L'intelligence artificielle en éducation mathématique : entre histoire, vérité et pratiques

¿Qué ves? ¿Qué ves cuando me ves?
Cuando la mentira es la verdad
Divididos

Jorge Gaona

Instituto de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chili ;
jorge.gaona@pucv.cl

Cet article propose une analyse critique de l'intelligence artificielle générative (IAg) dans le champ de l'éducation mathématique, en articulant trois perspectives complémentaires : historique, épistémologique et didactique. Dans un premier temps, nous situons les débats actuels sur l'intelligence artificielle (IA) dans une continuité historique plus large, en montrant que les tensions entre promesse et risque accompagnent depuis longtemps les innovations technologiques, de l'écriture à l'imprimerie, jusqu'aux premières formes d'intelligence artificielle. Cette mise en perspective permet de relativiser le caractère supposément disruptif de l'IA contemporaine. Dans un second temps, nous examinons la question de la vérité, en opposant le régime de « vérité » algorithmique, fondé sur des processus de classification et de prédiction probabiliste, à la vérité mathématique, construite par déduction au sein de systèmes axiomatiques. Cette distinction met en évidence les limites épistémologiques des systèmes d'IA générative, notamment leur incapacité à garantir la validité des énoncés produits. Nous analysons ensuite la nature du raisonnement mobilisé par ces systèmes, en nous appuyant sur la distinction proposée par Charles S. Peirce entre induction, déduction et abduction. Nous soutenons que les modèles actuels d'IA reposent principalement sur des formes d'inférence inductive, ce qui limite leur capacité à produire des connaissances nouvelles au sens fort. Enfin, à partir de données empiriques issues de projets de recherche menés au Chili, nous examinons les usages effectifs de l'IA dans des contextes scolaires et de formation des enseignants. Les résultats montrent un usage marginal et peu structurant de ces technologies dans le travail mathématique des étudiants, au profit d'artefacts jugés plus transparents et contrôlables. L'ensemble de ces éléments conduit à déplacer la question du potentiel de l'IA vers celle des conditions didactiques de son intégration.

Mots-clés : Intelligence artificielle générative, Éducation mathématique, Histoire des technologies éducatives, Raisonnement, Usages des artefacts numériques

Introduction : regarder le phénomène de l'IA dans une perspective historique

Aujourd'hui, l'intelligence artificielle générative, telle que ChatGPT, se présente comme une innovation disruptive qui pose une question apparemment nouvelle : s'agit-il d'une menace ou d'un allié pour l'éducation ? Cependant, si l'on adopte une perspective historique, on constate que cette inquiétude n'est pas inédite. Au fil du temps, diverses transformations technologiques ont suscité des débats similaires, révélant des tensions persistantes entre promesse et risque.

Un premier exemple paradigmatique se trouve dans la réflexion de Socrate, rapportée par Platon dans le Phèdre. On y raconte le mythe du dieu Theuth, inventeur de l'écriture, qui la présente comme un remède pour la mémoire et la sagesse. Toutefois, le roi Thamous répond avec scepticisme : loin de renforcer la mémoire, l'écriture pourrait l'affaiblir, car les individus cesseraient de se souvenir par eux-mêmes et dépendraient de signes extérieurs. Plus encore, il avertit que cette technologie pourrait produire une apparence de sagesse sans véritable connaissance, formant des individus qui semblent savoir beaucoup de choses, alors qu'en réalité ils ne comprennent pas en profondeur (Platon, 1994).

Des siècles plus tard, l'invention de l'imprimerie a ravivé des préoccupations analogues. Au XVe siècle, Niccolò Perotti exprima d'abord son enthousiasme face à la possibilité d'une large diffusion du savoir. Cependant, la désillusion apparut rapidement : la prolifération des textes ne garantissait pas leur qualité, mais pouvait au contraire faciliter la diffusion d'erreurs, de banalités, voire de faussetés. La démocratisation de l'écriture impliquait également une perte de contrôle sur les contenus, suscitant des inquiétudes quant à la valeur des connaissances en circulation (Darnton, 2023, p. 23).

Dans le domaine des mathématiques et de l'intelligence artificielle, dès les années 1960, des programmes capables de produire des démonstrations géométriques furent développés. Des chercheurs comme Herbert Gelernter parvinrent à faire en sorte qu'une machine découvre des démonstrations que son propre programmeur ne connaissait pas. Ce type de réalisation a soulevé des questions toujours actuelles : une machine peut-elle être considérée comme « intelligente » ? Où réside le mérite de la production mathématique ? S'agit-il d'une créativité authentique ou de l'exécution de processus préalablement codés ? (Hofstadter, 1979, p. 673).

Dans le champ éducatif, des penseurs comme Seymour Papert proposaient déjà, en 1980, que les élèves apprennent l'intelligence artificielle et la programmation, non seulement comme des outils techniques, mais aussi comme des moyens de réfléchir aux processus mentaux eux-mêmes. Sa position était claire : il vaut mieux que les enfants programment plutôt que d'être eux-mêmes « programmés » par les technologies (Papert, 1980, p. 189). Néanmoins, des recherches comme celles de Larry Cuban invitent à la prudence. Selon cet auteur, les innovations technologiques en éducation suivent généralement un cycle récurrent : d'abord une phase d'enthousiasme et d'illusion avec des promesses de transformation radicale ; puis une phase de désillusion et de résistance ; ensuite des changements plus lents et plus limités que prévu ; et enfin, le redémarrage du cycle avec une nouvelle technologie. C'est ce qui s'est passé avec la radio, la télévision, puis avec les ordinateurs et Internet (Cuban, 1986). Ce schéma a également été observé dans des rapports de l'OCDE, qui montrent que l'impact réel de la technologie en éducation tend à être plus progressif et plus complexe que ne le suggèrent les discours initiaux (OECD, 2015 ; 2019). Des réflexions récentes issues de la didactique des mathématiques confirment cette lecture : Richard et Vivier (2025) rappellent l'exemple du Tableau Numérique Interactif — déployé massivement dans les établissements scolaires au tournant des années 2000 — qui, malgré des investissements importants, n'a pas tenu ses promesses pédagogiques, faute de formation adéquate et en raison d'un potentiel didactique limité. Les auteurs soulignent que ce schéma se reproduit aujourd'hui avec l'intelligence artificielle, et que la question décisive reste celle de l'intégration didactique, bien plus que celle de la performance technique (Richard & Vivier, 2025, p. 7).

