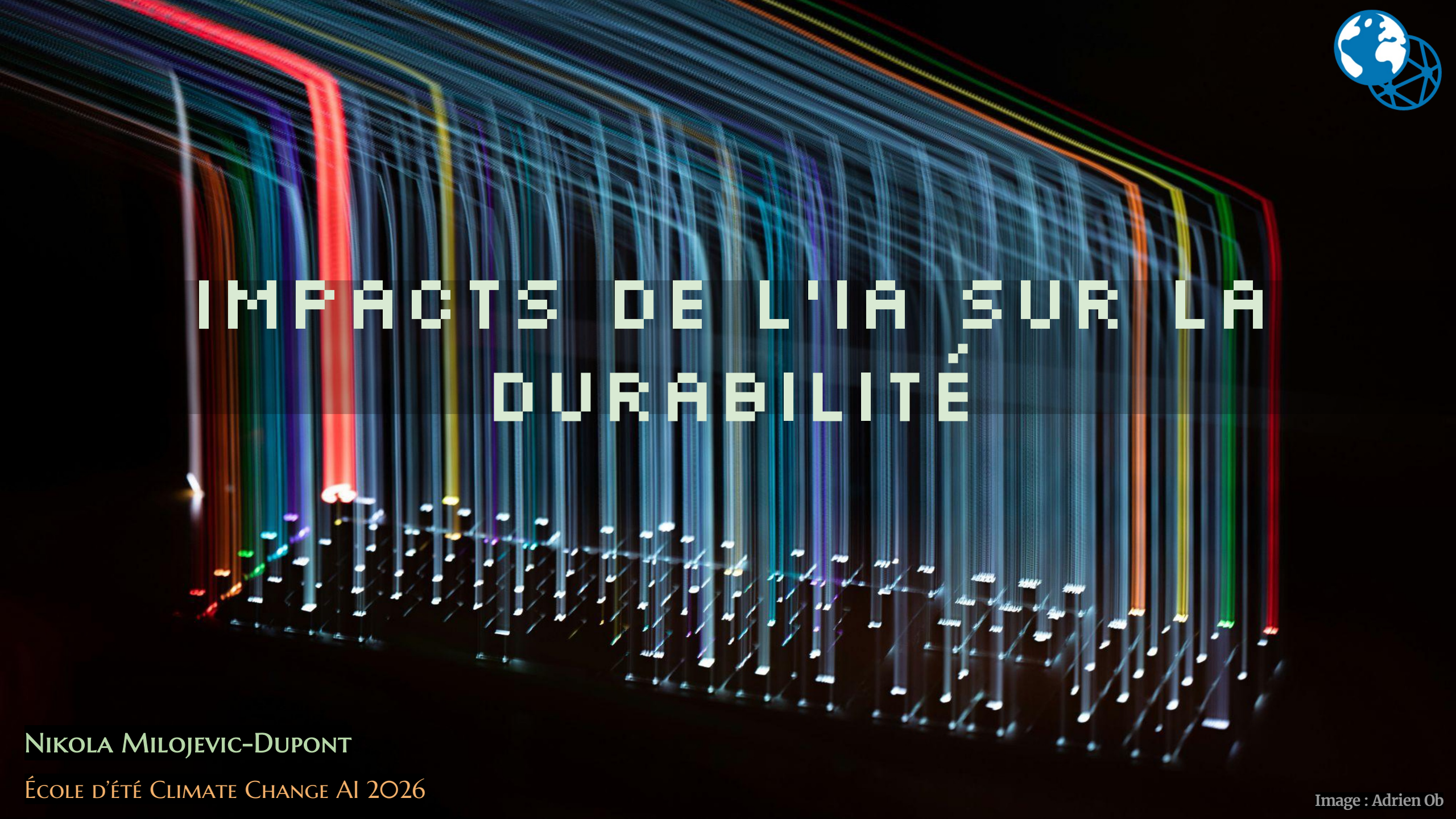


IMPACTS DE L'IA SUR LA DURABILITÉ

Nikola Milojevic-Dupont

École d'été Climate Change AI 2026

Image : Adrien Ob

Remerciements

Merci à Priya Donti et Shaolei Ren pour leurs contributions et leurs retours sur ce cours, et à Lynn Kaack pour les supports antérieurs repris ici !

