



HAL
open science

IA générative sobre : un oxymore ?

Sylvain Bouveret, Emmanuelle Frenoux, Laurent Lefèvre, Didier Mallarino, Denis Trystam

► To cite this version:

Sylvain Bouveret, Emmanuelle Frenoux, Laurent Lefèvre, Didier Mallarino, Denis Trystam. IA générative sobre : un oxymore ?. JRES (Journées réseaux de l'enseignement et de la recherche) 2024, Renater, Dec 2024, Rennes, France. <hal-04893830>

HAL Id: hal-04893830

<https://hal.science/hal-04893830v1>

Submitted on 17 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License

L'IA Générative à l'heure de l'Anthropocène

Sylvain Bouveret

Maître de conférences au Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG), de l'Université Grenoble Alpes, membre du GDS EcoInfo

LIG, Grenoble INP -Ensimag, Université Grenoble Alpes

Emmanuelle Frenoux

Maîtresse de conférences en Informatique au Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences du Numérique (LISN), membre du GDS EcoInfo

LISN, Université Paris-Saclay

Laurent Lefèvre

Chercheur INRIA, au sein du laboratoire LIP, Ecole Normale Supérieure de Lyon, membre du GDS EcoInfo ENS Lyon

Didier Mallarino

Informaticien, Ingénieur de Recherche CNRS à l'Observatoire en Science de l'Univers Pythéas, membre du GDS EcoInfo

OHP, OSU Pythéas

Denis Trystram

Professeur au laboratoire d'informatique de Grenoble (LIG), membre du GDS EcoInfo

LIG, Université Grenoble Alpes

Résumé

Le déferlement des outils d'Intelligence Artificielle bouleverse le paysage technologique, financier et économique, créant une bulle de possibilités plus ou moins désirables et rejoignant les questionnements portés par la littérature.

Le numérique est entré dans une nouvelle phase de croissance portée principalement par le développement, l'entraînement et l'usage des réseaux de neurones profonds et en particulier l'IA générative qui sont à la base des spectaculaires résultats obtenus aujourd'hui. Le nombre de paramètres (plusieurs centaines de milliards) et les immenses corpus d'entraînement exploités permettent de bluffer les plus aguerris d'entre nous.

Cette croissance effrénée n'est évidemment pas sans conséquences. Si l'on peine à identifier de manière précise les impacts, notamment par manque de données sur les usages et les infrastructures mises en œuvre, on sait de manière certaine qu'elles utilisent des ressources matérielles, logicielles, énergétiques et humaines à très grande échelle. La croissance des outils d'IA est beaucoup plus rapide que les études sur leurs impacts et nous avançons à l'aveuglette alors même que la crise environnementale s'aggrave de manière dramatique.

Par ailleurs, l'IA s'invite également de multiples manières dans les filières d'enseignement supérieur. Cette présence entraîne son lot d'interrogations : comment former aux usages de l'IA ? Comment évaluer en présence des IAs ? Comment analyser les impacts environnementaux mais aussi sociétaux de ces nouveaux outils ? De nombreuses pistes de recherche et d'actions se dévoilent et vous pouvez y participer avec nous pour aller ensemble vers un numérique plus sobre au service du bien commun.

Mots-clefs

Intelligence Artificielle Générative, impacts environnementaux et sociétaux des TICs, sobriété

1 Introduction : le tsunami de l'IA générative

Après une alternance de périodes de promesses et désillusions [1], le domaine de l'Intelligence Artificielle (IA) a connu une renaissance à partir de 2012 avec l'avènement des réseaux de neurones profonds [2]. Ils ont surpassé d'autres approches sur de nombreuses tâches telles que la vision par ordinateur. Par exemple, le réseau de neurones profond AlexNet a démontré un saut d'efficacité considérable sur le jeu de test Imagenet. Ces résultats, couplés aux évolutions matérielles propices, ont été parmi les déclencheurs de la déferlante Apprentissage Profond [3]. Dans la continuité de l'IA connexionniste, ce développement a été rendu possible grâce à deux facteurs déterminants : d'une part, l'augmentation considérable des capacités de calcul, permise entre autres par le développement des GPU, et d'autre part, la disponibilité de jeux de données considérables. Cette disponibilité est liée, entre autres, à la croissance des données ouvertes (Open data), fournies par la communauté ou tombées dans le domaine public mais aussi parfois à un pillage de données relevant du droit d'auteur et entraînant conflits et procès sur ce point délicat [4].

Depuis, le domaine de l'IA-apprentissage connaît une accélération sans précédent. Même s'il est difficile d'obtenir des chiffres précis sur l'ensemble du domaine, on estime qu'à l'heure actuelle, le nombre de calculs réalisés pour l'entraînement des plus gros modèles d'IA double tous les 6 à 10 mois environ (et ces estimations n'incluent pas la phase d'inférence¹ également consommatrice de ressources de calculs) [5], donc à une vitesse 2 à 3 fois supérieure à l'évolution historique de la capacité des microprocesseurs décrite par la classique loi de Moore [6].