Dans cette perspective, l'irruption actuelle de l'intelligence artificielle générative dans l'éducation peut être métaphorisée comme une « vague » qui, en surface, semble tout bouleverser, tandis que le fond reste relativement inchangé.

Par conséquent, plutôt que de se demander si l'intelligence artificielle est intrinsèquement bonne ou mauvaise pour l'éducation, il semble plus pertinent d'analyser comment elle s'inscrit dans ces cycles historiques, quelles pratiques elle transforme réellement, et quelles nouvelles façons de penser, d'apprendre et d'enseigner elle limite ou rend possibles.

Cet article s'organise en deux grandes parties. La première examine la question de la vérité et du raisonnement : nous analyserons d'abord le nouveau régime de « vérité » instauré par les systèmes algorithmiques, puis la nature de la vérité mathématique, avant de nous interroger sur les types de raisonnement mobilisés par l'intelligence artificielle et leurs limites épistémologiques. La seconde partie s'appuie sur des données empiriques issues de deux projets de recherche menés au Chili pour examiner les usages effectifs de l'IA dans des contextes scolaires et de formation des enseignants, et en discuter les implications didactiques.

Vérités et raisonnements

Nouveau régime de « vérité »

Dans une perspective critique, Eric Sadin (2020) analyse, entre autres aspects de l'IA, la construction du savoir à travers le concept de vérité que nous confions à un large éventail d'intelligences artificielles dans différents domaines de la vie personnelle, professionnelle et politique. En effet, pour Sadin (2020, p. 17), « le numérique s'érige en puissance aléthique. […] au sens où l'entendait la philosophie grecque antique, comme dévoilement, comme manifestation de la réalité des phénomènes au-delà de leurs apparences. Le numérique s'érige en organe habilité à expertiser le réel de manière plus fiable que nous-mêmes ». Au niveau social, on observe de nombreux exemples cités par O'Neil (2018) qui, dans son livre, montre comment les systèmes alimentés par le big data prennent des décisions dans des domaines tels que la sélection des meilleurs candidats à un poste, les personnes qui obtiennent un prêt ou les évaluations attribuées aux enseignants à partir d'une série d'indicateurs. Ces décisions sont opaques, incontestables et ne sont pas non plus réglementées ; elles fonctionnent comme un oracle, car la machine rend un verdict qu'il est difficile de renverser. Ces oracles fonctionnent également au niveau individuel, par exemple dans le choix d'un itinéraire, en optimisant le temps de trajet ; dans le choix d'un restaurant ou d'un partenaire potentiel via une application de rencontre (Sadin, 2020, p. 187).

Ce nouveau régime de vérité, entre autres caractéristiques, s'inscrit dans une logique du temps réel, délégitimant ainsi le temps de l'analyse humaine. On lui attribue un statut d'autorité induit par une recherche incessante d'efficacité ; de plus, pour chaque domaine, il provient d'une source unique, éliminant ainsi la pluralité des points de vue (Sadin, 2020, p. 96). Tous ces phénomènes s'inscrivent dans un contexte social où « chacun d'entre nous s'imagine placé au centre du monde et doté du pouvoir d'adapter les événements à sa vision des choses […] ce qui témoigne de la désintégration croissante de nos bases communes et de l'atomisation extrême de la société en général » p. 95.

La vérité dont parle Sadin est une vérité subjective, même si elle est dissimulée sous des mesures qui lui confèrent une apparence scientifique et qu'on qualifie à tort de vérité mathématique. En effet, en fin de compte, les affirmations émises par n'importe quelle technologie, quel que soit le domaine analysé, résultent d'un processus de classification et d'un autre de mesure, deux processus qui ne sont pas uniques et qui comportent une part importante d'arbitraire. C'est une vérité artificielle, aussi artificielle que les technologies qui la produisent. La vérité mathématique n'a pas grand-chose à voir avec la vérité du monde réel, et encore moins avec la vérité imposée par les métriques de différents appareils. Cela est loin d'être une vérité mathématique ou scientifique, mais cela revêt néanmoins un halo de scientisme. Je vais maintenant, à titre de contrepoint, aborder la question de la vérité en mathématiques.

La vérité en mathématiques

Les mathématiques sont aujourd'hui comprises comme une science formelle et déductive : à partir de certains axiomes, on construit des propositions dont la vérité ou la fausseté est établie au moyen de chaînes de raisonnements logico-déductifs. Cette manière d'organiser le savoir possède une longue histoire, dont le jalon classique est l'œuvre d'Euclide, qui systématisa la géométrie à partir d'un petit ensemble de postulats et de notions communes. Ce faisant, il ne se contenta pas de rassembler des connaissances existantes, mais instaura un idéal : celui d'une discipline où les vérités sont rigoureusement déduites de principes fondamentaux.

Pendant des siècles, ce modèle fut interprété comme l'expression même de la vérité mathématique. Des philosophes comme Immanuel Kant considéraient que la géométrie euclidienne décrivait nécessairement la structure de l'espace, lui conférant un caractère presque absolu. Par exemple, Kant (2013, p. 46), dans son ouvrage *Critique de la raison pure*, affirmait :

> La géométrie est une science qui détermine synthétiquement, et pourtant a priori, les propriétés de l'espace. Quelle doit donc être la représentation de l'espace pour qu'une telle connaissance en soit possible ? Elle doit être originairement une intuition, car d'un simple concept on ne peut tirer des propositions qui dépassent le concept, ce qui se produit pourtant en géométrie (voir Introduction V). Cette intuition doit se trouver en nous a priori, c'est-à-dire avant toute perception des objets, et doit par conséquent être une intuition pure, non empirique. En effet, les propositions de la géométrie sont toutes apodictiques, c'est-à-dire accompagnées de la conscience de leur nécessité, comme par exemple celle qui affirme que l'espace n'a que trois dimensions. De telles propositions ne peuvent être des jugements empiriques ou d'expérience, ni être déduites de ceux-ci.

