

# *Large Language Models* ou l'émergence dans les réseaux vs la "créativité"<sup>1</sup>

*Giuseppe Longo*

Centre Cavallès, CNRS et Ecole Normale Supérieure, Paris,  
[www.di.ens.fr/users/longo](http://www.di.ens.fr/users/longo)

**Résumé.** Après un bref aperçu technique, on discutera de l'émergence des ouragans et des réseaux de corrélation de suites de signes dans les ordinateurs connectés, en comparant les deux à la production évolutive et humaine de nouveauté. On essayera enfin d'explicitier le projet politique au coeur des mythes de cet "empire numérique" qui s'impose aujourd'hui.

## 1 - Large Language Models ou du bon usage du hasard

Un "grand" modèle de langage (LLM) est une distribution de probabilité sur les suites existantes de caractères d'un langage, c'est-à-dire la probabilité qu'une suite donnée soit une suite de caractères faisant partie d'un langage, c'est-à-dire qu'elle apparaisse dans un corpus donné. Ainsi, un LLM peut calculer la probabilité  $P(W_1, \dots, W_n)$  pour une séquence de mots  $W_1, \dots, W_n$ , ainsi que la probabilité conditionnelle  $P(W_n / W_1, \dots, W_{n-1})$  qu'un mot  $W_n$  suive  $W_1, \dots, W_{n-1}$ . Ensuite, il peut facilement déduire, à partir de ses bases de phrases ou d'Internet, les probabilités de l'ordre des mots et les comparer :

$P(\text{Oui, j'aime mon chat}) > P(\text{J'aime, chat oui mon})$

ainsi que

$P(\text{pizza / Le plat préféré de Marie est}) > P(\text{bois / Le plat préféré de Marie est})$ .

La base de l'analyse se résume à construire des listes de "tokens", mots ou phrases, sur la base de probabilités – une prise de décision très « intelligente » (?). La manière la plus triviale est de prendre le token le plus probable à chaque étape, c'est-à-dire avec le plus grand  $P(W_n / W_1, \dots, W_{n-1})$ . Il s'agit d'une recherche en largeur (breadth-first search) et par faisceau (beam search), pour construire un arbre de recherche, c'est-à-dire une recherche en fonction des probabilités d'une séquence de tokens sur des énormes réseaux de corrélations de mots dans des phrases dans un corpus donné.

Il y a cependant un hic. Tant que la base de données est stable, et même le Internet peut être relativement stable pour la plupart des recherches, si l'on pose la même question à la machine après un certain temps, on obtient *exactement* la même réponse, dans le sens *exactement la même séquence de lettres*, quelle que soit la complexité de la question. Comme les promoteurs de ChatGPT voulaient montrer sa « créativité » (sic), ils ont amélioré la recherche en

*Top-K sampling* : à chaque étape, sélectionner aléatoirement un jeton parmi les k jetons les plus probables,

*Top-P sampling* : à chaque étape, sélectionner aléatoirement un jeton dans l'ensemble des jetons les plus probables dont la probabilité combinée est supérieure à une valeur  $P$  donnée, suite à la taille croissante des bases de données (des 780 Giga de PaLM en 2022, aux 13T de GPT-4 en 2023), cela offre de nombreux choix possibles.

---

<sup>1</sup> A paraître aux actes du colloque "Critique de l'Intelligence Artificielle" (A. Alombert et al. eds), Université de Paris 8, mai 2024.

Les producteurs des LLM ont donc *explicitement* introduit de l'aléatoire pour *faire croire* que la machine est « créative ». Techniquement, de nombreux modèles utilisent aujourd'hui des résultats non triviaux de la théorie des graphes aléatoires (Janson, Rucinski, 2000). Cette théorie a été largement développée avec des avancées pertinentes ces dernières années. Les algorithmes sont basés sur des techniques d'optimalité (optimized trade-off, maximal coupling...) et permettent de décrire des transitions critiques et d'autres structures « émergentes » en termes de lois d'échelle (van der Hofstad, 2016). Les applications vont de l'analyse et de l'administration de réseaux Internet aux récentes applications d'IA dont nous parlons ici, également basées sur des analyses statistiques et des méthodes d'optimalité sur de très grands graphes finis. Sur les immenses bases de données dont nous disposons aujourd'hui, ces techniques peuvent être très utiles : elles peuvent fournir un « moteur de recherche » immensément plus puissant que Google, car il traite également des requêtes complexes et longues et produit de longs textes ainsi que des images et des synthèses.

