

IA et enseignement : un rapide panorama

Résumé Alors que les intelligences artificielles inondent les applications quotidiennes et que les administrations en font un axe majeur de développement, l'utilisation de ces technologies par les professeurs est encore balbutiante. Les besoins en formation sont très importants et devront aborder les aspects techniques ainsi que la manière d'intégrer les IA dans les enseignements pour répondre aux objectifs des professeurs. La délicate question des données, celle du capital numérique comme celle de l'empreinte écologique de ces technologies sont autant d'occasions de mettre en place des réflexions et des expérimentations collectives.

Mots-clés Intelligence artificielle, éducation, données, formation, pédagogie.

Abstract Artificial intelligence and teaching: a quick overview

While artificial intelligence is used in many everyday applications and while administrations are making it a major focus of development, the use of these technologies by professors is still in its infancy. There is a huge need for training that covers both the technical aspects and how AI can be integrated to serve teachers' objectives. The sensitive issues of data, digital capital and the environmental footprint of these technologies offer opportunities for collective reflection and experimentation.

Keywords Artificial intelligence, education, data, training, pedagogy.

En novembre 2022, l'engouement médiatique suscité par ChatGPT a pu donner l'impression que l'intelligence artificielle (IA) constituait un champ émergent. Pourtant, ces technologies inondent nos sociétés du numérique (smartphones, moteurs de recherche, assistants vocaux, guidage GPS, recommandations d'achats/lecture/vidéos, etc.). En effet, les IA sont particulièrement performantes pour automatiser des tâches, rechercher des régularités dans des masses de données, reproduire des processus humains de perception, traiter des demandes formulées en langage naturel (écrit ou oral) ou encore générer des textes, des images ou des sons par des processus probabilistes. Le succès de ces systèmes repose en grande partie sur les performances matérielles qui leur sont associées. Pendant la décennie 2010-2020, les capacités de mémoire se sont considérablement accrues et des processeurs ultra-rapides développés pour les jeux vidéo ont été utilisés pour décupler les performances des IA. En parallèle, la numérisation croissante des activités continue d'apporter aux algorithmes des bases de données toujours plus conséquentes.

Si les géants du numérique investissent massivement dans l'IA pour maintenir une domination sur les marchés, des voix s'élèvent pour mettre en garde contre les risques d'atteinte aux droits individuels, de déclassement professionnel de l'humain, de manipulation de l'information ou encore d'une pollution accrue de la planète.

Le monde de l'éducation est sollicité

À l'échelle nationale comme internationale, les institutions encouragent à l'utilisation de l'IA dans le domaine éducatif, notamment pour assurer l'employabilité des futurs adultes dans un marché du travail profondément transformé par les technologies numériques. Les opportunités généralement présentées pour les systèmes éducatifs recouvrent :

- à destination des élèves, la personnalisation des apprentissages et la facilité d'une remédiation en cas de difficultés ;
- à destination des professeurs, le suivi facilité des élèves et la préparation des cours ;

- à destination des cadres, le pilotage du système éducatif par l'analyse de données.

En France, les commissions Villani (2018) [1] et Aghion-Bouverot (2024) [2] ont formulé des propositions à l'égard du système éducatif. Elles poussent l'État à soutenir le développement des IA pour limiter le risque d'un déclassement économique du pays et éviter une dépendance vis-à-vis de solutions étrangères. Dans cet objectif, le système éducatif est mis à contribution pour « former, sans délai, des personnes capables de concevoir des IA, des personnes capables de les déployer et des citoyens qui en comprennent les grands principes », ainsi que pour « mieux éduquer en exploitant les potentialités des IA ».