Cependant, le développement ultérieur des mathématiques a montré que même les axiomes, ces principes considérés comme évidents, peuvent être remis en question.

Au XIXe siècle, des mathématiciens comme Nikolai Lobachevsky et János Bolyai ont construit des géométries non euclidiennes en niant le cinquième postulat d'Euclide. Loin de produire des contradictions, ces nouveaux systèmes se sont révélés cohérents et, de plus, utiles pour décrire des phénomènes réels. Ce fait a marqué un tournant profond : la vérité mathématique a cessé d'être conçue comme unique et évidente, pour dépendre désormais de la cohérence interne au sein d'un système axiomatique donné.

Dans cette perspective, travailler en mathématiques peut conduire à des résultats qui ne sont pas seulement non évidents, mais aussi contre-intuitifs. Par exemple, l'idée selon laquelle « le tout est plus grand que la partie », valable dans des contextes finis, cesse de l'être lorsque l'on considère des ensembles infinis : il existe des cas où une partie peut avoir la même « taille » que le tout. De manière analogue, certaines constructions géométriques montrent qu'il est possible de concevoir des figures ayant une aire finie et un périmètre infini, défiant ainsi nos intuitions les plus élémentaires.

Ces exemples illustrent que la vérité mathématique ne dépend pas de ce qui paraît évident, mais de ce qui peut être démontré. Bien que les processus de découverte puissent impliquer des intuitions, des analogies ou des généralisations, c'est le raisonnement déductif qui confère à une proposition son statut de vérité. De plus, cette vérité n'est pas purement individuelle : elle doit être examinée, comprise et acceptée par la communauté mathématique.

Cependant, même dans ce cadre rigoureux, il existe des limites. Les résultats de Kurt Gödel ont montré que, dans tout système suffisamment puissant, il existera des énoncés qui ne peuvent être décidés comme vrais ou faux à partir des axiomes donnés. De plus, un tel système ne peut pas démontrer sa propre cohérence depuis l'intérieur. Cela introduit une idée essentielle : les mathématiques, bien qu'extrêmement précises, ne constituent pas un système fermé, complet ni auto-fondé.

Dans l'ensemble, ces éléments invitent à nuancer la notion de vérité en mathématiques. Plutôt que des vérités absolues et immuables, on trouve des vérités situées dans des systèmes axiomatiques, construites par déduction, validées collectivement et, dans certains cas, limitées par la structure même des systèmes formels. De surcroît, la cohérence interne d'un système ne peut être garantie que depuis un système plus large, lequel est soumis aux mêmes contraintes — introduisant ainsi une forme de régression sans fondement ultime.

Types de raisonnement, intelligence artificielle et construction de nouvelles connaissances

Réfléchir à l'intelligence artificielle suppose, dans une large mesure, d'interroger la nature même du raisonnement. À la fin du XIXe siècle, Charles Sanders Peirce soutenait que raisonner n'équivaut pas à calculer mécaniquement, mais implique de formuler des conjectures : effectuer un « saut » qui permet de relier des éléments dispersés et de leur donner sens. Dans ce cadre, il a distingué trois formes fondamentales d'inférence :

l'induction, la déduction et l'abduction, comme autant de modes différents de production de connaissances.

De manière générale, inférer consiste à générer une idée nouvelle à partir de ce que nous savons déjà et de ce que nous observons. Il s'agit d'un processus de mise à jour des croyances qui n'est ni automatique ni univoque, mais dépend du contexte et des interprétations disponibles. Ainsi, tant dans des situations quotidiennes que dans des projections plus complexes, par exemple, lorsqu'on anticipe le comportement d'une variable économique, le raisonnement s'appuie sur des hypothèses, des données antérieures et des cadres de référence qui orientent les conclusions.

Dans le domaine des mathématiques, cette dimension non strictement mécanique du raisonnement a également été soulignée par Alan Turing (1939), qui proposait de le comprendre comme une combinaison d'intuition et d'ingéniosité. Selon ses termes :

Dans le domaine des mathématiques, cette dimension non strictement mécanique du raisonnement a également été soulignée par Alan Turing (1939, p. 214, notre traduction[1]), qui proposait de le comprendre comme une combinaison d'intuition et d'ingéniosité. Selon ses termes :

> On peut considérer, de manière assez schématique, le raisonnement mathématique comme l'exercice d'une combinaison de deux facultés, que l'on peut appeler intuition et ingéniosité. L'activité de l'intuition consiste à émettre des jugements spontanés qui ne résultent pas d'un enchaînement conscient de raisonnements. Ces jugements sont souvent, mais en aucun cas invariablement, corrects (sans entrer dans la question de savoir ce que l'on entend par « correct »). Il est souvent possible de trouver un autre moyen de vérifier la justesse d'un jugement intuitif. On peut, par exemple, juger que tous les nombres entiers positifs sont factorisables de manière unique en nombres premiers ; un argument mathématique détaillé conduit au même résultat. Cet argument impliquera également des jugements intuitifs, mais ceux-ci seront moins exposés à la critique que le jugement initial sur la factorisation. Je ne tenterai pas d'expliquer plus explicitement cette idée d'« intuition ».

Il définissait en outre l'ingéniosité (Turing, 1939, p. 215, notre traduction[2]) de la manière suivante :

---

[1] Texte original : "Mathematical reasoning may be regarded rather schematically as the exercise of a combination of two faculties, which we may call intuition and ingenuity. The activity of the intuition consists in making spontaneous judgments which are not the result of conscious trains of reasoning. These judgments are often but by no means invariably correct (leaving aside the question what is meant by 'correct'). Often it is possible to find some other way of verifying the correctness of an intuitive judgment. We may, for instance, judge that all positive integers are uniquely factorizable into primes; a detailed mathematical argument leads to the same result. This argument will also involve intuitive judgments, but they will be less open to criticism than the original judgment about factorization. I shall not attempt to explain this idea of 'intuition' any more explicitly" (Turing, 1939, p. 214)

[2] Texte original : "The exercise of ingenuity in mathematics consists in aiding the intuition through suitable arrangements of propositions, and perhaps geometrical figures or drawings. It is intended that when these are really well arranged the validity of the intuitive steps which are required cannot seriously be doubted".