En termes d'usages, on observe à l'heure actuelle une explosion des applications et des services utilisant l'IA. C'est sans doute aujourd'hui le principal moteur au développement du secteur du numérique dont la croissance est frappante (entre 6 à 9 % par an selon le *Shift Project* [7]). La figure¹ suivante (issue de [8]) montre l'évolution vertigineuse du nombre d'opérations flottantes nécessaires à l'entraînement des modèles d'IA[9].

¹ Phase d'inférence : phase qui correspond à la période opérationnelle du modèle d'IA préalablement entraîné. Durant cette phase, le modèle va produire une sortie (conclusion, décision, réponse) à partir des nouvelles données soumises.

Notable AI Models

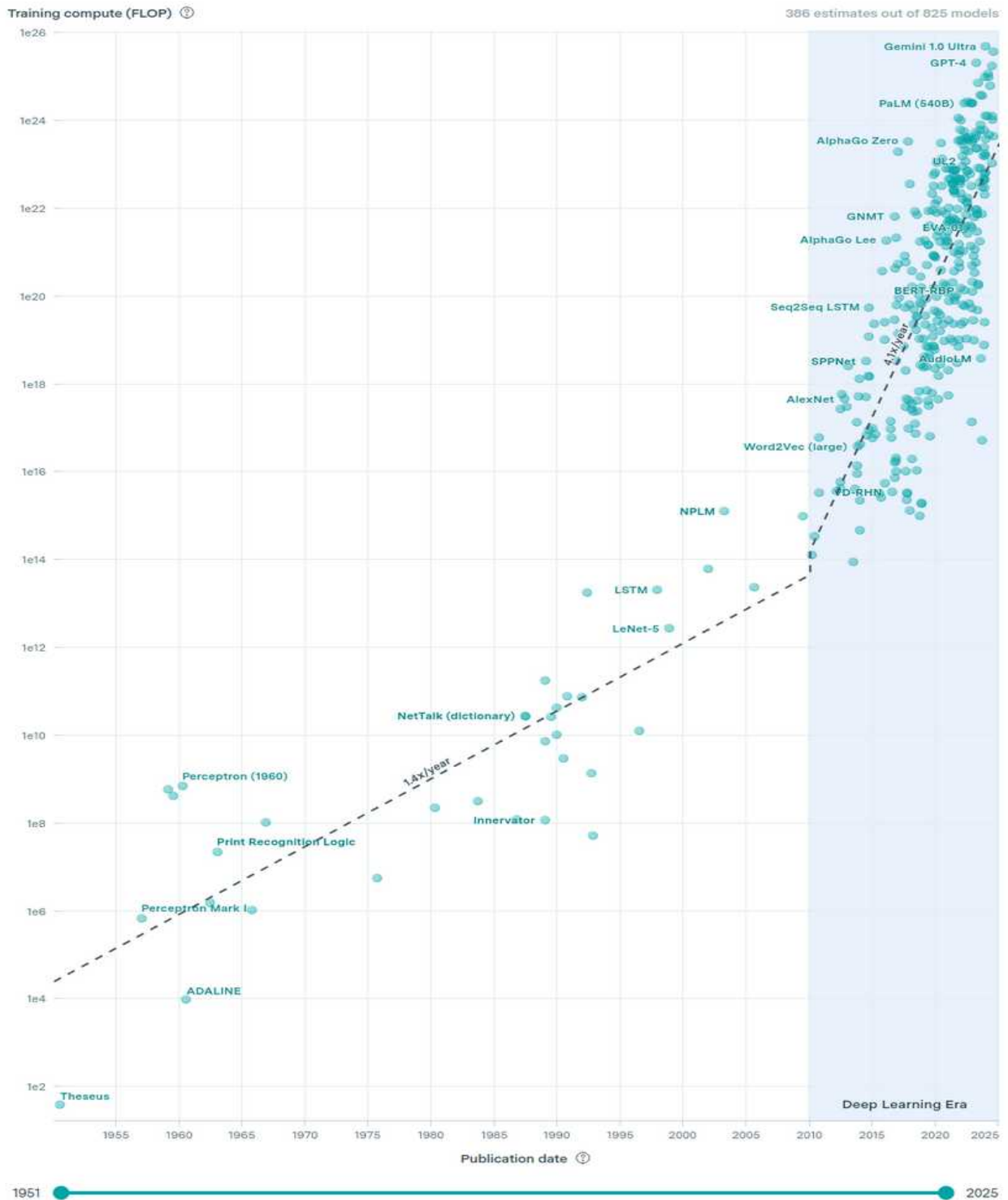


Figure 1: nombre d'opérations flottantes nécessaires à l'entraînement de certains des modèles d'IA les plus importants

Il convient cependant avant tout d'éclaircir l'IA dont il est question ici.

