Que signifie être mathématicien quand l'IA fait des mathématiques

Preuve, compréhension et transformation du savoir mathématique

Daniel GUINIER

Docteur ès Sciences
CISSP Emeritus
Expert de justice honoraire, ancien expert devant la Cour pénale internationale de La Haye



Après s'être installée dans le champ scientifique[1], l'IA s'attache désormais aux mathématiques. Elle explore des problèmes complexes, produit des démonstrations et vérifie des preuves. Mais démontrer, est-ce comprendre ? En bousculant le rôle du mathématicien et la place de l'intuition dans la production du savoir, l'IA soulève une question décisive : comment tirer parti de sa puissance sans perdre la capacité à comprendre, interpréter et transmettre les résultats ?



[1] L'article prolonge ainsi mes analyses sur l'ingérence de l'IA dans la science et l'*IA scientifique* (Guinier (2023, 2025)).

De la vérification assistée par ordinateur à *l'IA mathématique*

Depuis plusieurs décennies, l'informatique transforme les pratiques mathématiques, de la production des preuves à leur vérification. En 1977, Kenneth Appel et Wolfgang Haken franchissent une étape majeure avec une démonstration du théorème des quatre couleurs reposant sur la vérification informatique de nombreuses configurations. Cette avancée soulève une question fondamentale *: quelle est la nature d'une preuve lorsque sa validation dépend, en partie, d'un ordinateur ?* (Appel et Haken (1977)).

Encore récemment, les mathématiciens conservaient l'essentiel de la maîtrise de la formulation des conjectures, des stratégies de démonstration et de l'interprétation des résultats. L'essor de l'intelligence artificielle (IA) redistribue aujourd'hui les rôles. Associés à des outils de calcul et de raisonnement formel, les grands modèles de langage (*Large Language Models*, LLM) peuvent explorer des problèmes complexes, élaborer des arguments et contribuer à la construction de démonstrations. Dans le cas plus général de l'IA scientifique (Guinier (2025)), il est vu le recours à deux principes complémentaires : *la computation évolutive,* pour générer des solutions par des processus inspirés de l'évolution génétique, et *l'ouverture sans fin,* pour pousser cette évolution en continu, sans objectif de converger vers une solution spécifique ou optimale, tout en cherchant à explorer de nouvelles directions de recherche.

Au-delà de la performance technique, cette évolution soulève une question fondamentale : ***peut-on automatiser les mathématiques sans remettre en question ce que signifie les comprendre ?***

Des performances algorithmiques à la recherche avancée

Les performances récentes de l'IA témoignent d'un véritable changement d'échelle :

En 2024, AlphaProof et AlphaGeometry 2, développés par Google DeepMind, ont résolu quatre des six problèmes des Olympiades internationales de mathématiques, obtenant un score équivalent à celui d'une médaille d'argent. Ce résultat marque une étape importante dans les capacités de raisonnement mathématique des systèmes d'IA (Google DeepMind (2024)).

En 2026, Aletheia, un agent de recherche mathématique fondé sur Gemini Deep Think, a été présenté comme capable d'explorer des problèmes de niveau doctoral et de contribuer à des travaux de recherche, notamment en produisant des solutions à certaines questions ouvertes (Feng *et al.* (2026)). L'IA ne se limite donc plus à restituer des connaissances existantes, elle participe désormais à l'exploration de conjectures, à la recherche de stratégies de démonstration et à la production de résultats nouveaux.

Très récemment, **le 6 octobre 2026**, OpenAI a annoncé la publication de 722 manuscrits mathématiques regroupés en 372 familles de résultats, à l'issue d'une exploration portant sur près de 4 000 problèmes ouverts (OpenAI (2026)). **Cette publication**, qui concerne notamment la théorie des nombres, la géométrie, la combinatoire, la logique et l'informatique théorique, **donne une mesure de l'ampleur potentielle de cette évolution**. OpenAI accompagne ces travaux de ressources publiques et de protocoles destinés à faciliter leur révision et leur citation, dans l'objectif de soumettre les résultats à l'examen de la communauté scientifique. Certaines démonstrations sont formalisées en *Lean*, un assistant de preuve permettant de vérifier informatiquement qu'un raisonnement respecte les règles d'un système logique donné. Toutefois, **l'abondance en nombre ne vaut pas validation scientifique de l'ensemble des résultats**. L'exactitude, la nouveauté et la portée doivent également être évaluées.