L'exercice de l'ingéniosité en mathématiques consiste à soutenir l'intuition par une disposition adéquate des propositions, et peut-être des figures géométriques ou des dessins. L'objectif est que, lorsque ceux-ci sont disposés de manière véritablement correcte, la validité des étapes intuitives nécessaires ne puisse faire l'objet d'aucun doute.

Ces idées permettent de comprendre que, même dans une discipline formelle comme les mathématiques, le raisonnement implique des dimensions qui ne se réduisent pas à des règles explicites. Ce constat devient crucial lorsqu'on envisage la possibilité de mécaniser la pensée. Dans cette perspective, Kurt Gödel a formulé une question décisive : « Peut-on réduire l'intuition de l'esprit, sa capacité à saisir la vérité et le sens, à une machine, à la computation ? » (Larson, 2022, p. 16). Ses théorèmes d'incomplétude ont montré que cela n'est pas possible en termes généraux, établissant des limites fondamentales à tout système formel.

Par ailleurs, l'histoire de la science et de la culture offre de multiples exemples du rôle de l'abduction, c'est-à-dire de la formulation d'hypothèses plausibles, dans la production de connaissances. Dans un passage de l'ouvrage Ciencia y Poesía, Claudio Teitelboim et Jaime Valdivieso (1995, p. 362, notre traduction[3]) relatent :

Claudio Teitelboim : Il existe une équation très célèbre, celle de Dirac. Si l'on lit aujourd'hui l'article de Dirac, on constate que toute sa justification est fausse, comme l'a montré la physique. Pourtant, le résultat de l'équation demeure valide. Quelqu'un demanda un jour à Dirac : comment êtes-vous arrivé à cette équation ? Dirac répondit en anglais, flegmatiquement : « I just wrote it down » (Je l'ai simplement écrite). (Il le dit en imitant la célèbre nonchalance anglaise, dans un geste histrionique très caractéristique de sa personnalité.) C'est cela, la vérité. Je suis sûr que Dirac s'est dit : « c'est ainsi ». Et ensuite il a justifié. Il s'agit d'une vision.

Jaime Valdivieso : Une intuition.

Claudio Teitelboim : Bien sûr.

Jaime Valdivieso : On raconte que García Márquez a « vu » tout le livre *Cent ans de solitude* lors d'un voyage de Mexico à Cuernavaca. En arrivant, il dit à sa femme : mets-toi au travail et vendons la voiture, car je vais écrire ce roman et je passerai trois ou quatre mois sans gagner d'argent. Un roman qui a ouvert, rien de moins, une nouvelle voie à la narration latino-américaine, puisqu'à partir de là on écrit et on conçoit le monde américain depuis une autre perspective linguistique et imaginative.

[3] Texte original : "Claudio Teitelboim: Hay una ecuación muy famosa, la de Dirac. Tú lees el artículo de Dirac hoy día y compruebas que toda su justificación es falsa, según lo ha demostrado la física. Pero el resultado de la ecuación sigue siendo válido. Alguien le preguntó a Dirac una vez: ¿cómo llegó usted a esta ecuación? Dirac le contestó en inglés, flemáticamente: "I just wrote it down" (Simplemente la escribí). Esa es la verdad. Estoy seguro que Dirac dijo: "esto es así". Y después lo justificó. Se trata de una visión. Jaime Valdivieso: Una intuición. Claudio Teitelboim: Claro. Jaime Valdivieso: Se dice que García Márquez "vio" todo el libro Cien años de soledad durante un viaje de México a Cuernavaca. Al llegar le dijo a su mujer: ponte a trabajar y vendamos el auto, porque voy a escribir esta novela y estaré tres o cuatro meses sin ganar dinero. Una novela que abrió, nada menos, una nueva senda a la narrativa latinoamericana, pues a partir de allí se escribe y se concibe el mundo americano desde otra perspectiva lingüística e imaginativa."

Ce type de récits illustre que la production d'idées, tant en science qu'en littérature, ne suit pas nécessairement une voie déductive, mais commence souvent par une intuition qui est ensuite justifiée.

Néanmoins, en philosophie des sciences, les formes d'inférence les plus systématiquement étudiées ont été la déduction et l'induction. La déduction permet de dériver des conclusions nécessaires à partir de prémisses vraies, mais elle ne produit pas de nouvelles connaissances : sa fonction est de garantir la validité logique. À l'inverse, l'induction élargit la connaissance, bien que de manière incertaine : la proportion Q d'un échantillon de la population possède la propriété P ; par conséquent, la proportion Q de la population possède la propriété P. Ce type de raisonnement, fondamental dans la science moderne, est également intrinsèquement faillible, comme le montrent des exemples classiques : de la découverte des cygnes noirs, qui a réfuté des généralisations antérieures, jusqu'au dépassement de théories physiques soutenues pendant des siècles.

Dans ce contexte, l'intelligence artificielle contemporaine peut être comprise comme un système principalement inductif. Les modèles génératifs, entraînés sur de vastes volumes de données, produisent des réponses plausibles à partir de régularités observées, mais pas nécessairement vraies. Ils ne possèdent pas pleinement, au sens fort, de capacités déductives et abductives, ce qui limite leur portée épistémologique.

Les conséquences de cette limitation sont multiples. D'une part, en mathématiques, ils peuvent générer des résultats incorrects ayant l'apparence de validité ; d'autre part, dans des contextes sociaux, ils peuvent reproduire des biais présents dans les données. Cathy O'Neil (2018) a montré comment ces systèmes peuvent conduire à des décisions problématiques, comme dans le cas d'algorithmes de recrutement qui finissent par discriminer systématiquement certains groupes.