Rappel : une relation à multiples facettes entre AA et climat

Impacts du calcul et du matériel de l'AA

Applications de l'AA pour l'atténuation du changement climatique

Applications de l'AA qui augmentent les émissions

Impacts systémiques de l'AA

Sondage n° 1

Laquelle des quatre catégories d'impact pourrait, selon vous, avoir actuellement l'impact le plus important sur le climat ?

- **Impacts du calcul et du matériel de l'AA**
- **Applications de l'AA pour l'atténuation du changement climatique**
- **Applications de l'AA qui augmentent les émissions**
- **Impacts systémiques de l'AA**

Analyse du cycle de vie

Toute la chaîne de valeur, du **berceau** (extraction des matières premières), en passant par la phase d'utilisation, jusqu'à la **tombe** (élimination)

Évaluer les **multiples** impacts environnementaux

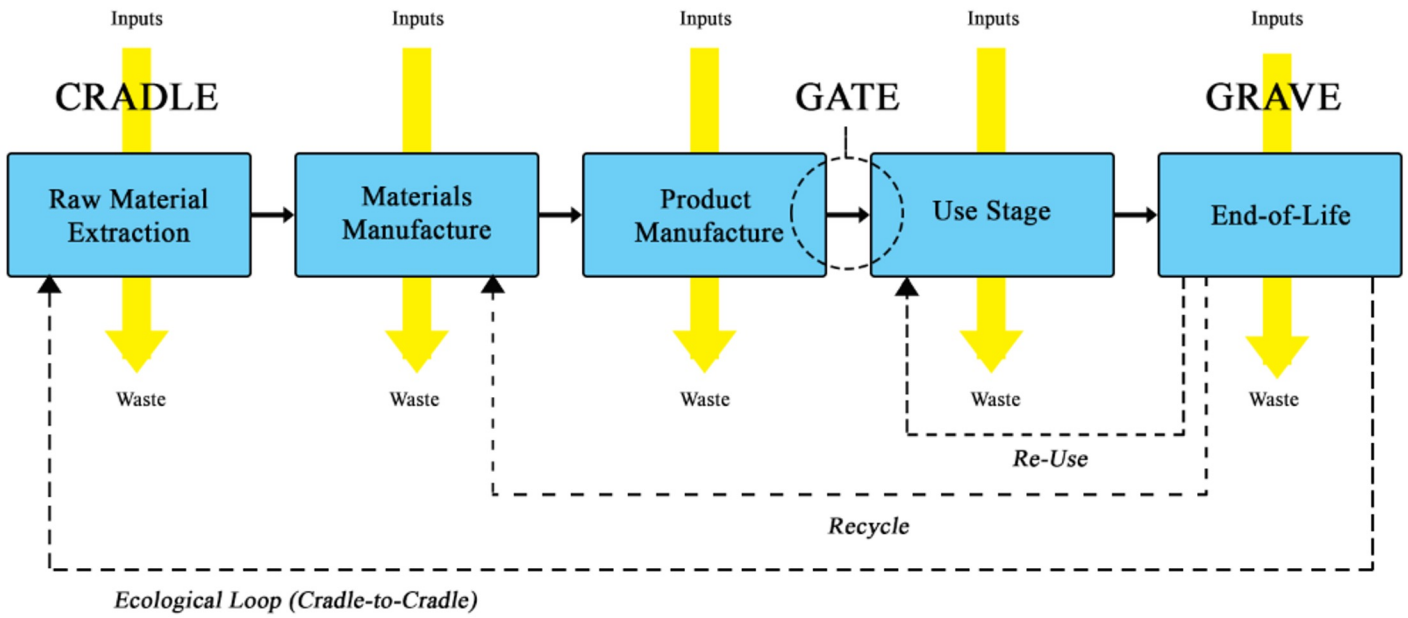


Image : Wikipédia

Analyse d'inventaire : le GHG Protocol

- Cadres normalisés mondiaux pour mesurer les émissions de GES des activités des secteurs privé et public, des chaînes de valeur et des actions d'atténuation
- **Scope 1 :** émissions de l'usage direct de combustibles fossiles, p. ex. pour le chauffage ou les flottes de véhicules
- **Scope 2 :** émissions de l'électricité et de la chaleur achetées
- **Scope 3 :** émissions des chaînes de valeur, clients compris
- Étendu aussi à l'eau