Les modèles qui ont placé depuis une dizaine d'années l'IA sous les feux des projecteurs, sont des systèmes d'apprentissage profond : des systèmes qui ont la capacité de créer de la connaissance et

de résoudre des tâches pour lesquelles l'algorithme n'a pas été explicitement programmé. Si une confusion courante et réductrice dans l'imaginaire collectif et les médias, tend à assimiler l'IA à ces modèles d'apprentissage, en réalité, le domaine est bien plus vaste.

Sous-domaine de l'apprentissage, l'IA générative permet d'utiliser ces modèles pour de la génération de contenus proches de ceux créés par les humains, qu'il s'agisse de textes, d'images ou de musiques. Pour les utilisateurs, ces IA semblent faire preuve d'une véritable intelligence.

Un palier a été franchi fin 2022 avec la sortie de l'agent conversationnel ChatGPT, qui a rendu la puissance du grand modèle de langage GPT-3.5 accessible au grand public. Son succès a été immédiat : il a atteint le million d'utilisateurs en 5 jours [10] et bat tous les records depuis. Au-delà de ChatGPT, les capacités, les possibilités et les champs d'application des systèmes d'IA générative entraînés sur d'énormes corpus, semblent aujourd'hui quasi illimités [11].

Techniquement, le modèle GPT-3 sur lequel ChatGPT s'appuie requiert 175 milliards de paramètres. L'entraînement a nécessité plus de 550 Tonnes équivalent CO2 et, selon Google [12], l'inférence (c'est-à-dire, la partie d'usage une fois le modèle entraîné) est encore d'un ordre de grandeur supérieur. Les versions suivantes prennent encore le pas sur les premiers modèles. ChatGPT4 est aujourd'hui capable d'interagir avec les utilisateurs en mode multi-modal, c'est-à-dire non seulement avec du texte en langage naturel, mais également avec d'autres types de média (image, sons, vidéos par exemple). Les réponses sont devenues plus naturelles tandis que l'historique des conversations est mieux préservé. Le nombre de mots possibles pour déposer une requête est passé d'environ 1000 mots sur les versions 3.5 à 25 000 mots sur la version 4. Enfin, GPT-4 est capable de détailler et justifier ses raisonnements.

Cet article a pour objectif de questionner la croissance de l'IA générative face à la notion de sobriété numérique qui commence à émerger. Nous proposons de reprendre la définition de la sobriété numérique proposée dans le programme Alt-Impact [13]: « La sobriété numérique consiste, dans le cadre d'une réflexion individuelle et collective, à questionner le besoin et l'usage de produits et services numériques dans un objectif d'équité et d'intérêt général. Cette démarche vise à concevoir, fabriquer, utiliser et considérer la fin de vie des équipements et services numériques en tenant compte des besoins sociaux fondamentaux et des limites planétaires. Cette démarche vise à réduire les impacts environnementaux du numérique, de façon absolue. ».

Actuellement, la rapidité du développement de l'IA générative est telle que rares sont celles et ceux qui en ont une vision claire, notamment sur la consommation électrique et les besoins en ressources induits.

Nous interrogerons également ici le rôle et l'usage de l'IA générative dans le contexte de l'enseignement supérieur.

2 Revisiter le mythe de l'IA

Il est indéniable que certains apports de l'IA générative peuvent être bénéfiques pour la société actuelle. On pense en premier lieu aux applications médicales telles que l'analyse systématique de radiographies pour la détection de tumeurs cancéreuses précoces [14]. L'IA permet également d'améliorer l'organisation de la société (navigation routière, organisation du travail, etc.) ou de simuler et d'analyser des phénomènes physiques complexes comme l'étude de scénarios pour comprendre et ralentir la crise climatique [15]. Une IA utilisée à bon escient pourrait même

probablement contribuer à réduire certaines inégalités entre les peuples en donnant un accès universel pour tous aux mêmes bases de connaissances.

Cependant, cette perspective d'une IA générative vertueuse est d'une part discutable au sens où elle contribue à renforcer des modes de vies actuels largement non soutenables pour l'environnement – ceux-là mêmes qui nous ont conduits aux crises que nous connaissons –, et d'autre part, elle porte en elle une auto-contradiction dans le coût environnemental prohibitif des entraînements des gros modèles et dans son développement incontrôlé et incontrôlable, au mépris des risques considérables pour l'environnement et la société.