Ce point conduit naturellement à une question plus profonde : si les systèmes actuels d'intelligence artificielle fonctionnent fondamentalement par induction, peuvent-ils réellement produire de nouvelles connaissances ?

Les modèles de langage de grande taille (LLM), comme ChatGPT, produisent des textes souvent convaincants, voire créatifs. Toutefois, leur fonctionnement peut être compris, en essence, comme une forme très sophistiquée de traduction ou de paraphrase. Ils génèrent de nouvelles combinaisons de mots, mais toujours à l'intérieur de l'espace statistique défini par les données d'entraînement. En ce sens, la « vérité » de leurs réponses n'est pas le résultat d'un processus de validation déductive ni d'une compréhension causale, mais plutôt un sous-produit de la fréquence avec laquelle certaines affirmations apparaissent dans leurs données. Si l'on adopte un point de vue vectoriel, une base d'un sous-espace permet de générer n'importe quel élément de ce sous-espace par combinaisons linéaires, mais pas l'espace entier.

Qualifier ces systèmes de simples « perroquets stochastiques » peut être réducteur, car cela sous-estime leur capacité de généralisation. Cependant, leur attribuer un raisonnement autonome ou une capacité de découverte constitue une surestimation tout aussi problématique.

Cette tension reflète, au fond, une confusion entre produire des réponses plausibles et générer des connaissances.

Pour mieux comprendre cette différence, il est utile de considérer le rôle du raisonnement dans la cognition humaine. Selon Felin et Holweg (2024), l'activité cognitive peut être comprise comme une forme d'activité théorique : les êtres humains ne se contentent pas de traiter des données, ils construisent des théories prospectives qui orientent leur perception, leur recherche d'information et leurs actions. Dans la lignée de Peirce (1992), l'esprit humain semble « naturellement adapté à imaginer des théories correctes de certains types », ce qui suggère que la connaissance n'émerge pas simplement des données, mais de leur interprétation dans des cadres conceptuels plus larges.

Dans cette perspective, à la frontière de la connaissance scientifique, les données ne précèdent pas la théorie, mais en sont souvent le produit : elles sont collectées, sélectionnées et interprétées à partir de croyances préalables, d'hypothèses et de schémas causaux. Cela introduit une dimension cruciale que les modèles actuels d'IA ne capturent pas : la capacité de formuler des questions pertinentes, d'imaginer des explications possibles et de maintenir des hypothèses même lorsque les données disponibles semblent les contredire.

Un exemple illustratif est celui du vol humain, analysé par Felin et Holweg (2024). Pendant des siècles, les données empiriques et le consensus scientifique suggéraient que le vol plus lourd que l'air était impossible. Même au début du XXe siècle, après de multiples échecs, parfois mortels, comme celui d'Otto Lilienthal, et face à l'autorité de figures comme Kelvin ou Newcomb, l'idée du vol restait jugée irréalisable. En 1903, le New York Times estimait qu'il faudrait « entre un million et dix millions d'années » pour y parvenir.

Pourtant, les frères Wright ont persévéré. Non pas parce qu'ils ignoraient les données, mais parce qu'ils étaient engagés dans une théorie causale du vol. Leur travail ne consistait pas simplement à accumuler des preuves, mais à les réinterpréter et à les réorganiser dans un cadre conceptuel différent. Ce cas illustre un principe plus général : les asymétries entre données et croyances ne sont pas un obstacle à la connaissance, mais l'une de ses conditions de possibilité. L'hétérogénéité des croyances, y compris celles qui paraissent initialement erronées ou même « délirantes », peut être le moteur de nouvelles idées et de nouvelles formes d'expérimentation.

Cette dimension théorique de la connaissance a été soulignée dans de nombreux contextes. Comme le suggère le titre même de l'article de Karmiloff-Smith et Inhelder (1974), « If you want to get ahead, get a theory » (si vous voulez progresser, apprenez une théorie), Comme le rappelle la célèbre formule généralement attribuée à Kurt Lewin (1943, p. 118) : « Rien n'est plus pratique qu'une bonne théorie ». Dans les deux cas, il est souligné que le progrès scientifique ne dépend pas uniquement des données, mais des cadres conceptuels qui permettent de les interpréter.

Dans cette perspective, la différence entre intelligence humaine et intelligence artificielle ne réside pas seulement dans la quantité d'information traitée, mais dans la nature du raisonnement. Tandis que les modèles actuels fonctionnent principalement par induction, les êtres humains combinent induction, déduction et, de manière cruciale, abduction : la capacité de générer des hypothèses explicatives et des théories causales.

Cela ne signifie pas que l'intelligence artificielle ne puisse pas contribuer à la production de connaissances, mais que son rôle doit être compris avec précision. Plutôt que de remplacer le raisonnement humain, ces systèmes amplifient certaines capacités, comme l'identification de régularités, mais ils ne possèdent pas, du moins pour l'instant, la dimension générative et prospective propre à la théorisation.

En définitive, le défi est épistémologique : comprendre que la connaissance n'émerge pas uniquement des données, mais de l'interaction entre données, théories et formes de raisonnement. Dans ce sens, progresser vers une intelligence artificielle plus robuste exige, en plus de meilleurs algorithmes, une théorie plus complète de l'inférence, intégrant explicitement la dimension abductive de la pensée (Larson, 2022).

À la lumière de ces éléments, il est pertinent de réfléchir à la nature de l'intelligence artificielle dans le contexte des artefacts numériques. Dans Flores et al. (2022), un artefact pour l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques est défini comme un ensemble de propositions dont l'exécution est possible par une machine électronique, caractérisé par une intelligence historique et une validité épistémologique relative. Dans ce cadre, l'intelligence artificielle générative introduit une nuance décisive : sa validité épistémologique n'est ni strictement déductive ni intentionnelle, mais probabiliste. Autrement dit, ses productions ne reposent pas sur des démonstrations ni sur des théories causales propres, mais sur des régularités statistiques issues de données antérieures. Cette distinction permet de situer plus précisément le rôle de l'IAg : celui d'un artefact qui amplifie certaines formes d'inférence, principalement inductives, et dont les résultats exigent, plus que jamais, interprétation, validation et problématisation de la part des communautés humaines.

