

➤ Introduction aux impacts environnementaux du numérique

Séminaire *Ethique, enjeux sociétaux et environnementaux de l'IA et la science des données*

Hugo Gangloff

Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, MIA Paris-Saclay



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE

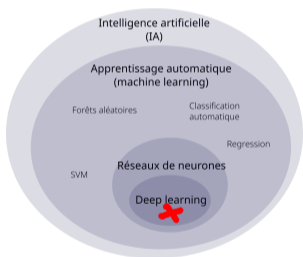
13 février 2026

1. État des lieux de l'IA
2. (Promesses d') Impacts environnementaux positifs
3. Datacenters et GPUs
4. Impacts environnementaux négatifs
 - Retour à l'énergie
 - Impacts environnementaux à l'usage
 - Impacts environnementaux à la fabrication
 - Impacts environnementaux en fin de vie
 - Artificialisation des sols
 - Impact indirect à l'usage : effet rebond
5. Conclusion

1. État des lieux de l'IA
2. (Promesses d') Impacts environnementaux positifs
3. Datacenters et GPUs
4. Impacts environnementaux négatifs
 - Retour à l'énergie
 - Impacts environnementaux à l'usage
 - Impacts environnementaux à la fabrication
 - Impacts environnementaux en fin de vie
 - Artificialisation des sols
 - Impact indirect à l'usage : effet rebond
5. Conclusion

➤ Avant d'aller plus loin

- ▶ On va surtout parler d'Intelligence Artificielle (IA) → À l'origine de **l'accroissement récent des impacts environnementaux** du numérique
- ▶ **Plusieurs types d'IA** [Alexandre et al., 2020] :



Adapté de

wikipedia.org/IA

- ▶ **IA symbolique** : modélisations logiques, manipulation explicite des connaissances, ...
- ▶ **IA numérique** : basée sur les données, les modèles probabilistes, les réseaux de neurones, ...
 - **Emballement actuel c'est l'IA générative (IAg)** (basée principalement sur des techniques de l'IA numérique et les *Large Language Models*) qui permet la production de texte, vidéo, image, code, ...
 - **General-purpose models vs task-specific models**



INRAE

Impacts environnementaux du numérique
13 février 2026 / Hugo Gangloff

➤ Découvertes et innovations clés

- ▶ Des découvertes algorithmiques qui ont permis l'IA numérique (et donc l'IAg) :
 1. Perceptron (1957)
 2. Rétropropagation du gradient
 3. Réseau de neurones (2012)
 4. Renforcement
 5. Attention (2017)
- ▶ et un équipement électronique clé : le Graphics Processing Unit (GPU)



Intelligence Artificielle dans le grand public

Adoption fulgurante de l'IAg et maintenant c'est 2,5 milliards de requêtes quotidiennes et 700 millions d'utilisateurs hebdomadaires [Chatterji et al., 2025]

Figure 1.5 ▶ Growth in the use of digital technologies in the workplace since the year of first commercial release, United States

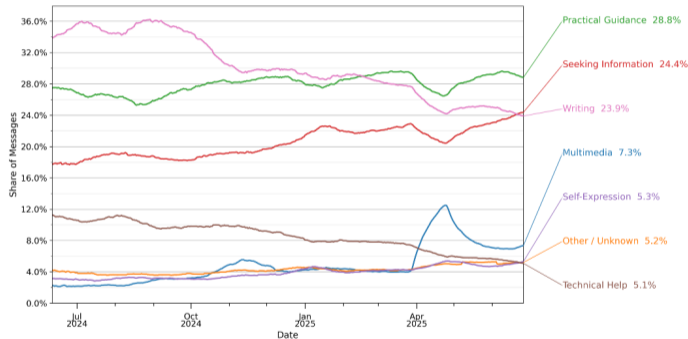
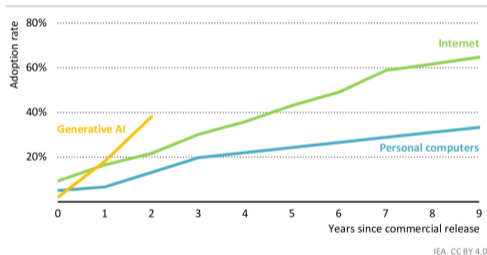
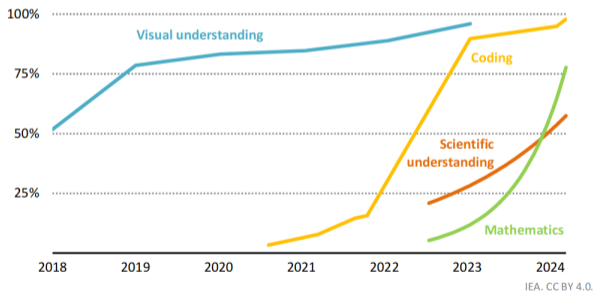


Figure 7: Share of consumer ChatGPT messages broken down by high level conversation topic

Intelligence Artificielle dans la recherche

- ▶ Dans les années 2010, l'IA numérique a permis d'améliorer significativement les performances (traitement d'images, vision, aide au diagnostic, ...)
- ▶ L'IAg permet de résoudre de nouvelles tâches (génération de texte, de code, problèmes de mathématiques, ...)

Figure 1.11 ▶ Accuracy of AI models in selected benchmarks, 2018-2024



1. État des lieux de l'IA
2. (Promesses d') Impacts environnementaux positifs
3. Datacenters et GPUs
4. Impacts environnementaux négatifs
 - Retour à l'énergie
 - Impacts environnementaux à l'usage
 - Impacts environnementaux à la fabrication
 - Impacts environnementaux en fin de vie
 - Artificialisation des sols
 - Impact indirect à l'usage : effet rebond
5. Conclusion

➤ Typologie des impacts

Schématiquement, 3 types d'impacts [[Horner et al., 2016](#)] :

1. Impacts directs : coûts de fabrication, d'utilisation, d'élimination (cycle de vie)
2. Impacts indirects : gain d'efficacité, effets de substitution, effet rebond
3. Impacts indirects (2nd-ordre) : changements systémiques, économiques



➤ Typologie des impacts

Schématiquement, 3 types d'impacts [[Horner et al., 2016](#)] :

1. Impacts directs : coûts de fabrication, d'utilisation, d'élimination (cycle de vie)
2. Impacts indirects : gain d'efficacité, effets de substitution, effet rebond
3. Impacts indirects (2nd-ordre) : changements systémiques, économiques

► **L'IA mise principalement sur les effets d'efficacité et de substitution**



L'IA pour le développement durable



Source : [Schwartz et al., 2020]

- ▶ Opportunités de réductions d'émissions de GES dans des domaines clés [Rolnick et al., 2022] : transport, industrie, agriculture, etc.
→ **décarbonation**
- ▶ (IEA, Energy and AI, 2025) :
The widespread adoption of existing AI applications could lead to emissions reductions that are far larger than emissions from data centres
- ▶ D'autres secteurs pourraient en bénéficier : logistique, recyclage, etc. [Semedo et al., 2024]

Rendre l'IA plus durable

- ▶ **IA frugale** (sobriété, *sufficiency* \neq efficacité, optimisation)

Sobriété selon [AFNOR, 2024] :

Aptitude à se contenter d'un niveau de résultat jugé suffisant en redéfinissant les usages et les besoins

→ Réduire la taille des modèles, communication sur les coûts CO₂eq des expériences, partage du code, redéfinir les benchmarks, interprétabilité, quantification des incertitudes, travail des données, etc. [Varoquaux et al., 2025]

- ▶ D'autres concepts de la *green AI* : durée de vie des équipements, chaleur fatale, etc. [Semedo et al., 2024]

IA frugale selon [AFNOR, 2024] qui reprend [Cezard and Mourad, 2019] :

assemble un continuum de démarches qui promeuvent – à différents degrés et à différentes échelles – une modération de la production et de la consommation de ressources énergétiques et matérielles, par une transformation des modes de vie au-delà de la recherche d'efficacité

Comment réduire l'impact ?

Vous voulez vous inscrire dans un projet d'IA frugale. Six étapes peuvent être intégrées :



1

Questionner le besoin : s'assurer qu'il existe réellement et que les scénarios d'usage sont décrits avec leurs limites

Intégrer une évaluation des impacts environnementaux dans les processus de décisions et de pilotage

4

Identifier toutes les solutions possibles : celles basées sur l'IA, sans IA ou celles s'appuyant sur l'existant

2

5

Outiller le déploiement des solutions pour pouvoir surveiller précisément leur utilisation réelle

3

Evaluer chaque solution en terme d'impact environnemental sur l'ensemble du cycle de vie du projet et de la solution

Réadapter les rôles et les responsabilités des différentes parties prenantes des projets afin que toute la gouvernance intègre la frugalité

6

➤ Des promesses réalistes ?