2.1 Le volet éthique

Le premier risque en lien avec nos usages de l'IA est l'aggravation des crises environnementales [16]. Les applications potentiellement bénéfiques de l'IA dans le domaine de l'environnement ne doivent pas occulter le fait que le déploiement de ces technologies au rythme actuel est profondément incompatible avec les limites planétaires [17] : ces modèles d'IA constituent un gouffre énergétique, matériel [18] et entraînent également une explosion de la consommation d'eau [19]. L'utilisation de l'analyse de cycle de vie pour mieux comprendre les enjeux environnementaux en sortant d'une simpliste vision carbono-centrée semble le minimum pour mieux comprendre les enjeux au-delà [20] de la consommation d'énergie en phase d'usage et être capable d'évaluer correctement le rapport bénéfique environnemental/risque environnemental de ces techniques. Intégrer la déplétion des ressources, les phases d'entraînement des IA génératives, mais également le matériel mobilisé pour l'entraînement et les phases d'inférence paraît indispensable à une bonne évaluation d'éventuels bénéfices face à la gravité de la crise environnementale.

Au-delà des enjeux environnementaux, les questions sociétales posées par l'avènement des grands modèles d'apprentissage sont également préoccupantes. Au premier plan de ces questions figure celles liées aux jeux de données utilisés pour l'entraînement de ces systèmes. Quand ces données et leur production ne cachent pas des pratiques inacceptables d'exploitation humaine [21] ou d'exploitation de contenus soumis au droit d'auteur [22], elles véhiculent en général un grand nombre de biais de tous types (raciaux, validistes, genrés, etc.), et a minima une vision non représentative de la diversité de la société, que les systèmes génératifs contribuent à perpétuer et à amplifier [23]. On pourra également trouver matière à réflexion sur les stéréotypes sexistes transmis par les intelligences artificielles dans le livre publié par Aude Bernheim et Flora Vincent toutes deux docteurs en sciences formées respectivement à l'institut Pasteur et à l'École Normale Supérieure [24]. D'ailleurs, le fait que ces outils soient aujourd'hui principalement pilotés par des entreprises de la BigTech, dont les objectifs réels sont opaques, doit interroger sur le modèle de société que ces outils promeuvent. Il est également nécessaire d'alerter sur le renforcement des inégalités entre les personnes qui bénéficient de ces outils et celles qui en paient les conséquences (sociales et environnementales). Cela questionne également à la fois la souveraineté nationale sur le savoir diffusé par ces IA, le fondement culturel et les valeurs morales sous-jacentes : ne risque-t-on pas une sorte d'uniformisation et de contrôle de la pensée ? Qui va décider de ce qui est juste ou faux ?

On voit également que le seul modèle en Europe pouvant soutenir la comparaison avec les sociétés américaines, porté par la société française Mistral AI et initialement développé avec des valeurs open source a récemment conclu un partenariat avec Microsoft, mettant fin à « l'illusion de l'indépendance technologique Européenne » [25].

Il existe des risques particuliers aux systèmes dont l'objectif est d'imiter de manière la plus réaliste possible le comportement humain (tels que les agents conversationnels de dernière génération). Les capacités incroyables de ces systèmes à générer du contenu apparemment cohérent produisent l'illusion que ce dernier a été réalisé par une personne dotée d'une capacité de compréhension, de connaissances implicites, d'états mentaux particuliers, et surtout à qui l'on peut demander des comptes. En réalité, ces résultats ne sont que la sortie d'un modèle probabiliste, et il faut un esprit critique particulièrement aiguisé pour débusquer l'absence de compréhension de sens derrière l'illusion de rationalité ou les incohérences. Les grandes capacités d'imitation de ces modèles constituent paradoxalement un risque en délivrant des informations potentiellement biaisées, discriminatoires, ou fausses tout en donnant l'illusion de la vérité aux personnes utilisant ces systèmes.

Derrière les progrès de ces modèles, il y a également une interrogation quant à leur capacité à « mentir » et orienter leurs réponses pour résoudre les problèmes qui leur sont posés. Différentes stratégies sont alors mises en œuvre par ces modèles allant jusqu'à donner de fausses informations, « volontairement » ou non [26]. Ce comportement semble cependant différent du mécanisme d'hallucinations [27] que l'on retrouve dans les réponses fausses présentées comme un fait certain mais qui est associé à une croyance injustifiée alors que ce mécanisme de mensonge est appliqué volontairement pour résoudre un problème soumis à l'IA. On peut également s'interroger sur la similarité comportementale avec le développement de l'enfant humain et la prise de conscience du mensonge et de ses implications [28].

Enfin, plus largement, la question de l'autonomie décisionnelle (et de l'attribution de responsabilité en cas d'erreur critique imputable à ces systèmes) est également cruciale, tant il semble impossible de réduire leur puissance à un simple dispositif de copilote.