Ces considérations méritent néanmoins d'être nuancées à la lumière d'évolutions récentes. Un article de Quanta Magazine (Kakaes, 2026) documente comment, depuis l'été 2025, des mathématiciens utilisent des systèmes d'IA pour découvrir et démontrer de nouveaux résultats, accomplissant en quelques jours ce qui leur aurait pris des semaines. Des modèles comme AlphaEvolve ont mis en évidence des structures mathématiques ignorées depuis des décennies, soulevant une question déstabilisante : s'agit-il encore d'une simple inférence inductive, ou d'autre chose ? Par ailleurs, Kustov (2026) souligne que la frontière entre recombiner des idées existantes et produire des connaissances nouvelles a toujours été floue, en science humaine comme en mathématiques, et que cette frontière l'est encore davantage aujourd'hui. Ces observations invitent à la prudence : les limites épistémologiques de l'IA générative, bien que réelles, ne sont pas statiques, et leur évolution rapide exige une veille critique permanente de la part des communautés éducatives et scientifiques.

Usage de l'IA dans des contextes d'enseignement scolaire et de formation des enseignants

La question du rôle de l'intelligence artificielle dans la production de connaissances acquiert une dimension particulière lorsqu'elle est située dans des contextes d'apprentissage formel. À partir des considérations précédentes, notamment le caractère principalement inductif des systèmes d'IA et leur validité épistémologique de nature probabiliste, il convient de s'interroger sur leur capacité réelle à contribuer à l'apprentissage mathématique. Les données empiriques que nous présentons suggèrent une réponse nuancée : l'IA peut être mobilisée à des fins d'apprentissage, mais son intégration effective est loin d'être immédiate ou naturelle.

Dans le cadre des projets FONDECYT 11230953 et ECOS-ANID 220035, des tâches ouvertes ont été mises en œuvre au sein d'une plateforme d'évaluation en ligne avec rétroaction automatique, à destination d'élèves du secondaire ainsi que de futurs enseignants de mathématiques. Ces tâches, conçues pour admettre une diversité de stratégies et de solutions, visaient précisément à observer si, dans un environnement où l'usage des technologies, y compris l'intelligence artificielle, était explicitement autorisé, émergeait un travail mathématique articulant les dimensions sémiotique, instrumentale et discursive.

L'IA dans les contextes scolaires

Les résultats globaux mettent en évidence un phénomène contre-intuitif : l'intelligence artificielle est très peu utilisée par les élèves, même lorsque son usage est non seulement autorisé, mais encouragé. Dans le cas du projet FONDECYT, qui a impliqué près de 240 élèves et plus de 100 enregistrements audiovisuels de séances de travail en classe, en présence de l'enseignant, l'utilisation d'outils tels que ChatGPT est restée marginale en comparaison d'autres artefacts comme GeoGebra ou les moteurs de recherche traditionnels. En effet, l'analyse quantitative montre que ChatGPT apparaît dans une proportion très faible des vidéos et avec des durées d'utilisation considérablement réduites (voir Figure 1, et le zoom à droite pour une meilleure lisibilité des catégories à faible temps de navigation).

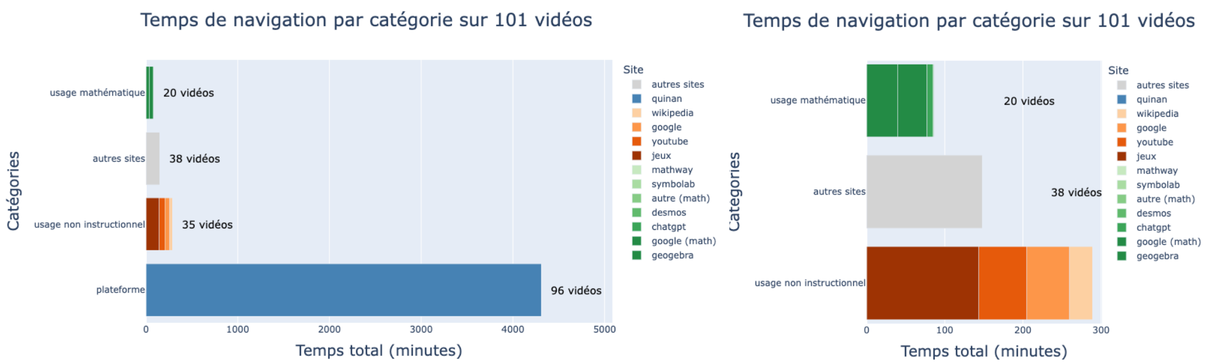

Figure 1. Graphique indiquant la durée totale de navigation et le nombre de vidéos pour chaque catégorie. Le graphique de droite présente un zoom sur les catégories « usage mathématique », « autres sites » et « usage non instructionnel ». Extrait et traduit de Gaona et al. (2026, p. 16).

Ce faible usage ne peut pas s'expliquer par un manque d'accès. Il tient plutôt à des difficultés d'appropriation cognitive et instrumentale. Dans les cas où les étudiants interagissent avec l'IA générative, des motifs récurrents émergent : des réponses longues, à forte densité symbolique, difficiles à interpréter ; des décalages entre le niveau de formalisation de l'IA et les connaissances mathématiques des étudiants ; et, dans de nombreux cas, des erreurs qui érodent la confiance dans l'outil. En conséquence, les étudiants tendent à abandonner rapidement son usage, en privilégiant des artefacts perçus comme plus « transparents » ou contrôlables, tels que les calculatrices symboliques ou les moteurs de recherche.