Les besoins annuels en formation sont estimés par la commission Aghion-Bouverot à 56 000 personnes pour la conception d'IA et à 25 000 personnes pour leur déploiement. Les champs de la formation initiale et de la formation continue sont concernés. En parallèle, la commission invite à faire naître des vocations pour alimenter ces filières et développer des profils bi-compétents. À ce sujet, il faut noter que l'École européenne d'ingénieurs de chimie, polymères et matériaux de Strasbourg (ECPM) a créé en 2020 une majeure « Chimie et IA » en partenariat avec des entreprises pour « développer des produits, des formulations ou des réactions chimiques plus rapidement ; prédire des caractéristiques de produits ; réaliser une optimisation multi-facteurs de produits, proposer de nouvelles solutions pour la production de molécules ; optimiser des procédés » [3].

L'IA est déjà dans les établissements scolaires

À l'instar des changements déjà induits par le numérique sur les enseignements, il paraît difficile de considérer que l'IA n'aura pas de conséquences à moyen terme dans les établissements scolaires, que ce soit dans les pratiques des professeurs ou dans les habitudes des élèves et des étudiants. Des témoignages de lycéens, recueillis pendant le dernier colloque de l'association française des acteurs de l'éducation, mettent en lumière de nombreux usages des IA par les jeunes. On peut

citer : se renseigner sur un sujet ; résumer, traduire ou réécrire un texte ; faire reformuler un cours non compris ; poser des questions sans se sentir jugé ; réviser ; discuter avec un confident virtuel qui ne juge pas.

L'IA, un des piliers de la politique numérique du MEN

Depuis 2019, l'IA est un des piliers de la politique du numérique pour l'éducation du Ministère de l'Éducation nationale (MEN) [4]. L'individualisation des apprentissages constitue une des priorités du ministère qui cherche à développer des IA capables de conseiller aux professeurs des contenus préalablement expertisés en fonction des profils des élèves et des difficultés qu'ils rencontrent. Le MEN a mis en place un écosystème qui sollicite le monde de la recherche pour assurer un travail de veille et de prospective à travers les « GTNum », ainsi que pour élaborer des prototypes, testés sur le terrain pendant deux ans, en association avec des start-ups au sein de « partenariats d'innovation en intelligence artificielle » (P2IA). La complémentarité Recherche-Industrie est recherchée pour allier la capacité des chercheurs à penser les IA et celle des industriels à prendre en charge le passage à l'objet industriel. Les solutions élaborées selon ce dispositif de la commande publique ont pour le moment concerné essentiellement l'école primaire.

Vers un professeur remplacé ?

Les réflexions menées dans l'administration centrale, bien que diffusées sur le web [5], semblent encore peu atteindre le terrain alors que la vitesse d'évolution des technologies interroge l'obsolescence de certaines compétences professionnelles. Selon Felten et son équipe [6], les métiers les

plus exposés aux IA sont les métiers comportant une part majoritaire de tâches automatisables. Les métiers de l'enseignement semblent dès lors très inégalement impactés : plus les professeurs interviennent auprès de publics jeunes, moins leur métier paraît remplaçable par des IA, ce qui semble corrélé aux compétences professionnelles que ces enseignants doivent développer pour structurer les apprentissages de jeunes moins autonomes. D'autre part, les disciplines utilisant préférentiellement le langage naturel apparaissent, dans ce modèle, plus exposées que les disciplines mettant en œuvre simultanément plusieurs registres de langages (registre symbolique, registre mathématique, etc.).

Cependant, la possibilité d'automatiser certaines tâches par des IA n'impose pas de le faire. L'agence américaine de conseil en IA Gartner Inc. suggère ainsi que la délégation de décision à une machine ne concerne que des tâches simples qu'un humain pourrait réaliser rapidement, mais dont l'accumulation est chronophage (filtre anti-spam par exemple), alors que les décisions complexes impliquant des suivis à moyen ou long terme devraient être laissées exclusivement à des humains [7]. Numériser intégralement les apprentissages s'avérerait contre-productif pour développer les compétences sociales des élèves. Un équilibre est ainsi à rechercher entre méthodes traditionnelles et apport potentiel des technologies. Sur ces sujets, le MEN privilégie des usages raisonnés des IA et le recours à des solutions dans lesquelles l'algorithme ne décide pas à la place des professeurs, mais recommande une ou plusieurs décisions. Ces positions ont d'ailleurs été affirmées par la sous-directrice du Bureau de la transformation numérique, Florence Biot, devant la Commission des affaires culturelles et de l'éducation de l'Assemblée nationale en février 2024. Elle y insiste sur le projet d'assister les professeurs plutôt que de les remplacer (figure 1) [8].