Pourtant, « Le mot clé est le hasard : si nous utilisons exactement la même « prompt » plusieurs fois, nous obtiendrons des essais différents à chaque fois, grâce au hasard » (Calude, 2023). Le hasard peut être emprunté à la fluctuation thermique même dans un ordinateur isolé, ou plus facilement en réseau : combien de requêtes (paires ou impaires) y a-t-il en ce moment à ce nœud du réseau ? Ce ne serait pas un problème si ces machines à itération identique de recherches réticulaires, avec un peu de hasard artificiellement ajouté à leurs processus sur des types de données discrets, n'étaient pas présentée comme "intelligentes", "créatives", exprimant bientôt la conscience humaine... Une meilleure compréhension et une meilleure utilisation des LLM peuvent être promues en examinant de plus près certaines de leurs mathématiques, au-delà du mythe.

## **2 - L'émergence grâce à l'interaction ; des ouragans et des réseaux**

L'utilisation d'immenses bases de données dans les applications récentes de l'IA, telles que les grands modèles de langage (LLM), par des techniques basées sur des graphes ou des réseaux évoqués plus haut, conduit à des structures émergentes de corrélations entre « tokens » hautement imprévisibles. Les nœuds de ces réseaux sont le résultat de phrases signifiantes écrites par des humains, dans différents contextes. D'une certaine manière, ces nœuds sont donc « spécifiques » et « historiques », car produit par des humains, mais les mathématiques de la dynamique du réseau les traitent comme des nœuds génériques, dont les connexions sont étiquetés par des probabilités. Ainsi la « nouveauté » imprévisible est en fait une forme émergente dans un graphe, due à ce mélange puissant de recherche de corrélations maximales dans des immenses structures réticulaires existante (typiquement, basée sur le nombre et la longueur des connexions dans un graphe) et de hasard. Ainsi, "l'émergence" dynamique dans le LLM est du *même type* que l'émergence en physique-mathématique : les formes dans la morphogenèse de Thom, les ouragans ou les cellules de Bernard en thermodynamiques ou, surtout, les réseaux de "verres de spin" de Parisi... dans un jeu complexe entre discret et continu mathématique (Longo 2025). Elle utilise des variantes des mêmes méthodes mathématiques dans d'immenses réseaux d'ordinateurs et de bases de données : la recherche d'optima (ou de valeurs extrémaux) domine, accompagnée par du hasard introduit de l'extérieur, si nécessaire.

La confusion des méthodes d'optimisation et des probabilités, dans une structure de connectivité, avec le « sens », dans sa signification humaine, historique, corporel... (Longo 2017-19), est une erreur conceptuelle majeure et peut empêcher la production de nouveauté dans l'interaction potentiellement fantastique entre les humains et les machines que nous savons construire aujourd'hui. Bien évidemment, si le résultat des calculs en réseaux ont du "sens", cela est dû au fait que, derrière, il y a l'écriture humaine de phrases et de corrélations sensées. Mais l' « ex-aptation » (l'adaptation ex-post, ou forçage et changement du sens d'un mot ou d'une phrase dans un contexte nouveau) ou la « surcharge » humaine de concepts ou de constructions linguistiques, leur « transfert métaphorique »

dans du nouveau, voire leur invention radicale, sont éloignées de la nouvelle phrase composée sur la base de critères d'optimalité et de probabilité de corrélations entre "tokens" (le plus grand nombre de connexions, les chemins les plus courts pour y parvenir dans un graphe... avec un peu de stochasticité ajoutée par-dessus). Ces critères purement mathématiques imposent des moyennes ou une émergence en conformité avec les champs moyens (sorte de « sens commun » mécanisé (Chaix et al., 2024)), à l'opposé de l'invention humaine de nouveaux points de vue ou de nouvelles formes de sens, de nos *prises de risque*. Nous risquons et inventons chaque fois que nous sommes confrontés à une situation nouvelle dans des contextes et des écosystèmes historiques changeants – une chanteuse jazz prend un risque face à son public quand elle ose une variante nouvelle de quelques notes d'un "standard" : l'émotion et le sens du risque structurent son invention.