2.2 L'IA générative dans l'ESR

La plupart des tâches cognitives étudiées dans le supérieur sont déjà à portée de main des IA génératives multi-modales. D'après les tests standardisés, et malgré les limites encore marquées en termes d'empathie et de perception humaine indispensable dans le médical ou la justice, GPT4 est d'ores et déjà bien supérieur aux performances humaines sur les aspects calculatoires [29], dépasse les meilleurs candidats dans des tests de connaissance ou dans l'examen du barreau par exemple et produit aussi de très bons résultats dans le diagnostic médical [30].

En tant qu'enseignants et enseignantes dans le supérieur, nous observons déjà l'effet de l'usage des IA génératives sur les pratiques de nos élèves. En séance, l'utilisation de ces outils est devenue routinière dans l'écriture de code informatique, par exemple. Elle se substitue également de plus en plus à la recherche documentaire ou à l'interrogation directe des enseignant·es. En outre, il est probable que des passages plus ou moins nombreux des rapports évalués sont également issus de ces systèmes, même si à l'heure actuelle nous ne disposons d'aucun moyen fiable pour le prouver. Une enquête sur les usages [31] a été publiée et permet de se faire une première idée de l'étendue des pratiques. Les étudiant·es (65 %) et les enseignant·es (76 %) s'entendent majoritairement pour estimer que l'usage de l'IA dans le cadre d'examens ou de devoirs relève bien de la triche et qu'il faudrait mettre en place des mesures (79 % des étudiants et 93 % des enseignants) pour réglementer cet usage.

Il serait naïf malgré ces résultats, d'imaginer que l'usage des IA ne va pas rapidement croître dans un proche avenir. Les solutions pour traquer les fraudes se heurtent clairement à au moins deux écueils : la mauvaise volonté des acteurs économiques qui se refusent [32] à mettre à disposition des solutions, trop facilement contournables, et l'impossibilité factuelle de détecter à coup sûr les textes produits par des IA. Ces derniers atteignent un réel niveau de fluidité et de qualité qui les rend difficiles à distinguer des productions humaines, à moins d'être expert du domaine.

L'usage d'outils de détection du type ZeroGPT, dont les résultats annoncés appellent d'ailleurs à la prudence, se heurtera par ailleurs à la capacité des utilisateur·ices de les utiliser dans le but-même d'éviter la détection.

Au-delà de la vision classique mesures/contre-mesures, il est important d'adapter les pratiques d'enseignement et d'évaluation pour tenir compte de ces nouveaux outils. Il devient urgent d'apprendre l'esprit critique vis-à-vis des résultats fournis par les IA génératives afin d'identifier quand elles sont une aide... ou un handicap. Il reste évidemment pertinent d'interdire leur usage dans un contexte d'examen (évaluation des connaissances) dès lors que l'on peut garder le contrôle du déroulement de l'évaluation. Il va sans dire qu'une évaluation réalisée en autonomie traduira plus probablement la capacité de l'impétrant·e à utiliser de façon pertinente les outils à sa disposition pour produire un résultat propre et cohérent que son niveau théorique personnel. Cette compétence restant néanmoins intéressante en tant que telle.

2.3 Que doit-on enseigner ?

Les nouveaux outils issus de l'IA modifient à une vitesse inégalée les comportements et l'organisation sociale. L'adoption de ChatGPT a été très rapide, massive dans différents pays [33], s'immisçant dans les lycées, les universités, ou encore dans la fonction publique territoriale [34]. Cette immixtion extrêmement rapide bouleverse nos modes d'organisation et questionne notre lien fondamental à l'enseignement. Que l'on veuille interdire ou simplement réguler l'utilisation de ces outils, il faut en tout cas « faire avec ». Sans nier les apports potentiellement positifs de ces technologies, nous devons rester attentifs et critiques vis-à-vis de leur déploiement massif dans l'enseignement, avec d'autant plus de sérieux que l'enseignement supérieur a valeur d'exemplarité pour les prochaines générations de chercheur·ses, d'ingénieur·es, de dirigeant·es et de penseur·ses.

Les défis qui nous sont posés sont de plusieurs natures. Tout d'abord, ces outils, en brouillant les pistes entre plagiat et contenu original, modifient nécessairement l'évaluation des connaissances. Plus important, ils nous appellent à mettre encore plus l'accent sur l'éducation à l'esprit critique et la vérification des sources : les IA génératives peuvent, malgré une illusion de cohérence parfaite, diffuser un point de vue biaisé ou des informations fausses. Il est crucial d'apprendre à débusquer ces hallucinations.

Il y a également d'importants enjeux sur les questions de pédagogie. Apprendre à poser les bonnes questions dans un prompt n'est pas équivalent à découvrir soi-même les bonnes réponses. Avec l'IA générative, nous courons le risque de limiter l'imagination et de brider la réflexion, alors que les processus d'assimilation du savoir ne sont pas passifs et rapides, mais actifs et longs. C'est ce que nous rappelait Gaston Bachelard dans ce qu'il appelait le « nouvel esprit scientifique » [35].