- ▶ Les études vendant les nouveaux systèmes d'IA négligent souvent les impacts (directs) de cycle de vie et impacts systémiques
[Rasoldier et al., 2022, Morand et al., 2025b, Kaack et al., 2022]
- ▶ [IEA, 2025] :
***Rebound effects** – for example from modal shifts away from public transport to autonomous cars – **could undercut some of these benefits**. AI can be a tool in reducing emissions, but it is not a silver bullet and does not remove the need for proactive policy.*
- ▶ Les sources mettant en doute la faisabilité des promesses de l'IA ne manquent pas, principalement à cause du **conflit avec les dynamiques environnementales et énergétiques**, et à cause de l'**effet rebond**



➤ Des promesses réalistes ?

- ▶ Les études vendant les nouveaux systèmes d'IA négligent souvent les impacts (directs) de cycle de vie et impacts systémiques
[Rasoldier et al., 2022, Morand et al., 2025b, Kaack et al., 2022]
- ▶ [IEA, 2025] :
***Rebound effects** – for example from modal shifts away from public transport to autonomous cars – **could undercut some of these benefits.** AI can be a tool in reducing emissions, but it is not a silver bullet and does not remove the need for proactive policy.*
- ▶ Les sources mettant en doute la faisabilité des promesses de l'IA ne manquent pas, principalement à cause du **conflit avec les dynamiques environnementales et énergétiques**, et à cause de l'**effet rebond**
→ **Dans la suite, nous étudierons ces impacts négatifs sur l'environnement**



1. État des lieux de l'IA
2. (Promesses d') Impacts environnementaux positifs
3. Datacenters et GPUs
4. Impacts environnementaux négatifs
 - Retour à l'énergie
 - Impacts environnementaux à l'usage
 - Impacts environnementaux à la fabrication
 - Impacts environnementaux en fin de vie
 - Artificialisation des sols
 - Impact indirect à l'usage : effet rebond
5. Conclusion

That cloud, we'd endlessly reply, is just someone else's computer. Most likely, it's a computer stuck in an enormous data center somewhere sort of rural, where it consumes impressive amounts of electricity (to power the facility) and water (to cool down all those hot servers).

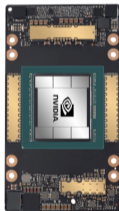
– Anne Pasek, *Getting Into Fights With Data Centers : Or, a Modest Proposal for Reframing the Climate Politics of ICT*, 2023

➤ GPU : exemple du NVIDIA A100 GPU (2020)

Composants :

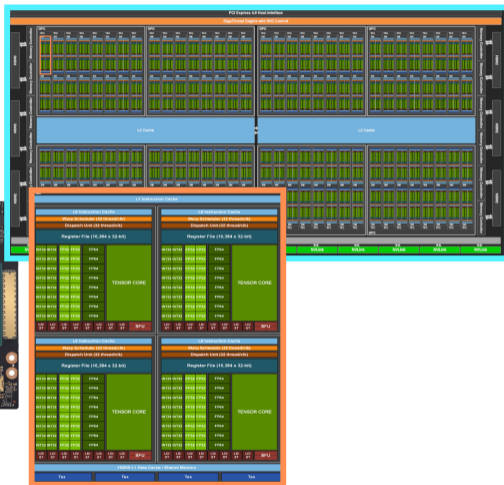
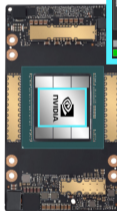
- puce GPU
- SRAM
- Voltage regulators
- PCIe
- Power connector
- (- Heat sink)
- (- Casing)
- TDP = 400W Source : NVIDIA

A100 WhitePaper



GPU : exemple du NVIDIA A100 GPU (2020)

Zoom sur la puce GPU :
GA100



GPU : exemple du NVIDIA A100 GPU (2020)

Coeurs de calculs :

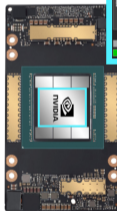
- 8192 CUDA cores
- 512 Tensor cores
- 54.2 milliards de transistors

(TSMC 7 nm FinFET)

Sources : NVIDIA A100 WhitePaper

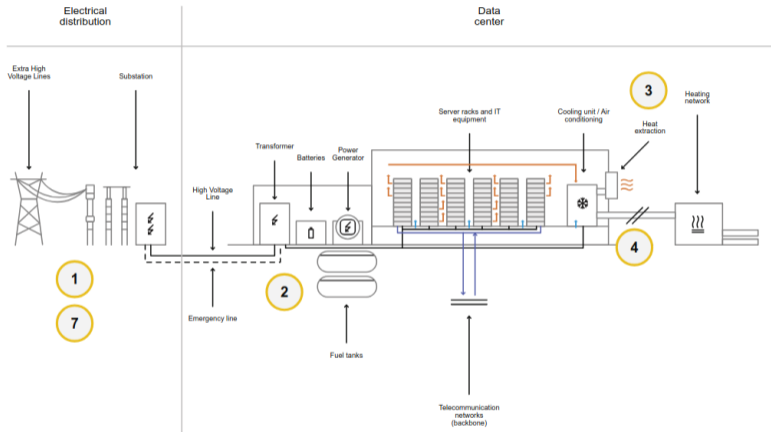
en.wikipedia.org/MOSFET

en.wikichip.org/wiki/7_nm_lithography_process



Des datacenters remplis de GPUs

Vue schématique d'un datacenter




Source : Thèse de Clément Marquet repris par Gauthier Roussilhe

➤ Des datacenters remplis de GPUs

IA = centre de données dits **hyperscale**¹ en forte croissance


≈ 10-100MW

Hébergement



Refroidissement Air,
Climatisation
Utilisation de CPU standard
3-15 kW/rack
PUE entre 1,4 et 2
Peu de densité
Haute latence
Peu de valorisation thermique

Virtualisation



Refroidissement Air, liquide
Utilisation mixte CPU-GPU
10-40 kW/rack
PUE entre 1,2 et 1,4
Optimisation de la densité
Moyenne-haute latence
Récupération chaleur difficile

Intelligence Artificielle



Refroidissement liquide
Utilisation de GPU
100 kW/rack et plus
PUE 1 et 1,1
Très haute densité
Conteneurs préfabriqués (POD)
Haute latence interne
Opportunité pour récupération

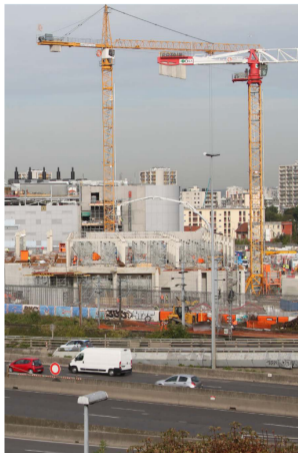
≥ 500MW

Source : Gianluca Marzilli (Institut Paris Région)

1. Typologie des datacenters : <https://www.ibm.com/fr-fr/think/topics/hyperscale-data-center>

➤ Datacenters en France

La Courneuve (2021)



SITE A OVH DC1 à Paris, 19^e arr.



