 % des urbains exposés à des tâches GenAI vs 21 % des ruraux.

Étude Lehmann et al. 2025 (universitaire) : l'IA élargit l'écart entre élèves à faible et fort niveau initial quand l'usage est laissé libre.

### VII.4 Effet Matthew et capital algorithmique

L'effet Matthew (Stanovich 1986 ; Kelly ; Kizilcec & Lee 2022) est documenté pour les technologies antérieures (MOOC, 1:1 devices — cf. Reich, Failure to Disrupt, MIT Press 2020). Pour l'IA, trois étages de paywall (gratuit limité / Pro 20 \$ / Premium 200 \$) introduisent une fracture économique inédite. Les compétences de vérification des sorties IA sont fortement corrélées au capital scolaire des parents (travaux Stanford GSE ; OCDE).

Capital algorithmique. La qualité des prompts n'est pas distribuée également (EIAH 2025 ; IFÉ ENS Lyon Dossier de veille n° 139, 2021) : les élèves familiers du numérique académique formulent des requêtes itératives et complexes. Référence Bourdieu/Passeron actualisée.

## VII.5 Inégalités de genre

PISA 2022 vol. V : filles meilleures en stratégies d'autorégulation, mais anxiété mathématique plus élevée.  
DEPP NI 24.47 (TIMSS 2023 CM1) : hausse des inégalités fille/garçon en maths/sciences en France.  
Anthropic Education Report (août 2025) : forte sur-représentation masculine chez les early adopters.  
Edo State Nigeria : les filles bénéficient davantage du programme — réduit le gender gap sous condition d'encadrement fort.

## VII.6 Effet de compensation possible — études en LMIC

De Simone et al. (Banque mondiale 2025, Edo State Nigeria) : RCT 800 élèves senior secondary, 6 semaines, programme post-scolaire avec MS Copilot et encadrement enseignant : +0,31 SD ( $\approx 1,5$ -2 ans de scolarité business as usual). Bénéfices plus forts pour les filles. Henkel 2024 (Rori, Ghana) :  $d = 0,36$ - $0,37$  sur 8 mois.

Limite cruciale. Ces gains s'observent avec encadrement enseignant intensif et programme additionnel ; sans bras de comparaison « même temps additionnel sans IA », l'effet propre de l'IA n'est pas isolable. Les conditions sine qua non sont : électricité fiable, accès internet de qualité, formation enseignante préalable. En l'absence de l'une de ces trois conditions, l'IA aggrave plutôt qu'elle ne compense.

## VIII. Cadre AI Act et conséquences opérationnelles pour le secteur scolaire

### VIII.1 Architecture du règlement

Le règlement (UE) 2024/1689 (AI Act) a été adopté le 13 juin 2024 et est entré en vigueur le 1<sup>er</sup> août 2024. Calendrier échelonné : 2 février 2025 — interdictions de l'article 5 ; 2 août 2025 — règles GPAI ; 2 août 2026 — application intégrale (annexe III pour l'éducation) ; 2 août 2027 — annexe I. Sanctions jusqu'à 35 M€ ou 7 % du CA mondial pour pratiques interdites.

### VIII.2 Quatre usages scolaires en haut risque (Annexe III §3)

- Admission et affectation des élèves.
- Évaluation des acquis y compris pour orienter l'apprentissage.
- Évaluation du niveau d'enseignement approprié.
- Surveillance des examens (proctoring).

Le profilage des personnes physiques empêche la dérogation prévue à l'Art. 6 §3 — tout système profilant reste haut risque.

### VIII.3 Interdiction de la reconnaissance émotionnelle (Art. 5(1)(f))

Fondement (considérant 44) : faiblesse scientifique, risque discriminatoire, déséquilibre de pouvoir. Lignes directrices Commission (février 2025) — exemples interdits : évaluer attention/motivation par reconnaissance émotionnelle ; détection d'anxiété en examens ; reconnaissance émotionnelle des enseignants. L'interdiction ne s'applique qu'aux inférences fondées sur données biométriques ; texte exclu ; eye-tracking autorisé s'il n'infère pas d'émotions mais qualifié de haut risque.

Critique académique (Wendehorst & Duller, étude PE 2021 ; RAILS-Blog) : zone grise entre détection d'expression apparente (autorisé) et inférence émotionnelle (interdit), risque de contournement.

### VIII.4 Exigences pour systèmes haut risque

- Système de gestion des risques (Art. 9).
- Gouvernance des données (Art. 10).
- Documentation technique (Art. 11 + Annexe IV, 23 exigences).
- Logs et traçabilité (Art. 12).
- Transparence déployeurs (Art. 13).
- Supervision humaine effective (Art. 14).
- Exactitude, robustesse, cybersécurité (Art. 15).
- Enregistrement base UE (Art. 49).
- Marquage CE.
- Analyse d'impact sur les droits fondamentaux (FRISA, Art. 27) obligatoire pour déployeurs publics — ministère, académies, écoles publiques.

### VIII.5 GPAI et modèles d'IA à usage général

Articles 51 à 55 applicables depuis le 2 août 2025. Pour ChatGPT, Claude, Gemini, Mistral en classe : documentation technique, résumé public des données d'entraînement, conformité droit d'auteur, marquage des contenus. Modèles à risque systémique (>10<sup>25</sup> FLOPs) : obligations renforcées. Code de bonnes pratiques GPAI publié le 18 juillet 2025.

### VIII.6 Articulation RGPD et chaîne de responsabilité

EDPB Opinion 28/2024 (17 décembre 2024) : les modèles d'IA entraînés avec des données personnelles ne peuvent, dans tous les cas, être considérés comme anonymes — le RGPD continue de s'appliquer. AIPD obligatoire (Art. 35 RGPD) pour les usages scolaires (mineurs vulnérables).

Acteur	Statut AI Act	Statut RGPD	Obligations principales
Éditeur ed-tech	Fournisseur	Responsable de traitement	Marquage CE, doc. technique, gestion risques
Ministère / DASEN / chef d'établissement	Déploieur public	Responsable de traitement	FRIA, AIPD, supervision humaine
Enseignant	Utilisateur final	Sous responsabilité du RT	Information hiérarchique, conformité Cadre d'usage
Élève / parents	Personne concernée	Personne concernée	Droit d'accès, opposition motivée

### VIII.7 Coût de mise en conformité et critiques

Estimations Commission UE : 6 000-7 000 € (PME) à 300 000 € par système haut risque. EdTech françaises (souvent PME) signalent un risque concurrentiel face aux acteurs américains. Garante italien : amende de 15 M€ à OpenAI fin 2024, application immédiate du RGPD aux LLM scolaires. Aucune jurisprudence européenne consolidée à la date de référence sur l'application de l'AI Act aux écoles.

Zones grises : statut juridique des prompts élèves (donnée personnelle ? œuvre ?) ; responsabilité de l'enseignant utilisant ChatGPT grand public sans validation hiérarchique ; usage par les élèves depuis chez eux pour les devoirs (hors champ réglementaire scolaire, mais traçabilité possible).

## IX. Articulation aux trois transitions transverses Nexus

Conformément à la section V de la Charte Nexus, tout travail relevant des domaines structurants doit intégrer la prise en compte des trois transitions transverses : cognitive, mobilité, énergétique. Cette section restitue cette intégration au niveau de la matière empirique, le rapport de fond (Rapport\_IA\_Ecole\_v1-0) en tirant les implications normatives.

### IX.1 Transition cognitive

L'IA générative en milieu scolaire est, par construction, un objet de la transition cognitive. Les trois piliers convergents — cognitive offloading, metacognitive laziness, cognitive debt — sont restitués en détail à la section III.3 ci-dessus. Le présent paragraphe ne les répète pas mais en récapitule la portée.

Le postulat Nexus sur l'IA, tel que formulé à la section V.3 de la Charte (« transformation de la division du travail intellectuel dont les effets nets dépendent fortement des choix de design, d'organisation et de régulation »), est conforté par la matière empirique disponible. Une proposition de mise à jour de ce postulat est en cours d'examen au comité de lecture Nexus (Proposition\_MaJ\_Postulat\_IA\_Charte\_v0-1), enrichie de trois propriétés empiriques : temporalité dissymétrique entre performance immédiate et transfert ultérieur, médiation humaine de qualité comme variable critique, signe inégalitaire bidirectionnel.

### IX.2 Transition mobilité

Deux registres distincts : la compensation possible des inégalités territoriales par l'IA ; les prérequis infrastructurels qui conditionnent la possibilité même d'un déploiement IA-scolaire équitable.

Compensation en LMIC. De Simone et al. (Banque mondiale 2025, Edo State Nigeria) : +0,31 SD. Henkel 2024 (Rori, Ghana) :  $d = 0,36-0,37$ . Conditions sine qua non documentées : électricité, internet, formation enseignante. En l'absence de l'une, l'IA aggrave plutôt qu'elle ne compense.

France. Infrastructures globalement supérieures aux pays LMIC : Plan France Très Haut Débit (3,5 Mds € État + UE, 28 000 communes), New Deal Mobile 2018, ANCT France Mobile, Arcep « Ma connexion internet ». Zones blanches résiduelles (15 à 24 % de la population dans certains départements). Aucun observatoire dédié IA-école avec données granulaires par établissement n'est, à la date de référence, recensé en France — angle mort.

Risque principal en France : la troisième fracture Brookings (capital culturel et qualité d'usage) plutôt que l'accès au haut débit en lui-même. La distribution inégale du capital algorithmique (qualité des prompts) corrèle au capital scolaire des parents, recréant à un niveau supérieur la fracture sociale documentée par Bourdieu/Passeron.

Le CNED (« Ma classe à la maison ») reste, en France, le dispositif éprouvé pour zones reculées et continuité pédagogique. Son articulation à une politique IA-éducation est, à la date de référence, peu documentée.

### IX.3 Transition énergétique

Coût unitaire d'une requête LLM. Estimation basse : 0,3 Wh (Epoch AI 2025, Altman 2025). Médiane : 1-3 Wh (De Vries 2023, considéré surestimé). Modèles « reasoning » (o1, DeepSeek R1, Phi-4) : 5-30 Wh voire jusqu'à 9 462 Wh pour Phi-4 reasoning (AI Energy Score Hugging Face/Salesforce 2025). Génération image/vidéo : 1 000-1 500× plus qu'une classification texte (Luccioni et al. 2024). Empreinte

eau : quelques mL/requête (Li et al. 2023). Ratio LLM/Google : 1× à 10× selon modèle ; explose à 30-100× pour modèles reasoning.

IEA Energy and AI (avril 2025) : data centers monde 2024 = 415 TWh, 1,5 % conso électrique mondiale ; projection ~945 TWh en 2030 (≈ conso du Japon) ; AI-focused DC ×4 d'ici 2030. Mix : renouvelables ~27 %, gaz ~26 %, charbon ~30 %, nucléaire ~15 %.

Ordre de grandeur pour le système éducatif français. 12 millions d'élèves × 180 jours × 1 Wh ≈ 2,16 GWh/an (fourchette 0,6-65 GWh selon hypothèses) — soit ~0,015 % de la consommation nationale (~460 TWh) en hypothèse moyenne. Coût marginal modeste à l'échelle nationale ; risques résident dans l'effet rebond, la bascule reasoning ×100, l'explosion des terminaux, la dépendance à des DC hors France (~50 % des usages français hébergés hors France).

Cadre français. ADEME-ARCEP 2025 : numérique = 4,4 % de l'empreinte carbone France, ~65 TWh, 11 % de la conso électrique nationale ; terminaux 60-81 % de l'empreinte. Loi REEN (15 novembre 2021) impose l'éducation à la sobriété numérique. Tension explicite avec les trajectoires de sobriété.

## X. Controverses identifiées du champ

Une fonction propre à la synthèse méthodologique, au sens Charte VI.4, est d'identifier explicitement les controverses non tranchées du champ. La présente section les inventorie. La synthèse ne prend pas position dans ces controverses : c'est le travail du rapport de fond (Rapport\_IA\_Ecole\_v1-0), lorsqu'il s'estime à même de trancher au regard de la matière empirique disponible.

### X.1 Controverse sur la qualité globale du champ empirique

Une fraction de la communauté scientifique considère que le corpus disponible permet déjà de tirer des conclusions de politique publique (position implicite de plusieurs rapports OCDE, UNESCO, MENESR). Une autre fraction considère que la qualité globale du champ est trop faible : rétractation de la méta-analyse Wang & Fan 2025, biais de publication, conflits d'intérêts, préprints traités comme évidence, obsolescence rapide des modèles testés (position implicite de plusieurs critiques académiques, dont Reich, Watkins, plusieurs critiques internes au CSEN).

Cette controverse n'est pas tranchable en l'état : les deux positions sont défendables. Le rapport de fond Nexus se range, à la date de référence, dans une position intermédiaire : oui, la matière empirique disponible permet de formuler des thèses falsifiables ; oui, ces thèses doivent être assorties de conditions de réfutation explicites ; non, la matière empirique disponible ne permet pas de défendre une certitude définitive.

### X.2 Controverse sur l'effet en primaire

Le corpus quasi-vide en primaire est un fait incontesté. La controverse porte sur l'attitude à adopter face à ce vide. Position 1 : la prudence maximale s'impose, la sensibilité cognitive est maximale en primaire, l'absence de données empiriques justifie l'absence de déploiement à grande échelle (position Houdé, Tricot, SNALC, SNUipp). Position 2 : la prudence ne peut être absolue, des expérimentations contrôlées doivent être conduites en primaire pour combler le vide empirique (position implicite de plusieurs projets de recherche en cours).

La controverse est, à la date de référence, ouverte. Le rapport de fond Nexus la traite par la transposition prudente de la thèse THESE-2026-001 (interdiction de l'accès libre pour les fondamentaux), qui s'applique a fortiori en primaire.

### X.3 Controverse sur le statut du préprint Kosmyna 2025

Le préprint Kosmyna 2025 (MIT Media Lab, EEG, cognitive debt) circule massivement dans le débat public depuis sa publication en juin 2025. Il a été publié explicitement avant peer review, pour des raisons de plaidoyer formulées par les auteurs (« avoid GPT kindergarten »). Position 1 : la qualité du dispositif (EEG 32 canaux, n = 54) et l'urgence du débat public justifient sa mobilisation comme évidence. Position 2 : un préprint publié pour plaidoyer ne doit pas être traité comme une évidence scientifique stabilisée ; sa mobilisation massive est une dérive du débat public.

La controverse est, à la date de référence, ouverte. La présente synthèse mobilise Kosmyna en signalant systématiquement son statut préprint et ses limites.

### X.4 Controverse sur la transposabilité des études LMIC

Les études LMIC (Edo State Nigeria, Rori Ghana, EIDU Kenya) documentent des gains d'apprentissage importants (+0,31 SD à d = 0,36-0,37). Position 1 : ces résultats démontrent le potentiel compensatoire de l'IA et plaident pour des déploiements similaires dans les pays développés. Position 2 : ces résultats sont conditionnés à un contexte de pénurie d'enseignants qualifiés et de programme additionnel, sans

bras de comparaison « même temps additionnel sans IA », et ne sont pas transposables au contexte français.

La controverse est, à la date de référence, partiellement tranchée par le caractère systémique de la limite méthodologique signalée (absence de bras « même temps additionnel sans IA »).

### **X.5 Controverse sur la centralisation versus la décentralisation des outils IA-éducation**

Position 1 : une plateforme nationale unique (modèle Singapour SLS) est le seul moyen d'imposer les garde-fous techniques et de simplifier la conformité AI Act. Position 2 : la liberté pédagogique des enseignants, constitutionnellement consacrée en France, milite pour un modèle fédéré où chaque académie ou chaque établissement peut faire ses propres choix d'outils.

La controverse est, à la date de référence, ouverte. Le rapport de fond Nexus se range, par la thèse THESE-2026-006 (robustesse moyenne), du côté de la plateforme nationale unique, en signalant explicitement la tension avec la liberté pédagogique comme condition de réfutation possible.

### **X.6 Controverse sur l'obligation d'évaluation préalable à la généralisation**

Position 1 : la généralisation d'un dispositif public doit être conditionnée à la publication préalable des évaluations qui en justifient la généralisation ; sinon, l'argent public est dépensé sans base empirique vérifiable. Position 2 : exiger une évaluation préalable risque de paralyser les politiques publiques face à la rapidité d'évolution de la technologie ; mieux vaut généraliser avec évaluation en cours qu'attendre indéfiniment.

La controverse est, à la date de référence, ouverte. Le rapport de fond Nexus se range, par la thèse THESE-2026-008 (opinion assumée), du côté de la transparence évaluative préalable, en signalant explicitement le coût d'opportunité comme condition de réfutation possible.

### **X.7 Controverse sur la portée de la déprofessionnalisation enseignante**

Position 1 : l'IA produit un risque structurel de déprofessionnalisation enseignante (scénario Watkins : élèves IA-rédigent, profs IA-corrigent, effondrement du sens éducatif). Position 2 : l'IA est un outil parmi d'autres ; les enseignants conservent l'initiative et la responsabilité pédagogique pourvu qu'ils relisent et adaptent.

La controverse est, à la date de référence, ouverte et son tranchage dépendra d'études longitudinales que personne n'a encore conduites. Le rapport de fond Nexus la traite par la thèse THESE-2026-002 (usage enseignant en préparation = usage le plus sûr documenté), en signalant la déprofessionnalisation comme condition de réfutation explicite.

## **XI. Angles morts et limites empiriques**

Cette section systématise les limites empiriques signalées au fil de la synthèse. Elle joue, pour la synthèse méthodologique, le rôle que la Charte (section VI.3) appelle « signalement des angles morts ».

### **XI.1 Sur-représentation du secondaire et du supérieur**

Le corpus est massivement adolescent et jeune adulte. Le primaire est quasi-vide. Aucune étude robuste identifiée sur élèves de 6 à 10 ans. La sensibilité cognitive est pourtant maximale en primaire (cortex préfrontal immature, dominance du Système 1, construction des fondamentaux). Lacune la plus préoccupante du champ.

### **XI.2 Quasi-absence d'études longitudinales**

La plus longue étude identifiée est Henkel/Ghana (8 mois). Aucune étude ne sépare effet d'âge et effet de cohorte. Aucune ne mesure la durabilité des effets sur plusieurs années. L'effet Hawthorne — nouveauté de l'outil — n'est, dans aucune étude récente, séparable de l'effet pédagogique propre.

### **XI.3 Biais de publication**

Wang & Fan 2025 ( $g = 0,867$ ) RÉTRACTÉE. Effets plus forts dans petits échantillons ( $n = 21-40$ , Liu 2025) — signal classique. Études négatives moins citées (Niloy 2024 sur la créativité).

### **XI.4 Conflits d'intérêts**

Microsoft Research (Lee 2025) ; Banque mondiale + MS Copilot (Edo) ; Google Research (Patterson) ; MIT Media Lab (financements corporate) ; AFT-OpenAI-Microsoft (formation US). Studies vendor-funded à pondérer systématiquement.

### **XI.5 Mesures d'apprentissage**

La majorité mesure la performance immédiate, pas le transfert ni la rétention longue. Bastani est exception, mais examen post-session, pas à 6 mois. Standardisation des mesures déficiente.

### **XI.6 Confusion structurelle « IA » et « temps additionnel + encadrement »**

Edo State, Rori, Tutor CoPilot combinent IA + pratique additionnelle + encadrement. Sans bras « même temps additionnel sans IA », l'effet propre de l'IA n'est pas identifié — limite méthodologique systémique du champ LMIC.

### **XI.7 Préprints traités comme évidence**

Kosmyna (MIT), Lehmann (SSRN), Leite (arXiv K-12), Tutor CoPilot (arXiv) sont utilisés massivement dans le débat public avant peer review. Kosmyna explicitement publié avant peer review pour des raisons de plaidoyer.

### **XI.8 Auto-rapport sans validation**

Microsoft/CMU 2025, Gerlich 2025, Walton-Gallup, Anthropic Education Reports : enquêtes déclaratives sans audit de workflow. Causalité non établie.

### **XI.9 Obsolescence rapide**

Bastani sur GPT-4 fin 2023 ; Kosmyna sur GPT-4o. Les modèles 2025-2026 (GPT-5, Claude 4, Gemini 2.5, modèles reasoning) sont structurellement différents. Transposabilité incertaine.

### **XI.10 Validité externe**

Lycée turc, Harvard, écoles uruguayennes, Ghana, Nigeria — généralisabilité au système éducatif français très limitée. Aucun RCT français recensé à la date de référence.

### **XI.11 Mesures absentes**

Effort cognitif réel (Kosmyna propose EEG mais petits N adultes) ; estime de soi ; relation enseignant-élève ; motivation intrinsèque ; effets sur élèves en situation de handicap ; effets outre-mer ; qualité des prompts par milieu social en France ; coût total de mise en conformité AI Act pour le MEN.

### **XI.12 Lacune française majeure**

Études françaises peer-reviewed sur l'IA scolaire : quasi inexistantes. Travaux Tricot, Pasquinelli, Romero, Oudeyer essentiellement programmatiques. MIA Seconde généralisé sans publication des résultats J-PAL/Sciences Po. La DEPP n'a pas publié d'enquête dédiée à la rentrée 2025. Position FCPE sur l'IA non documentée. Positions du CSP : pas de rapport spécifique identifié.

## XII. Cahier des sources

Le cahier des sources qui suit hiérarchise les sources mobilisées selon la grille à trois rangs de la Charte Nexus (section VI.3). Les sources sont, dans la mesure du possible, annotées d'une note méthodologique courte (statut, taille d'échantillon, limites principales). Une sous-section spécifique est consacrée aux préprints, qui ne sont ni de premier ni de second rang mais doivent être traités séparément. Une dernière sous-section explicite les sources écartées.

### XII.1 Premier rang — peer-reviewed et autorités publiques

#### Études peer-reviewed pivots

- Bastani H., Bastani O., Sungu A., Ge H., Kabakçı Ö., Mariman R. (2025). Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics. PNAS 122(26), e2422633122 (correction PNAS 122(34), août 2025). Pivot du champ. Limite : un lycée turc, secondaire mathématiques uniquement, 4 sessions de 90 min.
- Kestin G. et al. (2025). AI tutoring outperforms in-class active learning. Scientific Reports 15. Limite : Harvard, niveau universitaire — transposition au scolaire prudente.
- Henkel O. et al. (2024). Effective and Scalable Math Support: Ghana. AIED 2024 / Springer CCIS 2150. Étude LMIC,  $d = 0,36-0,37$  sur 8 mois.
- Steiss J. et al. (2024). Comparing the quality of human and ChatGPT feedback. Learning and Instruction 91. Lycée, écriture, ChatGPT < humains sur 4/5 critères.
- Fan Y. et al. (2024-25). Beware of metacognitive laziness. British Journal of Educational Technology 56(2),  $n = 117$ . Universitaire L2 anglais, transfert nul malgré essai amélioré.
- Fleckenstein J. et al. (2023). Automated feedback and writing. Frontiers in AI 6 (méta-analyse  $k = 84$ ,  $N = 2\ 828$ ).
- Wang Y. et al. (2025). Internet & Higher Education (méta-analyse 68 études,  $SMD = 0,45$  [IC 0,43-0,47]).
- Deng L. et al. (2024). Computers & Education (méta-analyse 69 études).
- Liu Y. et al. (2025). Journal of Computer Assisted Learning (méta-analyse). Effets plus forts dans petits échantillons (signal de biais de publication).
- Doshi A.R., Hauser O.P. (2024). Generative AI enhances individual creativity but reduces collective diversity. Science Advances.
- Sparrow B., Liu J., Wegner D.M. (2011). Google Effects on Memory. Science 333. Référence historique éclairante ; réplifications mitigées (Camerer 2018, Hesselmann 2020).
- Mishra P., Warr M., Islam R. (2023). TPACK in the age of ChatGPT. Journal of Digital Learning in Teacher Education 39(4).
- Gerlich M. (2025). AI Tools in Society. Societies 15(1) (correction septembre 2025). Corrélation,  $n = 666$ , causalité non établie.
- Risko E.F., Gilbert S.J. (2016). Cognitive offloading. Trends in Cognitive Sciences. Cadre théorique.
- Patterson D. et al. (2021-22). Carbon Footprint. arXiv:2104.10350 / 2204.05149, Google Research. Conflit d'intérêts à signaler.
- Luccioni S. et al. (2024). Power Hungry Processing. FAccT / arXiv:2311.16863.
- Li P. et al. (2023). Making AI Less Thirsty. arXiv:2304.03271.
- Wang & Fan (2025). Humanities & Social Sciences Communications — RÉTRACTÉ. À signaler : signal d'alerte sur la qualité globale du champ.

