Journées de prospective du LKB · Auray, France · 24 juin 2026

Quelques réflexions d'un amateur sur l'utilisation de l'IA agentique en recherche

Antoine Tilloy

Transition de phase

LLM : base de données augmentée

GPT-3.5 (2022) : amusant mais affabule par extrapolation

- **Qui est Jean Dalibard ?** → réponse OK
- **Qui est Antoine Tilloy ?** → [...] physicien qui a travaillé avec Jean Dalibard et [...]

citations inventées, calculs élémentaires faux, logique élémentaire fausse
→ perroquet stochastique ?

LLM : résout des problèmes difficiles

GPT-5.5 (2026) : résout un **problème ouvert d'Erdős**

Prompt.

Let $P \subset \mathbb{R}^2$ be a finite set of distinct points. Define

$$\nu(P) = \left| \left\{ \{p, q\} \in \binom{P}{2} : \|p - q\|_2 = 1 \right\} \right|$$

and, for each integer $n \geq 1$, $\nu(n) = \max_{\substack{P \subset \mathbb{R}^2 \\ |P| = n}} \nu(P)$.

Resolve Erdős's planar unit-distance problem completely: $\nu(n) \leq n^{1+O(1/\log\log n)}$ as $n \to \infty$? Equivalently, determine whether there exist absolute constants $C > 0$ and $N \in \mathbb{N}$ such that $\nu(n) \leq n^{1+C/\log\log n}$ for every integer $n \geq N$. Here log denotes the natural logarithm, and N may be taken large enough that $\log\log n > 0$. The hidden constant in $O(1/\log\log n)$ is absolute and independent of P and n.

A complete solution must prove exactly one of the following.

Affirmative resolution. Prove that there exist absolute constants $C > 0$ and $N \in \mathbb{N}$ such that every set $P \subset \mathbb{R}^2$ of $n \geq N$ distinct points satisfies $\nu(P) \leq n^{1+C/\log\log n}$.

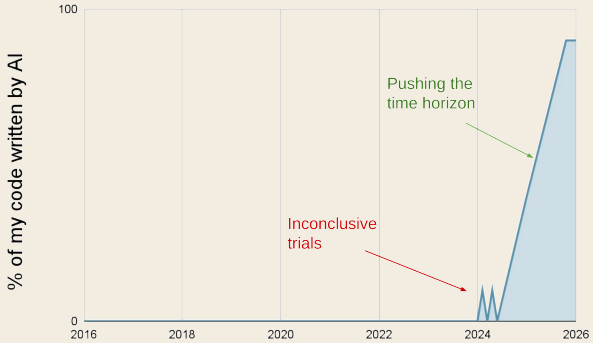
Negative resolution. Prove that no such constants exist. Equivalently, prove that for every $C > 0$ and every $N \in \mathbb{N}$, there are an integer $n \geq N$ and a set $P \subset \mathbb{R}^2$ of n distinct points such that $\nu(P) > n^{1+C/\log\log n}$.

Pairs are unordered, the distance is the usual Euclidean distance in $\mathbb{R}^2$, and the asymptotic assertion is for all sufficiently large integers n, not merely infinitely many n.

Partial progress does not count unless it implies one of the two resolutions above. In particular, improved bounds such as $O(n^{1/3-\varepsilon})$, better constants in the $n^{4/3}$ bound, finite verification, special cases, structural reductions, or heuristic evidence are insufficient unless they prove the full Erdős bound or disprove it.

Une transition de phase dans l'usage

Exemple : Étienne Ferrier, ex Google → Alice & Bob



- Le point de bascule : **novembre 2025**

  Opus 4.5 + Claude Code

Autres exemples

- Louis Tilloy (senior ML engineer, Bioconcept) – janvier 2026
- Jonathan Donier (CSO, Neural concept) - décembre 2025
- Alice & Bob – janvier $\longrightarrow$ juin 2026
- IHÉS – avril 2026 (?)
- Terry Tao

Fonctionnement et entraînement

LLM, tokens, contexte

Token

Alphabet du LLM $\sim 10^5$ mots/syllabes distinctes

`the` $\longrightarrow$ `the` `and` $\longrightarrow$ `and`
`tokenization` $\longrightarrow$ `token|ization` `Dalibard` $\longrightarrow$ `Dal|ib|ard`
`anticonstitutionnellement` $\longrightarrow$ `ant|icon|stitution|nel|lement`

LLM

Fonction prenant N tokens, le contexte, donnant le token $N+1$

$$f_\theta : (t_1, \ldots, t_N) \longmapsto t_{N+1}$$

`Deepseek V4 Pro`: $N_{\max} = 10^6$, $\dim(\theta) = 1.6 \cdot 10^{12}$

Transformers

Pre-training

Descente de gradient sur tous les textes de l'humanité
[$10G$ pour `GPT2` $\longrightarrow$ $32T$ tokens pour `Deepseek V4 Pro`]

Résultat :

- **prompt** : "La capitale de la France est"
- **réponse** : "Paris, une ville alors en plein développement, que Louis XIII souhaite faire rayonner [...]"

- **prompt** : "Irénée Frérot est"
- **réponse** : "un physicien français, dont les contributions [...]"