Source : Institut Paris Région, LE DÉVELOPPEMENT DES DATA CENTERS EN ÎLE-DE-FRANCE, 2023

INRAE

Impacts environnementaux du numérique

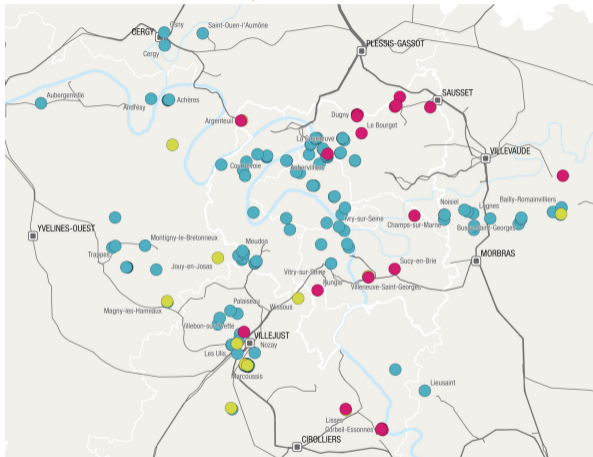
13 février 2026 / Hugo Gangloff

► Datacenters en France

<https://www.institutparisregion.fr/> :

- ~ 330 datacenters en France
- ~ 160 en Ile-de-France

Data centers et réseaux électriques



Statut du Data Center

- en exploitation
- en construction
- en projet

■ Poste RTE 400kV

— Lignes RTE 400 kV | 225 kV

N
0 5 Km
© L'INSTITUT PARIS REGION
Sources : Institut Paris Region 2025



INRAE

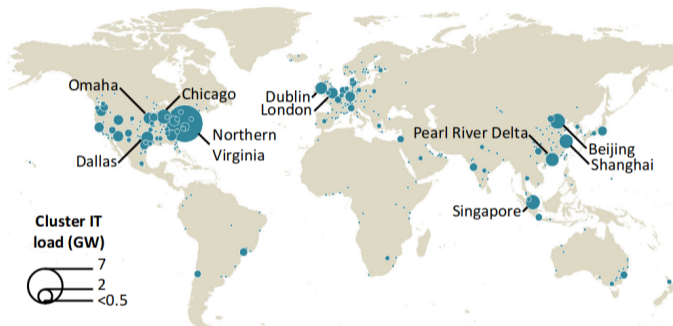
Impacts environnementaux du numérique
13 février 2026 / Hugo Gangloff

► Datacenters monde et USA

datacentermap.com :

- ~ 11000 datacenters dans 174 pays
- ~ 4000 datacenters aux USA

Figure 1.13 ► Global map of large data centre clusters, 2024



IEA. CC BY 4.0.

➤ Datacenters monde et USA

Stargate Abilene, Texas, 445ha, 1.5GW à terme



Source : <https://openai.com/fr-FR/index/stargate-advances-with-partnership-with-oracle/>

➤ Datacenters monde et USA

Meta	Hyperion Meta is planning a \$10 billion, <u>2+ GW data center</u> in Louisiana to be supported by <u>three new gas plants</u> . Construction is planned through <u>2030</u> .
OpenAI	Stargate Abilene (w/ Oracle) Planned 1.2-GW data center campus in Abilene, Texas that will be part of OpenAI's broader " <u>Stargate</u> " project.
	UAE Stargate OpenAI <u>announced</u> a 1-GW cluster in the United Arab Emirates with 200 MW expected to come online by 2026. This may eventually expand to a <u>5 GW</u> campus. (Note: this is the only non-US project on this list)
	Wisconsin (w/ Microsoft) Microsoft is planning a Wisconsin data center campus for OpenAI with a capacity of 1.5 GW by 2027, according to an <u>industry analyst</u> . This project will tentatively open in <u>2026</u> . [In January 2025, Microsoft <u>paused</u> construction on the later phases of this project, perhaps temporarily.]
	Stargate (w/ Oracle, SoftBank) This was a planned \$100 billion OpenAI-Microsoft collaboration for a data center campus that would <u>open in 2028</u> and scale up to 5 GW by 2030. Microsoft may have since <u>pulled out</u> of this project, and the "Stargate" name has been adopted by a \$500 billion <u>collaboration</u> between OpenAI, Oracle, and SoftBank involving numerous data centers.



Source : [EPRI and epoch.ai, 2025]

1. État des lieux de l'IA
2. (Promesses d') Impacts environnementaux positifs
3. Datacenters et GPUs
4. Impacts environnementaux négatifs
 - Retour à l'énergie
 - Impacts environnementaux à l'usage
 - Impacts environnementaux à la fabrication
 - Impacts environnementaux en fin de vie
 - Artificialisation des sols
 - Impact indirect à l'usage : effet rebond
5. Conclusion

Retour à l'énergie



➤ Énergie : ordres de grandeurs et rappels

- ▶ Puissance instantannée disponible (W)
- ▶ Énergie consommée sur une période donnée (Wh)
- ▶ Intensité carbone de l'électricité (gCO₂eq/kWh)

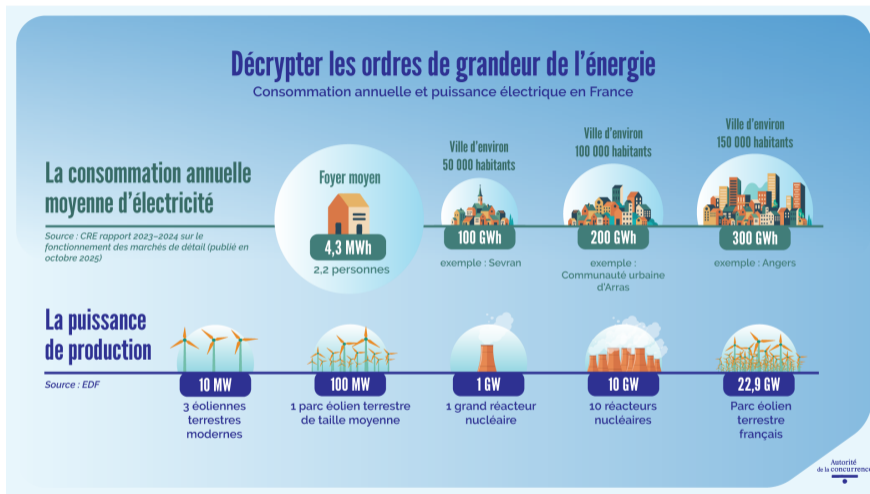
(RTE, Bilan électrique 2025, 2026) :

- ▶ La consommation électrique française en 2025 \approx 449 TWh
- ▶ La production électrique française en 2025 \approx 554 TWh
- ▶ Intensité carbone de l'électricité française en 2024 \approx 21 gCO₂eq/kWh
- ▶ Réseau HT a une disponibilité de 99,9995%

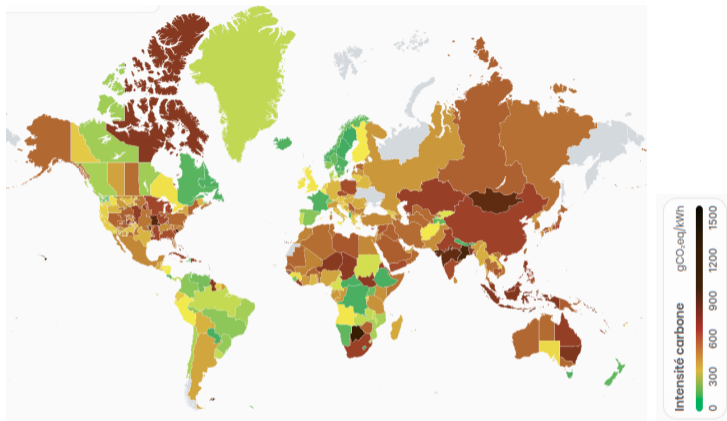




Énergie : ordres de grandeurs et rappels



➤ Énergie : ordres de grandeurs et rappels



https://app.electricitymaps.com/map/live/fifteen_minutes

→ **Produire de l'électricité ne pollue pas de la même manière partout !**

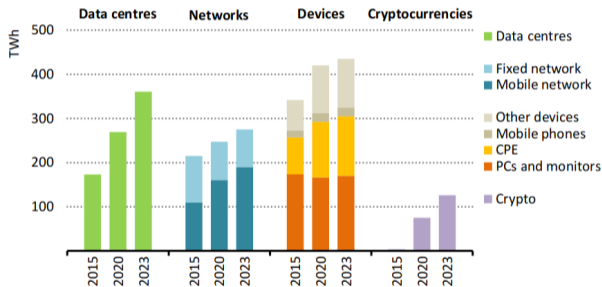
Impacts environnementaux à l'usage



➤ Consommation d'énergie du numérique dans le monde

- ▶ Le numérique c'est $\approx 1000\text{TWh}$ d'énergie électrique en 2023 soit 4% de la consommation mondiale [IEA, 2025]²

Figure 2.15 ▶ Global electricity demand from data centres, data transmission networks, devices and cryptocurrency mining, 2015-2023



IEA. CC BY 4.0.

2. Ce nombre exclut les cryptomonnaies (!!!) et le secteur du divertissement et des médias (TV, consoles de jeux, production, ...)