Des assistants de preuve tels que *Lean* et *Rocq* permettent de traduire des raisonnements en termes formels et d'en contrôler la validité logique. Ils renforcent ainsi les possibilités de vérification, sans suffire à établir, à eux seuls, l'intérêt mathématique ou l'originalité d'un résultat. L'enjeu est donc double : tirer

parti de l'automatisation pour élargir le champ de la recherche et maintenir des exigences rigoureuses de vérification, d'interprétation et de validation scientifique.

Cette évolution ne signifie ni que la machine se substitue entièrement au mathématicien, ni qu'elle puisse prétendre, à terme, recevoir la *médaille Fields*. Elle modifie plutôt la répartition du travail entre la formulation des problèmes, l'exploration des pistes, la production des arguments, la formalisation des preuves et l'interprétation des résultats.

De la vérification formelle à la compréhension mathématique

La puissance de ces systèmes impose toutefois de distinguer deux exigences fondamentales : la validité formelle d'une démonstration et la compréhension de sa portée mathématique. La première concerne la conformité d'un raisonnement aux règles d'un système logique ; la seconde suppose de saisir l'organisation des arguments, les relations entre les concepts mobilisés et les raisons pour lesquelles le résultat constitue un apport significatif. Une démonstration formellement vérifiée peut donc être correcte sans être immédiatement intelligible pour un chercheur.

Cette distinction est essentielle à l'interprétation des annonces récentes. Les contributions attribuées à OpenAI, notamment celles qui concerneraient des questions liées à la fonction zêta de Riemann, ne doivent pas être confondues avec une résolution de l'hypothèse de Riemann elle-même. De même, la démonstration proposée pour le problème de Navier–Stokes doit être considérée à la lumière des exigences de vérification propres à ce problème. La formalisation informatique constitue un moyen puissant de contrôle, mais elle ne dispense ni de l'examen des hypothèses, ni de l'évaluation de la portée des résultats, ni de leur discussion par la communauté scientifique.

Les travaux de Hamami (2022) et de Hamami et Morris (2024) invitent précisément à ne pas réduire la connaissance mathématique à la seule correction formelle. Cette perspective permet de comprendre qu'une démonstration ne consiste pas simplement à en suivre les étapes, mais à en percevoir l'unité et la nécessité. De même, Pólya (1954) souligne le rôle de l'intuition, des analogies et des démarches heuristiques dans la découverte mathématique, tandis que Lakatos, *et al.* (1976) décrivent le progrès des mathématiques comme un processus dynamique de conjectures, de réfutations et de révisions.

Ces approches rappellent que l'erreur, l'incertitude et la reformulation ne sont pas de simples obstacles à éliminer : elles participent à la construction du savoir. Dès lors, l'enjeu n'est pas seulement de déterminer si une proposition est vraie, mais aussi de comprendre pourquoi elle l'est, comment elle s'inscrit dans un ensemble de connaissances et ce qu'elle permet d'établir au-delà d'elle-même.

L'IA comme outil, partenaire ou oracle

Trois modèles permettent d'appréhender les transformations que l'IA pourrait entraîner dans la recherche en mathématiques : *l'IA comme outil, comme partenaire et comme oracle* (Skuse (2026)).

Dans le premier modèle, l'IA assiste le chercheur en accélérant les calculs, en explorant des conjectures et en proposant des pistes de démonstration. Le mathématicien demeure responsable de la sélection des résultats, de leur interprétation et de leur intégration dans un cadre théorique cohérent. Même lorsqu'une machine produit une démonstration valide, la recherche d'un argument plus intelligible ou plus explicatif peut conserver une valeur scientifique propre.

Le deuxième modèle envisage l'IA comme un partenaire de recherche. Terence Tao défend la perspective d'une transformation de l'activité mathématique vers une forme de *Big Mathematics*, caractérisée par des collaborations distribuées entre chercheurs et systèmes artificiels. Les problèmes

complexes pourraient être décomposés en sous-problèmes, dont certains seraient confiés aux machines, tandis que les chercheurs mobiliseraient leur intuition, leur créativité et leur connaissance des structures théoriques pour orienter l'exploration. Une telle organisation pourrait accroître la capacité collective à résoudre des problèmes, à condition de préserver la traçabilité des résultats et la responsabilité scientifique des contributeurs. La vérification formelle pourrait également faciliter l'évaluation des démonstrations indépendamment de la réputation de leur auteur. Elle ouvrirait ainsi de nouvelles possibilités de collaboration et de partage des connaissances, sans pour autant garantir l'égalité d'accès aux ressources informatiques nécessaires. Cette dimension collective rejoint l'approche de Kitcher (1984), qui envisage les mathématiques comme une pratique sociale structurée par des problèmes, des méthodes et des objectifs partagés.

