

IA générative, au delà de la fonctionnalité

Denis Trystram
Professeur émérite, UGA
Denis.Trystram@univ-grenoble-alpes.fr

11 juin 2026

Intro

- ▶ L'IA générative s'est développée très rapidement depuis 2023.
- ▶ On s'interroge, on s'inquiète, on subit, on s'emballe, ...
- ▶ Le monde de la recherche travaille pour éclairer les routes.

On ne comprend rien au sujet si on ne saisit pas le caractère systémique de la révolution de l'IA générative.

Objectif de la présentation

Expliciter les liens avec la crise environnementale et questionner l'usage dans l'enseignement.

Limites planétaires

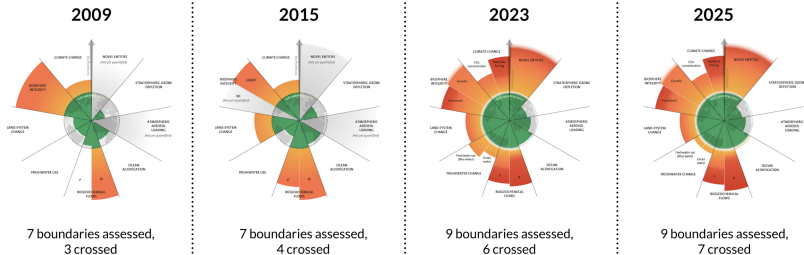
Le système terre se dérègle

La stabilité à grande échelle de la Terre et sur le long terme résulte d'interactions complexes entre plusieurs processus biophysiques.

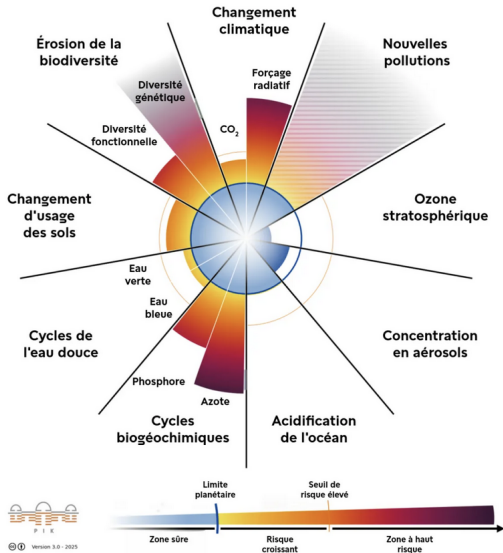
- ▶ Rockström et al.¹ ont proposé un cadre qui met en évidence 9 processus de changement global dans lesquels les activités humaines affectent le fonctionnement du système terre.
- ▶ Seuils à partir desquels la Terre ne sera plus capable d'absorber les pressions d'origine humaine sans compromettre les conditions de vie.

¹Stockholm Resilience Centre, rapport en 2009

Evolution



- ▶ Ce ne sont pas à proprement parler des limites, mais une indication de *zones d'incertitudes*, à risques.



État des limites planétaires en 2025 CC-BY PIK, traduit par MNHN

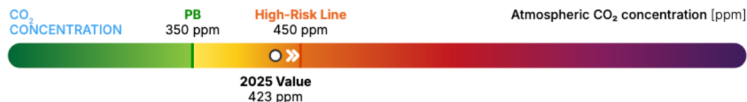
Réchauffement climatique / émissions carbone

- ▶ Pendant plus de 10000 ans, la terre a été dans une stabilité climatique (Holocène).
- ▶ Depuis 1950, la grande accélération guidée pas les activités humaines.

Réchauffement climatique / émissions carbone

Dimension	Indicator (and planetary boundary)	Value (and % overshoot beyond boundary)		Historical trend
		2000–2001	2021–2022	(%pt per year)
Climate change	Atmospheric carbon dioxide concentration, parts per million (at most 350 ppm CO ₂)	370 ppm (28%)	416 ppm (94%)	+3.1** (worsening)
	Human-induced radiative forcing at the top of the atmosphere, Watt per square metre (at most 1W m ⁻²)	1.8 W m ⁻² (78%)	2.8 W m ⁻² (183%)	+5.5** (worsening)

- ▶ émissions GES (mesurées en parties par million).
seuil de référence fixé à 350 ppm.
- ▶ réchauffement (forçage radiatif en Watt/m²).



Crise écologique et enjeux sociétaux

La crise est d'origine anthropique.