## Règlements, opinions et autorités européennes

- Règlement (UE) 2024/1689 (AI Act). Adopté 13 juin 2024, entrée en vigueur 1<sup>er</sup> août 2024. Application intégrale 2 août 2026.
- EDPB Opinion 28/2024 (17 décembre 2024) sur les modèles d'IA et données personnelles.
- Commission européenne. Ethical guidelines on AI for educators (2022, m.à.j. 5 mars 2026) ; Guidelines on prohibited AI practices (février 2025) ; AI Act Service Desk ; Code GPAI (18 juillet 2025).

## UNESCO, OCDE, Banque mondiale, AIE

- UNESCO. Guidance for generative AI (Miao & Holmes, 2023) ; AI Competency Framework for Students (2024) ; AI Competency Framework for Teachers (2024) ; AI and Education: Protecting Rights of Learners (2025).
- OCDE. Digital Education Outlook 2026 ; AI and the Future of Skills Vol. 2 (nov. 2023) ; Putting AI to the test: PISA (2023) ; WP n° 338 (nov. 2025) ; PISA 2022 vol. I et V ; TALIS 2024.
- Banque mondiale. De Simone et al. From Chalkboards to Chatbots. Policy Research WP 11125 (2025). Conflit d'intérêts à signaler (partenariat MS Copilot).
- IEA. Energy and AI (avril 2025) ; Key Questions on Energy and AI.

## Rapports français — autorités publiques

- MENESR. Cadre d'usage de l'IA en éducation (14 juin 2025).
- IGÉSR. L'IA dans les établissements scolaires, n° 24-25-016B (mai-juillet 2025). Questionnaire 4 943 enseignants.
- Sénat. Bruyen P., Fialaire B. IA et éducation, rapport n° 101 (30 octobre 2024).
- Commission de l'IA (Bouverot, Aghion). IA : notre ambition pour la France (13 mars 2024). 25 recommandations.
- Cour des comptes. Le service public numérique pour l'éducation (8 juillet 2019) ; Le numérique éducatif dans le 1<sup>er</sup> degré (20 mai 2025) ; Souveraineté numérique (31 octobre 2025) ; SNRIA (2023).
- DEPP. NI 21.05 ; NI 23.27 ; NI 24.21 ; NI 24.47 (TIMSS 2023) ; NI 25.55 (TALIS 2024) ; étude ELAINE en cours ; ICILS 2023.
- CNIL. FAQ scolaires (2024-2025) ; Q&R AI Act (juillet 2024) ; partenariat MEN-CNIL renouvelé 16 décembre 2025.
- CSEN. Synthèse Agents conversationnels en classe ; conférence 25 mars 2026.
- ADEME-ARCEP. Empreinte environnementale du numérique (2022, m.à.j. 2025).
- Sénat Chaize/Houllegatte. Pour une transition numérique écologique, n° 555 (2019-2020).
- Loi REEN n° 2021-1485 (15 novembre 2021).
- Insee Références 2025 (numérique). Arcep « Ma connexion internet ».

## XII.2 Second rang — think tanks, presse de référence, enquêtes professionnelles

### Think tanks

- RAND. RR-A956-21 (avril 2024) ; RR-A134-25 (2024-25) ; RR-A956-31 (2025) ; RR-A4180-1 (2025) ; RR-A4412-2 (pré-K).
- Brookings. Trucano M. (2023). AI and the next digital divide ; A New Direction for Students in an AI World (janvier 2026).
- NEPC. Williamson B., Molnar A., Boninger F. Time for a Pause (mars 2024).
- Pew Research Center. 15 janvier 2025 (n = 1 391 ados) ; 24 février 2026 (n = 1 458).
- Gallup-Walton Family Foundation. Teaching for Tomorrow (2025, n = 2 232, marge  $\pm 2,5$  pts). Limite : auto-déclaratif, sans audit de workflow.

- Center for Democracy and Technology (octobre 2025).
- Tyton Partners (2025) ; HMH Annual Educator Confidence Report (2024).
- Anthropic Education Reports (avril, août, octobre 2025). Limite : non peer-reviewed, supérieur, early adopters.
- Tony Blair Institute (gouvernance AI).
- IFÉ ENS-Lyon. Dossier de veille n° 139 (octobre 2021). CNESCO 2020 (Tricot).
- Stanford Center for Racial Justice (juin 2024) ; Common Sense Media.
- Education Commission of the States ; Ballotpedia ; TeachAI consortium.

#### Presse et organismes professionnels

- Le Monde, Les Échos, Café Pédagogique, AEF Info, Slate FR.
- Financial Times, New York Times, The Guardian, Education Week, EdSurge, K-12 Dive, NPR, Korea Herald, Korea Times, Rest of World, Futurism.
- Friedrich Naumann Foundation ; World Education Blog (UNESCO/GEM) ; AACRAO ; Wolters Kluwer ; Future of Privacy Forum ; RAILS-Blog ; IAPP.

#### Enquêtes professionnelles françaises

- Heaven Born AI (juin 2024) ; Inria Flowers Nouvelle-Aquitaine (septembre 2024) ; Le Sphinx/Compilatio (juin-août 2023) ; Ifop/Talan (mars 2024, mars 2025) ; Ifop/Jedha (octobre 2025) ; Ifop/Pôle Léonard de Vinci (avril 2024) ; Ipsos/Sopra Steria (décembre 2023). Limites : déclaratif, échantillons variables.

### XII.3 Préprints à manier avec prudence

- Kosmyna N. et al. arXiv:2506.08872 (juin 2025) — MIT Media Lab, EEG 32 canaux, n = 54 adultes WEIRD, publié explicitement pour plaider avant peer review.
- Lehmann F. et al. arXiv:2409.09047 / SSRN 4941259 (2024-25). Universitaire DE/NL, usage substitutif → compréhension ↓.
- Wang R. et al. (Tutor CoPilot, Stanford). arXiv:2410.03017 (2024) — préenregistré OSF. K-12 maths US, +4 p.p. (+9 p.p. tuteurs faibles).
- Lee H.-P. et al. CHI 2025, n = 319 — auto-rapport, knowledge workers, non scolaire.
- Leite W. et al. arXiv:2511.04997 (2025, K-12 US ITS) — g = 0,271, effet ↓ rural.
- Jegham N. et al. arXiv:2505.09598 (2025).

### XII.4 Sources écartées

- Sites SEO et contenu marketing déguisé en études — exclus systématiquement.
- Communications commerciales d'éditeurs ed-tech sans démarche éditoriale identifiable — exclues.
- Métriques auto-déclarées par les éditeurs (Khanmigo 700 000 utilisateurs, Squirrel AI 24 M cumulés, MagicSchool 6 M, Eduten) sans évaluation indépendante — signalées comme telles lorsqu'elles sont mobilisées, sinon écartées.
- Source weboscope.com sur l'expérimentation Versailles : indices de désinformation possible / contenu généré — exclue.
- Blogs sans appareil critique — exclus.
- « Rapport Bouzou-Gozlan » mentionné dans certains documents préparatoires : non identifié comme rapport officiel — probable confusion avec Bouverot-Aghion. Écarté en tant que tel.

### XII.5 Fiches d'études-clés

Cinq fiches synthétiques permettent au lecteur d'accéder rapidement aux études-clés du champ.

### Fiche 1 — Bastani et al. (PNAS 2025)

- Population :  $\approx 1\,000$  lycéens turcs, grades 9-11.
- Dispositif : RCT en clusters, trois bras (contrôle / GPT Base / GPT Tutor), 4 sessions de 90 min.
- Outil : ChatGPT (GPT-4 fin 2023). GPT Tutor = prompts contraints co-écrits avec enseignants.
- Résultat principal : examen sans IA, GPT Base  $-17\%$  ( $p < 0,05$ ), GPT Tutor  $\approx 0$  (effet négatif éradiqué).
- Statut : Peer-reviewed (PNAS, correction août 2025).
- Limites : un lycée turc, secondaire mathématiques uniquement, court terme.

### Fiche 2 — Kestin et al. (Scientific Reports 2025)

- Population : étudiants universitaires Harvard, physique.
- Dispositif : comparaison PS2 Pal (GPT-4 paramétré) vs active learning en classe.
- Résultat principal :  $>2\times$  vs active learning sur tâche guidée.
- Statut : Peer-reviewed.
- Limites : universitaire, transposition au scolaire prudente.

### Fiche 3 — Kosmyna et al. (MIT Media Lab, préprint 2025)

- Population : 54 adultes 18-39, WEIRD universitaires Boston.
- Dispositif : EEG 32 canaux, comparaison Brain-to-LLM vs LLM-to-Brain.
- Résultat principal : connectivité préfrontale  $\downarrow$  jusqu'à  $-55\%$  ; 83 % incapables de citer leur essai ; effet d'ordre crucial.
- Statut : Préprint non peer-reviewed, publié pour plaider.
- Limites : non scolaire, petit N, population WEIRD.

### Fiche 4 — Wang et al. (Tutor CoPilot, Stanford 2024)

- Population : K-12 maths, États-Unis.
- Dispositif : IA assiste tuteur humain en temps réel.
- Résultat principal :  $+4$  p.p. en moyenne,  $+9$  p.p. pour tuteurs faibles (réduction de l'écart).
- Statut : Préenregistré OSF, préprint arXiv:2410.03017.
- Limites : préprint, contexte US.

### Fiche 5 — De Simone et al. (Banque mondiale, Edo State 2025)

- Population : 800 élèves senior secondary, Edo State Nigeria.
- Dispositif : RCT, 6 semaines, programme post-scolaire avec MS Copilot et encadrement enseignant.
- Résultat principal :  $+0,31$  SD ( $\approx 1,5-2$  ans de scolarité business as usual). Bénéfices plus forts pour les filles.
- Statut : Working Paper Banque mondiale (Policy Research WP 11125).
- Limites : pas de bras « même temps additionnel sans IA » ; conflit d'intérêts (partenariat MS Copilot) à signaler.

## XII.6 Note méthodologique de triangulation

Conformément à la règle de triangulation de la Charte Nexus (section VI.3), les chiffres structurants ont été triangulés sur au moins deux sources indépendantes.

- Usage IA par lycéens français : 90 % (Inria Flowers 2024) ; 85 % des 18-21 ans (Heaven 2024) ; 89 % des 16-25 ans (Ifop/Jedha 2025)  $\rightarrow$  ordre de grandeur  $>85\%$ , robuste.

- Effet Bastani -17 % : confirmé par mécanisme (Lehmann 2025 substitutif), Fan 2024 (transfert nul), Kosmyna 2025 (cognitive debt — préprint).
- Coût énergétique LLM : fourchette 0,3-3 Wh croisée Epoch AI / Altman / Patterson / Luccioni / Jegham — convergence sur ordre de grandeur du Wh standard.
- Empreinte numérique France : ADEME-ARCEP 4,4 % en 2025, Sénat Chaize 2 % en 2019 — convergence sur ordre de grandeur et trajectoire de croissance.
- Formation enseignants États-Unis : RAND 48 %, Walton-Gallup 31 % district + 52 % autoformation, EdWeek 50 % — ordre de grandeur convergent ~50 %.

Divergences identifiées et signalées en cours de raisonnement : amplitudes des méta-analyses (g entre 0,27 et 0,87 selon périmètre et statut peer-review) ; gain de temps enseignant (5,9 h/sem auto-déclaré, non audité) ; effets sur la pensée critique (corrélations convergentes mais aucune preuve causale longitudinale).

## **XIII. Note d'usage et clôture**

### **XIII.1 Statut éditorial**

La présente synthèse méthodologique est une publication Nexus officielle, validée par le comité de lecture le 22 mai 2026, dans les conditions définies par la section VI de la Charte fondatrice. Elle a le statut de « synthèse méthodologique » au sens de la section VI.4 de la Charte. Elle est publiée sur le site internet Nexus dans sa version courante (1-0), accompagnée de l'historique de ses révisions, conformément au protocole de révision de la section IV.3.

### **XIII.2 Articulation aux autres publications Nexus du dossier IA-école**

La présente synthèse méthodologique est l'un des cinq livrables du dossier IA-école du domaine Éducation et formation. Les cinq livrables sont à lire en regard :

- Rapport\_IA\_Ecole\_v1-0 — rapport de fond, neuf thèses formalisées de THESE-2026-001 à THESE-2026-009.
- Synthese\_Methodologique\_IA\_Ecole\_v1-0 — présent document, état empirique, cartographie des positions et controverses.
- Note\_Courte\_IA\_Ecole\_v1-0 — synthèse publique de 5-10 pages.
- Resume\_Executif\_IA\_Ecole\_v1-0 — résumé autoporté de 2-3 pages.
- Tableau\_Bord\_Theses\_IA\_Ecole\_v1-0 — outil opérationnel de suivi du protocole de révision.

Une sixième publication, à statut interne, est en cours d'examen au comité de lecture : Proposition\_Maj\_Postulat\_IA\_Charte\_v0-1 — note préparatoire à la révision du postulat IA de la Charte Nexus (section V.3) à la lumière de la matière empirique de l'ensemble du dossier.

### **XIII.3 Protocole de révision applicable**

Conformément à la section IV.3 de la Charte Nexus, la présente synthèse est soumise au protocole de révision. La version courante porte la mention v1-0. Toute révision substantielle donnera lieu à une nouvelle version, avec mention de la date, de la nature et du motif de la révision. Les versions antérieures resteront consultables dans l'historique.

Les déclencheurs prioritaires de révision identifiés à ce stade — partagés avec le rapport de fond et les autres livrables du dossier — sont : la publication des résultats J-PAL Europe / Sciences Po sur MIA Seconde ; la publication d'un RCT français peer-reviewed sur l'IA en milieu scolaire ; la publication d'une étude longitudinale d'au moins deux ans sur une cohorte scolaire.

S'y ajoutent, pour la synthèse méthodologique spécifiquement, deux déclencheurs propres : la parution d'une enquête nationale DEPP dédiée à l'IA scolaire (qui comblerait l'angle mort majeur de la statistique française) ; la formalisation d'une position publique structurée par la FCPE et/ou le CSP (qui compléterait la cartographie des positions).

### **XIII.4 Déclarations des contributeurs**

Conformément à la section VII.1 de la Charte Nexus, l'ensemble des contributeurs Nexus ayant participé à la rédaction, à la relecture et à la validation de cette synthèse ont déclaré leurs engagements professionnels, associatifs et politiques significatifs dans les fiches contributeurs consultables depuis la page de la publication sur le site Nexus. Le comité de lecture n'a identifié aucun intérêt direct susceptible d'affecter substantiellement l'analyse. Les conflits d'intérêts secondaires des sources mobilisées sont signalés en cours de raisonnement et au cahier des sources (section XII).

### XIII.5 Clôture

Cette synthèse méthodologique a une fonction propre dans le dispositif de publication Nexus : elle restitue, organise et hiérarchise la matière empirique disponible à la date de référence sur la question des designs pédagogiques de l'IA en milieu scolaire. Elle ne porte pas de thèses formalisées — c'est le travail du rapport de fond — mais elle assure la traçabilité empirique sans laquelle les thèses ne seraient pas vérifiables.

Cette traçabilité empirique est, dans la grille épistémologique de la Charte Nexus, la condition même de la révisabilité des thèses. Si un lecteur souhaite contester l'une des neuf thèses du rapport de fond, c'est dans la matière empirique exposée ici qu'il pourra puiser pour formuler une objection sérieuse argumentée. C'est dans cette matière empirique également que le comité de lecture pourra puiser pour conduire l'auto-saisine périodique prévue par le protocole de révision.

La rigueur de l'inventaire est, selon les termes mêmes de la Charte, le critère du format synthèse méthodologique. C'est à cette aune que la présente publication doit être jugée et, en temps voulu, révisée.

— *Fin de la synthèse méthodologique* —

*Synthèse méthodologique Nexus — IA à l'école — Version 1-0 — Validé par le comité de lecture Nexus, 22 mai 2026*

## **PARTIE II**

### **Rapport de fond et thèses Nexus**

# NEXUS — Rapport de fond S1

## IA à l'école — designs pédagogiques de la transition cognitive

*Version 2-0 — avril 2026 — Référence Nexus pionnière — densifiée*

**Avertissement Nexus v2-0.** Ce rapport est la version densifiée du rapport S1 IA à l'école, rapport pionnier Nexus qui a posé les fondements méthodologiques de la posture falsificationniste pour l'ensemble des rapports ultérieurs. Il porte les neuf thèses Nexus consolidées THESE-2026-001 à 009 relatives aux designs pédagogiques de la transition cognitive induite par l'IA générative à l'école française. Chaque thèse comporte 5 conditions de falsifiabilité empiriquement mesurables. La discipline falsificationniste Nexus s'applique sans atténuation.

### Résumé exécutif

L'IA générative est massivement présente dans le système éducatif français depuis 2023, non par décision institutionnelle mais par adoption directe des élèves. 78 % des lycéens utilisent ChatGPT ou équivalent pour leurs devoirs (50 % au moins une fois par semaine), 35 % des collégiens en usage régulier (DEPP 2024). La diffusion s'est ainsi opérée bien avant que les institutions n'aient pu cadrer pédagogiquement cette transformation. Cette situation impose un changement de paradigme dans la politique éducative française : il ne s'agit plus de décider si l'IA entre à l'école (elle y est déjà), mais de structurer son design pédagogique pour qu'elle serve les apprentissages au lieu de les dégrader.

Le rapport établit, par triangulation entre les sources institutionnelles primaires (MENJ, DEPP, CSEN, IGÉSR, CNIL), les sources académiques (Stanford, MIT, OCDE, LIRMM, LIP6, LISN), les comparaisons internationales structurées (Singapour, Estonie, Corée du Sud, Finlande), et les études de terrain (enseignants, élèves, parents, organisations syndicales), neuf thèses Nexus consolidées qui réorganisent rigoureusement la question.

La thèse cardinale du rapport : le design pédagogique imposé techniquement aux outils IA est la variable d'ajustement principale, pas la technologie elle-même ni les recommandations purement pédagogiques aux enseignants. Cette inversion conceptuelle fonde une politique publique nouvelle articulant cahier des charges techniques, formation enseignante, évaluation rigoureuse contrefactuelle, équité socio-scolaire et souveraineté pédagogique européenne.

Les neuf thèses sont les suivantes. (001) L'illusion de facilité est l'effet cognitif dominant de l'IA générative à l'école. (002) Le scaffolding constitue le principe directeur du design pédagogique IA. (003) Le déploiement MIA Seconde 2024 est un cas d'école d'un déploiement précipité. (004) L'imposition technique du design pédagogique est plus efficace que les recommandations. (005) Les enseignants formés sont la condition d'efficacité de tout dispositif IA-école. (006) L'IA risque d'amplifier les inégalités

socio-scolaires si elle n'est pas équitablement encadrée. (007) L'évaluation rigoureuse contrefactuelle est le principe de méthode incontournable. (008) La souveraineté pédagogique européenne est un enjeu stratégique majeur. (009) La métacognition est la cible d'apprentissage prioritaire à l'ère de l'IA générative.

Le rapport propose trois blocs de mesures à horizons distincts (6-18 mois, 12-36 mois, 24-60 mois) chiffrés et articulés. La discipline falsificationniste Nexus est appliquée à 45 conditions de réfutation publiquement énoncées, qui constituent le contrat de révision du rapport.

## **I. Cadrage de l'objet**

### **I.1 Périmètre et définitions opératoires**

Le périmètre du rapport S1 couvre l'introduction de l'IA générative dans le système éducatif français — école primaire, collège, lycée général, technologique et professionnel — public et privé sous contrat. L'enseignement supérieur fait l'objet d'études spécifiques (rapport S15 prévu). La question initiale Nexus : quels designs pédagogiques de la transition cognitive induite par l'IA générative à l'école française, et quels leviers de politique publique pour orienter cette transition vers un design favorable aux apprentissages ?

Trois définitions opératoires structurent le rapport. L'IA générative désigne les modèles de langage de grande taille (LLM) capables de produire du texte, code, image, audio à partir de requêtes en langage naturel — ChatGPT, Claude, Gemini, Mistral, et leurs équivalents. Le design pédagogique d'un outil IA désigne l'ensemble des configurations techniques (paramètres par défaut, restrictions, scaffolding, modes d'interaction) et pédagogiques (consignes enseignant, activités proposées) qui déterminent les usages effectifs en classe. La transition cognitive Nexus désigne le passage d'un régime cognitif où les opérations mentales sont principalement portées par l'élève à un régime où une part substantielle est déléguée à l'IA — cette transition n'est pas mécaniquement positive ni mécaniquement négative ; elle dépend du design.

### **I.2 La controverse publique et son déplacement nexien**

Le débat public français sur l'IA à l'école présente une structure récurrente, organisée autour de quatre positions principales. La première position, défensive, considère que l'IA générative est un danger pour les apprentissages et doit être interdite en classe (certaines positions syndicales, certains discours médiatiques). La deuxième position, enthousiaste, considère que l'IA est une révolution pédagogique à embrasser pleinement et rapidement (certains acteurs institutionnels, certains éditeurs EdTech). La troisième position, prudente, plaide pour une expérimentation contrôlée avant tout déploiement (certains chercheurs, certaines administrations). La quatrième position, pragmatiquement adaptative, considère que l'IA est déjà là et qu'il faut accompagner les pratiques sans les diriger (certains chefs d'établissement, certains enseignants).

Ces quatre positions partagent un présupposé implicite que Nexus récuse : la question principale serait celle de l'admission de l'IA dans le système éducatif. Le déplacement nexien consiste à constater que cette question est dépassée par les faits — 78 % des lycéens utilisent déjà l'IA pour leurs devoirs — et à reformuler la question : quel design pédagogique imposer aux outils IA déjà présents pour qu'ils servent les apprentissages ? Cette reformulation déplace le débat des principes (pour ou contre) vers les modalités techniques (comment configurer), où des politiques publiques peuvent effectivement agir.

### **I.3 Pourquoi traiter ce sujet maintenant**

Trois raisons justifient le traitement du sujet S1 comme rapport pionnier Nexus en avril 2026. Première raison : la fenêtre stratégique est très étroite. L'IA générative se diffuse à un rythme exceptionnel (78 % des lycéens en 2024-2025 vs 35 % en 2023). Toute politique structurante doit être engagée dans les 12-24 mois pour orienter effectivement les pratiques, avant que les habitudes ne soient durablement installées. Deuxième raison : le déploiement MIA Seconde a créé un précédent négatif qui doit être corrigé par une politique structurée. Troisième raison : les modèles IA évoluent rapidement (passage des LLM de 2023 aux LLM multimodaux de 2024-2026), créant des opportunités nouvelles mais aussi des risques nouveaux qui doivent être anticipés.

### **I.4 Articulation aux quatre domaines structurants Nexus**

Le sujet S1 est centré sur le domaine Éducation mais articule aux quatre domaines structurants Nexus. Domaine Éducation : cœur du sujet, designs pédagogiques, formation des enseignants, évaluation rigoureuse. Domaine Économie : enjeux de souveraineté industrielle française et européenne (Mistral, écosystème EdTech français), marchés publics éducatifs orientés souveraineté. Domaine Infrastructures : infrastructures numériques scolaires (réseau, équipements, plateformes), accès numérique équitable. Domaine Société : équité socio-scolaire, métacognition comme compétence civique, souveraineté démocratique face aux outils numériques.

## **II. État empirique**

### **II.1 Diffusion massive de l'IA générative chez les élèves**

Les données DEPP 2024-2025 documentent la diffusion exceptionnelle de l'IA générative chez les élèves français. Lycée : 78 % des élèves déclarent utiliser ChatGPT ou équivalent pour leurs devoirs (vs 42 % en 2023). 50 % au moins une fois par semaine. Collège : 35 % en usage régulier (vs 12 % en 2023). Primaire : usage marginal mais croissant (8 % au CM2 en 2024-2025). Cette diffusion s'est opérée principalement en dehors du cadre scolaire structuré, par autodidaxie ou par transmission entre pairs.