On peut légitimement se poser la question des IA comme appui ou relai à la transmission de connaissances, notamment si l'on souhaite pallier à moindres frais le manque de moyens humains dans l'enseignement. Il nous faut donc rappeler, comme le fait l'UNESCO [36], que « l'enseignement doit rester un acte profondément humain, ancré dans l'interaction sociale ».

Le risque est grand de voir les inégalités s'accroître et la fracture numérique s'agrandir entre celles et ceux formé·es aux usages et aux subtilités de l'IA et les autres, car ici, le changement est plus brutal et plus radical encore que les précédents changements liés à l'arrivée du livre, de la télévision ou de l'internet.

On trouve divers exemples des inégalités accentuées par le numérique au sein du livre *Le désastre de l'école numérique* [37] ou encore dans l'ouvrage collectif *Les enfants et les écrans* [38]. L'on y apprend que l'usage des écrans, y compris en contexte scolaire, nécessite d'être limité en temps et cadré. Que les inégalités ne sont pas lissées mais exacerbées (les meilleurs voient leurs performances améliorées quand les élèves en difficulté le sont encore plus). Les auteurs et autrices mettent également en avant des études montrant la nécessité d'entrer en action manuelle pour entériner l'apprentissage et le rendre effectif... ce qui remet en question l'idée de déléguer la relation d'apprentissage à des MOOC ou à des IA.

Si l'intelligence artificielle générative peut probablement être une aide indéniable, elle ne peut pas se substituer à la pédagogie et aux rapports humains apportés par nos enseignants et enseignantes de chair et d'os [39].

3 Conclusion : réagir et ralentir

Face au déferlement toujours plus important de nouveaux outils liés à l'IA générative, il est fondamental d'interroger le sens et les enjeux qui se cachent derrière la transmission du savoir. Cette diffusion est portée par la croissance économique et par un double imaginaire : d'une part l'idée que l'on pourra pallier le manque de ressources humaines par un succédané technologique, et d'autre part que ces outils s'appuient sur des ressources immatérielles quasi illimitées. La réalité des crises environnementale et sociale vécues pendant le Covid nous rappelle que ce n'est pas le cas !

Plus globalement, il est indispensable de questionner les usages de l'IA, et notamment des réseaux de neurones profonds, dont les dommages environnementaux sont conséquents et en croissance. Les différents usages créent eux-mêmes des dommages environnementaux, soit directement, soit indirectement (achats d'impulsion, usage du numérique sans se poser la question d'une alternative, accélération des flux de marchandises, circulation et stockage de données, etc.)

La porte de sortie que l'on nous propose le plus souvent passe par l'optimisation des algorithmes et la réduction des énergies fossiles en les remplaçant par d'autres, plus vertes. Ces énergies décarbonées ne sont pas encore bien identifiées ni évaluées. Il n'est pas réellement envisagé de remettre en cause nos modes de vie [40], notamment la notion de croissance infinie dénoncée dès 1972 par le rapport Meadows [41].

Nos modes de vie sont clairement la source du problème et il ne sera pas possible d'atteindre les objectifs de réduction de nos émissions de GES sans les remettre en question.

Le GIEC [42] insiste notamment sur l'importance des choix politiques et structurels qui doivent tendre vers une sobriété définie par « un ensemble de mesures et de pratiques quotidiennes qui permettent d'éviter la demande d'énergie, de matériaux, de terres et d'eau tout en assurant le bien-être de tous les êtres humains dans les limites de la planète. »

Réduire légèrement la consommation d'énergie des programmes et « empiler » les énergies dites propres ne pourra clairement pas suffire à opérer la transition en s'appuyant sur un numérique sobre.


Si l'usage IA peut s'avérer bénéfique dans certains cas, il n'en reste pas moins qu'elle doit être évaluée rigoureusement, tant sur le plan du rapport bénéfices/risques environnementaux que sur le plan des risques et inégalités sociétaux et humains. Nous ne pourrions pas faire l'économie de cette réflexion, ni d'un ralentissement, qu'il soit volontaire ou contraint par les circonstances.

Annexe

Les auteur·ices ajoutent, si nécessaire, une annexe avec une section non numérotée.