Figure 1 - Réponse d'une IA au prompt : « Dessine-moi une classe de chimie dans 10 ans ».

Faut-il enseigner l'IA ?

Daniel Andler, professeur émérite de philosophie, membre de l'Académie des sciences morales et politiques [9], propose de développer le « bilinguisme » des élèves et étudiants, c'est-à-dire la capacité à traiter une tâche à la fois à l'aide d'une IA, mais également sans elle, afin de ne pas dépendre d'une technologie dont les conditions d'accès ou les objectifs pourraient évoluer défavorablement dans le temps. Colin de la Higuera considère que travailler avec des IA génératives nécessite d'apprendre à poser les bonnes questions, ce qui suppose de connaître le sujet que l'on questionne, mais également le fonctionnement et les capacités de la machine avec laquelle on interagit [10]. Dès lors, préparer des jeunes à l'utilisation critique des IA suppose de les sensibiliser au processus probabiliste de génération des réponses. L'utilisation d'IA génératives peut dès lors s'avérer pertinente sur des sujets pour lesquels des connaissances ont déjà été acquises par les étudiants ou peuvent être validées à partir de sources fiables. Enfin, dans un pays où environ un quart des habitants reste éloigné du numérique et où l'illectronisme touche 20 % des

jeunes, Englebert et Bacchi proposent d'introduire, à côté des capitaux économique, social et culturel, la notion de capital numérique. Ils considèrent qu'une garantie d'accès au numérique doit être pleinement considérée dans les politiques publiques et que les compétences numériques doivent être enseignées pour « limiter des inégalités futures qui seraient plus difficiles à résorber » [11].

Quels usages des IA en classe ?

En matière d'évaluation des travaux à la maison, la crainte d'une triche par recours à des IA génératives alimente déjà certains échanges, même si cet usage n'est peut-être pas aussi répandu qu'on le pense [12]. Quand bien même il le serait, les professeurs peuvent ici trouver une occasion de développer l'esprit critique chez les jeunes, à une époque où les IA génératives tendent à être perçues comme des « moteurs de réponse ». En termes d'activités, il est possible de demander à une IA de générer un protocole opératoire ou un texte à faire analyser par les étudiants afin qu'ils identifient les limites de ces outils (*encadré*). Si les IA généralistes rencontrent encore

Exemple de protocole opératoire fourni par l'IA générative Gemini en réponse au prompt : « Propose-moi un protocole opératoire pour synthétiser la dibenzalacétone »

La réponse structurée fournie par l'IA est très convaincante, à ceci près qu'elle omet un réactif essentiel : la propanone. En relançant la recherche à nouveau, la réponse fournie est différente en lien avec son fonctionnement probabiliste. Elle omet cette fois la base forte. Ces itérations sont intéressantes pour travailler le regard critique des étudiants face à une recherche lancée à l'aide d'une IA.

Protocole de synthèse de la dibenzalacétone

Introduction

La dibenzalacétone est un composé organique conjugué qui présente des propriétés intéressantes, notamment en spectroscopie. Sa synthèse est un classique des travaux pratiques en chimie organique, car elle met en œuvre des réactions importantes comme la condensation aldolique.

Mode opératoire

Préparation du mélange réactionnel

- Dans un ballon à fond rond, introduire :
 - environ 25 mL d'éthanol,
 - 4 mL de benzaldéhyde,
 - 10 mL de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium à 3 mol/L.
- Placer le ballon dans un bain-marie à température ambiante.