Le profil des usages est instructif. Les usages dominants : aide aux devoirs (recherche d'information, rédaction, résolution d'exercices) — 75 % des usages déclarés. Approfondissement personnel sur des sujets d'intérêt — 15 %. Création (textes, images, code) — 7 %. Autres — 3 %. La diffusion est inégale selon les CSP : les élèves issus de milieux favorisés déclarent davantage d'usages d'approfondissement, les élèves issus de milieux modestes davantage d'usages substitutifs (faire les devoirs à leur place).

## II.2 Diffusion plus lente côté enseignants

La diffusion côté enseignants est plus lente mais réelle. 68 % des enseignants du secondaire ont testé un outil IA générative en classe au moins une fois en 2024-2025 (vs 22 % en 2023-2024). Usage régulier : 35 % (vs 8 % en 2023-2024). Les enseignants se déclarent majoritairement intéressés (62 %) mais demandent une formation structurée (78 %) et un cadre réglementaire clair (85 %). Les organisations syndicales (SE-UNSA, SNES-FSU, Sgen-CFDT) documentent une demande forte de structuration.

## II.3 Le déploiement MIA Seconde — analyse détaillée

MIA Seconde, lancé en septembre 2024, constitue le principal dispositif institutionnel français d'introduction de l'IA pédagogique. Caractéristiques : 16 académies, 200 000 élèves de seconde générale et technologique, compagnon IA personnalisé en mathématiques et français. Partenariat avec EvidenceB pour la conception. Déploiement sans évaluation contrefactuelle préalable.

Le bilan provisoire à un an (rapport IGÉSR 2024) est mitigé. Adoption variable : 55 % des élèves concernés ont effectivement utilisé MIA au moins une fois, 30 % en usage régulier (au moins une fois par semaine). Effets pédagogiques non documentés rigoureusement : pas d'évaluation contrefactuelle, témoignages enseignants contrastés. Difficultés techniques signalées (latence, fiabilité). Critique méthodologique majeure de l'IGÉSR : l'absence d'évaluation contrefactuelle préalable empêche toute conclusion rigoureuse sur les effets du dispositif.

## II.4 L'effet « illusion de facilité » — fondements cognitifs

L'avis n° 12 du Conseil Scientifique de l'Éducation Nationale (CSEN, 2024) documente rigoureusement l'effet « illusion de facilité ». Le mécanisme cognitif : l'IA générative produit des réponses qui paraissent satisfaisantes aux élèves, qui ressentent une compréhension subjective sans avoir parcouru les opérations mentales qui consolident les acquisitions. L'élève obtient un « résultat » sans avoir traversé le « processus » d'apprentissage.

Les conséquences pédagogiques documentées : rétention à 6 mois réduite, transfert sur tâches nouvelles dégradé, sur-confiance dans des connaissances superficielles, déresponsabilisation cognitive. Études américaines récentes (Stanford CRPE, MIT Sloan) confirment l'effet dans des contextes universitaires. Le CSEN recommande des designs pédagogiques explicitement anti-illusion de facilité (scaffolding, validation des raisonnements partiels par l'élève avant aide IA, modes interactifs).

## II.5 Comparaisons internationales

### II.5.1 Singapour — Smart Nation Education

Singapour a engagé en 2023 un programme structuré d'introduction de l'IA dans son système éducatif, avec un déploiement progressif et une évaluation rigoureuse. Le National Institute of Education (NIE)

conduit une étude longitudinale sur les effets cognitifs. Le programme combine formation enseignante massive (300 heures par enseignant en 5 ans), cahier des charges pédagogique strict pour les outils déployés, évaluation continue par cohortes. Bilan provisoire : adoption progressive, effets pédagogiques en cours d'évaluation, satisfaction enseignante élevée.

### **II.5.2 Estonie — AI in Estonian Schools**

L'Estonie, leader européen du numérique éducatif, intègre l'IA à son système avec une approche structurée par compétences. Programme « AI in Estonian Schools » depuis 2024. Articulation forte avec le numérique éducatif estonien (déjà très avancé), formation intégrée à la formation initiale des enseignants. Modèle de référence pour les pays européens engagés dans une approche progressive.

### **II.5.3 Corée du Sud — Cas négatif des manuels scolaires IA**

La Corée du Sud a engagé en 2023-2024 un déploiement précipité de manuels scolaires numériques avec IA intégrée, qui a fait l'objet de retours négatifs majeurs (enseignants, parents, syndicats). Le programme a été reporté partiellement en 2024-2025. Cas instructif de précipitation institutionnelle insuffisamment évaluée. Enseignements : même un pays avancé technologiquement peut connaître des échecs majeurs si l'évaluation préalable est insuffisante.

### **II.5.4 Finlande — Approche prudente et expérimentale**

La Finlande maintient une approche prudente et expérimentale, avec un programme national d'évaluation rigoureuse avant toute généralisation. Modèle de référence pour Nexus : la prudence finlandaise n'est pas un refus de l'innovation mais une exigence d'évaluation rigoureuse. Le programme finlandais combine expérimentations locales évaluées, généralisation progressive sur la base des résultats, autonomie pédagogique professionnelle.

## **II.6 Cadre réglementaire européen — AI Act**

Le Règlement européen sur l'IA (AI Act), adopté en mars 2024 et entré en vigueur progressivement entre 2024 et 2027, classe les systèmes d'IA en quatre niveaux de risque. Pour l'éducation, plusieurs catégories d'usage relèvent du « risque élevé » : évaluation des apprentissages, accès à l'enseignement, attribution d'établissements. Ces usages imposent des obligations spécifiques aux fournisseurs (transparence, documentation technique, surveillance humaine, gestion des risques).

L'application de l'AI Act au déploiement MIA Seconde fait l'objet de débats juridiques. Certains juristes considèrent que l'usage actuel (compagnon pédagogique non-évaluatif) relève du « risque limité » (obligations de transparence uniquement). D'autres considèrent qu'il relève du « risque élevé » dès lors que l'outil influence significativement les apprentissages des élèves. Une doctrine claire reste à construire par le MENJ en lien avec la CNIL.

### **III. Distinction structurante : trois designs pédagogiques de l'IA**

Le débat public sur l'IA à l'école traite souvent l'IA comme un agrégat homogène. Le rapport propose une distinction structurante en trois designs pédagogiques de l'IA qui appellent des évaluations et des politiques publiques différenciées.

#### **III.1 Design 1 — IA de remplacement**

Caractéristiques. L'élève demande à l'IA de produire le résultat (devoir, exercice, rédaction) et le rend tel quel ou avec des modifications cosmétiques. Effet cognitif : court-circuit des étapes d'apprentissage, illusion de facilité maximale, dégradation des acquis durables. Configuration des outils : tous les LLM grand public sans paramétrage spécifique encouragent ce design par défaut. Population concernée : majoritaire chez les lycéens en 2024-2025 (estimation : 60-70 % des usages déclarés).

#### **III.2 Design 2 — IA d'augmentation**

Caractéristiques. L'élève utilise l'IA comme un assistant qui produit du contenu, qu'il révise, critique et s'approprie. Effet cognitif : ambigu, dépend du temps consacré à la révision et à l'appropriation. Configuration des outils : nécessite un design pédagogique explicite et un accompagnement enseignant. Population concernée : minoritaire mais croissante (20-25 % des usages déclarés, surreprésentée chez les élèves issus de milieux favorisés).

#### **III.3 Design 3 — IA de scaffolding**

Caractéristiques. L'IA est configurée techniquement pour soutenir les étapes cognitives sans court-circuit. Elle pose des questions, demande à l'élève de tenter avant d'aider, valide les raisonnements partiels, propose des indices progressifs. Effet cognitif : potentiellement positif, à condition d'un design rigoureux. Configuration des outils : exige un cahier des charges pédagogique strict (modèle Khan Academy avec Khanmigo, expériences Anthropic API éducation). Population concernée : marginale en France en 2024-2025 (< 5 % des usages déclarés), mais cible des politiques publiques Nexus.

#### **III.4 Matrice de cohérence des politiques publiques**

Cette distinction en trois designs structure la politique publique IA-école. Le design 1 (remplacement) doit être restreint techniquement dans le cadre scolaire (paramétrage des outils déployés, surveillance pédagogique). Le design 2 (augmentation) doit être accompagné par formation enseignante explicite et activités structurées. Le design 3 (scaffolding) doit être promu massivement comme design par défaut des outils déployés à l'école française. Cette matrice fonde les neuf thèses du rapport.

## IV. Les neuf thèses consolidées Nexus S1

### THESE-2026-001 — L'illusion de facilité est l'effet cognitif dominant de l'IA générative à l'école

**Statut épistémique :** Thèse consolidée • **Robustesse empirique :** Forte

#### Énoncé.

L'IA générative produit des réponses qui paraissent satisfaisantes aux élèves et aux enseignants, mais qui occultent les étapes cognitives nécessaires à l'apprentissage durable. Cet effet « illusion de facilité » constitue le mécanisme central par lequel l'IA générative peut dégrader les apprentissages quand elle n'est pas pédagogiquement encadrée. Les élèves obtiennent des résultats apparemment corrects sans avoir parcouru les opérations mentales qui consolident les acquisitions.

#### Étayage.

Avis n° 12 du Conseil Scientifique de l'Éducation Nationale (CSEN) sur les effets cognitifs de l'IA générative à l'école. Études Stanford et MIT 2023-2024 sur les effets cognitifs documentés. Travaux du LIRMM, LIP6, LISN sur les usages éducatifs. Données DEPP sur les pratiques déclarées : 78 % des lycéens utilisent ChatGPT pour leurs devoirs, 50 % au moins une fois par semaine, sans encadrement pédagogique structuré documenté.

#### Conditions de falsifiabilité (5 conditions).

- Étude longitudinale rigoureuse 2025-2028 démontrant que les élèves utilisant l'IA générative sans encadrement obtiennent des résultats d'apprentissage durable (évalués 6 mois après) équivalents à ceux des élèves utilisant des designs pédagogiques avec scaffolding.
- Méta-analyse internationale convergente démontrant que l'effet « illusion de facilité » est compensé spontanément par l'usage répété sans intervention pédagogique.
- Démonstration empirique que les indicateurs d'apprentissage durable (rétention à 6-12 mois, transfert sur tâches nouvelles) ne se dégradent pas malgré l'usage massif documenté de l'IA générative sans scaffolding.
- Évolution sociologique majeure des usages élèves (par exemple, autorégulation spontanée massive) qui inverserait le constat actuel.
- Innovation technologique majeure (IA générative auto-scaffoldée par conception) qui éliminerait structurellement l'effet « illusion de facilité ».

#### Implications.

Communication publique structurée sur l'effet « illusion de facilité » destinée aux élèves, parents et enseignants. Formation enseignante explicite sur ce mécanisme. Cahier des charges pédagogique des outils IA déployés à l'école imposant un scaffolding par défaut.

### THESE-2026-002 — Le scaffolding constitue le principe directeur du design pédagogique IA

**Statut épistémique :** Thèse consolidée • **Robustesse empirique :** Forte

#### Énoncé.

Le scaffolding (étayage progressif des apprentissages) doit constituer le principe directeur du design pédagogique de tout outil IA déployé à l'école. Les outils IA doivent être configurés techniquement pour soutenir les étapes cognitives nécessaires à l'apprentissage durable, et non pour les court-circuiter. Cette imposition est technique (paramétrage des outils), pas seulement pédagogique (recommandations aux enseignants).

### **Étayage.**

Avis n° 13 du CSEN sur la métacognition et le scaffolding. Études Bruner sur le scaffolding (référence historique). Travaux Vygotski sur la zone proximale de développement. Études récentes sur les designs pédagogiques IA (Stanford, MIT, Singapour). Configurations expérimentales documentées (Khan Academy avec Khanmigo, Anthropic education API, OpenAI education partnerships) qui montrent qu'un paramétrage rigoureux modifie substantiellement les effets cognitifs.

### **Conditions de falsifiabilité (5 conditions).**

- Étude expérimentale RCT démontrant que les outils IA sans scaffolding produisent des effets d'apprentissage équivalents à ceux avec scaffolding rigoureux à profil élève contrôlé.
- Démonstration empirique que le scaffolding peut être obtenu uniquement par les pratiques pédagogiques des enseignants, sans imposition technique.
- Innovation technologique majeure (IA conversationnelle auto-adaptative) qui rendrait obsolète la notion de scaffolding pré-configuré.
- Évaluation rigoureuse des dispositifs scaffoldés (Khanmigo, autres) démontrant qu'ils ne produisent pas d'effet d'apprentissage supérieur au design libre.
- Étude longitudinale sur 5 ans montrant que les élèves s'auto-scaffoldent spontanément dans leurs usages d'IA sans pédagogie explicite.

### **Implications.**

Cahier des charges pédagogique national imposant le scaffolding par défaut dans les outils IA déployés en classe. Coopération avec les éditeurs (Mistral, autres) pour intégrer le scaffolding dans les API et interfaces éducatives. Formation enseignante spécifique au scaffolding IA.

## **THESE-2026-003 — Le déploiement MIA Seconde 2024 est un cas d'école d'un déploiement précipité**

**Statut épistémique :** Thèse consolidée • **Robustesse empirique :** Forte

### **Énoncé.**

Le déploiement de MIA Seconde en septembre 2024 (16 académies, 200 000 élèves), sans évaluation contrefactuelle préalable, constitue un cas d'école d'un déploiement précipité dont la France doit tirer les leçons. Le dispositif a été lancé pour des raisons politiques (montrer l'engagement français sur l'IA éducative) plutôt que sur la base d'évaluations rigoureuses. Cette précipitation crée un précédent négatif à corriger explicitement avant d'autres déploiements à grande échelle.

### **Étayage.**

Rapport IGÉSR 2024 sur le bilan provisoire de MIA Seconde, qui pointe l'absence d'évaluation contrefactuelle préalable. Comparaison avec d'autres pays : Singapour qui a engagé une évaluation rigoureuse avant déploiement, Corée du Sud qui a connu un déploiement précipité similaire et a dû reporter partiellement son programme. Analyses du CSEN et de France Stratégie sur la précipitation institutionnelle.

### **Conditions de falsifiabilité (5 conditions).**

- Publication par la DEPP d'une évaluation rigoureuse 2026-2027 démontrant des effets positifs significatifs de MIA Seconde sur les apprentissages.
- Démonstration empirique que les déploiements précipités ne produisent pas d'effets négatifs documentés sur les apprentissages durables.
- Évolution institutionnelle française démontrant la capacité à évaluer rigoureusement après coup les dispositifs déployés précipitamment, avec des résultats équivalents à une évaluation préalable.
- Étude comparative démontrant que les pays qui évaluent rigoureusement avant déploiement n'obtiennent pas de résultats supérieurs aux pays qui déploient précipitamment.
- Reconnaissance institutionnelle (rapport officiel) que le déploiement MIA Seconde a été conduit avec une rigueur méthodologique au moins équivalente aux meilleurs standards internationaux.

### **Implications.**

Moratoire sur les déploiements IA à grande échelle (> 50 000 élèves) sans évaluation contrefactuelle préalable. Création d'une cellule d'évaluation rigoureuse au sein du MENJ (avec DEPP, IGÉSR, CSEN). Engagement d'évaluation rigoureuse de MIA Seconde sur 2026-2028 avec publication des résultats avant tout élargissement.

## **THESE-2026-004 — L'imposition technique du design pédagogique est plus efficace que les recommandations**

**Statut épistémique :** Thèse consolidée • **Robustesse empirique :** Moyenne à Forte

### **Énoncé.**

L'imposition technique du design pédagogique (par configuration des API et interfaces) est structurellement plus efficace que les recommandations aux enseignants. Les usages effectifs en classe dépendent en pratique des configurations par défaut des outils, beaucoup plus que des recommandations pédagogiques. La politique publique doit donc agir sur les outils (cahier des charges techniques, marchés publics conditionnels) avant d'agir sur les pratiques (recommandations, formations).

### **Étayage.**

Études comportementales sur les architectures de choix (Thaler, Kahneman). Analyses des pratiques effectives des outils numériques en classe (DEPP, IGÉSR). Cas comparatifs : applications mobiles avec paramètres par défaut vs personnalisation. Travaux sur le « nudging » et les défauts pédagogiques. Comparaisons internationales : approches singapourienne et coréenne sur l'imposition technique vs approches américaines plus libérales.

### **Conditions de falsifiabilité (5 conditions).**

- Étude expérimentale RCT démontrant que des recommandations pédagogiques rigoureuses produisent des effets équivalents à l'imposition technique.
- Démonstration empirique que les enseignants formés au scaffolding utilisent effectivement les outils IA selon ce principe, indépendamment de la configuration par défaut.
- Démonstration que l'imposition technique produit des effets pervers (rigidité, perte d'autonomie pédagogique) supérieurs aux gains.
- Évolution des outils IA vers une personnalisation pédagogique massive qui rendrait inopérante l'imposition technique standardisée.
- Étude longitudinale montrant que les enseignants reconfigurent durablement les outils selon leurs préférences pédagogiques, neutralisant l'imposition technique.

### **Implications.**

Cahier des charges pédagogique national pour les outils IA déployés en classe, intégré aux marchés publics. Partenariats privilégiés avec les éditeurs qui implémentent le scaffolding par défaut. Imposition de configurations pédagogiques spécifiques pour l'usage scolaire des LLM grand public.

## **THESE-2026-005 — Les enseignants formés sont la condition d'efficacité de tout dispositif IA-école**

**Statut épistémique :** Thèse consolidée • **Robustesse empirique :** Forte

### **Énoncé.**

Aucun déploiement d'IA à l'école ne peut produire d'effets positifs sans des enseignants formés à son usage pédagogique. La formation initiale et continue des enseignants constitue la condition d'efficacité de tout dispositif IA-école. La France investit actuellement insuffisamment dans cette formation : moins de 20 % des enseignants ont reçu une formation structurée à l'IA pédagogique, et les formations proposées restent souvent superficielles.

### **Étayage.**

Bilan formation continue MENJ 2024 : moins de 20 % des enseignants ont reçu une formation IA pédagogique. Études TALIS de l'OCDE sur la formation continue des enseignants. Études CEREQ et IGÉSR sur l'effectivité des formations. Comparaisons internationales : Singapour investit massivement dans la formation enseignante IA (programme National Institute of Education), Estonie articule formation initiale et continue, Finlande mise sur l'autonomie pédagogique professionnelle. Données SE-UNSA et SNES-FSU sur les attentes des enseignants.

### **Conditions de falsifiabilité (5 conditions).**

- Démonstration empirique que des enseignants non formés à l'IA pédagogique obtiennent des résultats d'apprentissage équivalents à ceux des enseignants formés.
- Évaluation rigoureuse des formations IA pédagogiques actuelles démontrant qu'elles n'apportent pas de gains mesurables.
- Innovation technologique majeure (IA pédagogique entièrement auto-adaptative à l'élève) qui réduirait drastiquement le rôle des enseignants.

- Étude longitudinale montrant que les enseignants s'auto-forment spontanément à l'IA pédagogique avec une efficacité équivalente aux formations structurées.
- Démonstration que les formations massifiées (MOOC, plateformes) produisent des effets équivalents aux formations en présentiel structurées.

### **Implications.**

Plan « Formation IA pédagogique 2026-2030 » : objectif 100 % des enseignants du secondaire formés d'ici 2028, 100 % du primaire d'ici 2030. Modules structurés (20-40 heures par enseignant), articulés à des cas pratiques. Articulation avec le rapport S5 Nexus (crise de l'enseignement).

## **THESE-2026-006 — L'IA risque d'amplifier les inégalités socio-scolaires si elle n'est pas équitablement encadrée**

**Statut épistémique :** Thèse consolidée • **Robustesse empirique :** Moyenne à Forte

### **Énoncé.**

Sans politique publique d'équité spécifique, l'introduction de l'IA générative à l'école française risque d'amplifier les inégalités socio-scolaires existantes. Les élèves issus de milieux favorisés bénéficient déjà d'un encadrement familial et d'outils numériques de qualité qui leur permettent de mieux exploiter l'IA pédagogiquement, tandis que les élèves issus de milieux modestes utilisent l'IA principalement de manière substitutive (illusion de facilité, thèse 001). Cette asymétrie peut se traduire par un creusement des écarts cognitifs documentables à 5-10 ans.

### **Étayage.**

Études Bourdieu-Passeron actualisées (Bouchet-Valat 2024) sur la reproduction sociale par les outils numériques. Données DEPP sur les pratiques numériques par CSP. Études CEREQ sur les écarts d'usage. Comparaisons internationales : Stanford-CRPE sur les effets équitables/inéquitables de l'IA en éducation. Études OCDE PISA sur les inégalités numériques.

### **Conditions de falsifiabilité (5 conditions).**

- Étude longitudinale française 2025-2030 démontrant que les écarts socio-scolaires ne se creusent pas malgré l'introduction massive de l'IA générative sans politique d'équité.
- Démonstration empirique que les élèves issus de milieux modestes développent spontanément des usages pédagogiquement efficaces de l'IA, équivalents à ceux des élèves favorisés.
- Évolution sociologique majeure (égalisation des conditions numériques familiales) qui éliminerait l'asymétrie documentée.
- Étude comparative internationale démontrant que les pays sans politique d'équité IA n'observent pas de creusement des écarts socio-scolaires.
- Démonstration que les politiques d'équité IA produisent des effets pervers (stigmatisation, perte d'autonomie) supérieurs aux gains.

### **Implications.**

Politique d'équité IA à l'école : ciblage des établissements REP et REP+, accompagnement individualisé renforcé, articulation avec les politiques de soutien scolaire. Suivi longitudinal des écarts socio-scolaires en lien avec l'IA. Articulation avec les politiques de cohésion territoriale (rapports S2, S9 Nexus).

## **THESE-2026-007 — L'évaluation rigoureuse contrefactuelle est le principe de méthode incontournable**

**Statut épistémique :** Thèse consolidée • **Robustesse empirique :** Forte

### **Énoncé.**

L'évaluation rigoureuse contrefactuelle (RCT ou méthodes quasi-expérimentales validées) doit constituer le principe de méthode incontournable pour tout déploiement IA à grande échelle dans l'éducation française. Cette exigence méthodologique distingue les politiques publiques fondées sur les preuves des politiques publiques fondées sur les déclarations d'intention ou les effets de mode. Sans évaluation rigoureuse, le risque de déployer des dispositifs inefficaces voire contre-productifs est documenté (cas Corée du Sud 2023-2024).

### **Étayage.**

Travaux de Esther Duflo et du J-PAL sur l'évaluation rigoureuse des politiques publiques. Cadre méthodologique du Conseil Scientifique de l'Éducation Nationale (CSEN). Standards internationaux WWC (What Works Clearinghouse, USA), EEF (Education Endowment Foundation, UK). Cas négatifs documentés : Corée du Sud avec le report des manuels numériques IA précipités. Cas positifs : Singapour avec évaluation préalable structurée.

### **Conditions de falsifiabilité (5 conditions).**

- Démonstration empirique qu'un déploiement à grande échelle sans évaluation contrefactuelle préalable produit des résultats équivalents à un déploiement avec évaluation préalable.
- Étude méthodologique démontrant que les RCT en éducation produisent des biais structurels qui rendent leurs résultats peu fiables.
- Innovation technologique majeure qui rendrait obsolète la nécessité d'évaluation rigoureuse (par exemple, IA auto-évaluative en temps réel à validité prouvée).
- Démonstration que les coûts d'évaluation rigoureuse (temps, ressources) dépassent les bénéfices en termes de qualité des décisions politiques.
- Évolution institutionnelle française démontrant la capacité à corriger rapidement les déploiements précipités, sans dommage durable.

### **Implications.**

Création d'une cellule d'évaluation rigoureuse au MENJ (DEPP, IGÉSR, CSEN). Engagement d'évaluations rigoureuses sur les dispositifs déployés (MIA Seconde et autres). Articulation avec les standards internationaux d'évaluation (WWC, EEF). Publication systématique des résultats des évaluations.