Bibliographie

- [1] Pierre Marquis, Odile Papini, et Henri Prade, « https://www.irit.fr/IMG/pdf/cepadues_notice_IA.pdf », Panorama de l'Intelligence Artificielle, Volume 1 : Représentation des connaissances et formalisation des raisonnements. Éditions Cépaduès., consulté le 3 septembre 2024, https://www.irit.fr/IMG/pdf/cepadues_notice_IA.pdf.
- [2] Stuart Russell et al., *Intelligence artificielle : une approche moderne (4^e édition)* (Pearson France, 2021), <https://hal.science/hal-04245057>.
- [3] Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, et Geoffrey E. Hinton, « ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks », *Communications of the ACM* 60, n° 6 (24 mai 2017): 84-90, <https://doi.org/10.1145/3065386>.
- [4] « OpenAI Pleads That It Can't Make Money Without Using Copyrighted Materials for Free », *Futurism*, 8 janvier 2024, <https://futurism.com/the-byte/openai-copyrighted-material-parliament>.
- [5] Jaime Sevilla et al., « Compute Trends Across Three Eras of Machine Learning », in *2022 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 2022, 1-8, <https://doi.org/10.1109/IJCNN55064.2022.9891914>.
- [6] « Loi de Moore », in *Wikipédia*, 25 juillet 2024, https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Loi_de_Moore&oldid=217085183.
- [7] Pauline Brouillard, « Impact environnemental du numérique et gouvernance de la 5G », *The Shift Project*, 26 mars 2021, <https://theshiftproject.org/article/impact-environnemental-du-numerique-5g-nouvelle-etude-du-shift/>.
- [8] « Data on Notable AI Models », *Epoch AI*, 19 juin 2024, <https://epochai.org/data/notable-ai-models>.
- [9] Sevilla et al., « Compute Trends Across Three Eras of Machine Learning ».
- [10] « Infographie: ChatGPT a attiré un million d'utilisateurs en cinq jours. Qu'en est-il d'autres plateformes populaires ? », *Statista Daily Data*, 25 janvier 2023, <https://fr.statista.com/infographie/29187/temps-qu-il-a-fallu-a-certains-services-plateformes-en-ligne-pour-atteindre-1-million-utilisateurs>.
- [11] « Welcome to State of AI Report 2023 », consulté le 3 septembre 2024, <https://www.stateof.ai/>.
- [12] David Patterson et al., « Carbon Emissions and Large Neural Network Training », *arXiv.org*, 21 avril 2021, <https://arxiv.org/abs/2104.10350v3>.
- [13] « Pour un numérique plus responsable », *Alt IMPACT*, consulté le 25 septembre 2024, <https://altimpact.fr/>.
- [14] « Intelligence artificielle et santé · Inserm, La science pour la santé », *Inserm*, consulté le 3 septembre 2024, <https://www.inserm.fr/dossier/intelligence-artificielle-et-sante/>.
- [15] « Can AI help in climate change? CSU researchers have the answer. », consulté le 3 septembre 2024, <https://source.colostate.edu/how-can-ai-help-in-climate-change/>.
- [16] William J Ripple et al., « The 2024 state of the climate report: Perilous times on planet Earth », *BioScience*, 8 octobre 2024, biae087, <https://doi.org/10.1093/biosci/biae087>.
- [17] notre-environnement, « Limites planétaires », *notre-environnement*, 3 septembre 2024, <https://www.notre-environnement.gouv.fr/>.
- [18] Denis Trystram, Romain Couillet, et Thierry Ménissier, « Apprentissage profond et consommation énergétique : la partie immergée de l'IA-ceberg », *The Conversation*, 8 décembre 2021, <http://theconversation.com/apprentissage-profond-et-consommation-energetique-la-partie-immergee-de-lia-ceberg-172341>.