Réaction

- Agiter le mélange réactionnel pendant environ 10 minutes. Un précipité jaune vif de dibenzalacétone devrait apparaître.

Traitement du milieu réactionnel

- Refroidir le mélange réactionnel dans un bain de glace.
- Filtrer le précipité sous vide sur un Büchner.
- Laver le solide avec de l'eau froide pour éliminer les traces de base.

Purification

- Recrystalliser le produit brut dans de l'éthanol.
- Filtrer à nouveau sous vide et laisser sécher à l'air libre.

Précautions

- L'hydroxyde de sodium est une base forte et corrosive. Manipuler avec précaution.
- Le benzaldéhyde présente une odeur caractéristique et peut être irritant. Travailler sous hotte.
- Porter une blouse de laboratoire, des gants et des lunettes de sécurité.

Remarques

- **Rendement** : Le rendement de cette réaction est généralement bon. Cependant, il peut varier en fonction des conditions expérimentales.
- **Caractérisation** : La dibenzalacétone peut être caractérisée par son point de fusion et par spectroscopie IR et RMN.
- **Mécanisme réactionnel** : Cette synthèse implique une condensation aldolique suivie d'une déshydratation.

Ajustements possibles

- **Quantités** : Les quantités de réactifs peuvent être ajustées en fonction du matériel disponible et de la quantité de produit souhaitée.
- **Solvant** : L'éthanol peut être remplacé par un autre solvant polaire protique, comme le méthanol.
- **Base** : D'autres bases fortes peuvent être utilisées, comme l'hydroxyde de potassium.

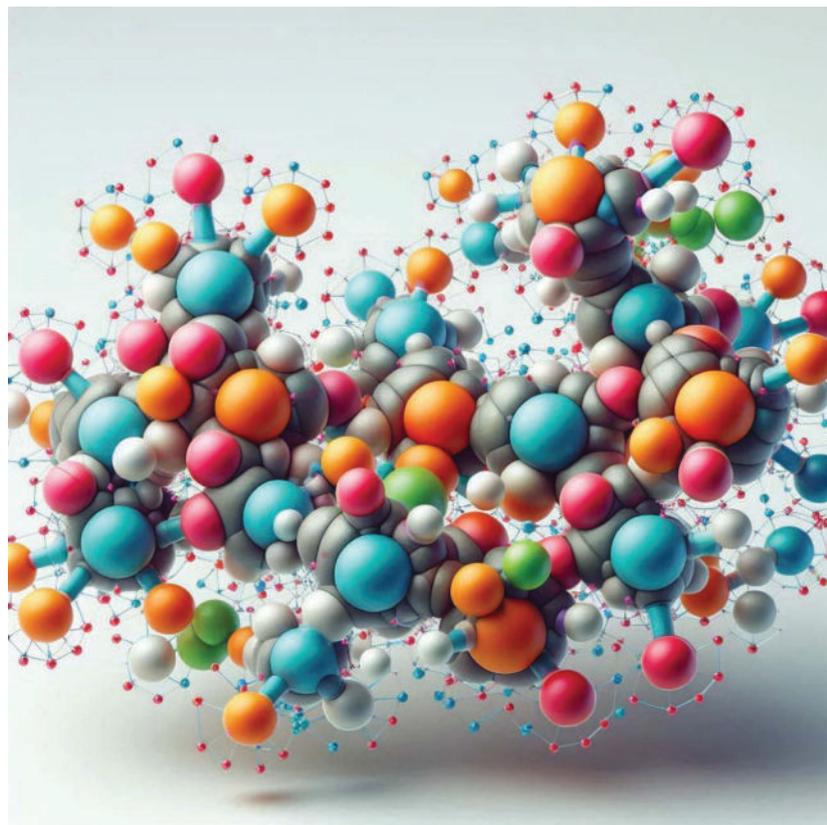


Figure 2 - Image générée par une IA générative en réponse au prompt : « Représente une molécule de glucose sur fond blanc ».

des difficultés pour représenter les entités à l'échelle moléculaire (figure 2), elles deviennent performantes pour orienter vers des sites traitant de tel ou tel sujet. Ces usages se heurtent cependant à la capacité de l'utilisateur à reconnaître une source fiable, ce qui rejoint les positions exprimées par Andler et de la Higuera sur la nécessité de développer des aptitudes sans IA.