Des risques majeurs ont aussi été pris lors de la « production de nouveauté scientifique » : l'adoption de la perspective du Soleil pour analyser le système solaire (cela ne peut en aucun cas être déduit des « données », voir (Longo 2023)), l'écriture d'équations radicalement nouvelles et leur calcul géométrique (Newton) ou algébrique (Leibniz) qui unifient la chute des corps et le mouvement des planètes, l'hypothèse d'espaces courbes pour comprendre à la fois la gravitation et l'inertie... pour ne citer que quelques inventions théoriques riches d'histoire et de sens, proposées contre la pensée moyenne et le bon sens. Ces inventions risquées ont été précédées ou suivies par des nouveautés scientifiques majeurs, comme l'invention des espaces de Descartes ou de la géométrie différentielle. La production de nouveaux concepts, y compris de nouvelles perspectives dans l'organisation de la réalité qui nous entoure, comme l'organisation de l'espace par les différentes géométries, est au cœur des inventions scientifiques, souvent fondées sur des engagements métaphysiques ou même religieux. Prenons à cet égard d'autres exemples des mathématiques, car, en bout de compte, on parle de "machines mathématiques", nées pour faire des mathématiques – la notion de fonction calculable, la définition moderne et formelle d'algorithme, date des années 1930 dans le débat sur les fondements des mathématiques. Or, les résultats des années 1930 ont démontré que les mathématiques *ne sont pas* la déduction "potentiellement mécanisables" de théorèmes à partir d'axiomes déjà donnés. Elles sont l'invention permanente de nouveaux concepts et structures - notre humanité, des émotions à la métaphysique, s'en mêle. C'est ainsi que l'invention de la « perspective » dans la peinture de la Renaissance est une décision théologico-picturale où la présence de l'infini de Dieu dans les Annonciations est « métaphoriquement » suggérée par le point projectif (Arasse 1999) ; cette invention est à l'origine d'une géométrisation de l'espace, qui n'existait pas auparavant et qui est au cœur de la révolution scientifique et de ses mathématiques (Longo, Longo 2020). En général, toute preuve nouvelle en mathématiques nécessite l'invention de nouveaux concepts et structures, de nouvelles "perspectives", fortement ancrées dans un contexte historique de signification. Pour d'autres exemples, les jugements infinitaires ou géométriques sont au cœur des preuves récentes d'énoncés intéressants de la Théorie des Nombres qui sont formellement indémontrables (Longo 2011). Mais même en considérant les preuves dans le cadre abstrait de la théorie des types (Asperti, Longo, 1991), formellement implémentables dans un ordinateur, la logique classique nécessite de preuves que les LLM ne peuvent pas produire : les preuves « par absurde » ont besoin de connexions dans des graphes par des chemins d'une longueur qui dépasse les limites des méthodes de programmation actuelles (et possibles ?) en LLM (Oldenburg 2023). Nous, mathématiciens humains, contournerons le problème en « établissant des connexions par des nouvelles significations », qui ne sont pas déjà présentes sous forme de chemins dans des bases de données pré-établies, ou en inventant de nouvelles symétries inexistantes, comme le jeune Gauss ou les théoriciens de la preuve dans (Longo 2011), ou la première forme symbolique de l'infini mathématique, auquel les théologiens et les peintres ont donné un sens en nous le "montrant en perspective" : un point de convergence lointain, le point projectif (Longo S. 2022).

Or, il ne s'agit pas de faire seulement référence aux grands moments de la pensée scientifique. Tous les jours nous inventons de la nouveauté, car la pensée se construit comme « élaboration des émotions » (Finelli 2024), se donne par « l'invention de nouvelles configurations de sens », même face aux petits défis du quotidien. Leur origine est dans ce qui motive la formation du cerveau animal : la coordination des mouvement d'un corps qui bouge dans l'espace. Nous avons ainsi fait référence à des notions qui dérivent de la Théorie de l'évolution (ex-aptation, surcharge, Longo 2017), car l'évolution darwinienne est une histoire et la production de nouveauté se donne toujours dans une histoire, sociale et individuelle. Elle participe de l'individuation, aussi bien d'un individu que d'une collectivité. Quoique imprédictibles et toujours nouvelles, il n'y a rien de "créatif" dans les formes d'un ouragan, des nouages. Parfois on peut même y reconnaître la profil d'une tante, la forme d'un éléphant. Dans la même façon nous attribuons du sens à des suites de mots, parfois du jamais vu, qui émergent des dynamiques computationnelles que nous avons décrit plus haut. Rien à voir par rapport à la production de nouveauté historique, de l'évolution à notre histoire symbolique et collective : celle-ci est enracinée dans et elle part du sens, avec son origine matérielle – l'action d'un organisme dans l'espace.