Le troisième modèle, avec l'IA comme oracle, conduit à une interrogation plus radicale. Il désigne une technologie susceptible de répondre à un très large éventail de questions et à laquelle serait accordée une autorité épistémique supérieure. Cette figure de l'oracle contemporain soulève plusieurs questions. Sur le plan philosophique*, l'IA peut-elle devenir une autorité du savoir ?* Sur le plan psychologique, *quels mécanismes nous conduisent à lui faire confiance ?* Sur le plan spirituel, *peut-elle devenir un miroir de nos questionnements et de nos croyances ?* Dans le domaine mathématique, la machine pourrait produire des résultats fiables dont les chercheurs ne seraient pas en mesure de reconstruire ou de comprendre pleinement les démonstrations. La métaphore des *prêtres au service d'oracles*, évoquée dans les réflexions de Yang-Hui He, rapportées par Skuse (2026), exprime le risque d'une dépendance à un savoir dont la fiabilité serait admise sans que sa justification ni sa signification soient pleinement accessibles.

Ces trois modèles ne sont ni exclusifs ni nécessairement successifs : selon les tâches, les domaines et le degré d'autonomie accordé aux systèmes, l'IA peut fonctionner comme un outil, un partenaire ou une sorte d'oracle. Ils mettent cependant en évidence une tension entre la production de résultats, leur validation et leur appropriation intellectuelle. Dès lors, une question se pose : ***la certification d'un résultat suffit-elle à en faire une connaissance comprise ?***

Formation et redéfinition du rôle des mathématiciens

Les conséquences de cette évolution dépassent le cadre de la recherche spécialisée et concernent directement la formation intellectuelle. Lorsqu'un étudiant obtient immédiatement une solution, il risque de court-circuiter les étapes qui favorisent le développement de son autonomie : formuler des hypothèses, explorer différentes stratégies, se confronter à l'erreur et réviser son raisonnement. Une dépendance excessive à l'IA pourrait ainsi fragiliser sa capacité à résoudre des problèmes sans assistance. À l'inverse, un usage pédagogique réfléchi peut soutenir l'apprentissage, notamment lorsque le système propose des indices, aide à identifier les erreurs et confronte plusieurs démarches, plutôt que de fournir directement une solution complète. Les orientations de l'UNESCO (2023) soulignent à cet égard l'importance d'une utilisation de l'IA en éducation centrée sur l'humain et visant le développement des capacités des apprenants.

Cette évolution soulève également des enjeux économiques et institutionnels. Les systèmes les plus performants peuvent mobiliser des ressources informatiques considérables et reposer sur des services propriétaires. Si les outils de formalisation et de vérification peuvent contribuer à élargir l'accès à la certification des résultats, les moyens nécessaires à leur production risquent néanmoins de demeurer concentrés entre les mains de quelques entreprises et institutions. L'avenir de la recherche mathématique dépendra donc aussi des politiques d'accès aux outils, des formes de coopération scientifique et des règles collectives encadrant leur utilisation.

Enfin, l'automatisation invite à interroger la place et la valeur de l'effort humain dans l'activité mathématique. Comme le suggèrent les réflexions rapportées par Skuse (2026), que devient la motivation du chercheur lorsque certaines tâches peuvent être accomplies plus rapidement par une machine ?

Pourtant, l'effort consacré à la résolution d'un problème ne constitue pas seulement un coût à réduire : il contribue à former l'intuition, à développer la persévérance et à favoriser l'appropriation des concepts. Le rôle du mathématicien pourrait dès lors se redéfinir autour de la formulation des problèmes, de la sélection des résultats significatifs, de la construction conceptuelle et de la transmission des découvertes. L'automatisation ne conduit donc pas seulement à repenser les méthodes de travail ; elle invite également à réexaminer les valeurs et les finalités de l'activité mathématique.

Produire une solution ne suffit pas : encore faut-il comprendre son apport à la connaissance, en mesurer la portée et déterminer ce qui justifie qu'on s'y intéresse.

Conclusion

L'IA transforme profondément les pratiques mathématiques. Elle accélère l'exploration des conjectures, contribue à la production de démonstrations complexes et élargit les possibilités de vérification formelle. Toutefois, une preuve correcte n'est pas nécessairement une preuve comprise, pas plus qu'un résultat nouveau n'est nécessairement intelligible ou scientifiquement significatif.