Les académies et les régions mettent progressivement à disposition des professeurs des solutions utilisant l'IA à travers les espaces numériques de travail (ENT). Par exemple, on peut citer l'offre de la start-up française Nolej [13] qui conçoit des quiz, des flashcards, des glossaires et des exercices à partir de documents chargés par le professeur. Les outils générés doivent ensuite être contrôlés et adaptés par le professeur en fonction de ses objectifs, mais une bonne partie du travail a été confiée à la machine. Un autre exemple est celui de la start-up Vittasciences [14] qui propose d'illustrer le fonctionnement probabiliste d'une génération de texte ou d'image. Par exemple, les textes générés par l'IA de la start-up peuvent être analysés en cliquant sur un mot : la probabilité que ce terme avait d'être utilisé est alors affichée, ainsi que les options alternatives avec leur probabilité de sortie respective. Ceci pourrait permettre de développer un regard critique sur le fonctionnement de ces technologies.

Former les professeurs

Dans tous les cas, que l'IA soit intégrée de manière volontaire ou non, un climat de confiance paraît indispensable pour répondre aux interrogations soulevées par ces outils. Ceci conduit à évoquer la question de la formation des professeurs. Sur ce point, André Tricot, professeur en psychologie cognitive,

spécialiste des questions du numérique en éducation, considère que les formations au numérique sont généralement peu efficaces lorsqu'elles sont réduites à des apports techniques. Au contraire, elles conduisent à des résultats positifs lorsqu'elles abordent également la manière d'intégrer ces outils dans les enseignements pour servir les objectifs pédagogiques des professeurs. Des formations commencent à être déployées. On peut citer le projet européen AI4T (pour *Artificial intelligence for and by teachers*) qui permet une découverte des principes et des enjeux liés aux IA [15]. Le réseau Canopé s'est également saisi de ces questions. Les besoins sont cependant énormes et ils passeront sans doute par des expérimentations collectives à l'échelle locale (imitation, formation entre collègues, expérimentation au sein d'un établissement, etc.) pour réduire l'effort personnel de mise à niveau, tester des outils, en évaluer les éventuels bénéfices et limites, puis *in fine* décider de les intégrer ou de les abandonner.

La question critique des données

En tant que matière première des IA, les données sont collectées, traitées et conservées par ces systèmes. Les utilisateurs jouent un rôle actif ou passif dans cette diffusion de données personnelles lors du dépôt de documents non anonymisés sur des sites internet. Parallèlement, de nombreuses IA « aspirent » de nombreux sites sur internet. Cette utilisation des données « de seconde main » se heurte souvent à un défaut de consentement et potentiellement à une violation du droit de la propriété intellectuelle. D'autre part, la conservation des données soulève des interrogations quant au pays où elles sont stockées (et par conséquent, au régime juridique qui s'y applique), ainsi qu'à la durée de leur conservation.

La CNIL recommande ainsi de limiter la diffusion de données personnelles pendant les usages en classe en utilisant des comptes génériques « classe » [16].