Source : GIEC ASR6

Comprendre la dynamique globale: Le Donught

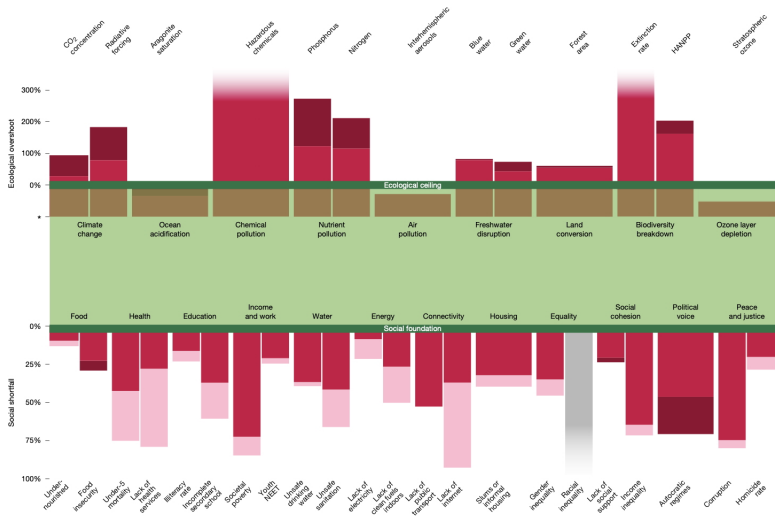
- ▶ C'est l'espace sûr et juste pour l'humanité.



matérialisé par

- ▶ un **plafond environnemental** (9 limites planétaires) et
- ▶ un **plancher social** (11 objectifs sociétaux).

La version sandwich jambon-beurre en 35 indicateurs



Source :

Andrew Fanning et Raworth, Doughnut of social and planetary boundaries monitors a world out of balance, 2024

Impacts environnementaux du numérique

En France, le secteur compte pour 11% de toute l'électricité consommée.

Contribution aux émissions carbone

- ▶ 5 à 6% de l'énergie primaire mondiale.
Plus de 4% des émissions totales.

en France, 29.5 MtCO₂e (51.5 TWh) en 2022

- ▶ Croissance annuelle : 6-9% sur la période 2015-2019.
- ▶ **la part de l'IA est difficile à estimer.**
mais il est clair que c'est un des principaux leviers de croissance qui alimente tous les autres secteurs.

Sources :

rapports RTE depuis 2022

Freitag et al. The real climate and transformative impact of ICT. A critique of estimates, trends and regulations, 2021

Le numérique (et l'IA) dans la crise

On distingue deux extrêmes opposés et une grosse masse – inerte – au milieu

- ▶ Le Numérique comme élément de solution pour atténuer la crisis
- ▶ un Numérique destructeur qu'il faudrait abandonner

Volet positif :

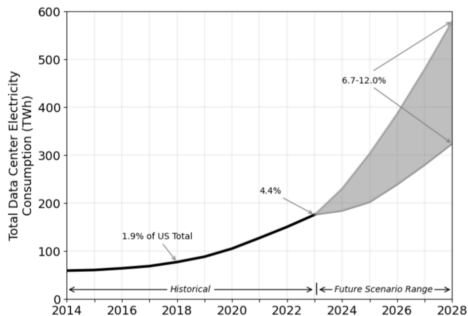
- ▶ ICT4green (non attesté, peu efficace si on compte tout).
- ▶ GreenICT (réduction des impacts des applications et infrastructures).

Volet négatif : croissance exponentielle des émissions Carbone, stress hydrique, déplétion des métaux

Focus sur les Data Centers

Un observatoire du développement de l'IA

- ▶ 4.4% de la consommation électrique des US.



- ▶ C'est 1.5% de la consommation mondiale d'électricité en 2024
- ▶ On estime que cela va doubler d'ici 2030, ce qui correspondra à la consommation d'un pays comme le Japon

Croissance DC

Quelques chiffres

- ▶ Plus de 10,126 répartis dans 168 pays
(dont 700 hyper-scaler)
3831 aux US
- ▶ 273 en France, c'est 2% de la consommation électrique
35 nouveaux ont été annoncés en 2025 (dont 3 à 1GWatt²)

Pourquoi cela pose problème :

- ▶ La concentration de DC déstabilisent à l'échelle locale.

source : <https://www.datacentermap.com>

Based on DC operators and service providers offering colocation, cloud and connectivity services

²Puissance totale du parc nucléaire en France : 62 GW (source EDF) ▶

L'écologie à la traine

Les systèmes de calcul sont de plus en plus efficaces énergétiquement³.

- ▶ Gigaflops/s (10^9)
1985 CRAY-2 – 150 à 200 kW – 200 W/flops
- ▶ Teraflops/s (10^{12})
1997 ASCI Red – 850 kW – 0.85 W/flops
- ▶ Petaflops/s (10^{15})
2008 IBM Roadrunner – 2500 kW – 0.002483 W/flops
- ▶ Exaflops/s (10^{18})
2024 El Capitan – 29 MW – 0.000029581 W/flops

Multiplication de la performance par 1 milliard en 40 ans.
Pour un gain d'efficacité énergétique inférieure à 7 millions...