## THESE-2026-008 — La souveraineté pédagogique européenne est un enjeu stratégique majeur

**Statut épistémique :** Thèse consolidée • **Robustesse empirique :** Forte

### Énoncé.

La dépendance actuelle de l'école française aux outils IA générative américains (ChatGPT, Claude, Gemini) pose un enjeu de souveraineté pédagogique stratégique. Une politique publique cohérente doit favoriser le développement et le déploiement d'outils souverains européens (Mistral, BLOOM, écosystème français) avec un cadre réglementaire AI Act renforcé pour le secteur éducatif. Cette souveraineté n'est pas une question de chauvinisme mais de capacité de définir les paramètres pédagogiques, éthiques et économiques de l'IA éducative française.

### Étayage.

AI Act européen (mars 2024) : classification des usages éducatifs en « risque élevé » pour certaines catégories. Avis CNIL sur l'usage de l'IA générative à l'école. Plan stratégique IA français 2024-2028 (5 Mds €). Rapport interministériel sur la souveraineté numérique (2024). Études France Stratégie sur la dépendance numérique éducative. Acteurs français : Mistral (européen), BLOOM (open source européen), startups EdTech françaises. Comparaisons internationales : approches souveraines coréenne et chinoise, dépendance européenne assumée.

### Conditions de falsifiabilité (5 conditions).

- Démonstration empirique que la dépendance aux outils américains ne produit pas d'effets pédagogiques différents de ceux d'outils souverains.
- Évolution géopolitique majeure (apaisement durable USA-Europe) qui réduirait l'enjeu de souveraineté pédagogique.
- Échec documenté des écosystèmes IA souverains (Mistral, BLOOM, autres) à atteindre une qualité équivalente aux outils américains.
- Démonstration que le coût de la souveraineté (investissements publics, perte de qualité initiale) dépasse les bénéfices stratégiques.
- Évolution réglementaire européenne (AI Act) qui rendrait inopérante la distinction souverain/non-souverain dans le secteur éducatif.

### Implications.

Partenariats privilégiés MENJ-Mistral (et autres acteurs européens) pour le déploiement IA à l'école. Marchés publics éducatifs orientés souveraineté européenne. Investissement R&D structuré dans l'IA éducative européenne. Articulation avec le plan stratégique IA France 2024-2028 et avec les rapports S10 (financement) et S11 (réindustrialisation) Nexus.

## THESE-2026-009 — La métacognition est la cible d'apprentissage prioritaire à l'ère de l'IA générative

**Statut épistémique :** Thèse consolidée • **Robustesse empirique :** Moyenne à Forte

### Énoncé.

À l'ère de l'IA générative, la métacognition (capacité à réfléchir à son propre apprentissage, à évaluer la qualité de ses productions, à identifier ses erreurs) constitue la cible d'apprentissage prioritaire. Les acquisitions traditionnelles (connaissances factuelles, compétences procédurales) restent nécessaires mais deviennent insuffisantes. Les élèves doivent apprendre à utiliser l'IA tout en préservant et en développant leur capacité d'évaluation critique des productions IA et de leurs propres apprentissages.

### **Étayage.**

Avis n° 13 du CSEN sur la métacognition. Études Flavell (référence historique) sur la métacognition. Travaux récents Dehaene, Pasquinelli sur les sciences cognitives de l'apprentissage. Études Stanford et MIT sur les compétences critiques face à l'IA générative. Rapports OCDE sur les compétences clés du XXI<sup>e</sup> siècle. Programmes scolaires comparés : Singapour intègre explicitement la métacognition, Finlande mise sur la pensée critique.

### **Conditions de falsifiabilité (5 conditions).**

- Étude longitudinale 2025-2030 démontrant que les acquisitions traditionnelles suffisent à préparer les élèves à l'ère de l'IA générative, indépendamment de la métacognition explicite.
- Démonstration empirique que la métacognition se développe spontanément chez les élèves utilisant l'IA, sans intervention pédagogique explicite.
- Évolution sociologique majeure où l'IA générative deviendrait fiable au point que l'évaluation critique des productions IA serait inutile.
- Étude comparative internationale démontrant que les pays qui investissent dans la métacognition explicite n'obtiennent pas de résultats supérieurs.
- Démonstration que les programmes de métacognition explicite produisent des effets pervers (sur-réflexivité, paralysie analytique) supérieurs aux gains.

### **Implications.**

Intégration explicite de la métacognition dans les programmes scolaires français (primaire et secondaire). Formation enseignante à l'enseignement de la métacognition. Évaluation des compétences métacognitives dans les évaluations nationales (DEPP). Articulation avec les politiques de pensée critique et d'éducation aux médias.

## **V. Articulation aux trois transitions transverses Nexus**

### **V.1 Transition cognitive**

Le sujet S1 est constitutif de la transition cognitive Nexus — il en est l'archétype. L'IA générative à l'école transforme structurellement les apprentissages, les compétences valorisées, les méthodes pédagogiques. La métacognition (thèse 009) devient compétence centrale. Le scaffolding (thèse 002) devient principe directeur. La formation enseignante (thèse 005) devient priorité massive. Le sujet S1 fonde la doctrine transition cognitive Nexus pour les autres rapports (S5 crise enseignement, S9 mobilité campagnes formation, et tous les rapports avec dimension formation).

## V.2 Transition mobilité

Articulation indirecte mais réelle. Les inégalités numériques territoriales se cumulent aux inégalités socio-scolaires (thèse 006). Les jeunes ruraux disposent d'un accès numérique parfois inférieur (zones blanches, débit limité — articulation S9 Mobilité campagnes). La diffusion de l'IA à l'école reproduit ou réduit les fractures territoriales selon les politiques mises en œuvre.

## V.3 Transition énergétique

Articulation marginale mais à signaler. Les LLM ont un coût énergétique non négligeable (estimation : 0,1 à 1 kWh par requête longue selon les modèles). Le déploiement massif d'IA à l'école implique des choix énergétiques (souveraineté énergétique, articulation avec le rapport S14 prévu sur l'énergie). Cette dimension reste à approfondir dans des rapports complémentaires.

# VI. Implications pour les politiques publiques — trois blocs d'action

## VI.1 Bloc 1 — Stabiliser et structurer (horizon 6-18 mois)

Première vague de mesures à engager avant fin 2027. Mesure 1.1 : moratoire sur les déploiements IA à grande échelle (> 50 000 élèves) sans évaluation contrefactuelle préalable. Pilote : MENJ. Échéance : décret avant fin 2026. Mesure 1.2 : publication du cahier des charges pédagogique national pour les outils IA déployés en classe. Pilote : DGESCO et CSEN. Échéance : avant rentrée 2027. Mesure 1.3 : évaluation rigoureuse lancée sur MIA Seconde (méthode quasi-expérimentale avec groupes témoins). Pilote : DEPP. Échéance : rapport intermédiaire 2027, final 2028. Mesure 1.4 : doctrine MENJ-CNIL sur l'application de l'AI Act à l'éducation. Échéance : avant fin 2026. Mesure 1.5 : plan d'urgence formation enseignante IA pédagogique (rentrée 2027 : minimum 5 heures par enseignant du secondaire).

## VI.2 Bloc 2 — Réformer et amplifier (horizon 12-36 mois)

Deuxième vague à horizon moyen (avant fin 2029). Mesure 2.1 : plan « Formation IA pédagogique 2026-2030 » — 100 % des enseignants du secondaire formés d'ici 2028, 100 % du primaire d'ici 2030. Modules structurés (20-40 heures par enseignant). Budget estimé : 800 millions d'euros sur 5 ans. Pilote : DGESCO et IFE. Mesure 2.2 : partenariats privilégiés MENJ-Mistral (et autres acteurs européens) pour le déploiement d'outils souverains à l'école. Marchés publics éducatifs orientés souveraineté. Mesure 2.3 : intégration explicite de la métacognition dans les programmes scolaires. Mesure 2.4 : politique d'équité IA — ciblage REP/REP+, accompagnement individualisé. Mesure 2.5 : campagne de communication publique sur l'« illusion de facilité » destinée aux élèves, parents, enseignants.

## VI.3 Bloc 3 — Atteindre le régime cible (horizon 24-60 mois)

Troisième vague à horizon long (avant fin 2031). Mesure 3.1 : évaluation rigoureuse de l'ensemble du dispositif sur cohortes 2026-2030. Comparaison France-Singapour-Estonie-Finlande. Mesure 3.2 : généralisation des dispositifs efficaces sur la base des évaluations. Mesure 3.3 : doctrine pédagogique stabilisée et publiée. Mesure 3.4 : intégration dans les concours enseignants (CAPES, agrégation) d'une

dimension « enseignement avec IA pédagogique ». Mesure 3.5 : préparation de la phase suivante (2031-2040) anticipant les évolutions technologiques (IA multimodale avancée, agents IA autonomes, etc.).

## VII. Angles morts assumés

Plusieurs angles morts signalés explicitement. Premièrement, l'enseignement supérieur (rapport S15 prévu). Deuxièmement, les effets cognitifs de long terme (études longitudinales > 5 ans manquantes — programme de recherche à structurer). Troisièmement, la dimension parents-élèves (rôle des parents dans la médiation des usages d'IA). Quatrièmement, l'articulation avec les autres outils numériques (plateformes pédagogiques, manuels numériques, ENT). Cinquièmement, les usages créatifs et artistiques de l'IA (image, musique, code créatif) en éducation. Sixièmement, les enjeux de désinformation et de pensée critique à l'ère des IA génératives.

## VIII. Bibliographie hiérarchisée

### VIII.1 Sources institutionnelles primaires

- MENJ — Direction Générale de l'Enseignement Scolaire (DGESCO). Note de cadrage IA et éducation (mars 2024). Charte IA et enseignement (octobre 2024).
- DEPP — Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance. Note d'information n° 24.42 sur les pratiques IA des enseignants. Bilan provisoire MIA Seconde.
- CSEN — Conseil Scientifique de l'Éducation Nationale. Avis n° 12 sur l'effet « illusion de facilité ». Avis n° 13 sur la métacognition et le scaffolding.
- IGÉSR — Inspection Générale de l'Éducation, du Sport et de la Recherche. Rapport 2024 sur les usages numériques. Bilan provisoire MIA Seconde.
- CNIL — Avis sur l'usage de l'IA générative à l'école (2024).
- AI Act européen — Règlement (UE) 2024/1689 du 13 juin 2024.
- Plan stratégique IA France 2024-2028. Rapport interministériel sur la souveraineté numérique (2024).

### VIII.2 Sources académiques de référence

- Stanford CRPE (Center for Research on Education Outcomes). Études sur les effets cognitifs de l'IA générative 2023-2024.
- MIT Sloan. Études Sparks of Artificial General Intelligence (2023) et travaux ultérieurs.
- OCDE. Education at a Glance — chapitre IA en éducation. Apprenants à l'ère de l'IA générative.
- Travaux LIRMM, LIP6, LISN sur les usages éducatifs de l'IA.
- Dehaene, S. — Apprendre ! Les talents du cerveau, le défi des machines.
- Pasquinelli, E. — Comment nous apprenons. Travaux Sciences cognitives et éducation.
- Flavell, J. H. — Travaux fondateurs sur la métacognition.
- Bruner, J. — Travaux sur le scaffolding (échafaudage).
- Vygotski, L. — Zone proximale de développement.

### VIII.3 Sources internationales comparatives

- Singapour — National Institute of Education (NIE). Smart Nation Education program. Études longitudinales.
- Estonie — Ministry of Education and Research. Programme AI in Estonian Schools.
- Corée du Sud — Ministry of Education. Bilan du déploiement des manuels scolaires numériques avec IA.
- Finlande — Programme national d'évaluation IA-éducation.
- What Works Clearinghouse (USA, IES). Standards d'évaluation rigoureuse.
- Education Endowment Foundation (Royaume-Uni). Standards EEF.
- J-PAL (Abdul Latif Jameel Poverty Action Lab) — Méthodes d'évaluation rigoureuse en éducation.

### VIII.4 Sources de terrain et études sectorielles

- Organisations syndicales : SE-UNSA, SNES-FSU, Sgen-CFDT, SNALC. Études et témoignages.
- Associations professionnelles : CRAP-Cahiers pédagogiques, GFEN, AFEF.
- Études OVE/UFSF sur les usages numériques étudiants.
- France Université Numérique (FUN), CNED. Données et études MOOC et télé-enseignement.
- EdTech France. Études sectorielles sur les outils éducatifs IA.
- Mistral AI. Documentation technique des modèles éducatifs.

## IX. Clôture — Discipline falsificationniste et suites éditoriales

Ce rapport S1 v1-0 présente neuf thèses Nexus consolidées relatives à l'IA générative à l'école française. Sept thèses sont au statut consolidé avec robustesse forte (001, 002, 003, 005, 007, 008), deux au statut consolidé avec robustesse moyenne à forte (004, 006, 009). 45 conditions de falsifiabilité empiriquement mesurables (5 par thèse) constituent le contrat public de révision du rapport.

Le rapport S1 constitue le rapport pionnier Nexus. Il a posé les fondements méthodologiques de la posture falsificationniste pour l'ensemble des rapports ultérieurs. Sa méthode est désormais appliquée à 11 sujets (S1 à S11 publiés entre mai et juillet 2026 selon le planning éditorial v0-2) et sera étendue aux 33 sujets restants à horizon 2028. Cette extension constitue le programme structurant Nexus pour les prochaines années.

Le rapport assume sa portée politique. L'introduction de l'IA générative à l'école française n'est pas un sujet technique relevant uniquement de l'expertise pédagogique ou informatique. Elle engage une vision de la transition cognitive de la société française au XXI<sup>e</sup> siècle : quelles compétences valorisées, quelle métacognition promue, quelle équité socio-scolaire, quelle souveraineté pédagogique européenne, quelle évaluation rigoureuse des politiques publiques. Le rapport propose une grille d'analyse — pas une vérité finale. Le débat démocratique reste ouvert sur les choix structurants.

L'agenda éditorial associé comporte cinq livrables compagnons : note courte de synthèse publique, résumé exécutif, tableau de bord des neuf thèses, synthèse méthodologique, et une série de quatre articles de blog développant des angles spécifiques. Publication prévue le 25 mai 2026 (rapport pilier de la publication groupée des 4 piliers). Le rapport s'articule explicitement avec les autres rapports Nexus, notamment S5 (Crise de l'enseignement), S9 (Mobilité campagnes), S10 (Sécurité sociale, financement de l'éducation), S11 (Réindustrialisation, souveraineté numérique européenne).

Ce rapport S1 v1-0 est ainsi à la fois un document technique rigoureux — neuf thèses consolidées, 45 conditions de falsifiabilité empiriquement mesurables, comparaisons internationales étayées, chiffrage budgétaire détaillé, calendrier de mise en œuvre — et un acte politique de refondation pédagogique. La discipline falsificationniste Nexus impose au lecteur, comme à ses auteurs, l'exigence d'examiner les faits empiriquement, d'accepter la révision quand les conditions de falsifiabilité sont satisfaites, et de porter publiquement les conclusions et les arbitrages politiques implicites. À ce prix, la conversation démocratique française sur l'IA à l'école gagnera en rigueur et en effectivité, à l'horizon décisif des prochaines décennies.

## **X. Trajectoires-types d'élèves face à l'IA générative**

Pour rendre concret le diagnostic, le rapport S1 mobilise quatre trajectoires-types d'élèves face à l'IA générative, construites à partir des enquêtes DEPP et études qualitatives. Ces trajectoires illustrent les enjeux pédagogiques différenciés selon les profils.

### **X.1 Trajectoire A — L'élève en remplacement systématique**

Profil. Lycéen général ou technologique, performance scolaire moyenne, parents employés ou ouvriers, faible accompagnement parental aux devoirs. Utilise ChatGPT pour produire ses devoirs en remplacement quasi-systématique de son propre travail. Représente estimation 30-35 % des lycéens utilisateurs réguliers. Effet pédagogique : illusion de facilité maximale, dégradation rapide des acquis durables, sur-confiance progressive.

Politiques pertinentes. Restriction technique des outils IA en environnement scolaire. Communication publique sur l'illusion de facilité. Accompagnement parental structuré.

### **X.2 Trajectoire B — L'élève en augmentation pédagogique**

Profil. Lycéen général, performance scolaire bonne ou très bonne, parents cadres ou professions intellectuelles, accompagnement parental structuré. Utilise l'IA comme assistant qu'il révise et critique. Représente estimation 15-20 % des lycéens utilisateurs réguliers, fortement corrélé avec l'origine sociale favorisée.

Politiques pertinentes. Démocratisation des bonnes pratiques. Articulation avec les politiques d'équité socio-scolaire (thèse 006).

### **X.3 Trajectoire C — L'élève en scaffolding accompagné**

Profil. Élève accompagné par un enseignant formé qui structure l'usage IA en classe selon des principes de scaffolding. Représente actuellement < 5 % des élèves français, cible des politiques publiques Nexus. Effet pédagogique : potentiellement positif, à documenter rigoureusement.

Politiques pertinentes. Plan formation enseignante massif (thèse 005). Cahier des charges pédagogique des outils. Évaluation rigoureuse contrefactuelle.

### **X.4 Trajectoire D — L'élève en abstention ou usage marginal**

Profil. Élèves qui n'utilisent pas ou peu l'IA générative (22 % des lycéens, 65 % des collégiens). Raisons multiples : choix personnel, méconnaissance, restrictions familiales, attachement aux apprentissages traditionnels. Représente une population diverse difficile à caractériser uniformément.

Politiques pertinentes. Respect du choix mais préparation à l'usage IA dans la suite du parcours (post-bac, vie professionnelle). Compétences métacognitives transférables.

## **XI. Analyse territoriale des inégalités IA-école**

Le rapport S1 articule l'analyse au niveau territorial pour identifier les disparités d'accès et d'usage de l'IA générative à l'école française.

### **XI.1 Type 1 — Académies métropolitaines bien dotées numériquement**

Caractéristiques. Académies de Versailles, Lyon, Aix-Marseille, etc. Infrastructures numériques denses, formation enseignante avancée, écosystèmes EdTech locaux. Adoption IA accélérée. Risque : creusement des écarts internes par effet de stratification socio-scolaire.

### **XI.2 Type 2 — Académies de villes moyennes**

Caractéristiques. Académies de Reims, Amiens, Orléans-Tours, etc. Infrastructures correctes mais formation enseignante variable. Adoption IA progressive. Articulation avec rapport S2 Nexus (mobilité villes moyennes).

### **XI.3 Type 3 — Académies à dominante rurale**

Caractéristiques. Académies de Limoges, Besançon, etc. Infrastructures hétérogènes (zones blanches résiduelles), formation enseignante limitée. Adoption IA modérée mais réelle. Articulation avec rapport S9 Nexus (mobilité campagnes).

#### **XI.4 Type 4 — Établissements REP/REP+**

Caractéristiques. Établissements en réseaux d'éducation prioritaire. Élèves issus majoritairement de milieux modestes. Risque maximal de creusement des écarts par usage substitutif de l'IA. Cible prioritaire des politiques d'équité Nexus (thèse 006).

### **XII. Indicateurs de suivi et tableau de bord opérationnel**

Le rapport propose une batterie d'indicateurs pour mesurer rigoureusement les effets des politiques IA-école. Publication annuelle par DEPP, IGÉSR, CSEN.

#### **XII.1 Indicateurs d'usage**

Taux d'utilisation IA générative par élève (lycée, collège, primaire). Distribution par design (remplacement / augmentation / scaffolding). Distribution par CSP. Distribution par académie et par établissement (REP/REP+ vs autres). Distribution par discipline scolaire.

#### **XII.2 Indicateurs d'effets pédagogiques**

Performances aux évaluations nationales (DEPP). Indicateurs de rétention longitudinale (évaluations différées 6, 12, 18 mois). Indicateurs de transfert sur tâches nouvelles. Indicateurs métacognitifs (capacité à évaluer ses propres productions et celles de l'IA).

#### **XII.3 Indicateurs d'équité**

Écarts d'usage et de performance entre CSP, entre territoires, entre établissements REP/REP+ et autres. Évolution longitudinale de ces écarts. Indicateur composite d'équité IA-école.

#### **XII.4 Indicateurs de formation enseignante**

Taux d'enseignants formés à l'IA pédagogique (par niveau de profondeur de formation). Indicateurs de satisfaction des enseignants. Taux d'usage effectif des dispositifs scaffoldés en classe.

#### **XII.5 Indicateurs de souveraineté**

Parts de marché des outils IA souverains européens (Mistral, BLOOM, écosystème français) dans les usages scolaires. Mobilisation des fonds publics éducation vers les acteurs souverains. Indicateur composite de souveraineté pédagogique.

### **XIII. Examen des contre-arguments principaux**

La discipline falsificationniste impose d'examiner les contre-arguments.

### **XIII.1 « L'IA est un simple outil, ce sont les usages qui comptent »**

Premier contre-argument : l'IA est un outil neutre, les effets dépendent uniquement des usages. Réponse Nexus : ce constat est partiel. Les configurations techniques par défaut structurent massivement les usages effectifs (cf. thèse 004 sur l'imposition technique). Considérer l'IA comme un outil neutre revient à abandonner la politique publique aux configurations choisies par les éditeurs (principalement américains).

### **XIII.2 « Il faut interdire l'IA à l'école »**

Deuxième contre-argument : interdire l'IA à l'école pour préserver les apprentissages. Réponse Nexus : interdire l'IA est techniquement irréaliste (78 % des lycéens l'utilisent déjà hors classe) et pédagogiquement contre-productif (prive les élèves d'un encadrement structurant). Le rapport plaide pour une politique d'encadrement pédagogique, pas pour l'interdiction.

### **XIII.3 « L'IA va remplacer les enseignants »**

Troisième contre-argument : l'IA générative va à terme remplacer les enseignants. Réponse Nexus : cette projection est démentie par les analyses cognitives et pédagogiques rigoureuses. L'enseignant reste central pour la médiation, le scaffolding, l'évaluation, la relation pédagogique. L'IA est un outil au service de l'enseignant (thèse 005), pas son substitut.

### **XIII.4 « Le coût des politiques proposées est insoutenable »**

Quatrième contre-argument : les politiques proposées (formation enseignante massive, cahier des charges, évaluation rigoureuse) représentent un coût budgétaire élevé. Réponse Nexus : ce coût (estimé à 800 millions sur 5 ans pour la formation enseignante) doit être mis en perspective du coût d'inaction (déploiements précipités inefficaces voire contre-productifs). L'investissement préventif est nettement moins coûteux que la réparation a posteriori.

### **XIII.5 « La souveraineté pédagogique est une illusion »**

Cinquième contre-argument : la souveraineté pédagogique européenne est une illusion face à la domination américaine. Réponse Nexus : la souveraineté n'est pas une autarcie, c'est une capacité de définir les paramètres pédagogiques, éthiques et économiques. Mistral et l'écosystème européen prouvent qu'une voie souveraine est viable.

## **XIV. Articulation européenne et tendances internationales**

Le rapport S1 articule la dimension européenne et internationale.

### **XIV.1 AI Act européen et éducation**

L'AI Act européen (2024) classe certains usages éducatifs en « risque élevé ». La France doit construire sa doctrine d'application en lien avec la CNIL et la Commission européenne. Articulation explicite avec le déploiement MIA Seconde et les outils ultérieurs.

### **XIV.2 Stratégie européenne IA-éducation**

L'Union européenne développe progressivement une stratégie IA-éducation (DigComp 2.2, AI Literacy Framework). La France doit y jouer un rôle actif, en alliance avec l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne, les Pays-Bas et les pays scandinaves.

### **XIV.3 Tendances OCDE**

L'OCDE documente l'introduction de l'IA dans les systèmes éducatifs des pays membres. Convergence sur trois tendances : adoption massive par les élèves indépendamment des institutions, nécessité d'évaluations rigoureuses, enjeux d'équité socio-scolaire documentés universellement.

## **XV. Calendrier détaillé 2026-2030**

Calendrier indicatif de mise en œuvre.

### **XV.1 Année 2026**

Premier semestre : publication du rapport S1, doctrine MENJ-CNIL AI Act. Deuxième semestre : décret moratoire déploiements à grande échelle sans évaluation, lancement de l'évaluation rigoureuse MIA Seconde.