- [19] « Artificial Intelligence Technology behind ChatGPT Was Built in Iowa — with a Lot of Water », AP News, 9 septembre 2023, <https://apnews.com/article/chatgpt-gpt4-iowa-ai-water-consumption-microsoft-f551fde98083d17a7e8d904f8be822c4>.
- [20] Adrien Berthelot et al., « Estimating the Environmental Impact of Generative-AI Services Using an LCA-Based Methodology », *Procedia CIRP* 122 (2024): 707-12, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.098>.
- [21] « «L'IA ne remplacera pas le travail humain, mais elle l'a déjà précarisé» - Heidi.news », 3 mai 2023, <https://www.heidi.news/cyber/l-ia-ne-remplacera-pas-le-travail-humain-mais-elle-l-a-deja-precarise>.
- [22] « Une proposition de loi veut soumettre l'IA au droit d'auteur - Le Monde Informatique », LeMondeInformatique, 29 septembre 2023, <https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-une-proposition-de-loi-veut-soumettre-l-ia-au-droit-d-auteur-91709.html>.
- [23] Emily M. Bender et al., « On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big?  », in *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, FAccT '21 (New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021), 610-23, <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>.
- [24] laboratoiredelegalite, « « L'intelligence artificielle, pas sans elles ! », Aude Bernheim et Flora Vincent, 2019 – laboratoiredelegalite », 21 mai 2019, <https://www.laboratoiredelegalite.org/2220-2/>.
- [25] « L'alliance entre Mistral et Microsoft met fin à l'illusion de l'indépendance technologique européenne », La Tribune, 28 février 2024, <https://www.latribune.fr/technos-medias/informatique/l-alliance-entre-mistral-et-microsoft-met-fin-a-l-illusion-de-l-independance-technologique-europeenne-991558.html>.
- [26] « IA : Et maintenant, elle nous ment », Presse Scientifique, EPSILOON - IA : Et maintenant, elle nous ment, 21 août 2024, https://www.epsilon.com/tous-les-numeros/n39/ia_et_maintenant_elle_nous_ment/.
- [27] « Hallucination (intelligence artificielle) », in *Wikipédia*, 9 octobre 2024, [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Hallucination_\(intelligence_artificielle\)&oldid=219304347](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Hallucination_(intelligence_artificielle)&oldid=219304347).
- [28] Alison O'Connor et Angela Evans, « Vos enfants mentent ? C'est une preuve qu'ils se développent bien, merci ! », The Conversation, 2 octobre 2019, <http://theconversation.com/vos-enfants-mentent-cest-une-preuve-qu'ils-se-developpent-bien-merci-124477>.
- [29] Miotisoa Randrianarisoa & J. Paiano, « Test de Gemini Pro, la nouvelle IA de Google qui concurrence GPT-4 », Trust My Science, 7 décembre 2023, <https://trustmyscience.com/test-comparatif-gemini-pro-google-nouveau-concurrent-gpt-4/>.
- [30] Mariana Lenharo, « Google AI Has Better Bedside Manner than Human Doctors — and Makes Better Diagnoses », *Nature* 625, n° 7996 (12 janvier 2024): 643-44, <https://doi.org/10.1038/d41586-024-00099-4>.
- [31] « L'IA dans l'enseignement : résultats détaillés d'une enquête où étudiants et enseignants confrontent leurs regards », Compilatio, consulté le 25 septembre 2024, <https://www.compilatio.net/blog/enquete-ia-enseignement-2023>.
- [32] Usine Digitale, « Pourquoi OpenAI refuse de sortir son outil infaillible de détection des textes générés par ChatGPT ? », 5 août 2024, <https://www.usine-digitale.fr/article/pourquoi-openai-refuse-de-sortir-son-outil-infaillible-de-detection-des-textes-generes-par-chatgpt.N2216968>.
- [33] Marcus Lu, « Ranked: Countries That Use ChatGPT the Most », Visual Capitalist, 18 août 2024, <https://www.visualcapitalist.com/ranked-countries-that-use-chatgpt-the-most/>.

- [34] « L'Intelligence Artificielle dans la fonction publique territoriale », cnfpt.fr, 13 juin 2024, <https://www.cnfpt.fr/s-informer/nos-actualites/le-fil-dactu/lintelligence-artificielle-fonction-publique-territoriale/auvergne-rhone-alpes>.
- [35] « Gaston Bachelard », in *Wikipédia*, 9 octobre 2024, https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Gaston_Bachelard&oldid=219315229#Philosophie_des_sciences.
- [36] « Intelligence artificielle générative dans l'éducation, par Stefania Giannini | UNESCO », consulté le 3 septembre 2024, <https://www.unesco.org/fr/articles/intelligence-artificielle-generative-dans-leducation-par-stefania-giannini>.
- [37] Philippe Bihouix, Karine Mauvilly, et Editions Seuil, « Le Désastre de l'école Numérique, Plaidoyer Pour Une École sans Écrans », consulté le 29 octobre 2024, <https://www.seuil.com/ouvrage/le-desastre-de-l-ecole-numerique-philippe-bihouix/9782021319187>.
- [38] « Les enfants et les écrans - Ouvrage papier | Éditions Retz », consulté le 29 octobre 2024, <https://www.editions-retz.com/enrichir-sa-pedagogie/mes-connaissances-educatives/les-enfants-et-les-ecrans-9782725643816.html>.
- [39] « Les enfants et les écrans - Ouvrage papier | Éditions Retz », consulté le 25 octobre 2024, <https://www.editions-retz.com/enrichir-sa-pedagogie/mes-connaissances-educatives/les-enfants-et-les-ecrans-9782725643816.html>.
- [40] Timothée Parrique, « The political economy of degrowth » (These de doctorat, Université Clermont Auvergne (2017-2020), 2019), <https://theses.fr/2019CLFAD003>.
- [41] Bertrand Valiorgue, Guillaume Carton, et Thomas Gauthier, « Rapport Meadows : pourquoi les alertes de 1972 ont été ignorées par les chercheurs en management ? », *The Conversation*, 15 mars 2023, <http://theconversation.com/rapport-meadows-pourquoi-les-alertes-de-1972-ont-ete-ignorees-par-les-chercheurs-en-management-201644>.
- [42] « Français — IPCC », consulté le 29 octobre 2024, <https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/>.