➤ Consommation d'énergie des datacenters dans le monde

- ▶ 415 TWh \approx 1.5% de la conso électrique globale en 2024 [IEA, 2025]
- ▶ → Au moins **x2 d'ici 2030** dans 3 scénarios sur 4 [IEA, 2025]

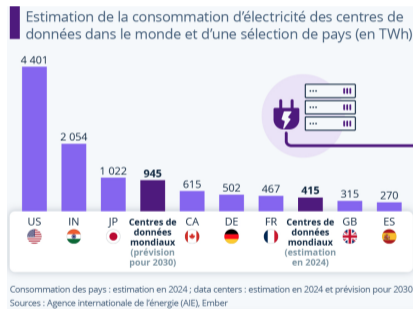
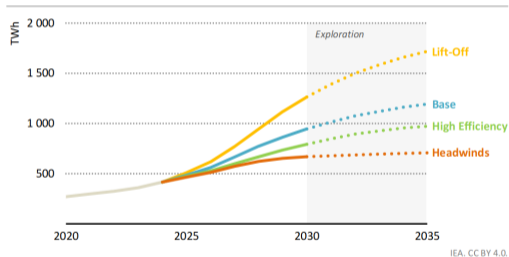


Figure 2.14 ▶ Global data centre electricity consumption by sensitivity case, 2020-2035



<https://fne-idf.fr/dossiers/l-essentiel-sur-l-impact-environnemental-des-data-centers>

➤ Consommation d'énergie des datacenters en France

- ▶ Le numérique ≈ 50 TWh ($\approx 10\%$ de la conso. elec.)
dont datacenters ≈ 10 TWh [The Shift Project, 2025]

- ▶ **Stratégie Nationale Bas Carbone 3** (Déc. 2025) :

→ **consommation datacenters x4 d'ici 2050**

La SNBC 3 établit une **cible indicative de consommation des centres de données** visant à ne pas concurrencer les autres leviers d'électrification de

40 TWh en 2050

➤ Consommation d'énergie des datacenters en France

- ▶ Le numérique ≈ 50 TWh ($\approx 10\%$ de la conso. elec.)
dont datacenters ≈ 10 TWh [The Shift Project, 2025]
- ▶ **Stratégie Nationale Bas Carbone 3** (Déc. 2025) :
→ **consommation datacenters x4 d'ici 2050**

La SNBC 3 établit une **cible indicative de consommation des centres de données** visant à ne pas concurrencer les autres leviers d'électrification de

40 TWh en 2050

40 TWh c'est :

- ▶ \approx l'énergie produite annuellement par tout le parc éolien français actuel (Voir les calculs)
- ▶ \approx l'énergie produite annuellement par 6 réacteurs nucléaires (Voir les calculs)

➤ Consommation d'énergie des datacenters

- ▶ Des temps d'attente de raccordement au réseau électrique qui s'allongent

Table 2.4 ➤ Reported connection queues for new data centres in selected jurisdictions

Jurisdiction	Average time in queue
United States	1-3 years
North Virginia (United States)	Up to 7 years
California (United States)	3 years
Germany	Up to 7 years
United Kingdom	5-7 years
Netherlands	Up to 10 years
Kanto (Japan)	More than 5 years
Malaysia	Under 3 years
Queensland (Australia)	More than 2 years
Italy	Under 3 years
Spain	3-5 years
Ireland	In Dublin, paused until 2030

Sources: IEA analysis based on energy.gov (United States), datacenterdynamics.com (Virginia, Netherlands, United Kingdom), electricalreview.co.uk (Germany), businesspost.ie (Ireland) and IEA survey results (Australia, Italy, Japan, Malaysia, Spain).

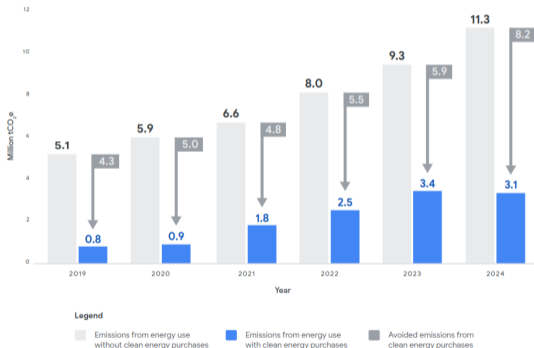
- ▶ Les datacenters ne sont pas, *a priori*, flexibles et fonctionnent 24/7
→ **incompatibilité énergies renouvelables**
- ▶ Certaines entreprises vont produire leur propre énergie !
- ▶ IA n'est pas la seule cause de l'explosion de la demande électrique (industrie lourde, autres équipements IT, électrification des transports, ...)
→ **Conflits dans les usages !** [The Shift Project, 2025]

<https://www.resources.org/common-resources/the-hype-on-hyperscalers-data-centers-and-growing-electricity-demand/>

➤ Consommation d'énergie des *hyperscalers*

- ▶ Très peu de données divulguées par les entreprises
- ▶ Dans les rapports annuels, on retrouve les émissions CO₂eq
 - ▶ *location-based* : émissions via les infrastructures énergétiques réellement utilisées
 - ▶ *market-based* : après déduction des certificats d'électricité propre achetés

Figure 3. Avoided emissions from clean energy purchases



Source : Google Environmental Report 2025

➤ Mesures de la consommation d'énergie

Différents outils de mesure de l'énergie électrique

- ▶ Wattmètre pour une mesure directe
- ▶ GreenAlgorithms (estimation modélisée)
- ▶ CodeCarbon (estimation embarquée)
- ▶ Ecologits (estimation modélisée)
- ▶ Alumet (estimation in situ)

→ Les résultats peuvent différer selon l'outil [Jay et al., 2023]



➤ Mesures de la consommation d'énergie

À partir des mesures on construit le **Power Usage Effectiveness** :

$$PUE = \frac{\text{Total Facility Energy}}{\text{IT Equipment Energy}},$$

on a alors $PUE \geq 1$.

➤ Mesures de la consommation d'énergie

À partir des mesures on construit le **Power Usage Effectiveness** :

$$PUE = \frac{\text{Total Facility Energy}}{\text{IT Equipment Energy}},$$

on a alors $PUE \geq 1$.

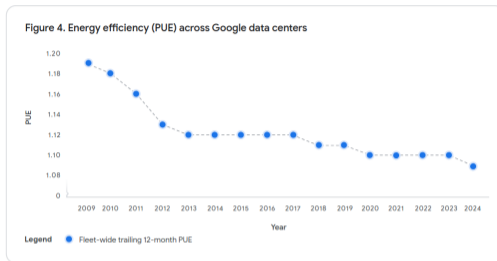
En général, *IT Equipment Energy* =

- ▶ Serveurs (stockage, calcul)
- ▶ Équipements réseaux

et *Total Facility Energy* = *IT Equipment Energy* +

- ▶ Équipements d'alimentation en énergie (UPS, PDU, générateurs, batteries, ...)
- ▶ Équipements de refroidissement

Mesures de la consommation d'énergie

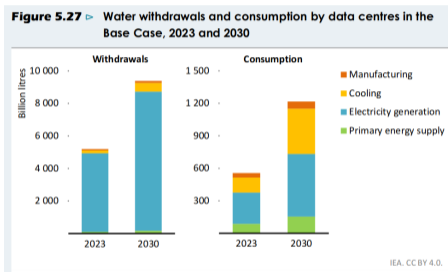


Sources : <https://dgtlinfra.com/pue-power-usage-effectiveness/> et Google Environmental Report 2025

Note : Le mode oisif (*idle*) représente une part non négligeable de la consommation d'un datacenter [Luccioni et al., 2023]

➤ Consommation d'eau des datacenters

- ▶ Eau consommée³ par les datacenters dans le monde \approx 560 milliards L en 2023
→ **x2 en 2030** [IEA, 2025]
- ▶ Pour comparer, Paris consomme \approx 155 milliards de litres d'eau par an⁴



→ **Conflits dans les usages** prévisibles : c'est surtout de l'eau potable et beaucoup de datacenters se situent dans des zones de stress hydrique

3. eau prélevée qui n'est pas retournée à la source (ex : évaporation)
4. <https://www.paris.fr/pages/paris-se-dote-d-un-plan-de-sobriete-hydrique-pour-reduire-sa-consommation-d-eau-28937>

➤ Consommation d'eau des datacenters

En plus du PUE, un autre indicateur est le : **Water Usage Effectiveness**

$$WUE = \frac{\text{Total Water Consumed (L/year)}}{\text{Electricity Consumption (KWh/year)}}$$

- *scope 1* : eau consommée par le datacenter → refroidissement surtout → **Usage** (direct)
- *scope 2* : + eau pour produire l'électricité (indirect)
- *scope 3* : + eau pour produire les équipements (indirect, cas de la slide précédente)

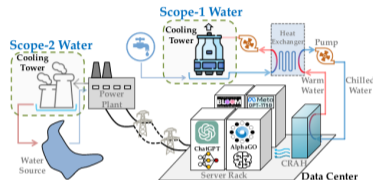


Figure 1: An example of data center's operational water usage: on-site scope-1 water usage for data center cooling (via cooling towers in the example), and off-site scope-2 water usage for electricity generation. The icons for AI models are only for illustration purposes.