Dans ce contexte, le RGPD (Règlement général pour la protection des données) assure aux usagers un certain nombre de droits : accès aux données, rectification, opposition, effacement, information sur la manière dont les données sont collectées, traitées, transmises et stockées, ainsi que sur les finalités de ces actions. Le récent AI-Act européen, voté en avril 2024, complète le RGPD pour les questions spécifiques à l'IA. Il n'a pas encore été transposé dans le corpus juridique français, mais il vise à garantir que les systèmes et modèles d'IA commercialisés au sein de l'UE en respectent les normes éthiques ainsi que les droits fondamentaux des citoyens de l'UE [17]. En matière d'éducation, les systèmes utilisant l'IA pour affecter des élèves dans des établissements ainsi que pour évaluer ou recommander des apprentissages sont automatiquement classés dans la catégorie « haut risque ». Au vu des enjeux liés à l'utilisation des données, les pouvoirs publics recommandent que les IA soient élaborées dans un esprit « *ethics by design* ». En pratique, cette démarche exige :

- une transparence permettant à chacun de comprendre comment les décisions sont prises et comment les données sont utilisées ;
- une confidentialité et une gestion des données protégeant les informations sensibles ;
- une lutte contre les préjugés [18] et une promotion de l'équité ;
- un maintien de l'intervention humaine dans la prise de décision.

Un impératif : préserver l'environnement

Une politique durable en matière d'IA ne peut oublier la question environnementale. Les inquiétudes nombreuses face à la consommation énergétique des IA semblent légitimes, même si les différents usages des IA sont inégalement énergivores. Les modèles généralistes récents sont capables de réaliser un nombre croissant d'opérations. Leur empreinte écologique dépend fortement du mix énergétique de la zone d'implantation des *data centers*, sachant que celle-ci peut varier d'un facteur 50 en fonction du pays. Les tâches les plus classiquement demandées aux IA sont la génération d'un texte, le résumé et la génération d'une image. Ce dernier usage s'avère pourtant particulièrement énergivore, puisque la production d'une image utiliserait à elle seule le quart de l'énergie nécessaire à la recharge d'un smartphone, alors que la génération d'un texte ou la réalisation d'un résumé n'en requièrent que 0,4 % [19].

Pour la réalisation d'une tâche particulière, les modèles monofonctionnels s'avèrent souvent bien moins énergivores que leurs équivalents généralistes multi-tâches. D'autre part, poser une question à un agent conversationnel consommerait entre 3 et 10 fois plus d'énergie que lancer une recherche sur un moteur de recherche. La surconsommation est cependant sous-estimée si l'on tient compte de la nécessité de vérifier les réponses proposées par une IA.

Comme l'avait conseillé Françoise Berthoud lors des JIREC 2024 à Jourdan [20], il convient de se poser plusieurs questions avant d'utiliser un outil numérique :

- L'outil aide-t-il les étudiants à mieux comprendre ou à apprendre ?

- Peut-il développer leur esprit critique ? Leur donne-t-il plus d'autonomie ?
- Son fonctionnement peut-il être compris par les étudiants ?
- Existe-t-il une solution équivalente plus sobre ?
- L'outil aide-t-il à sortir du paradigme production-consommation-crédit de déchet ?

[1] Commission Villani, *Donner un sens à l'intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne*, 2018.

www.vie-publique.fr/rapport/37225-donner-un-sens-lintelligence-artificielle-pour-une-strategie-nation (consulté le 16/12/24).

[2] Commission Aghion-Bouvierot, *IA : notre ambition pour la France*, 2024.

www.vie-publique.fr/rapport/293444-ia-notre-ambition-pour-la-france (consulté le 16/12/24).

[3] Pages web de l'ECPM (<https://ecpm.unistra.fr/formations/ingenieur-ecpm/programme-des-etudes>) et de la 2^e Journée Chimie et IA organisée par l'école : https://ecpm.unistra.fr/actualites-agenda/evnement/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=25995&cHash=a0a3ab7318695f5f64c5e37254c87c2e (consulté le 16/12/24).

[4] MENJ, *Plan d'action 2024-2027 pour une politique ambitieuse de la donnée au service de l'éducation nationale, de la jeunesse et des sports*.

www.education.gouv.fr/media/194211/download (consulté le 16/12/24).