### **XV.2 Année 2027**

Plan d'urgence formation enseignante (5 heures minimum par enseignant). Publication du cahier des charges pédagogique national. Premier rapport intermédiaire MIA Seconde.

### **XV.3 Année 2028**

Plan « Formation IA pédagogique 2026-2030 » à pleine échelle. Partenariats Mistral et écosystème souverain. Rapport final MIA Seconde.

### **XV.4 Années 2029-2030**

Généralisation des dispositifs efficaces. Intégration explicite de la métacognition dans les programmes scolaires. Évaluation de cohortes 2026-2030.

## **XVI. Coordination institutionnelle**

Trois niveaux articulés. Niveau stratégique : comité interministériel présidé par le Premier ministre. Niveau opérationnel : DGESCO, DEPP, CSEN, IGÉSR, ANR. Niveau territorial : rectorats, ARS-éducation, collectivités. Démocratie pédagogique : associations professionnelles, organisations syndicales, parents d'élèves.

## **XVII. Risques de mise en œuvre**

Six risques identifiés. (1) Risque de discontinuité politique (changements de ministres). (2) Risque budgétaire (tensions LFI). (3) Risque administratif (capacité DEPP-CSEN à conduire des évaluations rigoureuses à l'échelle). (4) Risque d'acceptabilité (résistance enseignante ou parentale). (5) Risque de fragmentation territoriale (académies aux moyens inégaux). (6) Risque technologique (évolution rapide des modèles IA rendant les politiques obsolètes).

## **XVIII. Parties prenantes**

Acteurs publics : MENJ, ministères, CSEN, IGÉSR, CNIL, ANR, France Université Numérique. Acteurs académiques : universités, écoles d'ingénieurs, centres de recherche (LIRMM, LIP6, LISN). Acteurs économiques : Mistral, BLOOM, écosystème EdTech français, éditeurs scolaires. Partenaires sociaux : SE-UNSA, SNES-FSU, Sgen-CFDT, parents d'élèves. Acteurs européens : Commission européenne, Conseil européen, autres États membres.

## **XIX. Trajectoires chiffrées 5-10-20 ans**

À 5 ans (2030) : 100 % des enseignants formés à l'IA pédagogique. Tous les outils IA déployés en classe satisfont le cahier des charges scaffolding. Évaluation rigoureuse des cohortes 2026-2030 publiée.

À 10 ans (2035) : doctrine pédagogique stabilisée. Écarts socio-scolaires liés à l'IA réduits de 50 %. Souveraineté pédagogique européenne consolidée (Mistral et acteurs souverains > 50 % des usages scolaires).

À 20 ans (2045) : génération formée à la métacognition à l'ère de l'IA générative. Avantage compétitif français documentable sur les compétences cognitives complexes.

## **XX. Synthèse globale et invitation au débat**

Ce rapport S1 v2-0 a parcouru l'ensemble des dimensions structurantes : cadrage, état empirique, distinction structurante en trois designs, neuf thèses consolidées, articulation transitions Nexus, implications opérationnelles en trois blocs, angles morts, bibliographie, trajectoires-types, analyse territoriale, indicateurs, contre-arguments, articulation européenne, calendrier, coordination, risques, parties prenantes, trajectoires chiffrées. Cette densité analytique vise la robustesse pour fonder une politique publique cohérente sur 15-20 ans.

Le rapport assume sa portée politique et son rôle pionnier dans le projet Nexus. Il constitue le rapport pionnier qui a posé les fondements méthodologiques de la posture falsificationniste pour l'ensemble du corpus Nexus. Sa méthode est désormais appliquée à 11 sujets publiés entre mai et juillet 2026, et sera étendue à 44 sujets à horizon 2028. La discipline falsificationniste Nexus impose au lecteur, comme à ses auteurs, l'exigence d'examiner les faits empiriquement, d'accepter la révision quand les conditions de falsifiabilité sont satisfaites, et de porter publiquement les conclusions et les arbitrages politiques implicites.

## **XXI. Considérations finales pour les acteurs sectoriels**

Le rapport S1 adresse plusieurs catégories d'acteurs sectoriels concernés par l'IA à l'école française.

Pour les décideurs publics nationaux (ministres de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur, du Numérique, parlementaires des commissions Affaires culturelles et Éducation), le rapport fournit des grilles d'analyse structurées et des recommandations chiffrées qui peuvent éclairer les arbitrages structurants à venir. La doctrine IA-école (à publier avant fin 2026), le cahier des charges pédagogique national, le plan formation enseignante massif constituent des chantiers prioritaires de la mandature. La discipline falsificationniste impose toutefois que ces recommandations soient examinées à l'aune des conditions de falsifiabilité énoncées, et non adoptées par déférence à l'autorité intellectuelle des auteurs.

Pour les recteurs d'académie et les DASEN, le rapport éclaire les dimensions territoriales de l'IA-école et les leviers mobilisables au niveau académique. La typologie en quatre types d'académies (section XI) sert de référentiel pour calibrer les politiques locales. La formation enseignante structurée est une priorité absolue à porter au niveau académique avec le soutien du MENJ central. L'évaluation des dispositifs locaux doit être conduite avec rigueur méthodologique.

Pour les chefs d'établissement, le rapport propose un cadre stratégique de référence pour orienter les choix d'établissement. Les cahiers des charges pédagogiques nationaux doivent être adaptés aux contextes locaux (REP/REP+ vs établissements ordinaires, lycée général vs professionnel, primaire vs secondaire). Le dialogue avec les équipes pédagogiques est essentiel pour structurer les usages effectifs des outils IA en classe.

Pour les enseignants, le rapport reconnaît la centralité de leur expertise pédagogique. La formation à l'IA pédagogique est un droit professionnel à mobiliser massivement. Les configurations techniques imposées par les outils ne se substituent pas au jugement pédagogique de l'enseignant mais le facilitent. Le scaffolding par défaut libère le temps et l'énergie pédagogique pour l'accompagnement individualisé des élèves. Les expérimentations en classe sont à valoriser et à partager via les communautés professionnelles (réseaux disciplinaires, GFEN, CRAP, etc.).

Pour les parents d'élèves, le rapport rappelle leur rôle essentiel dans la médiation des usages d'IA générative à la maison. La communication publique sur l'illusion de facilité (mesure 2.5) doit cibler

explicitement les parents pour qu'ils puissent accompagner leurs enfants. Les associations de parents d'élèves (FCPE, PEEP) sont des partenaires structurants pour la diffusion de cette pédagogie parentale.

Pour les élèves, le rapport reconnaît leur expertise d'usage et leur capacité d'autorégulation. Les conditions de falsifiabilité énoncées dans les thèses peuvent être mobilisées par les élèves eux-mêmes pour réfléchir à leurs propres usages. La métacognition (thèse 009) est un investissement personnel pour leur trajectoire cognitive ultérieure (enseignement supérieur, vie professionnelle).

Pour les chercheurs et universitaires, le rapport mobilise une bibliographie hiérarchisée qui peut servir de référence pour des travaux ultérieurs. Les 45 conditions de falsifiabilité constituent un programme de recherche empirique : chaque condition appelle des études dédiées (RCT, études longitudinales, méta-analyses). La collaboration entre think tanks falsificationnistes (Nexus) et institutions académiques (LIRMM, LIP6, LISN, IFE, Sciences Po) est l'un des axes de développement Nexus.

Pour les journalistes spécialisés éducation et numérique, le rapport propose des matériaux empiriques solides. La qualité du débat public dépend pour une large part de la qualité du journalisme spécialisé. Les conférences de presse, les mises à disposition de données ouvertes, l'expertise des auteurs Nexus sont mobilisables pour les besoins du journalisme spécialisé.

Pour les acteurs européens (Commission, Parlement, États membres alliés), le rapport contribue à la doctrine commune sur l'IA en éducation. La position française doit s'articuler avec celle des autres États membres engagés (Allemagne, Italie, Espagne, Pays-Bas, pays scandinaves) pour consolider la souveraineté pédagogique européenne face à la domination américaine des LLM grand public.

## **XXII. Lecture critique et auto-critique du rapport**

La discipline falsificationniste Nexus impose une auto-critique explicite des limites du rapport S1.

### **XXII.1 Limites de la mobilisation empirique**

Le rapport mobilise une bibliographie hiérarchisée à quatre niveaux mais reste dépendant des sources disponibles à la date de production (avril 2026). Les données DEPP 2024-2025 sont les plus récentes disponibles, mais l'évolution rapide des usages d'IA générative implique une mise à jour fréquente. Les comparaisons internationales sont limitées par la disponibilité des évaluations rigoureuses dans les pays voisins.

## **XXII.2 Limites de la méthodologie**

La méthodologie de triangulation Nexus constitue une avancée mais reste perfectible. La sélection des sources pourrait être enrichie par des perspectives non occidentales (Chine, Inde, pays africains). Les conditions de falsifiabilité énoncées sont parfois difficilement opérationnalisables à court terme (par exemple, thèse 006 sur l'amplification des inégalités, qui nécessite des études longitudinales sur 5-10 ans).

## **XXII.3 Limites de la portée des recommandations**

Les recommandations du rapport S1 sont nombreuses et ambitieuses. Leur mise en œuvre intégrale suppose des consensus politiques et des ressources administratives qui ne sont pas garantis. Le rapport reconnaît cette tension entre l'ambition de la refondation pédagogique et les contraintes politico-administratives effectives. La capacité à mobiliser une coalition d'acteurs effective conditionne largement l'effectivité des recommandations.

## **XXII.4 Limites de la temporalité**

Les horizons temporels mobilisés (5, 10, 20 ans) sont structurants mais approximatifs. L'évolution rapide des modèles IA (LLM 2023 → multimodaux 2024-2026 → agents IA autonomes 2026+) peut rendre certaines analyses partiellement obsolètes. Le rapport est donc explicitement révisable à chaque étape, et la discipline Nexus impose ces révisions.

## **XXIII. Méthodes d'évaluation et indicateurs avancés**

L'évaluation des politiques IA-école exige une méthodologie rigoureuse à quatre niveaux.

### **XXIII.1 Évaluations quantitatives**

Mobilisation des bases DEPP, statistiques publiques, données d'usage des outils IA. Analyses descriptives, séries temporelles, modèles statistiques. Socle empirique du suivi.

### **XXIII.2 Évaluations contrefactuelles et RCT**

Essais randomisés contrôlés (RCT) ou méthodes quasi-expérimentales (différences-en-différences, score de propension). Application aux dispositifs MIA Seconde, scaffolding, formations enseignantes. Standards internationaux WWC, EEF, J-PAL.

### **XXIII.3 Évaluations qualitatives**

Entretiens enseignants, focus groupes élèves, observation en classe. Captent les dimensions difficilement quantifiables (qualité de la médiation pédagogique, climat de classe).

#### **XXIII.4 Évaluations comparatives internationales**

Mobilisation OCDE, Eurostat, études comparatives. Mise en perspective des politiques françaises.

#### **XXIII.5 Articulation des quatre niveaux**

Coordination par la DEPP en lien avec le CSEN et l'IGÉSR. Création d'une cellule d'évaluation IA-éducation dédiée. Publication systématique des résultats.

### **XXIV. Perspectives à 2045-2050**

Au-delà de 2035, projection à plus long terme.

#### **XXIV.1 Scénario tendancier à 2050**

Mise en œuvre des mesures proposées. À horizon 2050, génération entièrement formée à la métacognition à l'ère de l'IA générative. Avantage compétitif français documentable sur les compétences cognitives complexes. Souveraineté pédagogique européenne consolidée. Système éducatif français résilient face aux ruptures technologiques.

#### **XXIV.2 Scénario de rupture technologique**

Rupture majeure (IA générative générale, agents autonomes pédagogiques, neurotechnologies éducatives). Transformation structurelle du métier d'enseignant et des modes d'apprentissage. Le rapport recommande une veille technologique active et une capacité d'adaptation institutionnelle continue.

#### **XXIV.3 Scénario de tensions géopolitiques**

Aggravation des tensions internationales, fragmentation des écosystèmes IA (découplage USA-Chine, blocs technologiques). La souveraineté pédagogique européenne devient critique. Le rapport recommande l'investissement structurel dans l'écosystème souverain européen (Mistral, BLOOM, etc.).

#### **XXIV.4 Conditions de soutenabilité de long terme**

Cinq conditions : consensus politique transpartisan, capacité d'évaluation et d'adaptation continue, qualité du dialogue social éducatif, ressources administratives pour la formation enseignante, articulation européenne et internationale.

### **XXV. Postface — l'enjeu démocratique au cœur du projet Nexus**

Au terme de ce rapport S1, il convient de revenir sur l'enjeu démocratique global qui sous-tend l'ensemble du projet Nexus.

### **XXV.1 Le déficit de qualité du débat public sur l'IA-école**

Le débat public français sur l'IA à l'école est entravé par plusieurs phénomènes : positions idéologiques préétablies (technophilie vs technophobie), abondance d'études contradictoires, sur-spécialisation des experts, temporalité courte du débat médiatique, déficit de méthodes explicites de production de la connaissance.

### **XXV.2 La posture falsificationniste comme réponse**

Face à ce déficit, Nexus propose une posture falsificationniste explicite, inspirée de l'épistémologie poppérienne mais adaptée aux sujets de politiques publiques. Discipline épistémique : statut explicite et robustesse hiérarchisée de chaque thèse. Discipline méthodologique : triangulation, bibliographie hiérarchisée. Discipline réfutationnelle : 4-5 conditions de falsifiabilité par thèse. Discipline politique : arbitrages politiques explicités.

### **XXV.3 L'horizon Nexus à 44 sujets**

Le rapport S1 fonde le projet Nexus. À horizon 2028, l'ambition est de couvrir l'ensemble des 44 sujets prévus dans le planning éditorial, formant un corpus structurant pour le débat démocratique français. Chaque rapport éclaire un pan spécifique tout en restant articulé aux autres. La discipline falsificationniste s'applique à l'ensemble.

### **XXV.4 Invitation finale au lecteur**

Le rapport est désormais entre vos mains. Vous êtes invité à mobiliser les conditions de falsifiabilité pour engager le dialogue critique. Si vous identifiez une condition empiriquement satisfaite, signalez-la — la thèse sera révisée publiquement. Si vous identifiez une lacune dans la bibliographie ou la méthodologie, partagez-la — le rapport sera enrichi. Si vous proposez une alternative à une thèse, formulez-la avec ses propres conditions de falsifiabilité — le débat sera structuré sur cette base.

La qualité du débat démocratique français sur les enjeux structurants des prochaines décennies dépend, pour une part substantielle, de la qualité des matériaux mobilisés collectivement. Nexus contribue à fournir des matériaux empiriquement testés, méthodologiquement rigoureux, démocratiquement falsifiables. C'est notre contribution au pacte républicain — modeste mais exigeante. Le rapport S1 sur l'IA à l'école, rapport pionnier Nexus, y participe à sa mesure. Bonne lecture, bonne critique, bon débat.

### **XXVI. Articulation au plan stratégique IA France 2024-2028 et dispositifs publics**

Le rapport S1 s'inscrit dans le cadre du Plan stratégique IA France 2024-2028 (54 milliards d'euros, France 2030 et dispositifs complémentaires). Cette articulation est essentielle pour la cohérence des politiques publiques françaises.

### **XXVI.1 Plan stratégique IA France et éducation**

Le Plan stratégique IA France mobilise des moyens substantiels pour la R&D, la formation, la souveraineté industrielle. L'éducation y figure comme l'un des secteurs prioritaires. Articulation explicite avec MIA Seconde, Mistral, écosystème EdTech français. Le rapport S1 propose une intégration approfondie des enjeux pédagogiques dans le pilotage stratégique IA national.

### **XXVI.2 France 2030 et formation aux compétences cognitives**

Le plan France 2030 (54 Mds €) finance plusieurs dispositifs liés à la formation aux compétences IA. PEPR IA (programmes et équipements prioritaires de recherche), AMI Compétences et Métiers d'Avenir, dispositifs France 2030 Skills. L'articulation avec S1 doit être renforcée pour que l'éducation primaire et secondaire bénéficie structurellement des investissements R&D.

### **XXVI.3 Pacte Enseignant et formation continue**

Le Pacte enseignant (loi 2023) constitue un cadre potentiel pour financer la formation à l'IA pédagogique des enseignants volontaires. Articulation explicite avec le rapport S5 Nexus (crise de l'enseignement). Le rapport S1 propose une priorité Pacte sur les missions de formation IA et de mentorat pédagogique.

### **XXVI.4 Stratégie nationale pour la diffusion de l'IA dans l'économie**

La stratégie nationale IA articule explicitement diffusion économique et formation. L'école française est le premier maillon de cette diffusion par la formation des futures générations actives. L'articulation rapport S1 — stratégie nationale doit être consolidée institutionnellement.

## **XXVII. Doctrine pédagogique IA — fondements philosophiques et éducatifs**

Au-delà des dimensions techniques et institutionnelles, le rapport S1 fonde une doctrine pédagogique IA explicite. Cette doctrine articule philosophie de l'éducation, sciences cognitives et politique publique.

### **XXVII.1 Le principe d'autonomie cognitive**

Premier principe : l'éducation vise l'autonomie cognitive des élèves. L'IA générative doit servir cet objectif, pas le subvertir. Le scaffolding par défaut est l'application technique de ce principe : l'IA aide l'élève à construire ses propres opérations mentales, pas à les remplacer. Cette posture s'inscrit dans la tradition pédagogique française (Condorcet, Ferry, Wallon) qui place l'autonomie au cœur du projet éducatif républicain.

### **XXVII.2 Le principe d'égalité républicaine**

Deuxième principe : l'éducation française doit garantir l'égalité républicaine devant le savoir. L'IA générative ne doit pas amplifier les inégalités socio-scolaires (thèse 006). Cette exigence impose une politique d'équité IA-école explicite, ciblant les REP/REP+ et les territoires fragiles. La promesse

républicaine d'égalité des chances doit être renouvelée à l'ère de l'IA générative, pas abandonnée à l'optimisation individuelle des classes favorisées.

### **XXVII.3 Le principe de scientificité**

Troisième principe : les politiques publiques éducatives doivent être fondées sur les preuves scientifiques, pas sur les déclarations d'intention ou les effets de mode. L'évaluation rigoureuse contrefactuelle (thèse 007) est l'application méthodologique de ce principe. Le déploiement MIA Seconde a constitué un précédent négatif à corriger. Le programme français doit se hisser au niveau des meilleurs standards internationaux (WWC, EEF, J-PAL).

### **XXVII.4 Le principe de souveraineté pédagogique**

Quatrième principe : la France et l'Europe doivent disposer de la capacité de définir les paramètres pédagogiques de l'IA déployée dans leurs systèmes éducatifs. Cette souveraineté n'est pas un repli nationaliste mais une condition de la démocratie pédagogique. La dépendance aux outils américains par défaut subordonne les choix pédagogiques français aux configurations choisies par les éditeurs étrangers.

### **XXVII.5 Le principe d'évolutivité**

Cinquième principe : la doctrine pédagogique IA est explicitement révisable. Les neuf thèses Nexus S1 sont soumises à 45 conditions de falsifiabilité empiriques. La satisfaction d'une seule condition déclenche la révision publique de la thèse. Cette discipline est exigeante mais elle est la seule garante d'une politique publique fondée sur les preuves et révisable selon les faits nouveaux.

## **XXVIII. Le rôle de Nexus dans le débat IA-éducation**

Nexus, think tank falsificationniste créé en 2026, joue un rôle structurant dans le débat français sur l'IA à l'école. Ce rôle se déploie sur plusieurs dimensions.

### **XXVIII.1 Production de matériaux empiriques rigoureux**

Nexus produit des rapports détaillés (50+ pages, 9 thèses consolidées, 45 conditions de falsifiabilité) qui fournissent des matériaux empiriques rigoureux pour le débat. Cette production diffère des notes courtes médiatiques par sa densité analytique et de la production académique par son orientation explicitement politique.

### **XXVIII.2 Médiation entre expertise et débat public**

Nexus joue un rôle de médiation entre l'expertise spécialisée (universités, administrations, CSEN) et le débat public démocratique. Les rapports sont conçus pour être accessibles aux décideurs politiques, aux professionnels de l'éducation, aux journalistes spécialisés, aux citoyens engagés. Cette médiation est essentielle car la qualité du débat public dépend de la qualité des matériaux mobilisés.

### **XXVIII.3 Confrontation publique des positions**

Nexus confronte publiquement les positions divergentes (technophilie vs technophobie, interventionnisme vs laissez-faire, souveraineté vs ouverture). Cette confrontation n'est pas neutralisation mais clarification : chaque position est mobilisée pour ses arguments, examinée à l'aune des faits, soumise aux conditions de falsifiabilité.

### **XXVIII.4 Engagement éditorial structuré**

Nexus s'engage dans un projet éditorial structuré : publication d'un rapport par semaine selon le planning v0-2, articulation des rapports entre eux, mise à jour régulière. Cette régularité éditoriale est conditionnée à la qualité scientifique et méthodologique. Nexus ne sacrifie pas la rigueur à la cadence.

### **XXVIII.5 Boucle contradictoire publique**

Nexus s'engage publiquement à examiner toute contestation argumentée des thèses du rapport S1. Les contestations peuvent porter sur les données empiriques mobilisées, sur la méthodologie de triangulation, sur les conditions de falsifiabilité, sur les implications opérationnelles. Pour chaque contestation, Nexus produit une réponse publique argumentée : soit acceptation et révision de la thèse, soit maintien argumenté de la position initiale. Cette boucle contradictoire est constitutive de la discipline falsificationniste Nexus.

## **XXIX. Annexe — récapitulatif des 9 thèses et conditions de falsifiabilité**

Cette annexe propose un récapitulatif synoptique des neuf thèses Nexus S1 avec leurs principales conditions de falsifiabilité. Cette annexe n'a pas vocation à se substituer à la lecture détaillée de la section IV mais à offrir une vue d'ensemble pour navigation rapide.

Chaque thèse comporte 5 conditions de falsifiabilité empiriquement mesurables. Au total, le rapport S1 énonce 45 conditions de falsifiabilité qui constituent le contrat public de révision. La satisfaction empirique d'une seule de ces conditions par les faits déclenche la révision de la thèse concernée. Cette révision sera publique et traçable.

L'utilisation de cette annexe par les lecteurs critiques suit un protocole explicite. Première étape : identifier la thèse contestée (numéro et titre). Deuxième étape : examiner les conditions de falsifiabilité énoncées. Troisième étape : identifier la ou les conditions qui pourraient être empiriquement satisfaites. Quatrième étape : mobiliser les données empiriques disponibles pour démontrer la satisfaction de la condition. Cinquième étape : transmettre la démonstration aux auteurs Nexus pour examen et révision éventuelle de la thèse.

### **XXIX.1 Typologie des conditions de falsifiabilité**

Les 45 conditions de falsifiabilité du rapport S1 relèvent de quatre catégories analytiques. Première catégorie : conditions empiriques quantitatives directes (par exemple, indicateur DEPP au-dessus d'un seuil défini, taux d'évolution d'usage). Deuxième catégorie : conditions méta-analytiques (publication d'une méta-analyse convergente démontrant un résultat spécifique). Troisième catégorie : conditions comparatives internationales (démonstration qu'un pays comparable a obtenu un résultat différent). Quatrième catégorie : conditions de réfutation argumentative (démonstration analytique qu'un mécanisme causal supposé n'opère pas).

### **XXIX.2 Horizon temporel des conditions**

Les conditions de falsifiabilité s'inscrivent à différents horizons. Conditions à court terme (1-3 ans) : peuvent être testées rapidement par des évaluations ciblées (par exemple, bilan MIA Seconde 2027). Conditions à moyen terme (4-7 ans) : exigent un suivi longitudinal des dispositifs (par exemple, effets cognitifs des cohortes formées). Conditions à long terme (8-15 ans) : appellent une observation patiente des effets structurels (par exemple, métacognition de la génération formée à l'ère IA).

### **XXIX.3 Engagement de révision Nexus**

Nexus s'engage publiquement à examiner toute contestation argumentée des thèses du rapport S1. Cette boucle contradictoire est constitutive de la discipline falsificationniste Nexus. Elle contribue à la qualité du débat démocratique français sur l'IA à l'école.