De [Li et al., 2025]

➤ Coûts à l'entraînement vs à l'inférence

Entraînement

- ▶ Beaucoup de flou, hypothèses dures à vérifier
- ▶ GPT-3, 175 milliards de paramètres : 1287MWh, 700000L d'eau, 4millions \$ [Patterson et al., 2021]
- ▶ GPT-4, 1800 milliards de paramètres : **ordre de grandeur coût énergétique**³
 - $49 \times 1,18 \approx 58$ GWh d'énergie électrique pour les datacenters à l'entraînement⁴
 - (énergie produite par 1 réacteur nucléaire pendant 3j)

3. <https://medium.com/data-science/the-carbon-footprint-of-gpt-4-d6c676eb21ae>

4. Voir les calculs

➤ Coûts à l'entraînement vs à l'inférence

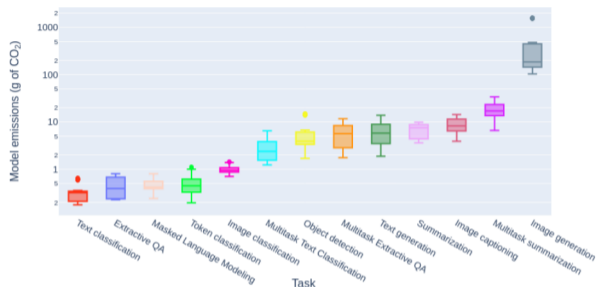
Inférence

- ▶ Beaucoup d'estimations et des hypothèses difficiles à vérifier
- ▶ Le coût croît avec la complexité de la tâche
- ▶ Le nombre d'inférences (2,5 milliards / jour sur ChatGPT) est tel que **les inférences dans l'IAg n'ont plus le coût négligeable qu'elles avaient souvent dans l'IA task-specific**
 - ▶ En terme de coût \$, on peut s'attendre à ce que ça soit 50-50 entre entraînement et inference [EPRI and epoch.ai, 2025]
 - ▶ En terme de puissance de calcul on trouve souvent que 80 à 90% de la ressource en calcul des datacenters est pour l'inférence [Luccioni et al., 2024]





Coûts différents selon modèles / applications

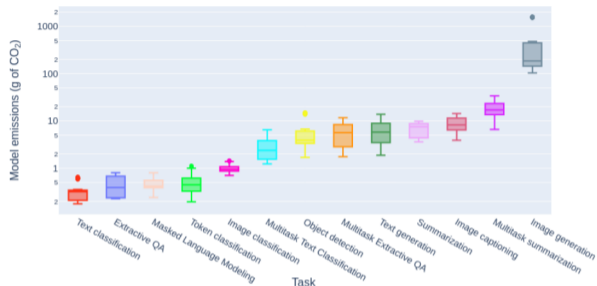


gCO₂e pour 1000 inférences [Luccioni et al., 2024]

3. <https://www.technologyreview.com/2025/05/20/1116327/ai-energy-usage-climate-footprint-big-tech/>



Coûts différents selon modèles / applications



gCO₂e pour 1000 inférences [Luccioni et al., 2024]



Text-to-video ?

→ 30× plus coûteux en énergie que text-to-image

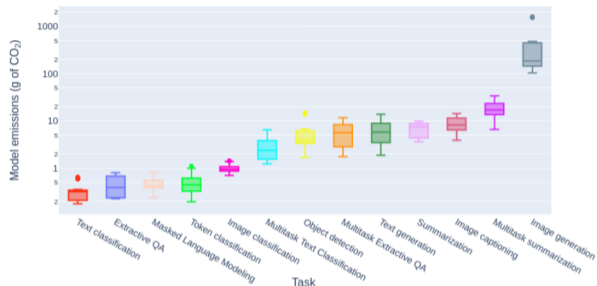
→ 45000× plus coûteux en énergie que de la classification de texte

[Delavande et al., 2025]

3. <https://www.technologyreview.com/2025/05/20/1116327/ai-energy-usage-climate-footprint-big-tech/>



Coûts différents selon modèles / applications



gCO₂e pour 1000 inférences [Luccioni et al., 2024]



Text-to-video ?

→ 30× plus coûteux en énergie que text-to-image

→ 45000× plus coûteux en énergie que de la classification de texte

[Delavande et al., 2025]

IA agentique ? ! ? ! ³

3. <https://www.technologyreview.com/2025/05/20/1116327/ai-energy-usage-climate-footprint-big-tech/>

➤ Analyse de cycle de vie

- ▶ Les coûts à *la requête* précédents sont issus d'**Analyses de Cycles de Vie**
 - Définir une unité fonctionnelle (ex : UF = *Générer une page de 400 tokens*)
 - ACV va s'intéresser à combien **de ressources / d'impacts** pour produire l'UF
- ▶ Exemples de ressources : énergie, eau, ressources abiotiques (minerais, ...), etc.
- ▶ Exemples d'impacts : potentiel changement climatique, destruction couche d'ozone, etc.



➤ Analyse de cycle de vie

Un exemple d'ACV [ADEME and ARCEP, 2025]

UF = *Utiliser les équipements et systèmes basés en France liés aux équipements et infrastructures numériques sur un an.*

	Epuisement des ressources abiotiques - kg	Epuisement des ressources abiotiques - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ
TIER 1 – Fabrication, Distribution, Fin de vie	85,7%	17,0%	41,5%	50,7%	42,1%	18,3%	25,3%	44,2%	54,6%	16,1%
TIER 1 - Utilisation	0,1%	37,9%	6,7%	2,9%	7,5%	45,9%	27,7%	6,7%	4,6%	38,6%
TIER 2 – Fabrication, Distribution, Fin de vie	5,6%	1,4%	2,5%	2,9%	1,8%	1,9%	2,0%	3,1%	4,4%	1,5%
TIER 2 - Utilisation	0,1%	7,9%	1,6%	1,1%	2,0%	9,4%	6,0%	2,1%	0,9%	8,0%
TIER 3 – Fabrication, Distribution, Fin de vie	8,4%	7,3%	14,9%	15,8%	16,5%	4,3%	9,7%	14,6%	15,5%	7,2%
TIER 3 - Utilisation	0,1%	28,5%	32,8%	26,6%	30,3%	20,3%	29,4%	29,4%	20,0%	28,6%

Tableau 11 – Décomposition des impacts par phase du cycle de vie

TIER 1=Terminaux / TIER 2=Réseaux / TIER 3=Datacenters

- ▶ Tout l'épuisement en ress. abiotiques = fabrication (col 1)
- ▶ En contribution CC, fabrication des terminaux \geq utilisation des terminaux (utilisation en Fr.) (col 5)
- ▶ En contribution CC, utilisation des datacenters \geq fabrication des datacenters (utilisation en Fr.) (col 5)

➤ Analyse de cycle de vie

- ▶ Les ACV donnent des ordres de grandeurs (utile !) mais :
 - ▶ Elle reposent sur des hypothèses (systèmes étudiés complexes et/ou opaques)
 - ▶ Souvent problème de clarté de l'UF → ACV non comparables⁴
 - ▶ Difficulté d'inclure les effets rebonds dans les ACV (système fermé)
 - ▶ Les sorties sont des chiffres abstraits et souvent petits, **ils cachent la réalité des infrastructures** :
 - 1 Gemini prompt = 9 sec of TV (in terms of energy)⁵*
 - 1 Gemini prompt = 5 waterdrops (in terms of water)⁶*

4. <https://theconversation.com/lia-generative-est-elle-soutenable-le-vrai-cout-ecologique-dun-prompt-269432>

5. <https://medium.com/@dnafus/>

[why-saying-ai-uses-the-energy-of-nine-seconds-of-television-is-like-spraying-dispersant-over-an-f0d0cfd67d68](https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2025-environmental-report.pdf) : TLDR : the smaller the number, the more you should be worried