- **prompt** : "Qui est Jean Dalibard ?"
- **réponse** : "se demanda ce jeune journaliste"

Supervised fine-tuning

Descente de gradient sur des exemples bien choisis de la forme :

- Question utilisateur
- Réponse attendue

[$1.5M$ exemples pour `Deepseek V3`]

Résultat:

- **prompt** : “Qui est Jean Dalibard ?”
- **réponse** : “Jean Dalibard est un physicien français, spécialiste des atomes froids. Sa carrière exceptionnelle [...]”

Reinforcement learning with verifiable reward - RLVR

En mathématiques et code, on peut vérifier le résultat.

On renforce sur $\sim 1M$ problèmes, d'horizons croissants :

- le calcul élémentaire $3 + 6$ est correct
- le code d'une fonction Python simple compile
- la simplification d'une intégrale est correcte
- le code compile et donne le bon résultat
- Une question mathématique très générale est correctement résolue avec plusieurs étapes et codes intermédiaires

Reinforcement learning with human feedback – RLHF

On dit au modèle qu'on préfère la réponse *A* à la réponse *B*.

Donne au modèle sa "personnalité"

De plus en plus **RLAF** $\longrightarrow$ artificial intelligence feedback

Harnais

On donne au modèle un environnement (le terminal) et des bras (commandes bash, interpréteur Python, recherche internet, API diverses documentées) + RLVR

Grands éditeurs

- Claude Code Anthropic
- Codex OpenAI
- Antigravity Google

Indépendants / open source

- Pi
- OpenCode
- Hermes
- OpenClaw

Indépendant du choix de LLM

Détails sur les harnais

- Sous-agents
- Skills
- Mémoire

Exemples d’utilisation en recherche

Apprendre vite un sous-domaine

Faisable avec le simple “chatbot”

- Qu’est ce qu’un processus d’Itô ?
- Que dit concrètement le théorème de Solovay-Kitaev ?
- Quelles sont les notions simple d’ordre sur un graph ?

Risque : le modèle affabule encore sur les sujets pointus

1. *grounding* → recherche littérature / internet [désormais par défaut]
2. garder un petit contexte
3. donner accès à des bases de données professionnelles

Savoir si une idée est originale

Exemple :

> *Je voudrais contrôler la réactivité dans un réacteur nucléaire en pompant rapidement le modérateur (typiquement D20), ce qui crée un effet d'entraînement dans le flux de neutron. Je pense que c'est un effet pas négligeable s'il y a des asymétries. Est-ce ça a été étudié ? Fais une recherche approfondie, compile toutes les sources, et écris moi un rapport complet sur le sujet.*

Résultat : rapport de 12 pages, expliquant 5 idées connexes, et avec 2 citations non évidentes (littérature soviétique des années 1960)

Articles scientifiques

Directement dans le harnais :

Figures

- diagrammes `TikZ` complexes
- ajustement de plots

Relecture bas et moyen niveau

- fautes d'orthographe
- Gallicismes / erreurs d'anglais subtiles
- incohérences de notations (utilise a puis $\hat{a}$ pour le même objet)

choix perso : ne déléguer ni la prose, ni la structure, sauf notes rapides

Implémentation de prototypes

Exemple 1 :

> *Lis mes notes sur l'utilisation de semi-definite programs (SDP) pour estimer la densité spectrale d'une théorie des champs. Pour tester l'implémentation qui est dans le même dossier, j'ai besoin d'un code de Monte Carlo qui génère la fonction de corrélation à 2 points pour ϕ_2^4 avec les conventions usuelles de renormalisation. Implémente ça en un joli module Julia, teste sur un lattice de taille 256×256 et produits quelques courbes.*

J'ai lu le code, corrigé une convention, itéré avec l'IA pour le paralléliser, et l'ai utilisé

Implémentation de prototypes

Exemple 2 :

> *Regarde mes morceaux de code sur la tensor rank decomposition du matrix multiplication tensor par méthode de moindres carrées itérées. Je veux tester une approche différente, d'optimisation Riemannienne. On voit l'espace d'optimisation comme une variété, puis on fait du LBFGS Riemanien. Implémente ça avec OptimKit.jl, et dis moi si c'est plus rapide que ma version.*

Code pas lu, mais résultats utiles, probablement pas une bonne idée

Optimisation de gros codes et librairies

Production de codes optimisés potentiellement jetables

Exemple :

> *`MPSKit.jl` est lent sur l'exemple de ce dossier, et je vois que le CPU est jamais au max. Je pense que c'est un truc de "MPO bond dimension" très grande (ce qui n'est pas usuel). Tu peux lire le code de cette librairie, la doc, profiler tout, et proposer des modifs pour que ça aille plus vite sur mon ordi pour cette classe d'exemples ?*

Nouveau code 60 fois plus rapide, validé sur le code initial

Recherche à la frontière

Déjà le cas en mathématiques collaboration principalement 1 humaine + 1 IA
Risque : erreurs subtiles difficiles à vérifier si pas de critère clair (par exemple preuve)

Assistant labo autonome

Recherche totalement autonome ?

Poser un problème ouvert à l'IA, sans indice, la faire tourner longtemps, avoir la réponse

Risques

Perte de compétence

Écosystème actuel

Futurs possibles

Quelques conseils d’utilisation