[5] Blog des recherches de la DNE : <https://edunumrech.hypotheses.org/> (consulté le 16/12/24).

[6] P.A. Glendinning, D.J.W. Simpson, *Differentiable conjugacies for one-dimensional maps*, 2023 : la méthodologie décrite dans ce document de travail a été reprise par plusieurs institutions ainsi que dans un travail d'Antonin Bergeaud, cité dans le rapport Aghion/Bouvierot. Après avoir identifié 10 compétences des IA (reconnaissance vocale, reconnaissance d'images, usage du langage, etc.), les chercheurs leur associent un poids pour chacun des métiers de la banque américaine O*NET. Le système matriciel obtenu calcule un indice d'exposition aux IA. <https://arxiv.org/pdf/2303.01157>

[7] www.gartner.com/smarterwithgartner/would-you-let-artificial-intelligence-make-your-pay-decisions (consulté le 16/12/24).

[8] Commission des affaires culturelles (7 février 2024) : https://videos.assemblee-nationale.fr/video.14614052_65c33db21467b.commission-des-affaires-culturelles--table-ronde-sur-le-theme-%EF%BF%BD-ecole-et-intelligence-artificielle--7-fevrier-2024?timecode=5965730 (consulté le 16/12/24).

[9] Daniel Andler, *Intelligence artificielle, intelligence humaine : la double énigme*, 2023, Collection NRF Essais, Gallimard.

[10] Site internet de la chaire UNESCO RELIA :

<https://chaireunescorelia.univ-nantes.fr/2024/04/02/pour-apprendre-a-mobiliser-ses-connaissances-reflechissons-a-une-education-durable/> (consulté le 16/12/24).

[11] P. Englebert, C. Bacchi, *Le capital numérique*, Fondation Terra Nova, 2023. <https://tnova.fr/societe/education/le-capital-numerique> (consulté le 16/12/24).

[12] Enquête Le Sphinx : www.lesphinx-developpement.fr/blog/enseignement-et-ia-generative/ (consulté le 16/12/24).

[13] Site internet de la start-up Nolej : www.nolej.io/fr (consulté le 16/12/24).

[14] Site internet de la start-up Vittasciences : <https://fr.vittascience.com/ia/> (consulté le 16/12/24).

[15] Projet européen AI4T : www.ai4t.eu/ (consulté le 16/12/24).

[16] CNIL, *Livret enseignants « Protégez la vie privée de vos élèves »*, 2022 : www.cnil.fr/fr/education/livret-enseignants-protégez-la-vie-privee-de-vos-eleves (consulté le 16/12/24).

[17] Le règlement identifie quatre niveaux de risques (inacceptable, haut, faible ou minime) auxquels sont associés des obligations déclaratives spécifiques, des délais de mise en conformité et des amendes en cas d'infraction. Des usages critiques comme l'identification biométrique, la notation sociale ou l'analyse des émotions sont strictement interdits dans l'Union européenne.

[18] Les algorithmes de recommandation sont régulièrement critiqués pour leur tendance à reproduire voire amplifier les préjugés, en particulier ceux liés au genre. Un exemple de critique par l'UNESCO (avril 2024) :

www.unesco.org/gem-report/fr/articles/lunesco-met-en-garde-contre-limpact-des-reseaux-sociaux-sur-le-bien-etre-lapprentissage-et-les-choix (consulté le 16/12/24).

[19] A.S. Luccioni, Y. Jernite, E. Strubell, Power hungry processing: watts driving the cost of AI deployment?, *ArXiv*, 2023, abs/2311.16863.

[20] Voir le dossier spécial JIREC 2024, *L'Actualité Chimique*, 2024, 496, p. 5-33.

Jean LAMERENX*, professeur de chimie en CPGE PC*, Lycée Louis le Grand, Paris. Trésorier de la Division enseignement formation (DEF) de la SCF.

*jean.lamerenx@ac-paris.fr