6. <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2025-environmental-report.pdf> In 2024, we consumed a total of approximately 8.1 billion gallons (31 billion liters or 31 million cubic meters) of water across our data centers

Impacts environnementaux à la fabrication

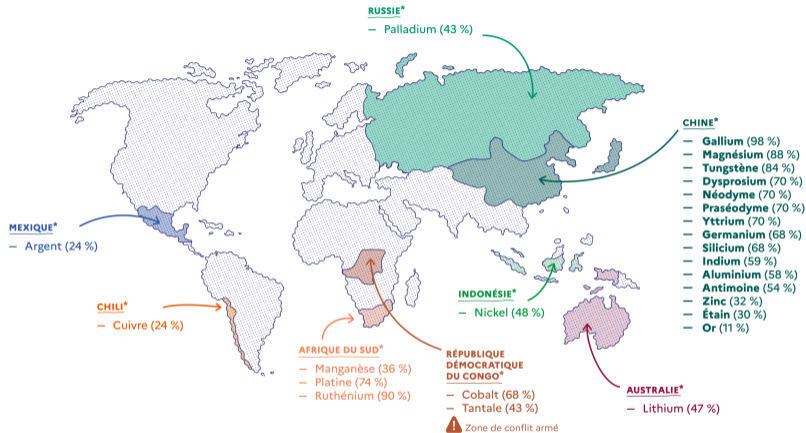


➤ Impacts environnementaux à la fabrication

- ▶ Les procédés de fabrication des composants du numérique sont à nouveau source d'une grande consommation [[ADEME, 2024](#)] :
 - ▶ d'énergie
 - ▶ d'espaces naturels (déforestation, destruction de terres agricoles, etc.)
 - ▶ d'eau
 - ▶ de ressources abiotiques
- ▶ Grande opacité des industries minière et du semi-conducteur [[Luccioni et al., 2025](#)]
- ▶ Pollutions et conflits dans les zones minières [[Crawford, 2021](#)]



Impacts environnementaux à la fabrication



Co-métal : métal récupéré dans le minerai où se trouve en majorité un autre métal, celui pour lequel on a ouvert la mine. [ADEME, 2024]



Impacts environnementaux à la fabrication

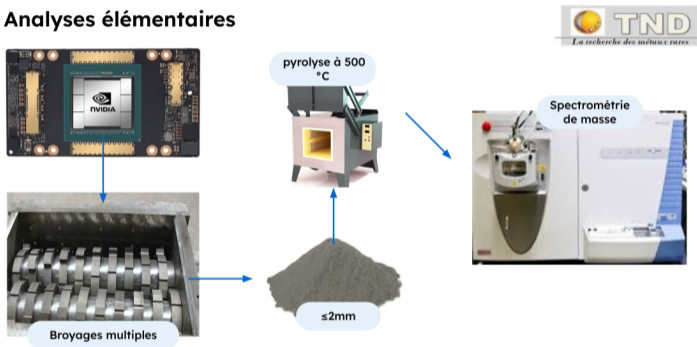


Rampura Agucha (India), the largest zinc mine in the world by volume (2018), <https://www.mining.com/top-ten-zinc-producing-mines-world/>

➤ Destruction d'une NVIDIA GPU A100

Besoin en matière premières : exemple de NVIDIA GPU A100

Analyses élémentaires



Sources : David Ekchajzer (Présentation IA2, 2025) et [Falk et al., 2025]

➤ Destruction d'une NVIDIA GPU A100

Besoin en matières premières : exemple de NVIDIA GPU A100

Elemental Composition of Nvidia A100 SXM GPU

1 H Hydrogen																	2 He Helium				
3 Li Lithium	4 Be Beryllium															5 B Boron	6 C Carbon	7 N Nitrogen	8 O Oxygen	9 F Fluorine	10 Ne Neon
11 Na Sodium	12 Mg Magnesium															13 Al Aluminum	14 Si Silicon	15 P Phosphorus	16 S Sulfur	17 Cl Chlorine	18 Ar Argon
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titanium	23 V Vanadium	24 Cr Chromium	25 Mn Manganese	26 Fe Iron	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Copper	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Selenium	35 Br Bromine	36 Kr Krypton				
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdenum	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silver	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Tin	51 Sb Antimony	52 Te Tellurium	53 I Iodine	54 Xe Xenon				
55 Cs Cesium	56 Ba Barium	57 La Lanthanum	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantalum	74 W Tungsten	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platinum	79 Au Gold	80 Hg Mercury	81 Tl Thallium	82 Pb Lead	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astatine	86 Rn Radon				
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89 Ac Actinium	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Nh Nihonium	114 Fl Flerovium	115 Mc Moscovium	116 Lv Livermorium	117 Ts Tennessine	118 Og Oganesson				
			58 Ce Cerium	59 Pr Praseodymium	60 Nd Neodymium	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium					
			90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uranium	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium					

Element Weight Percentage in Nvidia A100 SXM GPU

0% 0.001-0.01% 0.01-0.1% 0.1-1% 1-3% 3-10% 10-20% ≥20%

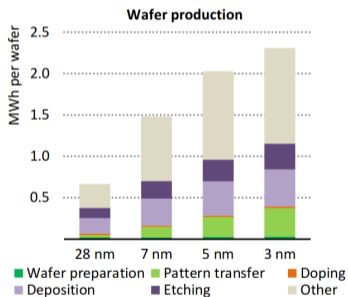
Figure 2. Proportion of elements in the Nvidia A100 SXM 40GB GPU (author illustration).

Sources : David Ekchajzer (Présentation IA2, 2025) et [\[Falk et al., 2025\]](#)

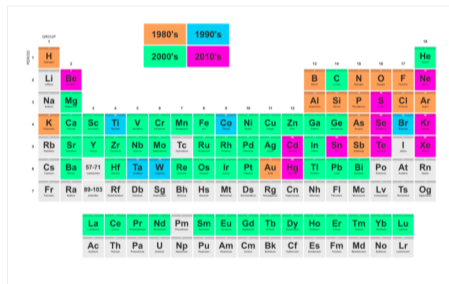
➤ L'industrie du semi-conducteur

→ Réduction de la taille des transistors

→ Augmentation de la pureté et de la diversité des matériaux nécessaires : **besoin en matière premières** et **coût environnemental** (procédés lithographie, substrat semi-conducteurs...)



Source : [IEA, 2025]



† Liste des éléments mobilisés par l'industrie électronique des années 80 aux années 2010. Credit: Grabel and Allery, TSMC. Reproduction et adaptation par Gauthier Roussille

≈ 85% de tous les éléments non radioactifs sont ou ont été nécessaires [Roussille et al., 2025]

Impacts environnementaux en fin de vie



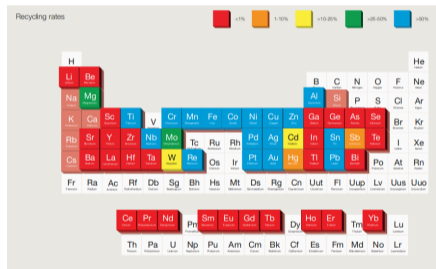
➤ Impacts environnementaux en fin de vie

- ▶ **Des déchets (cause de pollution et toxicité)** sont présents à **chaque phase** de la vie d'un équipement électronique (extraction, design, fabrication, ...) ⁷

7. Josh Lepawski, *Reassembling Rubbish : Worliding Electronic Waste*, MIT Press, 2018

➤ Impacts environnementaux en fin de vie

- ▶ **Des déchets (cause de pollution et toxicité)** sont présents à **chaque phase** de la vie d'un équipement électronique (extraction, design, fabrication, ...) ⁷



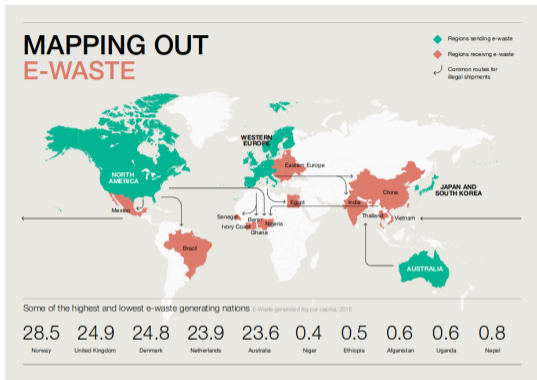
Source : [PACE, 2019]

- ▶ Le recyclage des métaux issus des DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques) est encore très limité et ne cible que les métaux les plus chers [ADEME, 2024]
- ▶ Si le processus de recyclage existe, il peut être très coûteux (eau, énergie, ...)