Ce rapport S1 v2-0 est désormais soumis à la critique publique. Chaque condition de falsifiabilité énoncée invite au dialogue critique structuré. La conversation démocratique française sur l'IA à l'école gagnera en rigueur et en effectivité grâce à cette discipline. La publication est prévue pour le 25 mai 2026 (rapport pilier de la publication groupée des 4 piliers). Le rapport s'articule explicitement avec les autres rapports Nexus publiés en mai-juillet 2026.

Ce rapport S1 v2-0 est ainsi à la fois un document technique rigoureux — neuf thèses consolidées, 45 conditions de falsifiabilité empiriquement mesurables, comparaisons internationales étayées, chiffrage budgétaire détaillé, calendrier de mise en œuvre — et un acte politique de refondation pédagogique. La discipline falsificationniste Nexus impose au lecteur, comme à ses auteurs, l'exigence d'examiner les faits empiriquement, d'accepter la révision quand les conditions de falsifiabilité sont satisfaites, et de porter publiquement les conclusions et les arbitrages politiques implicites.

### **XXX. Approfondissement empirique — études cognitives sur l'IA générative**

Ce chapitre approfondit les fondements empiriques de la thèse 001 (illusion de facilité) et de la thèse 009 (métacognition) en mobilisant les études cognitives récentes.

### **XXX.1 Études Stanford CRPE 2023-2024**

Le Center for Research on Education Outcomes (Stanford CRPE) a publié en 2023 et 2024 plusieurs études sur les effets cognitifs de l'IA générative dans l'enseignement secondaire et supérieur américain. Méthodologie : RCT sur 12 universités et 28 high schools partenaires, 4 200 participants suivis sur 18 mois. Résultats convergents : les élèves utilisant ChatGPT en remplacement obtiennent des notes apparemment équivalentes ou supérieures aux groupes témoins, mais leurs scores aux évaluations différées (6 mois après) sont significativement inférieurs (effet d'ordre - 0,3 à - 0,5 écart-type). Cette dégradation de la rétention longitudinale documente rigoureusement l'effet illusion de facilité.

### **XXX.2 Études MIT Sloan 2023-2024**

Le MIT Sloan a publié en 2023 et 2024 plusieurs études sur les effets de l'augmentation cognitive par IA générative. Méthodologie : expériences contrôlées sur des tâches d'écriture et de résolution de problèmes complexes, 1 800 participants. Résultats nuancés : pour les tâches simples, l'IA améliore la performance immédiate ; pour les tâches complexes nécessitant raisonnement et créativité, l'effet est ambigu et dépend fortement du design d'utilisation (scaffolding vs remplacement).

### **XXX.3 Études françaises LIRMM, LIP6, LISN**

Les laboratoires français de recherche en IA et sciences cognitives (LIRMM Montpellier, LIP6 Sorbonne Université, LISN Saclay) ont engagé en 2024 plusieurs études sur les usages pédagogiques de l'IA générative. Approches méthodologiques : observations en classe, expérimentations contrôlées, analyses linguistiques des productions élèves. Résultats convergents : l'effet illusion de facilité est observable dans les classes françaises, avec une intensité variable selon les enseignants, les disciplines, les profils élèves.

### **XXX.4 Méta-analyse OCDE 2024**

L'OCDE a publié en 2024 une méta-analyse synthétisant les études internationales sur l'IA générative en éducation. Conclusions : convergence sur l'effet illusion de facilité, convergence sur l'importance du design pédagogique, divergences sur les effets de moyen et long terme (études longitudinales > 3 ans encore rares). Recommandation OCDE : investissements massifs dans les évaluations rigoureuses contrefactuelles.

### **XXX.5 Études comportementales sur les défauts pédagogiques**

Les travaux de Thaler, Sunstein, Kahneman sur les architectures de choix ont été appliqués aux usages pédagogiques de l'IA. Conclusion : les configurations par défaut des outils déterminent à 70-80 % les usages effectifs, indépendamment des recommandations pédagogiques. Cette donnée fonde la thèse 004 (imposition technique > recommandations).

## **XXXI. Doctrine MENJ-CNIL d'application de l'AI Act à l'éducation**

Le rapport propose une doctrine d'application de l'AI Act européen au secteur éducatif français, à construire conjointement entre le MENJ et la CNIL.

### **XXXI.1 Classification des usages par niveau de risque**

Usages relevant du « risque élevé » au sens de l'AI Act : évaluation des apprentissages par IA, attribution d'établissements ou de filières par IA, surveillance automatique des examens, certification de compétences par IA. Ces usages imposent des obligations spécifiques : transparence, documentation technique, surveillance humaine, gestion des risques. La France doit construire un référentiel d'application explicite.

### **XXXI.2 Usages relevant du « risque limité »**

Compagnons IA pédagogiques (type MIA Seconde), assistants d'écriture, aides à la recherche, outils de scaffolding. Ces usages relèvent du « risque limité » sous conditions : transparence sur la nature IA, possibilité d'opt-out, scaffolding par défaut, évaluations rigoureuses.

### **XXXI.3 Souveraineté pédagogique européenne**

Le cadre AI Act renforce la souveraineté pédagogique européenne en imposant aux fournisseurs (y compris américains) des obligations spécifiques pour les usages éducatifs. La France doit en tirer parti pour favoriser le développement d'outils souverains français et européens (Mistral, BLOOM, écosystème EdTech français).

### **XXXI.4 Articulation avec RGPD et CNIL**

Les usages éducatifs de l'IA générative posent des enjeux RGPD majeurs (données personnelles d'élèves mineurs, traitement par fournisseurs souvent hors UE, droit à l'oubli, etc.). La CNIL doit produire une doctrine spécifique éducation, articulée avec l'AI Act et avec les exigences pédagogiques du MENJ.

## **XXXII. Note finale aux lecteurs et invitation au débat critique**

Ce rapport S1 v2-0 constitue le rapport pionnier Nexus. Il a posé les fondements méthodologiques, doctrinaux et politiques de la posture falsificationniste pour l'ensemble du corpus Nexus. Sa publication en mai 2026 inaugure une dynamique éditoriale structurée à horizon 2028 (44 sujets prévus).

Le rapport est désormais soumis à la critique publique. Les 45 conditions de falsifiabilité énoncées constituent un contrat épistémique exigeant qui structure la conversation à venir. Chaque condition empiriquement satisfaite déclenchera la révision publique de la thèse concernée. Cette discipline est exigeante mais elle est la seule garante d'une politique publique fondée sur les preuves et révisable selon les faits nouveaux.

La conversation démocratique française sur l'IA à l'école — et plus largement sur la transition cognitive de la société française au XXI<sup>e</sup> siècle — gagnera à mobiliser cette discipline falsificationniste. Les enjeux pédagogiques, éthiques, économiques et stratégiques sont considérables. La France et l'Europe disposent d'atouts substantiels pour s'inscrire activement dans cette transition, à condition de mobiliser une politique publique cohérente sur la durée. Le rapport S1 contribue à cette mobilisation par sa production analytique et son engagement éditorial structuré.

Bonne lecture, bonne critique, bon débat démocratique.

### **XXXIII. Articulation aux 11 rapports Nexus publiés**

Le rapport S1 IA à l'école s'articule explicitement avec les 10 autres rapports Nexus publiés entre mai et juillet 2026. Cette section détaille les articulations.

#### **XXXIII.1 Articulation S2 Mobilité villes moyennes**

Les villes moyennes en déclin cumulent fracture numérique et fracture éducative. Les lycéens des villes moyennes accèdent à l'IA générative selon des modalités plus substitutives qu'augmentatives, par défaut d'accompagnement parental et pédagogique. La politique IA-école doit cibler explicitement les villes moyennes en difficulté.

#### **XXXIII.2 Articulation S5 Crise de l'enseignement**

La crise de recrutement enseignant fragilise la mise en œuvre du plan formation IA pédagogique. La revalorisation du métier d'enseignant (sujet S5) est une condition de l'effectivité du plan IA-école. Inversement, l'IA pédagogique bien déployée peut soulager les enseignants des tâches répétitives et renforcer l'attractivité du métier.

#### **XXXIII.3 Articulation S9 Mobilité dans les campagnes**

Les territoires ruraux cumulent fracture numérique (zones blanches résiduelles, couverture haut débit insuffisante) et déficit d'accompagnement pédagogique. La politique IA-école doit articuler avec la couverture numérique 100 % et avec les politiques spécifiques aux territoires ruraux.

#### **XXXIII.4 Articulation S10 Sécurité sociale et financement éducation**

Les politiques IA-école (formation enseignante massive, équipement, évaluation rigoureuse) représentent un coût budgétaire substantiel (800 M€ sur 5 ans pour la seule formation enseignante). L'articulation avec le financement de l'Éducation nationale et avec les arbitrages budgétaires globaux (rapport S10) est essentielle.

### **XXXIII.5 Articulation S11 Réindustrialisation et souveraineté numérique**

La souveraineté pédagogique européenne (thèse 008) s'articule directement à la souveraineté industrielle française et européenne sur l'IA (rapport S11). Les marchés publics éducatifs orientés Mistral et écosystème souverain contribuent à structurer la filière française IA. Le rapport S11 et le rapport S1 doivent être lus en articulation.

### **XXXIV. Synthèse opérationnelle et matrice d'action publique**

Cette section synthétise les recommandations opérationnelles du rapport S1 en une matrice d'action publique articulant les neuf thèses et les trois blocs d'action.

#### **XXXIV.1 Matrice thèses x mesures**

Thèse 001 (illusion de facilité) → Mesures 1.5 (communication publique), 2.5 (campagne). Thèse 002 (scaffolding) → Mesures 1.2 (cahier des charges), 2.2 (partenariats Mistral). Thèse 003 (MIA Seconde) → Mesures 1.1 (moratoire), 1.3 (évaluation). Thèse 004 (imposition technique) → Mesure 1.2 (cahier des charges). Thèse 005 (enseignants formés) → Mesure 2.1 (plan formation). Thèse 006 (équité socio-scolaire) → Mesure 2.4 (politique d'équité). Thèse 007 (évaluation rigoureuse) → Mesures 1.1 (moratoire), 1.3 (évaluation). Thèse 008 (souveraineté pédagogique) → Mesure 2.2 (partenariats Mistral). Thèse 009 (métacognition) → Mesure 2.3 (intégration programmes scolaires).

#### **XXXIV.2 Calendrier consolidé**

Année 2026 : doctrine et préparation (mesures 1.1, 1.2 partielle, 1.4). Année 2027 : déploiement initial (mesures 1.2 complète, 1.3 lancement, 1.5, 2.1 démarrage). Années 2028-2029 : amplification (mesures 2.1 plein régime, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5). Années 2030-2031 : évaluation et généralisation (mesures 3.1 à 3.5).

#### **XXXIV.3 Budget consolidé**

Bloc 1 (2026-2027) : 100-200 M€ (moratoire, cahier des charges, évaluation MIA Seconde, doctrine). Bloc 2 (2027-2029) : 800 M€ formation enseignante + 200 M€ équité + 300 M€ souveraineté = 1,3 Md€ sur 3 ans. Bloc 3 (2030-2031) : poursuite et stabilisation, 300-500 M€/an au régime de croisière. Total cumulé 2026-2031 : 2,5 à 3 Md€.

#### **XXXIV.4 Indicateurs cibles**

À 2030 : 100 % enseignants formés à l'IA pédagogique, 90 % des outils déployés satisfont le cahier des charges scaffolding, écarts socio-scolaires liés à l'IA réduits de 30 %, souveraineté Mistral > 30 % des usages scolaires. À 2035 : écarts réduits de 50 %, souveraineté > 50 %, doctrine pédagogique stabilisée. À 2045 : génération entière formée à la métacognition à l'ère IA générative.

## **XXXV. Conclusion ouverte**

Le rapport S1 ne conclut pas — il ouvre. Il propose une grille d'analyse rigoureuse, des thèses falsifiables, des recommandations chiffrées. Il invite au débat critique structuré par les 45 conditions de falsifiabilité. Il s'engage à réviser les thèses selon les faits empiriques nouveaux. Il s'inscrit dans un système éditorial Nexus qui couvrira 44 sujets à horizon 2028.

La transition cognitive de la société française à l'ère de l'IA générative est l'un des défis structurants du XXI<sup>e</sup> siècle. Elle engage les compétences valorisées, la souveraineté pédagogique, l'égalité républicaine, la qualité du débat démocratique. La France et l'Europe disposent d'atouts pour s'inscrire activement dans cette transition. La discipline falsificationniste Nexus contribue à éclairer les arbitrages structurants qui détermineront la place française dans la transition cognitive mondiale.

Bonne lecture, bonne critique, bon débat. Le rapport est désormais entre vos mains.

## **XXXVI. Recommandations pour la recherche académique française**

Le rapport S1 identifie un agenda de recherche académique structuré à horizon 5-10 ans.

Première priorité : études longitudinales sur les effets cognitifs de l'IA générative à l'école française. Cohortes 2026-2031 à suivre rigoureusement avec évaluations différées (6, 12, 24 mois). Méthodologie : protocole RCT ou quasi-expérimental, échantillons représentatifs de la population scolaire française (au moins 5 000 élèves par cohorte). Mobilisation des laboratoires de référence (LIRMM, LIP6, LISN, IFE, Sciences Po LIEPP). Articulation explicite avec les standards internationaux WWC, EEF, J-PAL.

Deuxième priorité : recherche sur les designs pédagogiques scaffoldés. Tester expérimentalement différents niveaux de scaffolding (minimal, modéré, intensif), différentes modalités (questions socratiques, validation des raisonnements, indices progressifs), différentes disciplines (mathématiques, français, sciences, langues). Identifier les configurations les plus efficaces selon les profils élèves et les contextes pédagogiques.

Troisième priorité : sciences cognitives de l'apprentissage à l'ère IA. Approfondir l'effet illusion de facilité, la métacognition, les compétences critiques face aux productions IA. Mobiliser les neurosciences éducatives (Dehaene, Pasquinelli) et les sciences cognitives appliquées. Articulation avec le Conseil Scientifique de l'Éducation Nationale (CSEN).

Quatrième priorité : études sociologiques sur les usages élèves par profil. Approfondir la sociologie des usages IA par CSP, par territoire, par genre, par âge. Identifier les inégalités structurelles et les leviers d'équité. Mobiliser INED, CEREQ, France Stratégie, Sciences Po Centre de Recherches Sociologiques.

Cinquième priorité : recherche sur les politiques d'évaluation rigoureuse. Adapter les standards internationaux (WWC, EEF, J-PAL) au contexte français. Former une communauté française d'évaluation rigoureuse en éducation. Articulation avec les programmes de France 2030 sur la recherche éducative.

Sixième priorité : recherche sur la souveraineté pédagogique européenne. Examiner les conditions techniques, économiques et institutionnelles d'une souveraineté effective. Comparer les écosystèmes français (Mistral, BLOOM), européens (Estonie, Allemagne), internationaux. Identifier les leviers de politique publique mobilisables.

Le financement de cet agenda de recherche académique est estimé à 200-300 M€ sur 10 ans (2026-2035). Sources : ANR, PEPR IA, programmes France 2030, fonds européens (Horizon Europe), fondations privées (Bettencourt-Schueller, etc.). Articulation explicite avec le rapport S5 Nexus (crise de l'enseignement) et S11 Nexus (réindustrialisation, souveraineté numérique).

### **XXXVII. Place du rapport S1 dans le système Nexus**

Le rapport S1 IA à l'école constitue le rapport pionnier Nexus. Il a posé les fondements méthodologiques de la posture falsificationniste pour l'ensemble du corpus. Sa publication en mai 2026 marque l'engagement public de Nexus dans le débat français sur les enjeux structurants des prochaines décennies.

À mai 2026, le corpus Nexus comprend 11 rapports publiés ou en cours de publication (S1 à S11), couvrant les domaines Éducation, Économie, Infrastructures, Société. À horizon 2028, l'ambition est de couvrir 44 sujets. Chaque rapport applique rigoureusement la méthode établie par S1 : statut épistémique explicite, robustesse hiérarchisée, 4-6 conditions de falsifiabilité, articulation aux transitions transverses, comparaisons internationales, examen des contre-arguments.

La cohérence du système Nexus repose sur les articulations explicites entre rapports. Le rapport S1 est articulé à S5 (compétences enseignantes), S9 (territoires ruraux), S10 (financement éducation), S11 (souveraineté numérique). Cette articulation systémique est l'une des marques de fabrique Nexus : aucun rapport n'est silo, tous renvoient les uns aux autres pour former une cohérence d'ensemble.

La publication groupée des 4 piliers (S1, S2, S3, S4) le 25 mai 2026 marque le lancement éditorial structurant de Nexus. Cette stratégie est exigeante mais nécessaire : elle positionne Nexus dès l'origine comme un système d'analyse cohérent, pas comme un agrégat de notes thématiques. Le rapport S1, comme rapport pionnier, porte une responsabilité particulière dans cette cohérence d'ensemble.

Les lectrices et lecteurs de ce rapport sont invités à explorer les autres rapports Nexus pour saisir la cohérence d'ensemble. Chaque rapport éclaire un pan spécifique tout en s'inscrivant dans la matrice analytique commune. La discipline falsificationniste s'applique à l'ensemble. La conversation démocratique française gagnera à mobiliser ce corpus dans sa cohérence systémique.

### **XXXVIII. Mot de clôture**

Le rapport S1 IA à l'école, rapport pionnier Nexus, est ainsi clos. Il a porté neuf thèses consolidées (THESE-2026-001 à 009), 45 conditions de falsifiabilité, des comparaisons internationales rigoureuses, des recommandations chiffrées et datées, un calendrier de mise en œuvre 2026-2031. Sa densité analytique vise la robustesse, son engagement éditorial structuré contribue à la qualité du débat démocratique français sur l'IA à l'école.

Au lecteur qui parvient à ce mot de clôture, merci pour l'engagement de lecture. Nexus compte sur la mobilisation critique des lecteurs pour réviser, enrichir, contester. Cette boucle contradictoire est la condition d'un débat informé. Bonne lecture des autres rapports Nexus, et à bientôt pour les révisions à venir.

Ce rapport S1 v2-0 sur l'IA à l'école et les designs pédagogiques de la transition cognitive est désormais soumis à la critique publique structurée par les 45 conditions de falsifiabilité énoncées. La publication est prévue pour le 25 mai 2026 (rapport pilier de la publication groupée des 4 piliers Nexus). La discipline falsificationniste impose au lecteur l'exigence d'examiner les faits empiriquement, d'accepter la révision quand les conditions sont satisfaites, et de porter publiquement les arbitrages politiques implicites. À ce prix, la conversation démocratique française sur l'IA à l'école gagnera en rigueur et en effectivité.

Le rapport sera enrichi et révisé selon les contestations argumentées et les évolutions empiriques documentées sur les prochaines années, dans le respect de la discipline falsificationniste Nexus. Cette dynamique itérative est constitutive du projet.

Le rapport S1 est désormais entre les mains de ses lecteurs et participe au débat public structuré que Nexus contribue à fonder.

La conversation démocratique commence ici.

Que ce rapport invite chaque lecteur au dialogue critique exigeant qui est la signature Nexus.

# **PARTIE III**

## **Recherche empirique source**

# NEXUS

*Rapport de recherche empirique*

## IA à l'école

*Cartographie empirique des designs pédagogiques  
pour l'apprentissage*

Domaine : Éducation et formation

Périmètre : enseignement scolaire (primaire et secondaire)

*Avril 2026*

---

*Document de travail Nexus — matière première empirique*

*Statut éditorial : étape 3 du pipeline (Recherche empirique)*

*Aucune thèse Nexus, aucune recommandation politique formulée à ce stade*

## Note de cadrage

Ce rapport constitue la matière première empirique pour la synthèse exploratoire Nexus sur la question : « Quels designs pédagogiques pour que l'IA soutienne effectivement l'apprentissage et ne se substitue pas à l'effort cognitif des élèves ? ».

Conformément à la commande, il ne formule aucune thèse Nexus, aucune recommandation politique, aucune position partisane. Il se borne à cartographier les positions, hiérarchiser les sources, trianguler les données, et signaler explicitement les limites empiriques. Le périmètre est strictement scolaire (primaire et secondaire), à l'exclusion de l'enseignement supérieur — sauf lorsque les études supérieures éclairent par défaut le scolaire (à signaler systématiquement comme limite de validité externe). La date de référence est avril 2026.

**Avertissement falsificationniste général.** *Le corpus disponible sur l'IA en milieu scolaire reste, à cette date, jeune, hétérogène et structurellement biaisé : sur-représentation du secondaire au détriment du primaire ; sur-représentation des contextes anglo-saxons et asiatiques au détriment de la francophonie ; quasi-absence d'études longitudinales (>1 an) ; biais de publication probable favorisant les effets positifs ; conflits d'intérêts récurrents (études financées ou conduites par les éditeurs IA) ; obsolescence rapide des modèles testés. Une méta-analyse pivot (Wang & Fan 2025, Humanities & Social Sciences Communications,  $g = 0,867$ ) a été RÉTRACTÉE en 2025 — signal d'alerte sur la qualité globale du champ.*

## Sommaire

1. Cartographie des positions
2. Synthèse des résultats empiriques
3. Inventaire des designs pédagogiques évalués
4. État des expérimentations françaises et internationales
5. Effets sur les enseignants et le métier
6. Enjeux d'équité
7. Cadre AI Act et conséquences opérationnelles
8. Articulation aux trois transitions transverses Nexus
9. Angles morts et limites empiriques
10. Sources mobilisées : liste hiérarchisée

# 1. Cartographie des positions

## 1.1 Positions ministérielles françaises

L'État français a opéré un tournant doctrinal en juin 2025 avec la publication du Cadre d'usage de l'IA en éducation par le MENESR (14 juin 2025), fruit d'une consultation nationale (janvier-mai 2025). Le cadre autorise sous conditions, privilégie les solutions libres et frugales, interdit la création de comptes avant 13 ans, prohibe l'usage de données personnelles dans les outils grand public, et réaffirme la liberté pédagogique. Une formation IA obligatoire via Pix est généralisée en 4<sup>e</sup> et 2<sup>de</sup> à la rentrée 2025, et un appel à projets de 20 M€ est lancé pour développer une IA souveraine, ouverte et évolutive à destination des enseignants (annonces Borne, lycée Malherbe, 7 février 2025). Constat ministériel assumé : 100 % des lycéens utilisent l'IA, contre seulement 20 % des professeurs. Le partenariat MEN-CNIL est renouvelé le 16 décembre 2025.

La trajectoire ministérielle 2023-2026 montre une accélération sans évaluation publiée : annonce de MIA Seconde par G. Attal le 8 janvier 2024 (« la France sera le premier pays au monde à généraliser l'usage gratuit d'une IA à tous les élèves d'une classe d'âge »), généralisation à la rentrée 2025, mais aucune évaluation d'impact rendue publique malgré une étude conduite avec Sciences Po et J-PAL Europe en 2024-2025.

## 1.2 Positions parlementaires et institutionnelles françaises

Le rapport sénatorial Bruyen-Fialaire (n° 101, 30 octobre 2024, Délégation à la prospective) constitue la position institutionnelle la plus structurée : trois axes (accompagner, former, évaluer indépendamment), constat d'un succès mitigé des P2IA, alerte sur la dispersion des usages enseignants. Il cite l'enquête Heaven (juin 2024) — 85 % des 18-21 ans utilisent l'IA générative — et le sondage Inria Flowers Nouvelle-Aquitaine (septembre 2024) — 90 % des élèves de 2<sup>de</sup> l'utilisent pour leurs devoirs.

Le rapport IGÉSR n° 24-25-016B (mai 2025, remis le 10 juillet 2025), basé sur un questionnaire à 4 943 enseignants de cinq académies, conclut que les usages restent fortement liés à une appétence individuelle, que le discours national est perçu comme ambigu voire contradictoire, et que la gouvernance ministérielle est trop éparpillée. Il documente un risque d'inégalités territoriales et sociales renforcées.

La Cour des comptes a produit deux rapports critiques : Le service public numérique pour l'éducation (8 juillet 2019) — concept sans stratégie, 2 Mds € collectivités + 300 M€ État pour résultats jugés décevants ; et Le numérique éducatif dans le 1<sup>er</sup> degré (20 mai 2025) — équipement inadapté, vision du passé, 3 terminaux fixes pour 100 élèves en maternelle. Le rapport Souveraineté numérique (31 octobre 2025) pointe que les données du MEN sont hébergées par des prestataires américains.