### **3 - Le projet politique : il n'est plus nécessaire de faire de la science ni même d'étudier !**

Dans des articles à grand succès, on en est venu à soutenir que les données numériques (*Big Data*) et la recherche de régularités en leur sein, grâce à l'IA, peuvent remplacer la pensée scientifique (Anderson, 2008) ; heureusement, les mathématiques nous disent que plus il y a de données numériques, plus elles contiennent des régularités dues au hasard, donc dénuées de sens, fallacieuses (Calude, Longo, 2017). L'article d'Anderson donne un aperçu des mythes qui se sont alors déchaînés, malgré notre réponse technique. Bien au-delà du projet d'Anderson, l'attente de la "singularité", c'est-à-dire du moment où une machine sera plus intelligente qu'un être humain, s'est répandue dans le savoir commun. Nous devons nous habituer à interagir avec "quelqu'un de plus intelligent que nous", affirme Y. Le Cun (Facebook), lauréat du prix Turing et père fondateur du *Deep Learning*, dans plus d'un podcast<sup>2</sup>. Pourquoi tant de personnes, sans compétences spécifiques, sont-elles enthousiasmées par cette perspective, même si elles ne sont pas directement intéressées au "business" de l'IA ? Pourquoi ce nouvel "empire numérique" (Lassègue, Longo, 2025) trouve autant d'adeptes ?

Il ne s'agit pas d'une simple technophilie, d'un scientisme ordinaire : le message véhiculé est plus profond. La science n'est plus nécessaire, écrivait Anderson : les machines, en trouvant des régularités dans les données, "remplacent la connaissance" et prédisent les dynamiques à venir. Aujourd'hui, suggère-t-on, il n'est même plus nécessaire d'étudier, d'apprendre, puisque la machine peut répondre à toutes les questions, surpassant notre intelligence en tout. Plus radicalement encore : il n'est pas nécessaire de comprendre – les enseignants, les intellectuels et les chercheurs (sauf en AI) ne sont d'aucune utilité. On peut (ou on pourra) passer la journée sur le canapé sur des vidéo jeux, sans ne plus jamais lire un livre, ni essayer de réfléchir à ce qui se passe dans le monde, tout au plus poser des questions, si nécessaire, et donner des ordres à des robots omniscients et omnifacients.

Du point de vue du travail, les conséquences de cette vision et de cette utilisation de l'IA sont déjà évidentes : le mythe du "remplacement" permet de baisser les salaires. Au contraire, la construction coopérative entre l'humain et la machine, l'assistance au travail par l'IA permet d'augmenter la qualification et donc le salaire<sup>3</sup>. Le matraquage publicitaire autour des victoires des machines aux échecs (contre Gasparov, 1997) et au Go (contre Lee Sedol, 2016) ont un but pédagogique : elles expliquent aux jeunes qui passent leur temps dans les jeux vidéo compétitifs que dans les jeux les plus

<sup>2</sup> Comment les machines pourraient-elles atteindre l'intelligence humaine? Conférence de Y. Le Cun, Université de Genève, 11/10/24 (Le Cun insiste sur l'abandon des l'IA générative pour des méthodes d'optimum généralisées).

<sup>3</sup> "L'IA est plus efficace lorsqu'elle tente d'aider les humains plutôt que de les remplacer", note E. Brynjolfsson dans le Financial Times, 2024, cité par C. Chavagneux, Alternatives Economiques, 21/2/24.

difficiles – tels que les échecs et le Go – la machine bat de grands champions. Ils sont des moins que rien en comparaison : il est donc bon qu'ils acceptent n'importe quelles conditions de travail et de rémunération, sinon les machines les remplaceront. Au cœur de ce matraquage, qu'il soit naïf ou pas, il y a l'ignorance des limites des formalismes informatiques et des caractéristiques du cerveau animal – le premier lieu de la différence entre les machines numériques et les êtres humains (Longo 2023).