7. Josh Lepawski, *Reassembling Rubbish : Worliding Electronic Waste*, MIT Press, 2018



Impacts environnementaux en fin de vie



- Les déchets qui échappent à la filière légale (25% en 2019) sont souvent exportés illégalement sans certitude sur le recyclage [Sofies, 2021]

Source: Lewis 2011, The Global E-waste Statistics Partnership, 2018

- Avec l'IA : forte hausse des DEEE attendue (+ 1,2 million à + 5 millions tonnes supplémentaires d'ici à 2030 [Luccioni et al., 2025])
(Durée de vie GPU : 3 à 5 ans [Valdivia, 2025])



INRAE

Impacts environnementaux du numérique
13 février 2026 / Hugo Gangloff

Artificialisation des sols

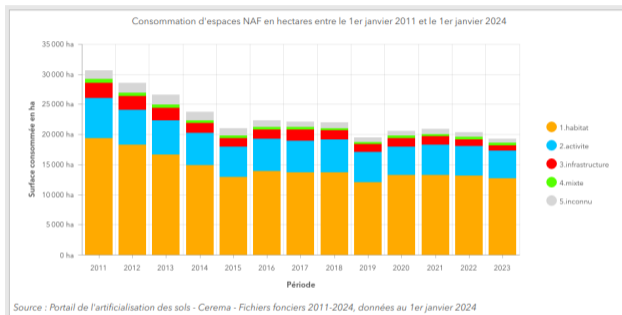


Artificialisation des sols

Surface consommée 1er janvier 2011-1er janvier 2024

297 236,7 ha

≈ 1/2 département
français [CEREMA, 2025]



➤ Artificialisation des sols

- ▶ Les datacenters font peser un risque d'augmentation de l'artificialisation des sols⁷
- ▶ Pour l'instant, implantation privilégiée sur d'anciennes friches industrielles pour les nouveaux gros projets de type *hyperscale* [Comité IA, 2025]
- ▶ En milieu urbain : pollution air, bruit, îlots de chaleur, risque d'incendie etc. [Diguët et al., 2019]

7. mesurée en Espaces Naturels, Agricoles et Forestiers consommés

➤ Artificialisation des sols

- ▶ Sommet de l'IA 2025 : 35 projets annoncés pour 1200ha [Comité IA, 2025]
- ▶ Ces nouveaux datacenters sont souvent contestés vivement (localement) ⁷

→ toute l'économie numérique va être boostée

→ entrepôts logistiques, centrales production et acheminement énergie, etc.



Source : www.aboutamazon.fr, *Amazon poursuit le développement de son réseau logistique en France, 2025*

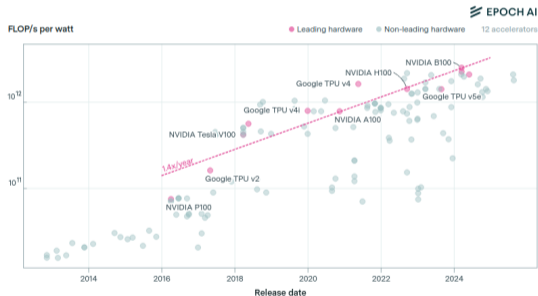
7. <https://nondatacenterboucblair.fr/>, <https://www.alterpresse68.info/2025/07/02/a-petit-landau-pres-de-mulhouse-un-projet-de-data-center-qui-rapporte-du-ble-mais-parait-indigeste-a-beaucoup/>, <https://www.concertation-campus-ia.fr/fr/actualites/publication-du-bilan-de-la-concertation>

Impact indirect à l'usage : effet rebond



➤ Effet rebond

- ▶ Historiquement (~ 2010 s) on a cru à un découplage possible entre capacités de calculs et consommation d'énergie [The Shift Project, 2025]
- ▶ Les gains d'efficacité sont réels [Morand et al., 2025a]



➤ Effet rebond

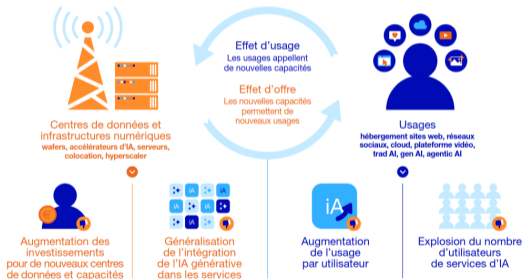
- ▶ Mais en valeur absolue la consommation explose → **Effet rebond**
- ▶ Et la demande et l'offre ne cessent d'augmenter, c'est d'ailleurs le modèle actuel de l'IA :

Genuinely climate-aligned AI strategies might require business models that do not hinge on perpetual growth, in order to ensure that increased AI efficiency does not simply spur more consumption.

[Luccioni et al., 2025]

▶ [The Shift Project, 2025] :

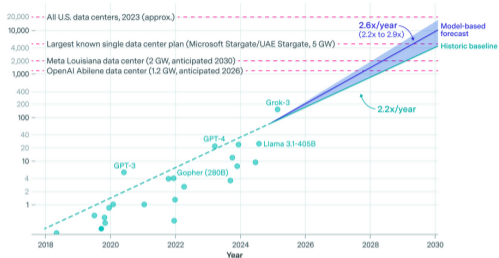
L'insoutenable croissance de l'offre et des usages



Effet rebond

Projected power growth for frontier AI training

Power (MW)

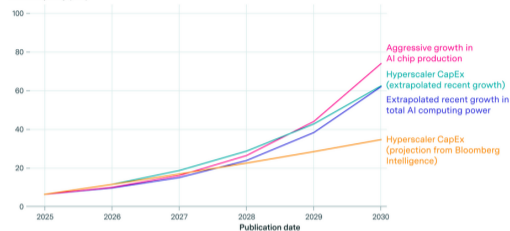


CC-BY

epoch.ai

Forecasted total capacity of U.S. AI data centers

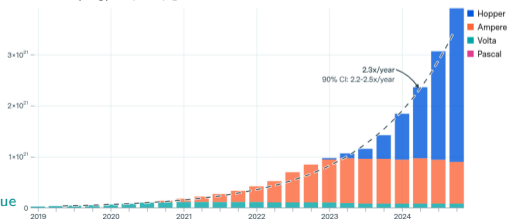
Power capacity (GW)



CC-BY

epoch.ai

Total installed computing power (FLOP/s) ①



INRAE

Impacts environnementaux du numérique

13 février 2026 / Hugo Gangloff

1. État des lieux de l'IA
2. (Promesses d') Impacts environnementaux positifs
3. Datacenters et GPUs
4. Impacts environnementaux négatifs
 - Retour à l'énergie
 - Impacts environnementaux à l'usage
 - Impacts environnementaux à la fabrication
 - Impacts environnementaux en fin de vie
 - Artificialisation des sols
 - Impact indirect à l'usage : effet rebond
5. Conclusion

Conclusion

- ▶ On a révélé la **matérialité du numérique** et ses impacts sur des domaines clés : énergie, eau, ressources abiotiques
- ▶ **L'IA et surtout l'IA générative** amplifient les impacts du numérique
- ▶ **Les datacenters et les GPUs** sont les éléments clés de cette vague



Conclusion

- ▶ Nous n'avons pas abordé les **nombreux impacts sociaux et éthiques** du numérique et de l'IA ([voir une petite liste](#))
- ▶ La **dynamique de croissance** du secteur semble totalement **insoutenable** :
 - conflits avec les dynamiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique (décarbonation, ...)
 - conflits d'usage de l'eau, des sols, de l'énergie, ...
- ▶ Infléchir les trajectoires, si on le souhaite, implique des **choix de société et une vision systémique**



References I



ADEME (2024).

Etude numérique et métaux.

<https://librairie.ademe.fr/economie-circulaire-et-dechets/7713-etude-numerique-et-metaux.html>.



ADEME and ARCEP (2025).

Impacts environnementaux du numérique.

[https:](https://librairie.ademe.fr/changement-climatique/7880-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france.html)

[//librairie.ademe.fr/changement-climatique/7880-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france.html](https://librairie.ademe.fr/changement-climatique/7880-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france.html).



AFNOR (2024).

Référentiel général pour l'ia frugale.

<https://www.afnor.org/actualites/intelligence-artificielle/referentiel-reduire-impact-environnemental-ia/>.