L'analyse qualitative de cas spécifiques permet d'approfondir ces dynamiques. Dans une tâche de modélisation géométrique à l'aide de fonctions linéaires, un binôme d'étudiants articule de manière équilibrée l'usage de GeoGebra, de recherches en ligne et de discussion mathématique, réalisant un travail qui mobilise les trois genèses de l'ETM (Kuzniak et al., 2022). En revanche, dans une tâche portant sur les fonctions quadratiques, un autre binôme recourt très tôt à ChatGPT, en l'utilisant comme un générateur direct de réponses. Cet usage conduit à un travail principalement instrumental, avec une validation sémiotique faible et quasiment sans élaboration discursive. L'IAg, dans ce cas, n'agit pas comme médiatrice du savoir, mais comme un raccourci qui, paradoxalement, entrave la compréhension du problème et le développement de connaissances mathématiques.

Ces résultats peuvent être interprétés à la lumière de la nature même de l'IA générative. Si, comme cela a été soutenu, ces systèmes fonctionnent essentiellement par inférences inductives, produisant des réponses probables à partir de régularités dans les données, alors leurs productions ne garantissent ni une adéquation didactique ni une cohérence avec les processus d'apprentissage des étudiants. Plus généralement, l'IAg n'est pas conçue pour enseigner, mais pour prédire. Cette différence, qui peut sembler subtile, a des implications profondes dans les contextes éducatifs.

D'un point de vue historique, ce phénomène n'est pas entièrement surprenant. Comme le montre Larry Cuban (1986), les technologies éducatives traversent souvent des cycles récurrents d'enthousiasme initial, suivis de désillusion, de résistance et, finalement, d'une intégration lente et partielle. En ce sens, l'IAg pourrait ne pas constituer une rupture radicale, mais plutôt une nouvelle itération de ce schéma.

Les résultats suggèrent que, dans son état actuel, l'intelligence artificielle ne transforme pas de manière significative les pratiques d'apprentissage mathématique dans les contextes scolaires : elle ne les améliore pas de façon évidente, mais ne les entrave pas non plus de manière systématique. Elle demeure plutôt en marge, ignorée ou utilisée de manière superficielle. Ce constat invite à déplacer la question de « ce que peut faire l'IA » vers « dans quelles conditions didactiques elle pourrait devenir significative », ce qui implique de repenser non seulement la technologie, mais aussi les tâches, les cadres théoriques et les formes de médiation enseignante.

Expérience en formation des enseignants

Dans le cadre du projet ECOS-ANID 220035, développé en collaboration internationale par l'équipe composée au Chili de Jorge Gaona, Silvia Soledad López, Romina Menares, Elizabeth Montoya Delgadillo, et en France de Fabrice Vandebrouck et Laurent Vivier, les processus de travail mathématique d'étudiants en formation de professeurs de mathématiques ont été analysés, ces derniers étant confrontés à des tâches ouvertes en algèbre linéaire dans des environnements numériques (Gaona et al., 2025).

L'analyse s'inscrit dans la théorie de l'Espace de Travail Mathématique ou ETM (Kuzniak et al., 2022), en considérant l'articulation entre les genèses sémiotique, instrumentale et discursive, ainsi que les domaines mathématiques mobilisés : géométrie, algèbre et algèbre linéaire dans leurs différents paradigmes (voir Gaona et al., 2026). Dans ce contexte, l'usage des technologies numériques a été large et diversifié (GeoGebra, moteurs de recherche comme Google et calculatrices symboliques), mais l'usage de l'intelligence artificielle générative est resté, une fois encore, faible et peu structurant pour le travail mathématique.

En effet, les cas analysés montrent que l'activité mathématique des étudiants s'organise principalement autour d'artefacts permettant une rétroaction stable, contrôlable et validable, tels que GeoGebra ou les calculatrices matricielles. Par exemple, dans le cas d'un binôme, le travail se développe entièrement dans le domaine géométrique à travers une coordination progressive entre visualisation (genèse sémiotique), construction avec GeoGebra (genèse instrumentale) et mobilisation de propriétés (genèse discursive). La validation des résultats s'effectue à la fois par des propriétés mathématiques et par la cohérence interne de la construction, même lorsque la plateforme numérique indique des réponses comme incorrectes pour des raisons formelles.

De manière similaire, dans le cas d'un autre binôme, le travail évolue d'une approche instrumentale vers une coordination plus complexe intégrant les dimensions sémiotique et discursive, en passant de l'algèbre à l'algèbre linéaire (paradigmes AL1 et AL2). Ici, les artefacts symboliques, tels que les systèmes d'équations et les matrices, structurent le raisonnement, tandis que les difficultés émergent moins du calcul que de l'interprétation des solutions, en particulier lorsque celles-ci sont infinies.

Le cas d'un troisième binôme est particulièrement illustratif quant au rôle des outils automatisés : l'usage de logiciels de calcul matriciel permet d'accéder rapidement à des propriétés telles que le déterminant, le rang ou l'inversibilité, mais sans compréhension associée, ce qui conduit à un travail principalement instrumental et, à certains moments, non contrôlé du point de vue mathématique. Ce phénomène est particulièrement pertinent pour penser la place de l'intelligence artificielle, dans la mesure où elle partage avec ces artefacts la capacité de produire des résultats sans en garantir la compréhension.

Dans cet ensemble de données, l'intelligence artificielle générative n'apparaît que de manière marginale et, lorsqu'elle est mobilisée, ne parvient pas à s'intégrer de façon productive dans l'espace de travail mathématique des étudiants. Les raisons semblent multiples : l'extension et la complexité des réponses générées ; la difficulté d'interpréter les notations et de valider les résultats ; et, plus profondément, l'absence d'une articulation claire avec les pratiques mathématiques scolaires et institutionnelles. En revanche, des outils comme GeoGebra permettent une validation directe par la visualisation, tandis que les systèmes algébriques offrent des procédures davantage alignées sur les attentes curriculaires.

Ces résultats renforcent une idée déjà suggérée dans la section précédente : si l'IAg peut produire des réponses plausibles d'un point de vue inductif, son intégration dans les processus d'apprentissage mathématique nécessite des conditions spécifiques permettant d'articuler ses productions avec des formes de validation sémiotique, instrumentale et discursive propres au travail mathématique. En l'absence de ces conditions, l'IA tend non seulement à être sous-utilisée, mais aussi à être reléguée au profit d'outils perçus par les étudiants comme plus « fiables » ou « mathématiquement légitimes ».