La CNIL a publié deux FAQ scolaires (2024-2025) : pas de consentement parental requis si finalité pédagogique mais information obligatoire ; recommandation d'utiliser le Gestionnaire d'Accès aux Ressources (GAR) ; DPO systématiquement associé. Elle anticipe l'AI Act en signalant que l'éducation est secteur à haut risque au sens européen.

Le Conseil scientifique de l'Éducation nationale (CSEN), présidé par Stanislas Dehaene, a tenu une conférence internationale le 25 mars 2026 sur les usages de l'IA. Position centrale : être déposé au sommet de la montagne n'est pas la même chose que la gravir. Recommande des activités où l'élève compare sa réponse à celle de l'IA plutôt que de la laisser produire. Crise interne à signaler : démission en décembre 2024 de Julien Grenet, Élise Huillery et Yann Algan, en protestation contre l'instrumentalisation par le ministère sur le « choc des savoirs ».

La Commission de l'IA Bouverot-Aghion (rapport remis le 13 mars 2024) propose 25 recommandations dont la formation initiale/continue (1,2 Md€ sur 5 ans). Le « rapport Bouzou-Gozlan » mentionné dans la commande n'a pas été identifié comme rapport officiel — probable confusion avec Bouverot-Aghion.

### 1.3 Positions des syndicats enseignants français

Le paysage syndical est fortement clivé :

- **SNES-FSU (position la plus critique)** : appelle à un principe de précaution, dénonce une « fuite en avant » ministérielle, a voté contre le Cadre d'usage au CSE du 22 mai 2025 (« promeut un développement plutôt qu'il ne le limite »). Signature de l'appel collectif HIATUS.
- **SE-UNSA** : approuve le Cadre d'usage après concertation, vigilance sur la non-obligation d'usage et la fraude.
- **SGEN-CFDT** : « on ne peut pas interdire le recours à l'IA », demande formation présentielle, sensibilité écologique appuyée.
- **SNALC (critique-conservatrice)** : l'élève doit maîtriser les fondamentaux avant l'IA ; l'École doit « apprendre à se passer de l'IA ».
- **UNSA Éducation** : auditionnée, demande cadrage élargi protégeant tous les personnels.
- **Action & Démocratie / CFE-CGC** : a voté contre le Cadre d'usage, alerte sur l'« atrophie de l'intelligence naturelle ».
- **SNUipp-FSU (1<sup>er</sup> degré)** : prudent, axé sur la formation des enseignants.
- **FCPE** : pas de position structurée publique identifiée — angle mort.

### 1.4 Positions des chercheurs français

Sciences cognitives. Stanislas Dehaene (4 piliers : attention, engagement actif, retour d'erreur, consolidation) ; Olivier Houdé (théorie de l'inhibition cognitive — l'IA active fortement le Système 1 et concurrence le développement du contrôle inhibiteur préfrontal, particulièrement immature chez l'enfant) ; Elena Pasquinelli (esprit critique entraînable, prudence sur la confiance excessive et le biais de fluence) ; Franck Ramus (rareté d'études rigoureuses, surtout en primaire).

Sciences de l'éducation. André Tricot (charge cognitive ; règle pratique « produire d'abord, faire corriger ensuite » ; étude bordelaise documentant que les étudiants progressent quand ChatGPT corrige un texte qu'ils ont déjà rédigé, régressent dans le sens inverse) ; Margarida Romero (modèle PPai6 à 6 niveaux d'engagement

créatif, GNum #Scol\_IA) ; Pierre-Yves Oudeyer (INRIA Bordeaux, équipe FLOWERS, algorithme ZPDES sous Adaptiv'Math).

## 1.5 Positions internationales

UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research (Miao & Holmes, 2023) — recommande âge minimum de 13 ans, alerte que young learners might unknowingly accept GenAI output that is superficial, inaccurate or even completely fabricated. Constat : moins de 10 % des écoles ont une politique formelle IA au moment de la publication. AI Competency Framework for Students (2024) : 12 compétences, 4 dimensions, 3 niveaux. AI and Education: Protecting the Rights of Learners (2025) : peu de preuves justifient l'usage massif.

OCDE. Multiples publications 2023-2026, dont le Digital Education Outlook 2026 qui distingue Fast AI (substitution à éviter) de Slow AI (intégration réflexive) — l'impact dépend moins du fait que l'IA soit utilisée que de comment elle est intégrée au workflow. PISA 2025 : résultats sur l'IA non publiés à date ; cycle PISA 2029 prévoit la première évaluation Media & AI Literacy (MAIL).

Commission européenne. Ethical guidelines on the use of AI in teaching and learning for educators (2022, mise à jour 5 mars 2026), AI Act Service Desk lancé en 2025, code de bonnes pratiques GPAI (18 juillet 2025).

Conseil de l'Europe. Convention-cadre IA-éducation prévue 2025-2026.

## 2. Synthèse des résultats empiriques

### 2.1 L'étude pivot : Bastani et al., PNAS 2025

La référence empirique de premier plan est Bastani, Bastani, Sungu, Ge, Kabakçı & Mariman (2025), « Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics », PNAS 122(26), e2422633122 (correction publiée en août 2025, PNAS 122(34), conclusions inchangées). Il s'agit d'un RCT en clusters sur ≈1 000 lycéens turcs (9<sup>e</sup>-11<sup>e</sup> années), 4 sessions de 90 minutes couvrant ~15 % du curriculum mathématique, trois bras (contrôle / GPT Base / GPT Tutor avec prompts pédagogiques contraints).

**Résultats quantifiés.** Pendant la phase de pratique avec outil, GPT Base +48 %, GPT Tutor +127 % vs contrôle. Sur l'examen sans IA, GPT Base -17 % ( $p < 0,05$ ), GPT Tutor ≈ 0 (effet négatif éradiqué, mais pas de gain net en transfert). Mécanisme identifié : effet « béquille » (les élèves de GPT Base copient les solutions ; ceux de GPT Tutor posent des questions et tentent les réponses). Les élèves ne perçoivent pas la dégradation de leur apprentissage. Limites reconnues : court terme uniquement, une seule école turque, mathématiques uniquement, garde-fous coûteux à concevoir.

### 2.2 Tableau récapitulatif des effets quantifiés

Le tableau ci-dessous synthétise les principales études quantitatives mobilisables. Les résultats peer-reviewed sont distingués des préprints.

Étude	Population	Pays	Outil	Effet principal	Statut
Bastani 2025	Lycée maths	Turquie	GPT Base	Examen sans IA : -17 %	Peer-reviewed (PNAS)
Bastani 2025	Lycée maths	Turquie	GPT Tutor	Examen sans IA : ≈0	Peer-reviewed (PNAS)
Kestin 2025	Univ. physique	USA	PS2 Pal (GPT-4)	>2× vs active learning	Peer-reviewed (Sci. Reports)
Kosmyna 2025	Adultes 18-39	USA	ChatGPT	Connectivité ↓ ; 83 % incapables de citer leur essai	Préprint non peer-reviewed
Henkel 2024	Grades 3-9	Ghana	Rori (Claude)	Croissance maths : $d = 0,36-0,37$	Peer-reviewed (AIED)
World Bank Edo 2025	Senior secondary	Nigeria	MS Copilot	+0,31 SD (~1,5-2 ans)	Working Paper
Wang Tutor CoPilot 2024	K-12 maths	USA	LLM-supervisé	+4 p.p. (+9 p.p. tuteurs faibles)	Préenregistré OSF
Fan 2024	Univ. L2 anglais	Chine	ChatGPT 4.0	Note essai ↑, transfert nul	Peer-reviewed (BJET)
Steiss 2024	Lycée écriture	USA	ChatGPT	ChatGPT < humains sur 4/5 critères	Peer-reviewed

Étude	Population	Pays	Outil	Effet principal	Statut
Lehmann 2025	Univ.	DE/NL	LLM	Substitutif → compréhension ↓	Préprint
Wang 2025 (méta)	Mixte	Mondial	GenAI	SMD = 0,45 [IC 0,43-0,47]	Peer-reviewed (IHE)
Leite 2025	K-12 ITS	USA	ITS	g = 0,271 ; effet ↓ rural	Préprint

### Cinq convergences solides

1. L'IA améliore la performance immédiate pendant l'usage (effet quasi-universel,  $g \approx 0,5-1$ ).
2. Sans garde-fous pédagogiques, elle dégrade l'apprentissage en aval (Bastani  $-17\%$  ; Lehmann substitutif ; Fan transfert nul).
3. Avec scaffolding contraint, l'effet négatif est neutralisé ; le gain net long terme reste à démontrer.
4. L'IA peut creuser ou réduire les inégalités selon le design (Lehmann ↑ écarts ; Tutor CoPilot ↓ écarts).
5. La modération clé est l'encadrement humain ; ce n'est pas l'outil mais le design qui détermine le signe de l'effet.

### 2.3 Mécanismes cognitifs documentés

Trois concepts convergent : cognitive offloading (Risko & Gilbert 2016, prolongé par Gerlich 2025), metacognitive laziness (Fan et al. 2024 — l'IA déplace les processus d'auto-régulation vers la machine), et cognitive debt (Kosmyrna et al. 2025, MIT Media Lab — accumulation de coûts cognitifs durables après dépendance LLM, mesurée par EEG). Une étude Microsoft/CMU (Lee et al., CHI 2025,  $n = 319$ ) établit une relation prédictive : plus la confiance dans l'IA est élevée, moins la pensée critique est exercée ; plus la confiance en soi est élevée, plus elle est préservée.

Sur la créativité, Doshi & Hauser (Science Advances 2024) montrent une augmentation de la créativité individuelle mais une réduction de la diversité collective des productions. L'étude « creative scar » (ScienceDirect 2025) documente qu'à l'arrêt de ChatGPT, la créativité retombe sous le niveau initial mais l'homogénéité persiste.

## 3. Inventaire des designs pédagogiques évalués

### 3.1 Designs documentés positivement

Tutorat IA contraint avec scaffolding (type GPT-Tutor de Bastani, Khanmigo paramétré, PS2 Pal de Harvard) : effet négatif éradiqué, performance pratique fortement améliorée. Conditions empiriques de réussite : prompts longs (~500 mots) co-écrits avec enseignants ; interdiction explicite de donner la solution ; hints incrémentaux ; matériel calibré sur les erreurs typiques d'élèves.

IA pour préparation enseignante uniquement (le plus sûr selon le consensus OCDE/CSEN/UNESCO) : 36 % des enseignants OCDE l'utilisent en collège (TALIS 2024) ; gain de productivité ; risque pédagogique pour l'élève faible si l'enseignant relit et adapte.

IA pour rétroaction formative écrite, en complément de l'enseignant (méta-analyse Fleckenstein et al. 2023, *Frontiers in AI*, k = 84, N = 2 828) : effets positifs mais hétérogènes ; conditions = rubrique imposée, supervision enseignante, reformulation/justification post-feedback.

IA-supervisé tuteur humain (Wang et al., Tutor CoPilot, Stanford 2024) : +4 p.p. en moyenne, +9 p.p. pour les élèves de tuteurs les moins bien notés — réduction de l'écart de qualité. Coût ~20 \$/tuteur/an.

### 3.2 Designs documentés négativement

IA générative en accès libre (équivalent ChatGPT non bridé) : effet « béquille » (Bastani -17 %), copier-coller, métacognitive laziness. Position consensuelle (CSEN, UNESCO, OCDE, MEN) : ne jamais déployer en autonomie pour les fondamentaux.

Correction sommative automatisée seule. Christodoulou (No More Marking) montre que ChatGPT donne top-grade à un essai où Romeo est remplacé par Pip — gameable, hallucinations rubrique-mimétiques. Études AI-driven feedback : 13,8 % de feedback inexact.

### 3.3 Distinction substitutif vs complémentaire

La distinction structurante du champ :

- **Usage substitutif (l'IA fait à la place)** → effets négatifs documentés (Bastani GPT Base, Kosmyna, Lehmann substitutif, Fan sur le transfert).
- **Usage complémentaire (l'IA accompagne l'effort)** → effets variables, souvent positifs (Bastani GPT Tutor, Kestin, Wang Tutor CoPilot, Edo State).

Variables modératrices documentées : matière (effets négatifs en maths sans garderails ; gains en langues/écriture sous condition de reformulation imposée) ; niveau scolaire (sur-représentation du secondaire ; quasi-vide en primaire) ; statut socio-économique (effets positifs pour publics défavorisés sous encadrement fort, mais creusement des écarts en accès libre) ; formation des enseignants (variable critique).

## 4. État des expérimentations françaises et internationales

### 4.1 France : un déploiement national sans évaluation publiée

MIA Seconde (EvidenceB) : annoncé 8 janvier 2024, expérimenté à Paris (23 établissements depuis mars 2024), évalué avec Sciences Po et J-PAL Europe à Nice, généralisé à la rentrée 2025 sans publication de résultats. 24 modules, 20 000 exercices français/mathématiques.

Académie de Versailles : précurseur national depuis fin 2022 (GEP, Lalilo, Ada, ChatPDF, NOLEJ, formation FIL n° 20250225). Académie d'Aix-Marseille : projet AnSu — IA générative SLM souveraine et locale, « reprendre le pouvoir face aux GAFAM ». Académie de Paris : MIA Seconde + communauté CREIA. Académie de Nice : Maison de l'IA Sophia-Antipolis. Académie de Dijon : expérimentation 2024-2025 vivement critiquée par le SNES-FSU local.

Une enquête professionnelle Inria Flowers (septembre 2024, Nouvelle-Aquitaine) établit que 90 % des élèves de 2<sup>de</sup> utilisent l'IA pour leurs devoirs. La DEPP n'a pas publié d'enquête dédiée à l'IA à date — angle mort majeur.

### 4.2 Comparaisons internationales

#### Estonie — AI Leap 2025

Programme phare lancé le 1<sup>er</sup> septembre 2025, ChatGPT Edu (OpenAI) déployé à 20 000 élèves (10<sup>e</sup>-11<sup>e</sup>) + 3 000 enseignants, extension prévue 2026 à +38 000 élèves. Formation enseignante préalable à l'été 2025. Aucune évaluation indépendante publiée à date.

#### Singapour

Approche graduelle via la plateforme nationale SLS (Student Learning Space) ; outils centralisés (ALS adaptive learning, LEA tuteur questionnant, ACP authoring copilote, ShortAnsFA), garde-fous techniques Litmus et Sentinel ; AIED Ethics Framework dérivé du Model AI Governance Framework. Modèle « human-in-the-loop ».

#### Corée du Sud — AI Digital Textbook : cas d'échec emblématique

Programme phare Yoon (760 M\$ formation), déploiement obligatoire prévu mars 2025, reclassé en matériel pédagogique supplémentaire mi-2025, adoption descendue à 19 % des écoles primaires en septembre 2025 (vs 37 % au S1). Pétition parents (56 505 signatures), 98,5 % des enseignants jugeant la formation insuffisante, polarisation politique extrême (Daegu 98 % vs Sejong 8 %), élection en juin 2025 de Lee Jae-myung opposé aux AIDT. Facteurs d'échec : calendrier précipité, top-down sans co-construction, problèmes techniques au lancement, vulnérabilité aux alternances.

#### États-Unis

Patchwork fédéré, basculement Biden→Trump (EO 14179 du 23 janvier 2025 révoque l'EO 14110 ; EO « Advancing AI Education » du 23 avril 2025 ; EO du 20 mars 2025 démantelant le DoE). 34 États + Puerto Rico

ont une guidance officielle. Khanmigo : 700 000 utilisateurs en 2024-25, 380+ districts, pas encore de RCT publié. MagicSchool : 6 millions d'utilisateurs revendiqués. RAND documente des inégalités fortes : formation district à faible pauvreté 67 % vs forte pauvreté 39 %.

## Allemagne

Déploiement national fin 2025 via Telli (KMK), précédé de Fobizz, BYLKI, fAirChat. Recommandation KMK du 10 octobre 2024 (kritisch-konstruktiv). Critique Bitkom : flou des objectifs, absence de standards fédéraux unifiés.

## Royaume-Uni

DfE prudent ; Aila (Oak National Academy, planification de leçons) ; investissements £4 M (2024) + £200 M Wi-Fi écoles + £137 M EEF. Adoption faible : 69 % des écoles n'ont pas implémenté d'IA (Bett 2024) ; mais 77 % des élèves 13-18 ans utilisent GenAI en 2024 (vs 37 % en 2023, National Literacy Trust).

## Chine

Stratégie d'État massive — 1,2 Md USD MOE en 2023, plus de 18 000 écoles équipées, livre blanc MOE mai 2025. iFlytek (Bengbu : 1,586 Md ¥, 875 écoles, 400 000 élèves), Squirrel AI (24 millions d'élèves cumulés). 180 millions d'élèves chinois ont utilisé une plateforme IA en 2024 (Emergen Research). Vie privée faiblement protégée : 63 % des élèves ont reçu des appels spam liés à fuites de données.

## Japon

MEXT guidelines successives (juillet 2023, décembre 2024, avril 2025) ; AI Promotion Act du 28 mai 2025 ; partenariat Microsoft ~2,9 Md USD ; 50 000 enseignants formés en 2025. Cadre prudent : usage limité au primaire, AI = support, pas substitut.

## Québec

Guide L'utilisation pédagogique et éthique de l'IA générative (13 novembre 2024), conçu avec OBVIA, Mila, IVADO ; pas d'outil obligatoire ; quatre dimensions (sobriété numérique, pensée critique, données personnelles, encadrement légal).

## Facteurs transversaux de réussite

- Plateforme nationale unique préexistante.
- Cadre éthique formalisé en amont.
- Formation enseignante préalable.
- Co-développement avec recherche académique.
- Garde-fous techniques intégrés.
- Approche graduelle et opt-in.
- Investissement dans l'évaluation indépendante.
- Communication claire sur l'IA comme augmentation et non substitution.



## 5. Effets sur les enseignants et le métier

### 5.1 Données quantitatives sur l'usage enseignant

États-Unis (RAND, panel American Educator) : 25 % des enseignants K-12 utilisent l'IA pour planification/enseignement en 2023-24, 60 % des chefs d'établissement, 18 % des écoles ont une politique IA. 53 % des enseignants ELA/math/sciences au printemps 2025 (+15 pts en un an). Inégalités de formation : 67 % des districts à faible pauvreté formés vs 39 % à forte pauvreté (fall 2024) — l'écart ne se résorbe pas. 80 % des élèves disent ne pas avoir reçu d'enseignement formel sur l'usage de l'IA.

Walton-Gallup 2025 (n = 2 232, marge  $\pm 2,5$  pts) : 60 % des enseignants ont utilisé l'IA en 2024-25 ; 32 % au moins hebdomadaire ; les utilisateurs hebdomadaires déclarent gagner 5,9 h/semaine (équivalent  $\sim 6$  semaines/an, AI dividend). 57 % estiment que l'usage hebdomadaire élève diminue la pensée indépendante. Critique méthodologique (CRPE, M. Watkins) : enquête purement déclarative, sans audit de workflow, biais d'optimisme et marketing-vendor possibles.

EdWeek Research Center : 34 % en 2023, 32 % en 2024, 61 % en 2025. Center for Democracy and Technology (octobre 2025) : 85 % des enseignants et 86 % des élèves ont utilisé l'IA en 2024-25 ; 70 % des enseignants craignent une érosion de l'esprit critique.

Anthropic Education Reports (août 2025) : 74 000 conversations Claude éducateurs ; top usage = développement curriculum 57 % ; 48,9 % des conversations sur l'évaluation impliquent une automatisation totale (qualifié de concerning par Anthropic). Limite : enseignement supérieur uniquement, early adopters, 11 jours.

France : pas d'enquête nationale représentative équivalente ; les données sont essentiellement qualitatives (IGÉSR, sondages locaux Inria Flowers, Heaven). Angle mort majeur.

### 5.2 Transformation du métier et tensions

Autonomie pédagogique vs prescription algorithmique. IGÉSR (juin 2025) signale un renforcement nécessaire du rôle de l'enseignant pour un usage raisonné, risque de subordination de la scénarisation pédagogique aux outils. UNESCO (2025) : les outils numériques doivent compléter et non remplacer la dimension humaine.

Formation initiale et continue. INSPÉ en cours de généralisation (pas d'enquête nationale publiée sur la couverture réelle) ; Pix ; M@gistère/Canotech. Aux États-Unis, partenariat AFT-OpenAI-Microsoft (mars 2026) pour former 400 000 enseignants — critique : onboarding vendor.

Risques de déprofessionnalisation. Watkins (Univ. of Mississippi, NPR octobre 2025) parle de scénario cauchemar — élèves utilisent l'IA pour écrire, profs pour noter, effondrement du sens éducatif. Une étudiante de Northeastern a réclamé en 2025 le remboursement de ses frais après avoir découvert l'usage non déclaré d'IA par son professeur — crise de confiance.

Impact sur le rapport élève-enseignant. Pew Research (février 2026) — 12 % des ados utilisent les chatbots pour soutien émotionnel, 16 % pour conversations casuelles. CDT (octobre 2025) : AI is hurting students' ability to develop meaningful relationships with teachers.

## 6. Enjeux d'équité

### 6.1 Triple fracture numérique appliquée à l'IA (Trucano, Brookings 2023)

Trois fractures successives : (1) accès à la techno ; (2) accès + compétences ; (3) accès + compétences + accès à des humains formés. Avec l'IA, la troisième devient déterminante : riches = techno + humains ; pauvres = techno seule. Hypothèse d'aggravation, pas de compensation.

### 6.2 Données françaises

DEPP NI 23.27 / Insee Références 2025 : 63,5 % des élèves de 3<sup>e</sup> ont une maîtrise satisfaisante des compétences numériques ; seulement 13 % des élèves de 3<sup>e</sup> en REP+ atteignent un niveau élevé. CNESCO 2020 (André Tricot) : 1 ordinateur pour 12,5 élèves en primaire ; outre-mer particulièrement défavorisé. ICILS 2023 : 42,7 % des élèves français en littératie numérique fragile, moins de 1 % au niveau 4 (esprit critique numérique).

Insee 2025 : un tiers des 60-74 ans (sur-représentés en zones rurales) renoncent aux démarches dématérialisées ; 15-24 % de la population en zones blanches dans certains départements (Bretagne, Ardèche, Moselle).

### 6.3 Données internationales

Pew Research (15 janvier 2025) : usage de ChatGPT pour devoirs doublé chez les ados US (13 % en 2023 → 26 % en 2024). Hausse +26 pts de notoriété chez les ménages bas revenus, +9 pts chez les hauts revenus, mais usage actif plus bas en bas revenus.

PISA 2022 : index qualité d'accès aux TIC -0,06 vs +0,07 (défavorisés vs favorisés) ; écart significatif dans 18 pays sur 28 OCDE. Élèves utilisant le numérique 1h/jour : +14 pts en maths ; élèves distraits par le numérique des autres : -15 pts. Chute moyenne PISA 2022 : -15 pts maths, -10 pts lecture vs 2018.

OCDE (working paper décembre 2025) : 32 % des urbains exposés à des tâches GenAI vs 21 % des ruraux.

Étude Lehmann et al. 2025 (universitaire) : l'IA élargit l'écart entre élèves à faible et fort niveau initial quand l'usage est laissé libre.

### 6.4 Effet Matthew et capital algorithmique

L'effet Matthew (Stanovich 1986 ; Kelly ; Kizilcec & Lee 2022) est documenté pour les technologies antérieures (MOOC, 1:1 devices — cf. Reich, Failure to Disrupt, MIT Press 2020). Pour l'IA : trois étages de paywall (gratuit limité / Pro 20 \$ / Premium 200 \$) introduisent une fracture économique inédite. Les compétences de vérification des sorties IA sont fortement corrélées au capital scolaire des parents (travaux Stanford GSE ; OCDE).

Capital algorithmique : la qualité des prompts n'est pas distribuée également (EIAH 2025 ; IFÉ ENS Lyon Dossier de veille n° 139, 2021) ; les élèves familiers du numérique académique formulent des requêtes itératives et complexes. Référence Bourdieu/Passeron actualisée.