Alexandre, F., Amgoud, L., Bessiere, C., Bonnefon, J.-F., Cazenave, T., Chatila, R., Cornuejols, A., Cuppens, F., Destercke, S., Daille, B., et al. (2020).

L'intelligence Artificielle : De quoi s'agit-il vraiment ?

Cépaduès.



CEREMA (2025).

Analyse de la consommation d'espaces naturels agricoles et forestiers entre 2011 et 2024.

<https://artificialisation.developpement-durable.gouv.fr/comprendre-et-sensibiliser/bibliographie/analyse-la-consommation-despaces-naturels-agricoles-et-forestiers-entre-2011-et-2024>.

References II



Cezard, F. and Mourad, M. (2019).

Panorama sur la notion de sobriété.

<https://librairie.ademe.fr/economie-circulaire-et-dechets/489-panorama-sur-la-notion-de-sobriete.html>.



Chatterji, A., Cunningham, T., Deming, D. J., Hitzig, Z., Ong, C., Shan, C. Y., and Wadman, K. (2025).

How people use chatgpt.



Comité IA (2025).

Faire de la france une puissance de l'ia.

<https://www.info.gouv.fr/dossier-de-presse/faire-de-la-france-une-puissance-de-lia>.



Crawford, K. (2021).

The atlas of AI : Power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence.

Yale University Press.



Delavande, J., Pierrard, R., and Luccioni, S. (2025).

Video killed the energy budget : Characterizing the latency and power regimes of open text-to-video models.

arXiv preprint arXiv :2509.19222.



Diguet, C., Lopez, F., and Lefèvre, L. (2019).

L'impact spatial et énergétique des data centers sur les territoires.

PhD thesis, ADEME, Direction Villes et territoires durables.

References III



EPRI and epoch.ai (2025).

Scaling intelligence : The exponential growth of ai's power needs.

<https://www.epri.com/research/products/000000003002033669>.



Falk, S., Ekchajzer, D., Pirson, T., Lees-Perasso, E., Wattiez, A., Biber-Freudenberger, L., Luccioni, S., and van Wynsberghe, A. (2025).

More than carbon : Cradle-to-grave environmental impacts of genai training on the nvidia a100 gpu.

arXiv preprint arXiv :2509.00093.



Horner, N. C., Shehabi, A., and Azevedo, I. L. (2016).

Known unknowns : indirect energy effects of information and communication technology.

Environmental Research Letters, 11(10) :103001.



IEA (2025).

Energy and ai.

<https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>.



Jay, M., Ostapenko, V., Lefèvre, L., Trystram, D., Orgerie, A.-C., and Fichel, B. (2023).

An experimental comparison of software-based power meters : focus on cpu and gpu.

In *2023 IEEE/ACM 23rd International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing (CCGrid)*, pages 106–118. IEEE.



Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F., and Rolnick, D. (2022).

Aligning artificial intelligence with climate change mitigation.

Nature Climate Change, 12(6) :518–527.

References IV



Li, P., Yang, J., Islam, M. A., and Ren, S. (2025).
Making ai less' thirsty'.
Communications of the ACM, 68(7) :54–61.



Luccioni, A. S., Strubell, E., and Crawford, K. (2025).
From efficiency gains to rebound effects : The problem of jevons' paradox in ai's polarized environmental debate.
In *Proceedings of the 2025 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, pages 76–88.



Luccioni, A. S., Viguiier, S., and Ligozat, A.-L. (2023).
Estimating the carbon footprint of bloom, a 176b parameter language model.
Journal of machine learning research, 24(253) :1–15.



Luccioni, S., Jernite, Y., and Strubell, E. (2024).
Power hungry processing : Watts driving the cost of ai deployment ?
In *Proceedings of the 2024 ACM conference on fairness, accountability, and transparency*, pages 85–99.



Morand, C., Ligozat, A.-L., and Névéal, A. (2025a).
Does efficiency lead to green machine learning model training ? analyzing historical trends in impacts from hardware, algorithmic and carbon optimizations.



Morand, C., Ligozat, A.-L., and Névéal, A. (2025b).
The environmental impacts of machine learning training keep rising evidencing rebound effect.
arXiv preprint arXiv :2510.09022.

References V



PACE (2019).

A new circular vision for electronics.

https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf.



Patterson, D., Gonzalez, J., Le, Q., Liang, C., Munguia, L.-M., Rothchild, D., So, D., Texier, M., and Dean, J. (2021).

Carbon emissions and large neural network training.

arXiv preprint arXiv :2104.10350.



Rasoldier, A., Combaz, J., Girault, A., Marquet, K., and Quinton, S. (2022).

How realistic are claims about the benefits of using digital technologies for ghg emissions mitigation ?

In *LIMITS 2022-Eighth Workshop on Computing within Limits*.



Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., Ross, A. S., Milojevic-Dupont, N., Jaques, N.,

Waldman-Brown, A., et al. (2022).

Tackling climate change with machine learning.

ACM Computing Surveys (CSUR), 55(2) :1–96.



Roussilhe, G., Pirson, T., Bol, D., and Mitra, S. (2025).

Purer than pure : how purity reshapes the upstream materiality of the semiconductor industry.

arXiv preprint arXiv :2509.18768.



Schwartz, R., Dodge, J., Smith, N. A., and Etzioni, O. (2020).

Green ai.

Communications of the ACM, 63(12) :54–63.

References VI



Semedo, A., Institut, G., and informatique des grandes entreprises françaises, C. (2024).

Ai for green and green ai.

https://documentation.insp.gouv.fr/insp/doc/SYRACUSE/496670/ai-for-green-and-green-ai-rapport-redige-par-ana-semedo-institut-g9-numeum-l-institut-g9-le-cigref-p?_lg=fr-FR.



Sofies (2021).

Synthèse des études sur le gisement de deee ménagers et professionnels.

<https://www.ecologic-france.com/images/medias/document/26599/050522-SynthseEtude-gisement-DEEE.pdf>.



The Shift Project (2025).

Intelligence artificielle, données, calculs : quelles infrastructures dans un monde décarboné ?

<https://theshiftproject.org/publications/intelligence-artificielle-centres-de-donnees-rapport-final/>.



Valdivia, A. (2025).

The supply chain capitalism of ai : A call to (re) think algorithmic harms and resistance through environmental lens.

Information, Communication & Society, 28(12) :2118–2134.



Varoquaux, G., Luccioni, S., and Whittaker, M. (2025).

Hype, sustainability, and the price of the bigger-is-better paradigm in ai.

In Proceedings of the 2025 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, pages 61–75.

➤ Énergie produite par le parc éolien

- ▶ Aujourd'hui, parc éolien français $\approx 25\text{ GW}$
- ▶ Facteur de charge de l'éolien $\approx 22\%$
- ▶ → Puissance réelle du parc éolien $25 * 22\% \approx 5.56\text{ GW}$
- ▶ → Énergie produite par le parc éolien pendant un an $\approx 5.56 * 24 * 365 \approx 50\text{ TWh}$

➤ Énergie produite par un réacteur nucléaire

- ▶ Puissance moyenne d'un réacteur nucléaire $\approx 1\text{GW}$
- ▶ Facteur de charge : 80%
- ▶ Puissance réelle d'un réacteur 0.8GW
- ▶ Énergie produite en un an par un réacteur $0.8 * 365 * 24 \approx 7\text{TWh}$

➤ Estimation pour GPT-4

- ▶ Fuite d'info : 25000 Nvidia A100 pour 100 jours (voir article)
- ▶ Imaginons que les puces étaient rangées par 8 dans des serveurs Nvidia DGX A100 (TDP = 6500kW) → 3125 serveurs
- ▶ Énergie consommée par les serveurs = $6500 * 100 * 24 * 3125 \approx 49\text{GWh}$
- ▶ PUE=1,18 (datacenters Microsoft Azure utilisés à l'entraînement)
- ▶ → $49 * 1,18 \approx 58\text{GWh}$ d'énergie électrique pour les datacenters à l'entraînement
- ▶ (énergie produite par 1 réacteur nucléaire pendant $58 / 0,8 = 72\text{h} = 3\text{j}$)



➤ Impacts sociaux et éthiques

- ▶ travailleurs du clic
- ▶ perte de compétences
- ▶ destructions d'emplois
- ▶ souveraineté numérique
- ▶ désinformation
- ▶ déshumanisation de la société
- ▶ bulle financière et spéculative
- ▶ déresponsabilisation
- ▶ santé mentale
- ▶ utilisation des données (entraînement / utilisateurs)
- ▶ etc.