Conclusion

L'analyse proposée dans cet article invite à nuancer les discours actuels sur l'intelligence artificielle en éducation. Loin de constituer une rupture radicale, l'IA s'inscrit dans une longue histoire de technologies éducatives dont les effets réels se révèlent souvent plus limités et plus complexes que ne le laissent entendre les promesses initiales.

Du point de vue épistémologique, la distinction entre vérité mathématique et production algorithmique met en évidence un enjeu central : les systèmes d'IA ne produisent pas des connaissances au sens strict, mais des énoncés plausibles, fondés sur des régularités statistiques. Cette caractéristique, étroitement liée à leur fonctionnement inductif, limite leur capacité à s'inscrire dans des pratiques de raisonnement mathématique fondées sur la démonstration, la validation et la construction de sens.

Par ailleurs, dans les contextes étudiés, l'IA générative reste en marge du travail mathématique, peu mobilisée par les étudiants et rarement intégrée de manière productive. Lorsqu'elle est utilisée, elle tend à favoriser des approches instrumentales au détriment de l'élaboration discursive et de la validation sémiotique.

Ces constats ne conduisent pas à rejeter l'intelligence artificielle, mais à en redéfinir le rôle. Plutôt que de la considérer comme un substitut au raisonnement humain, il apparaît plus pertinent de la penser comme un artefact susceptible d'amplifier certaines formes d'inférence, à condition que ses usages soient inscrits dans des dispositifs didactiques adaptés.

En ce sens, le véritable enjeu n'est pas technologique, mais didactique et épistémologique : il s'agit de concevoir des environnements d'apprentissage dans lesquels les productions de l'IA puissent être interrogées, interprétées et mises à l'épreuve, en articulation avec les exigences propres au travail mathématique.

Références

Cuban, L. (1986). *Teachers and Machines: The Classroom Use of Technology Since 1920*. Teachers College Press.

Darnton, R. (2023). *Un himno al papel*. Ediciones UACH.

Euclides. (1991). *Los seis primeros libros, y el undecimo, y duodecimo de los elementos de Euclides* (M. L. Puertas Castaños, Trad.). Gredos.

Felin, T., & Holweg, M. (2024). Theory is all you need: AI, human cognition. *Strategy Science*, *9*(4), 346–371.

Flores Salazar, J. V., Gaona, J., & Richard, P. R. (2022). Mathematical work in the digital age: Variety of tools and the role of geneses. In A. Kuzniak, E. Montoya-Delgadillo, & P. R. Richard (Eds.), *Mathematical Work in Educational Context: The Mathematical Working*

Space Theory Perspective (pp. 165–209). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90850-8_8

Gaona, J., López, S. S., Menares, R., Montoya-Delgadillo, E., Vandebrouck, F., & Vivier, L. (2026). Mathematical work in linear algebra: A transition through paradigms. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*. https://doi.org/10.1007/s40753-026-00304-x

Gaona, J., López, S. S., Menares, R., Montoya-Delgadillo, E., Vandebrouck, F., & Vivier, L. (2026). Paradigmes de l'Algèbre Linéaire. *Cahier du LDAR*.

Gaona, J., Vargas, J., & Palacios, C. (2026). Más allá de ChatGPT: Un análisis de las prácticas tecnológicas de estudiantes de secundaria en la resolución de tareas abiertas en un sistema de evaluación en línea. https://osf.io/preprints/edarxiv/u5hn8_v1

Gödel, K. (1992). *On Formally Undecidable Propositions of Principia Mathematica and Related Systems*. Courier Corporation.

Kakaes, K. (2026, April 13). The AI revolution in math has arrived. *Quanta Magazine*. https://www.quantamagazine.org/the-ai-revolution-in-math-has-arrived-20260413/

Kant, I. (2013). *Crítica de la razón pura*. Taurus.

Karmiloff-Smith, A., & Inhelder, B. (1974). If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, *3*(3), 195–212. https://doi.org/10.1016/0010-0277(74)90008-0

Kustov, A. (2026, April 15). Academics need to wake up on AI, Part III: Most of us do not contribute to human knowledge—AI just made it obvious. *Popular by Design*. https://www.popularbydesign.org/p/academics-need-to-wake-up-on-ai-part-4c6

Kuzniak, A., Richard, P. R., & Montoya-Delgadillo, E. (Eds.). (2022). *Mathematical Work in Educational Context*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90850-8

Larson, E. (2022). *El mito de la inteligencia artificial: por qué las máquinas no pueden pensar como nosotros lo hacemos*. Shackleton Books.

Lewin, K. (1943). Problems of research in social psychology. In D. Cartwright (Ed.), *Field Theory in Social Science: Selected Theoretical Papers* (pp. 155–169). Harper & Brothers.

OECD. (2015). *Students, Computers and Learning: Making the Connection*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264239555-en

OECD. (2019). *Panorama de la Educación 2019: Chile*. OECD Publishing.

O'Neil, C. (2018). *Armas de destrucción matemática: cómo el big data aumenta la desigualdad y amenaza la democracia*. Capitán Swing Libros.

Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books.

Peirce, C. S. (1992). *The Essential Peirce*. Indiana University Press.

Platon. (1994). *Phèdre*.

Richard, P. R., & Vivier, L. (2025). Éditorial du numéro 30. Annales de Didactique et de Sciences Cognitives, 30, 7–9. https://doi.org/10.4000/15dhx

Sadin, E. (2020). *La inteligencia artificial o el desafío del siglo: anatomía de un antihumanismo radical*. Caja Negra.

Turing, A. (1939). Systems of logic based on ordinals. *Proceedings of the London Mathematical Society*, *s2-45*(1), 161–228.

Valdivieso, J., & Teitelboim, C. (1995). *Ciencia y poesía: diálogo con Claudio Teitelboim*. Lom Ediciones.