³5000 additions/seconde sur l'ENIAC en 1942 consommant 150 kW ▶

La déferlante de l'IA générative

- ▶ C'est une révolution
Paléolithique, écriture, imprimerie, révolution industrielle, ...
- ▶ Spécifique au sens où elle est majoritairement subie.
- ▶ Très rapide et invisible (au début au moins).

Que faire au sein de nos formations ?

Deux attitudes polarisées :

- ▶ Doit-on enseigner l'IA générative ?
A quelle échelle ?
Comment mettre des garde-fous ?
- ▶ Doit-on résister ?
Jusqu'où ? Préserver des espaces sans IA ?

La polarisation est aussi parmi les enseignants-chercheurs :

Utiliser l'IA pour nos cours ? Nos évaluations ?

Chacun.e a sa propre utilisation...

La question des valeurs

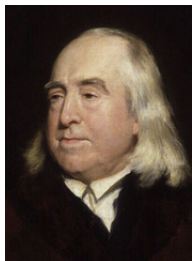
Ethique

= se déterminer en adoptant une forme de raisonnement qui permet de justifier les choix



Conséquentialisme :

L'éthique comme calcul du rapport coûts-bénéfices.



- ▶ " Mets fin aux dilemmes en établissant les préférences liées à ton intérêt personnel"

UTILITARISME :

Jeremy Bentham et John Stuart Mill, économistes et théoriciens sociaux britanniques, XVIII-XIX-èmes siècles

Déontologisme :

L'éthique comme épreuve du devoir moral à l'aune de l'autonomie de la volonté

Autodétermination de la volonté :

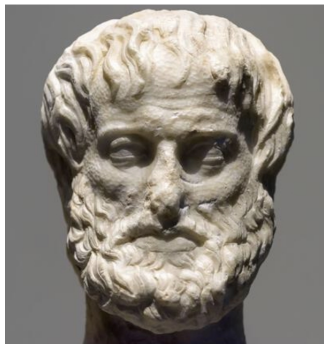
= faculté innée et universelle pour les êtres rationnels.



- ▶ "Responsabilise ton action individuelle"
- ▶ "Fais l'expérience de tes propres dilemmes moraux"

Arétaïsme (du Grec Arété—excellence) :

L'expérience éthique comme tension entre vices et vertus



- ▶ "Cultive les vertus et fuis les vices"
- ▶ "Recherche ton optimum d'excellence"

Aristote (384 / 322 avant J.-C.) Ethique à Nicomaque
Stanley Cavell, philosophe US (1926-2018) Perfectionnisme moral

Axiologisme (du grec ancien axia=valeur): L'éthique comme respect d'une valeur supérieure

- ▶ " Agis conformément à ce que commande la valeur supérieure"

Au delà de l'efficiency. Quelques idées pour aller plus loin

Qu'est-ce que les piliers de la convivialité signifient pour notre domaine ?

L'approche conviviale de Ivan Illich

- ▶ Garantir la soutenabilité sous contraintes de ressources limitées
- ▶ Questionner la pertinence des besoins
- ▶ Anticiper les questions de résilience
- ▶ Restorer le contrôle des outils
- ▶ Accepter les changements (équité)



En conséquence, nous devons accepter en conscience de suspendre, dégrader ou même renoncer dans quelques occasions.

La notion de commun numérique

Ce sont des ressources partagées, gérées et maintenues collectivement par une communauté qui établit des règles dans le but de préserver et pérenniser ces ressources tout en fournissant aux membres la possibilité et le droit de les utiliser, voire, si la communauté le décide, en octroyant ce droit à tous.

Les concepts majeurs :

- ▶ Open source (transparence – redonner le contrôle)
- ▶ L'environnement comme but ou comme prémice ?
- ▶ Soutenu par l'Etat (dans une logique de souveraineté)

Est-ce

un ensemble d'outils ou plus ?

un rôle politique qui permet d'interroger et réguler les usages ?

Source : Wikipedia / qui est un Commun Numérique

Exemplarité

- ▶ On propose un DC qui fonctionnera comme une AMAP.
- ▶ On a des ressources (calculs/stockage) volontairement limitées que l'on accepte de partager avec d'autres utilisateurs.
- ▶ Ce partage est discuté collectivement.
- ▶ C'est la logique d'un commun numérique.

Discussion

- ▶ La révolution actuelle de l'IA générative est inédite et subie (paradoxalement)
- ▶ La crise environnementale est massive, y répondre est urgent. Le numérique en fait partie avec des impacts négatifs majeurs.
- ▶ La question environnementale et étroitement liée à l'éthique
- ▶ Le point clé est la maîtrise des usages qui devrait nous conduire à revoir nos comportements.
- ▶ Je n'ai pas de solution toute faite...
Dans quelle mesure pouvons-nous nous adapter pour construire un futur désirable ?