En politique, des gens qui n'ont pas lu un seul livre de leur vie acquièrent aujourd'hui une nouvelle hégémonie, fédèrent leurs pairs comme jamais, en balayant le rôle de l'école comme lieu de construction du savoir commun. Pourquoi lire, étudier, pourquoi chercher à comprendre ? Les machines le font d'ores et déjà pour nous<sup>4</sup>. Les réseaux sociaux suffisent comme formes d'interactions avec le monde. Ainsi, de plus en plus souvent, les "leaders" politiques, parlant en phrases courtes et violentes, les "tweets" incisifs, ne développent aucun raisonnement, enseignent à ne pas chercher à comprendre, mais à suivre le leader et ses slogans. Ce qui est au cœur de la nouvelle hégémonie se révèle : la valorisation de l'ignorance. La connaissance, l'intelligence, on les délègue aux machines. On va se passer de la science, disait Anderson, mais il est inutile même d'étudier, suggèrent les enthousiastes de l'imminente singularité. Les plus importants promoteurs d'un tel mythe (dont ils promettent la réalisation depuis 20 ans dans les 5 ans à venir), financent des hommes politiques, dont l'agressivité des slogans hurlés rappelle Hitler. Les machines apprendront à notre place et répondront à toutes les questions ... elles penseront pour nous. Par des voies différentes, ces idées ramènent de vieux, terribles, fantasmes. Il faut y répondre en proposant, d'une part, une analyse critique de l'alliance entre les nouveaux autoritarismes et les techno-sciences, des USA à la Chine, et, de l'autre, en construisant un nouveau sens et une nouvelle intelligence du monde dans et par le rapport à ces machines alpha-numériques en réseaux qui ont changé notre humanité, en commençant par leur rôle dans la construction de la « maison commune », l'économie (Alombert, Giraud, 2024).

## Références

Voir : <https://www.di.ens.fr/users/longo/download.html>

- Alombert A., Giraud G. (2024) *Le capital que je ne suis pas ! Mettre l'économie et le numérique au service de l'avenir*, Fayard, 2024.
- Anderson, C. (2008) The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete. *Wired Magazine*
- Asperti A., Longo G. (1991) *Categories, Types and Structures*. M.I.T. Press
- Calude C. (2023) ChatGPT, Randomness and the Infinity, *Report {CDMTCS}-569*, Mathematics and Theoretical Computer Science, University of Auckland, NZ
- Calude C., Longo G. (2016) Le déluge de corrélations fallacieuses dans les Big Data. In *Foundations of Science* Vol. 22, Issue 3, pp 595-612
- Chaix V., Lehuger A., Sapey-Triomphe Z. (2024) Pourquoi l'intelligence artificielle voit Barack Obama blanc, *Le Monde diplomatique*, novembre
- Finelli R. (2022) *Filosofia e tecnologia. Una via di uscita dalla mente digitale*, Rosenberg & Sellier
- van der Hofstad R. (2016) *Random Graphs and Complex Networks*, Cambridge U.P.
- Janson R.-T., Rucinski A. (2000) *Random graphs*. Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization, New York
- Lassègue J., Longo G. (2025) *L'empire numérique. De l'alphabet à l'IA*, PUF, Paris
- Longo G. (2011) Reflections on Concrete Incompleteness. *Philosophia Mathematica*, 19(3), 255-280

---

<sup>4</sup> Pour une synthèse du processus d'"anéantissement de l'enseignement public et de son remplacement par un logiciel propriétaire", voir (Tafari 2024).

- Longo G. (2017) How Future Depends on Past Histories and Rare Events in Systems of Life, *Foundations of Science*, pp. 1-32
- Longo G. (2019) Information at the Threshold of Interpretation, Science as Human Construction of Sense. In Bertolaso, M., Sterpetti, F. (Eds.) *A Critical Reflection on Automated Science*, pp. 67-100, Springer, Dordrecht
- Longo G. (2023), *Le cauchemar de Prométhée. Les sciences et leurs limites*, Paris, PUF
- Longo G. (2025) Emergence vs Novelty Production in Physics vs Biology, to appear, Proceedings of *Open Historicity of Life. Theory, epistemology, practice*, Paris, October, 2023 (Chollat, Montévil, Robert eds.)
- Longo G., Longo S. (2020) Infinity of God and Space of Men in Painting, Conditions of Possibility for the Scientific Revolution. In '*Mathematics in the Visual Arts*' (R. Scheps and M.-C. Maurel ed.), ISTE-WILEY Ltd, London
- Longo S. (2022) *Daniel Arasse et le plaisir de la peinture*, Editions de la Sorbonne
- Oldenburg R. (2023) Limitations of and Lessons from the Learning of Large Language Models, *Qeios*, Dec 28
- Tafari D. (2024) Omini di burro. Scuole e università al Paese dei Balocchi dell'IA generativa, in *Bollettino telematico di filosofia politica*, 12 ottobre.