Envisagée **comme un outil**, l'IA assiste le chercheur tout en laissant à celui-ci la responsabilité de l'interprétation des résultats. **Comme partenaire**, elle ouvre la voie à des formes de recherche collective et distribuée. Enfin, **comme oracle**, elle rend envisageable un savoir potentiellement fiable, mais dont les fondements pourraient demeurer partiellement inaccessibles. Ces modèles mettent en évidence une tension fondamentale entre la capacité à produire des résultats, la possibilité de les vérifier et celle de les approprier intellectuellement.

Une question demeure alors, à la fois mathématique, épistémologique et philosophique *: **une machine capable de produire une démonstration sans que sa compréhension soit établie peut-elle véritablement faire des mathématiques ?*** Il ne s'agit pas de nier la valeur d'une preuve au motif qu'elle a été produite par une IA, mais de **distinguer plusieurs dimensions de l'activité mathématique** : la production d'un résultat, sa vérification, sa compréhension et sa reconnaissance au sein de la communauté scientifique.

Faire des mathématiques ne consiste pas uniquement à obtenir des réponses exactes. C'est aussi apprendre à formuler des questions, à discerner des structures, à comprendre pourquoi une démonstration fonctionne et à partager une découverte. L'enjeu n'est donc pas seulement de déterminer jusqu'où l'IA peut automatiser le raisonnement mathématique, mais de réfléchir à la manière dont cette automatisation peut enrichir la discipline sans en affaiblir la portée intellectuelle et humaine.

Dans des mathématiques de plus en plus assistées par les machines, il s'agit, en définitive, de **réfléchir à la place que nous souhaitons accorder à l'IA, à la compréhension des vérités établies, à la recherche du sens et à la transmission des connaissances**.

Bibliographie sélective

Appel, Kenneth I., et Haken, Wolfgang (1977) : Every Planar Map Is Four Colorable. Illinois Journal of Mathematics, vol. 21, n°3, pp. 429–567.

Feng, Tony., *et al.* (2026). Aletheia tackles FirstProof autonomously. arXiv preprint arXiv:2602.21201.

Google DeepMind (2024) : AlphaProof and AlphaGeometry teams (25 juillet). AI achieves silver-medal standard solving International Mathematical Olympiad problems. https://deepmind.google/blog/ai-solves-imo-problems-at-silver-medal-level/

Guinier, Daniel (2023) : Ingérence de l'intelligence artificielle dans la recherche scientifique. Rubrique *"en débat"* sur le site de l'Académie d'Alsace des Sciences, Lettres et Arts le 4 octobre.

Guinier, Daniel (2025) : L'IA scientifique, opportunité ou menace pour les chercheurs et les experts ? Revue Experts, n° 179, juin, pp. 19-24.
Hamami, Yacin (2022) : Mathematical Rigor and Proof. The Review of Symbolic Logic, vol. 15, n°2, pp. 409–449.
Hamami, Yacin et Morris, Rebecca L. (2024). Understanding in mathematics : The case of mathematical proofs, Noûs,vol. 58, n°4, pp. 1073-1106. https://doi.org/10.1111/nous.12489
Kitcher, Philip (1984) :The Nature of Mathematical Knowledge. Oxford University Press. https://jwood.faculty.unlv.edu/unlv/Articles/Kitcher.pdf
Lakatos, Imre, *et al.* (1976) : Proofs and Refutations: The Logic of Mathematical Discovery. Cambridge: Cambridge University Press. https://dl1.cuni.cz/pluginfile.php/730446/mod_resource/content/2/Imre%20Lakatos%3B%20Proofs%20and%20Refutations.pdf
OpenAI (2026) : Sharing AI progress in mathematics, 6 octobre ; https://openai.com/fr-FR/index/sharing-ai-progress-in-mathematics/
Pólya, G. (1954) : Mathematics and Plausible Reasoning. Princeton University Press. https://www.hlevkin.com/hlevkin/90MathPhysBioBooks/Math/Polya/George_Polya_Mathematical_discovery_2_Mathematics%20and%20Plausible%20Reasoning.pdf
Skuse, Benjamin (2026) : What It Means to Be a Mathematician When AI Does the Math: Researchers Debate Motivation, Purpose, and the Field’s Future. IEEE Spectrum, vol. 63, n° 9, septembre, pp. 20–26. DOI : 10.1109/MSPEC.2026.11683618.
UNESCO (2023) : *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris, UNESCO. https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research