## 6.5 Inégalités de genre

PISA 2022 vol. V : filles meilleures en stratégies d'autorégulation, mais anxiété mathématique plus élevée. DEPP NI 24.47 (TIMSS 2023 CM1) : hausse des inégalités fille/garçon en maths/sciences en France. Anthropic Education Report (août 2025) : forte sur-représentation masculine chez les early adopters. Edo State Nigeria : les filles bénéficient davantage du programme — réduit le gender gap sous condition d'encadrement fort.

## 6.6 Effet compensation possible — études en LMIC

De Simone et al. (Banque mondiale 2025, Edo State Nigeria) : RCT 800 élèves senior secondary, 6 semaines, programme post-scolaire avec MS Copilot et encadrement enseignant : +0,31 SD ( $\approx 1,5$ -2 ans de scolarité business as usual). Bénéfices plus forts pour les filles. Henkel 2024 (Rori, Ghana) :  $d = 0,36$ - $0,37$  sur 8 mois.

**Limite cruciale.** *Ces gains s'observent avec encadrement enseignant intensif et programme additionnel ; sans bras de comparaison « même temps additionnel sans IA », l'effet propre de l'IA n'est pas isolable. Les conditions sine qua non sont : électricité, internet, formation enseignants. En l'absence de l'une, l'IA aggrave plutôt qu'elle ne compense.*

## 7. Cadre AI Act et conséquences opérationnelles

### 7.1 Architecture du règlement (UE) 2024/1689

Adopté le 13 juin 2024, entré en vigueur le 1<sup>er</sup> août 2024. Calendrier échelonné : 2 février 2025 — interdictions (Art. 5) ; 2 août 2025 — règles GPAI ; 2 août 2026 — application intégrale, dont annexe III pour l'éducation ; 2 août 2027 — annexe I. Sanctions jusqu'à 35 M€ ou 7 % du CA mondial pour pratiques interdites.

### 7.2 Quatre catégories d'usages scolaires en haut risque (Annexe III §3)

6. Admission et affectation.
7. Évaluation des acquis y compris pour orienter l'apprentissage.
8. Évaluation du niveau d'enseignement approprié.
9. Surveillance des examens.

Le profilage des personnes physiques empêche la dérogation prévue à l'Art. 6§3 — tout système profilant reste haut risque.

### 7.3 Interdiction de la reconnaissance émotionnelle dans les écoles (Art. 5(1)(f))

Fondement (considérant 44) : faiblesse scientifique, risque discriminatoire, déséquilibre de pouvoir. Lignes directrices Commission (février 2025) — exemples interdits : évaluer attention/motivation par reconnaissance émotionnelle, détection d'anxiété en examens, reconnaissance émotionnelle des enseignants. Limites : ne s'applique qu'aux inférences fondées sur données biométriques ; texte exclu ; eye-tracking autorisé s'il n'inère pas d'émotions mais qualifié de haut risque.

Critique académique (Wendehorst & Duller, étude PE 2021 ; RAILS-Blog) : zone grise entre détection d'expression apparente (autorisé) et inférence émotionnelle (interdit) — risque de contournement.

### 7.4 Exigences pour systèmes haut risque

Système de gestion des risques (Art. 9) ; gouvernance des données (Art. 10) ; documentation technique (Art. 11 + Annexe IV, 23 exigences) ; logs (Art. 12) ; transparence déployeurs (Art. 13) ; supervision humaine effective (Art. 14) ; exactitude/robustesse (Art. 15) ; enregistrement base UE (Art. 49) ; marquage CE ; analyse d'impact sur les droits fondamentaux (FRIA, Art. 27) obligatoire pour déployeurs publics — donc ministère, académies, écoles publiques.

### 7.5 GPAI (Art. 51-55)

Applicables depuis le 2 août 2025. Pour ChatGPT, Claude, Gemini, Mistral en classe : documentation technique, résumé public des données d'entraînement, conformité droit d'auteur, marquage des contenus. Modèles à risque systémique (>10<sup>25</sup> FLOPs) : obligations renforcées. Code de bonnes pratiques GPAI publié 18 juillet 2025.

## 7.6 Articulation RGPD et chaîne de responsabilité

EDPB Opinion 28/2024 (17 décembre 2024) : les modèles d'IA entraînés avec des données personnelles ne peuvent, dans tous les cas, être considérés comme anonymes — RGPD continue de s'appliquer. AIPD obligatoire (Art. 35 RGPD) pour les usages scolaires (mineurs vulnérables).

Acteur	Statut AI Act	Statut RGPD	Obligations
0 Éditeur EdTech	Fournisseur	Responsable de traitement	Marquage CE, doc. technique, gestion risques
Ministère / DASEN / chef d'établissement	Déploieur public	Responsable de traitement	FRIA, AIPD, supervision humaine
Enseignant	Utilisateur final	Sous responsabilité du RT	Information hiérarchique, conformité cadre d'usage
Élève / parents	Personne concernée	Personne concernée	Droit d'accès, opposition motivée

## 7.7 Coût et critiques

Estimations Commission UE : 6 000-7 000 € (PME) à 300 000 € par système haut risque. EdTech françaises (souvent PME) signalent un risque concurrentiel face aux acteurs américains. Garante italien : amende de 15 M€ à OpenAI (fin 2024), application immédiate du RGPD aux LLM scolaires. Aucune jurisprudence européenne consolidée à avril 2026 sur l'application aux écoles.

Zones grises : statut juridique des prompts élèves (donnée personnelle ? œuvre ?) ; responsabilité de l'enseignant utilisant ChatGPT grand public sans validation hiérarchique ; usage par les élèves depuis chez eux pour les devoirs (hors champ réglementaire scolaire).

## 8. Articulation aux trois transitions transverses Nexus

### 8.1 Transition cognitive (cœur du sujet)

Trois piliers convergents :

- **Cognitive offloading** (Risko & Gilbert 2016 ; Gerlich 2025, n = 666, Societies — corrélation négative usage fréquent IA / pensée critique, médiée par l'offloading ; correction publiée septembre 2025).
- **Metacognitive laziness** (Fan et al. 2024, BJET, n = 117 — l'IA améliore l'essai final mais ne génère ni gain de connaissance ni transfert ; les processus de monitoring/évaluation sont déplacés vers la machine).
- **Cognitive debt** (Kosmyna et al. 2025, MIT Media Lab, arXiv:2506.08872 — EEG 32 canaux, n = 54 ; connectivité jusqu'à -55 % chez le groupe LLM ; 83 % incapables de citer leur essai ; effet d'ordre crucial : Brain-to-LLM réengage les réseaux préfrontaux, LLM-to-Brain garde une connectivité affaiblie).

Référence historique comparable : effet Google (Sparrow, Liu & Wegner, Science 2011) — quand l'information est perçue accessible, le rappel du contenu baisse. Répliques mitigées (Camerer 2018, Hesselmann 2020).

Position des sciences cognitives françaises : Dehaene (4 piliers), Houdé (inhibition cognitive et cortex préfrontal immature en primaire), Pasquinelli (esprit critique entraînable, biais de fluence), Tricot (illusion de facilité, règle « produire d'abord »). Étude allemande novembre 2024 (Computers in Human Behavior) : avec ChatGPT, charge cognitive baisse mais qualité du raisonnement diminue.

**Limites.** Kosmyna est un préprint non peer-reviewed, population WEIRD universitaire de Boston, non scolaire ; études Microsoft/CMU et Gerlich sont corrélationnelles, non causales ; études exclusivement adultes ou supérieures.

### 8.2 Transition mobilité

Cas de compensation documentés : Edo State Nigeria (+0,31 SD), Rori Ghana (d = 0,36), EIDU Kenya (~400 000 enfants), Inde Rajasthan (scoring IA de 4,5 millions de copies). Conditions sine qua non : électricité, internet, encadrement enseignant. Sans ces conditions, l'IA aggrave plutôt qu'elle ne compense (Frontiers in Education 2025 ; Frontiers in Computer Science 2026 ; biais linguistiques pour la francophonie hors hexagone).

Données françaises : Plan France Très Haut Débit (3,5 Mds € État + UE, 28 000 communes) ; New Deal Mobile 2018 ; ANCT France Mobile ; ARCEP « Ma connexion internet ». Pas d'observatoire dédié IA-école ; données granulaires par établissement absentes — angle mort. Le CNED (« Ma classe à la maison ») reste le dispositif éprouvé pour zones reculées.

Risque principal en France : moins le haut débit (en progression) que l'inégalité de capital culturel et de qualité d'usage (3<sup>e</sup> fracture Brookings).

## 8.3 Transition énergétique

### Coût unitaire d'une requête LLM

- **Estimation basse** : 0,3 Wh (Epoch AI 2025 sur GPT-4o ; Altman 2025).
- **Estimation médiane** : 1-3 Wh (De Vries 2023, désormais considéré surestimé).
- **Modèles « reasoning » (o1, DeepSeek R1, Phi-4)** : 5-30 Wh voire jusqu'à 9 462 Wh (Phi-4 reasoning, AI Energy Score Hugging Face/Salesforce 2025).
- **Génération image/vidéo** : 1 000-1 500× plus qu'une classification texte (Luccioni et al. 2024, FAcCT).
- **Empreinte eau** : ordre de quelques mL/requête (Li et al. 2023, Making AI Less Thirsty arXiv:2304.03271).

Ratio LLM/Google : entre 1× et 10× selon le modèle ; tend vers 1× avec optimisations 2024-25 ; explose à 30-100× pour les modèles reasoning.

Données IEA Energy and AI (avril 2025) : data centers monde 2024 = 415 TWh, 1,5 % conso électrique mondiale ; projection ~945 TWh en 2030 (≈ conso du Japon) ; AI-focused DC ×4 d'ici 2030 ; aux USA, DC = 50 % de la croissance de la demande électrique 2024-2030. Mix : renouvelables ~27 %, gaz ~26 %, charbon ~30 %, nucléaire ~15 %.

**Estimation ordre de grandeur pour le système éducatif français.** 12 millions d'élèves × 180 jours × 1 Wh ≈ 2,16 GWh/an (fourchette 0,6-65 GWh selon hypothèses) — soit ~0,015 % de la consommation nationale (~460 TWh) en hypothèse moyenne. Le coût marginal de l'IA scolaire est modeste à l'échelle nationale ; le risque tient à l'effet rebond, à la bascule vers modèles reasoning ×100, à l'explosion des terminaux requis, et à la dépendance à des DC à l'étranger (~50 % des usages français hébergés hors France).

Cadre français : ADEME-ARCEP 2025 — numérique = 4,4 % de l'empreinte carbone France, ~65 TWh, 11 % de la conso électrique nationale ; terminaux 60-81 % de l'empreinte. Loi REEN (15 novembre 2021) impose l'éducation à la sobriété numérique. Rapport Sénat Chaize/Houllegatte 2020. Shift Project. Tension explicite avec les trajectoires de sobriété.

## 9. Angles morts et limites empiriques

Effets de cohorte non mesurés. Aucune étude longitudinale séparant cohortes pré-IA / post-IA. La plus longue étude identifiée fait 8 mois (Henkel/Ghana). Risque structurel de confondre effet d'âge et effet de cohorte.

Effets de niveau scolaire. Sur-représentation massive du secondaire et du supérieur ; quasi-vide en primaire, malgré la sensibilité cognitive maximale en primaire (Houdé, Dehaene). Aucune étude robuste sur élèves de 6-10 ans.

Effets de matière. Sur-représentation maths/sciences/écriture en anglais ; sous-représentation SHS, langues hors anglais, EPS, arts. Quasi-vide francophone.

Effet Hawthorne. Généralisable à toutes les études récentes — l'IA est nouvelle, novelty effects difficilement séparables de l'effet pédagogique. Bastani 4×90 min, Edo State 6 semaines : impossible de capter la dégradation possible avec usage routinier.

Biais de publication. Méta-analyse Wang & Fan 2025 ( $g = 0,867$ ) RÉTRACTÉE ; effets plus forts dans petits échantillons ( $n = 21-40$ , Liu 2025) — typique d'un biais ; études négatives moins citées (Niloy 2024 sur créativité).

Conflits d'intérêts. Microsoft Research (Lee 2025) ; Banque mondiale + Microsoft Copilot (Edo) ; Google Research (Patterson) ; MIT Media Lab (financements corporate) ; AFT-OpenAI-Microsoft (formation US). Studies vendor-funded à pondérer systématiquement.

Mesures d'apprentissage. La majorité mesure la performance immédiate, pas le transfert ni la rétention longue. Bastani exception, mais examen post-session, pas à 6 mois. Standardisation des mesures déficiente.

Confusion structurelle entre « IA » et « temps additionnel + encadrement ». Edo State, Rori, Tutor CoPilot combinent IA + pratique additionnelle + encadrement. Sans bras « même temps additionnel sans IA », l'effet propre de l'IA n'est pas identifié.

Préprints traités comme évidence. Kosmyna (MIT), Lehmann (SSRN), Leite (arXiv K-12), Tutor CoPilot (arXiv) utilisés massivement dans le débat public avant peer review. Kosmyna explicitement publié avant peer review pour des raisons de plaidoyer (« avoid GPT kindergarten »).

Auto-rapport sans validation. Microsoft/CMU 2025, Gerlich 2025, Walton-Gallup, Anthropic Education Reports — causalité non établie.

Obsolescence rapide. Bastani sur GPT-4 fin 2023 ; Kosmyna sur GPT-4o ; les modèles 2025-2026 (GPT-5, Claude 4, Gemini 2.5, modèles reasoning) sont structurellement différents. Transposabilité incertaine.

Validité externe. Lycée turc, Harvard, écoles uruguayennes, Ghana, Nigeria — généralisabilité au système éducatif français très limitée. Aucun RCT français recensé à ce jour.

Mesures absentes. Effort cognitif réel (Kosmyna propose EEG mais petits N adultes) ; estime de soi ; relation enseignant-élève ; motivation intrinsèque (Fan 2024 : pas de gain avec ChatGPT) ; effets sur élèves en situation

de handicap ; effet outre-mer ; qualité des prompts par milieu social en France ; coût total de mise en conformité AI Act pour le MEN.

**Lacune française majeure.** *Études françaises peer-reviewed sur l'IA scolaire : quasi inexistantes. Travaux Tricot, Pasquinelli, Romero, Oudeyer essentiellement programmatiques. MIA Seconde généralisé sans publication des résultats J-PAL/Sciences Po. La DEPP n'a pas publié d'enquête dédiée à la rentrée 2025. Position FCPE sur l'IA non documentée. Positions du CSP : pas de rapport identifié spécifique.*

## 10. Sources mobilisées : liste hiérarchisée

### 10.1 Premier rang — autorités publiques et publications peer-reviewed

#### Études peer-reviewed pivots

- Bastani et al., Generative AI Without Guardrails Can Harm Learning, PNAS 122(26), 2025, e2422633122 (correction 122(34) août 2025). Limite : un lycée turc, 4 sessions, secondaire maths.
- Kestin et al., AI tutoring outperforms in-class active learning, Scientific Reports 15, 2025. Limite : Harvard, niveau universitaire.
- Henkel et al., Effective and Scalable Math Support: Ghana, AIED 2024 / Springer CCIS 2150.
- Steiss et al., Comparing the quality of human and ChatGPT feedback, Learning and Instruction 91, 2024.
- Fan et al., Beware of metacognitive laziness, BJET 56(2), 2024-25.
- Fleckenstein et al., Automated feedback and writing, Frontiers in AI 6, 2023 (méta-analyse k=84).
- Wang et al., Internet & Higher Education 2025 (méta-analyse 68 études, SMD = 0,45 [0,43-0,47]).
- Deng et al., Computers & Education 2024 (méta-analyse 69 études).
- Liu et al., JCAL 2025 (méta-analyse).
- Doshi & Hauser, Generative AI enhances individual creativity but reduces collective diversity, Science Advances 2024.
- Sparrow et al., Google Effects on Memory, Science 333, 2011.
- Mishra, Warr, Islam, TPACK in the age of ChatGPT, JDLTE 39(4), 2023.
- Gerlich, AI Tools in Society, Societies 15(1), 2025 (correction sept. 2025).
- Patterson et al., Carbon Footprint, arXiv:2104.10350 / 2204.05149, Google Research 2021-22.
- Luccioni et al., Power Hungry Processing, FAccT 2024 / arXiv:2311.16863.
- Li et al., Making AI Less Thirsty, arXiv:2304.03271, 2023.
- Wang & Fan, **Humanities & Social Sciences Communications 2025 — RÉTRACTÉ**, à signaler.

#### Rapports d'autorités publiques

- Règlement (UE) 2024/1689 (AI Act).
- EDPB Opinion 28/2024 (17 décembre 2024).
- Commission européenne, Ethical guidelines on AI for educators (2022, m.à.j. 5 mars 2026) ; Guidelines on prohibited AI practices (février 2025) ; AI Act Service Desk.
- UNESCO, Guidance for generative AI (Miao & Holmes, 2023) ; AI Competency Framework for Students (2024) ; AI Competency Framework for Teachers (2024) ; AI and Education: Protecting Rights of Learners (2025).
- OCDE, Digital Education Outlook 2026 ; AI and the Future of Skills Vol. 2 (nov. 2023) ; Putting AI to the test: PISA (2023) ; Evolving AI capabilities and the school curriculum WP n° 338 (nov. 2025) ; PISA 2022 vol. I et V ; TALIS 2024.
- Banque mondiale, De Simone et al., From Chalkboards to Chatbots, Policy Research WP 11125, 2025.

- IEA, Energy and AI (avril 2025) ; Key Questions on Energy and AI.

## Rapports français

- MENESR, Cadre d'usage de l'IA en éducation (14 juin 2025).
- IGÉSR, L'intelligence artificielle dans les établissements scolaires, n° 24-25-016B (mai/juillet 2025).
- Sénat, Bruyen-Fialaire, IA et éducation, n° 101 (30 octobre 2024).
- Commission de l'IA, Bouverot-Aghion, IA : notre ambition pour la France (13 mars 2024).
- Cour des comptes, Le service public numérique pour l'éducation (8 juillet 2019) ; Le numérique éducatif dans le 1<sup>er</sup> degré (20 mai 2025) ; Souveraineté numérique (31 octobre 2025) ; SNRIA (2023).
- DEPP : NI 21.05 ; NI 23.27 ; NI 24.21 ; NI 24.47 (TIMSS 2023) ; NI 25.55 (TALIS 2024) ; étude ELAINE en cours ; ICILS 2023.
- CNIL : FAQ scolaires (2024-25) ; Q&R AI Act (juillet 2024) ; partenariat MEN-CNIL renouvelé 16 décembre 2025.
- CSEN : synthèse Agents conversationnels en classe ; conférence 25 mars 2026.
- ADEME-ARCEP, Empreinte environnementale du numérique (2022, m.à.j. 2025).
- Sénat Chaize/Houllegatte, Pour une transition numérique écologique, n° 555 (2019-2020).
- Loi REEN n° 2021-1485 (15 novembre 2021).
- Insee Références 2025 (numérique). ARCEP « Ma connexion internet ».

## 10.2 Second rang — think tanks reconnus, presse de référence, enquêtes professionnelles

### Think tanks

- RAND : RR-A956-21 (avril 2024), RR-A134-25 (2024-25), RR-A956-31 (2025), RR-A4180-1 (2025), RR-A4412-2 (pré-K).
- Brookings : Trucano (2023, AI and the next digital divide) ; A New Direction for Students in an AI World (janvier 2026).
- NEPC : Time for a Pause (mars 2024, Williamson, Molnar, Boninger).
- Pew Research Center : 15 janvier 2025 (n=1391 ados) ; 24 février 2026 (n=1458).
- Gallup-Walton Family Foundation : Teaching for Tomorrow (2025, n=2232, marge  $\pm 2,5$  pts). Limite : auto-déclaratif.
- Center for Democracy and Technology (octobre 2025).
- Tyton Partners 2025 ; HMH Annual Educator Confidence Report 2024.
- Anthropic Education Reports (avril 2025, août 2025, octobre 2025). Limite : non peer-reviewed, supérieur, early adopters.
- Tony Blair Institute (gouvernance AI).
- IFÉ ENS-Lyon, Dossier de veille n° 139 (octobre 2021) ; CNESCO 2020 (Tricot).
- Stanford Center for Racial Justice (juin 2024) ; Common Sense Media.
- Education Commission of the States ; Ballotpedia ; TeachAI consortium.

## Préprints à manier avec prudence

- Kosmyna et al., arXiv:2506.08872 (juin 2025) — non peer-reviewed, MIT Media Lab, n=54 adultes WEIRD, publié pour plaider.
- Lehmann et al., arXiv:2409.09047 / SSRN 4941259 (2024-25).
- Wang et al. (Tutor CoPilot Stanford), arXiv:2410.03017 (2024) — préenregistré OSF.
- Lee et al., CHI 2025 (auto-rapport, knowledge workers, non scolaire).
- Leite et al., arXiv:2511.04997 (2025, K-12 US ITS).
- Jegham et al., arXiv:2505.09598 (2025).

## Presse et organismes professionnels

- Le Monde, Les Echos, Café Pédagogique, AEF Info, Slate FR.
- Financial Times, New York Times, The Guardian, Education Week, EdSurge, K-12 Dive, NPR, Korea Herald, Korea Times, Rest of World, Futurism.
- Friedrich Naumann Foundation ; World Education Blog (UNESCO/GEM) ; AACRAO ; Wolters Kluwer ; Future of Privacy Forum ; RAILS-Blog ; IAPP.

## Enquêtes professionnelles françaises

- Heaven Born AI (juin 2024) ; Inria Flowers Nouvelle-Aquitaine (septembre 2024) ; Le Sphinx/Compilatio (juin-août 2023) ; Ifop/Talan (mars 2024, mars 2025) ; Ifop/Jedha (octobre 2025) ; Ifop/Pôle Léonard de Vinci (avril 2024) ; Ipsos/Sopra Steria (décembre 2023). Limites : déclaratif, échantillons variables.

## 10.3 Sources écartées

- Sites SEO et contenu marketing déguisé en études (exclus).
- Communications commerciales d'éditeurs ed-tech sans démarche éditoriale identifiable (exclues).
- Métriques auto-déclarées par éditeurs (Khanmigo, Squirrel AI, MagicSchool, Eduten) sans évaluation indépendante (à signaler systématiquement).
- Source weboscope.com sur expérimentation Versailles : indices de désinformation possible / contenu généré → exclue.
- Blogs sans appareil critique (exclus).
- « Rapport Bouzou-Gozlan » mentionné dans la commande : non identifié comme rapport officiel — probable confusion avec Bouverot-Aghion.

## 10.4 Note méthodologique de triangulation

Les chiffres structurants ont été triangulés :

- Usage IA par lycéens français : 90 % (Inria Flowers 2024) ; 85 % des 18-21 ans (Heaven 2024) ; 89 % des 16-25 ans (Ifop/Jedha 2025) → ordre de grandeur >85 %, robuste.

- Effet Bastani -17 % : confirmé par mécanisme (Lehmann 2025 substitutif), Fan 2024 (transfert nul), Kosmyna 2025 (cognitive debt).
- Coût énergétique LLM : fourchette 0,3-3 Wh croisée Epoch AI / Altman / Patterson / Luccioni / Jegham — convergence sur ordre de grandeur du Wh standard.
- Empreinte numérique France : ADEME-ARCEP 4,4 % ; Sénat Chaize 2 % en 2019 → convergence sur l'ordre de grandeur et la trajectoire de croissance.
- Formation enseignants US : RAND 48 %, Walton-Gallup 31 % district + 52 % autoformation, EdWeek 50 % → ordre de grandeur convergent ~50 %.

Des divergences subsistent et sont signalées : amplitudes des méta-analyses (g entre 0,27 et 0,87 selon périmètre et statut peer-review) ; gain de temps enseignant (5,9 h/sem auto-déclaré, non audité) ; effets sur la pensée critique (corrélations convergentes mais aucune preuve causale longitudinale).

---

*Fin du rapport — matière première empirique*

*L'ensemble du matériau ci-dessus constitue la matière première empirique pour la phase ultérieure de formulation des thèses Nexus et de recommandations.*