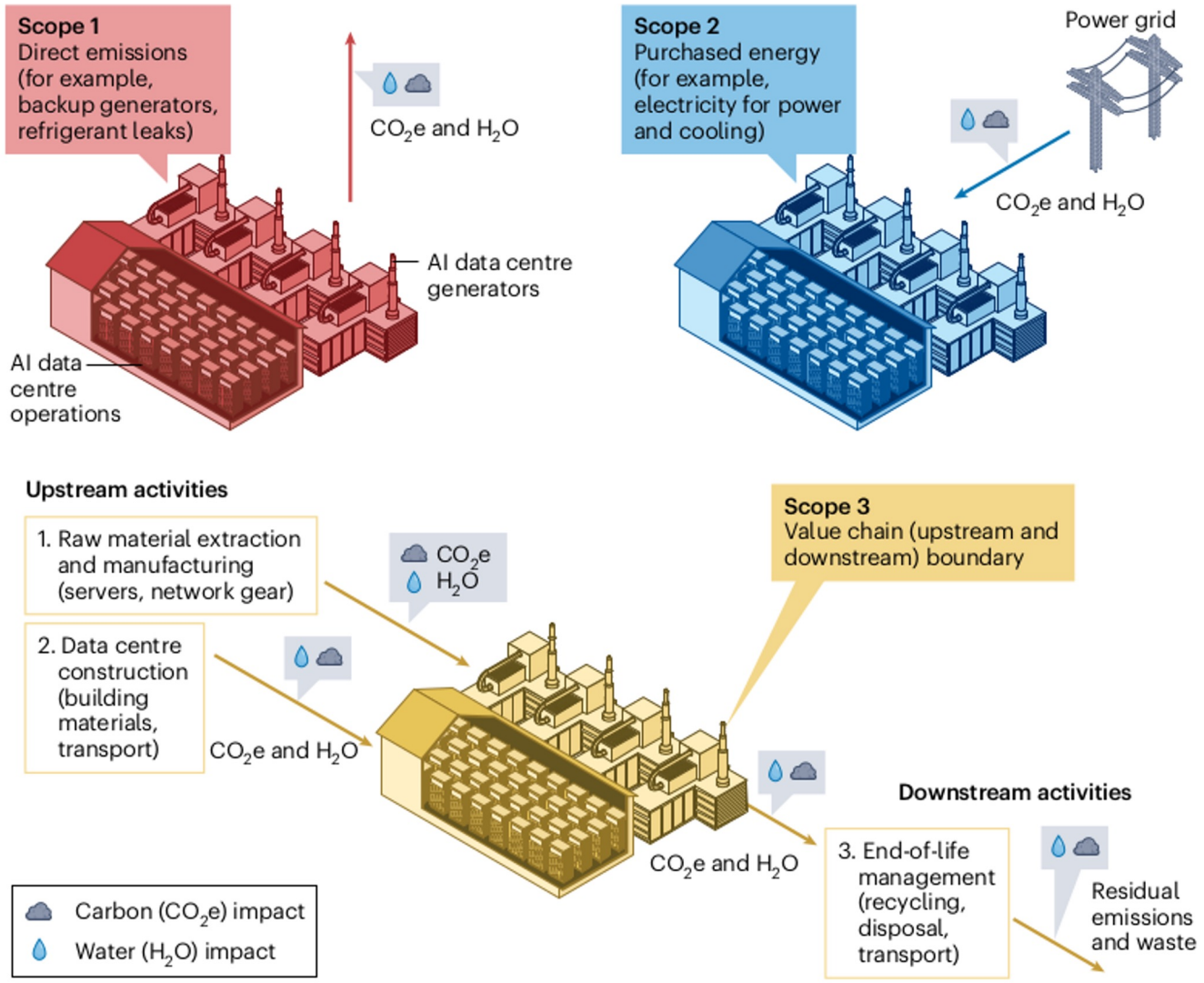
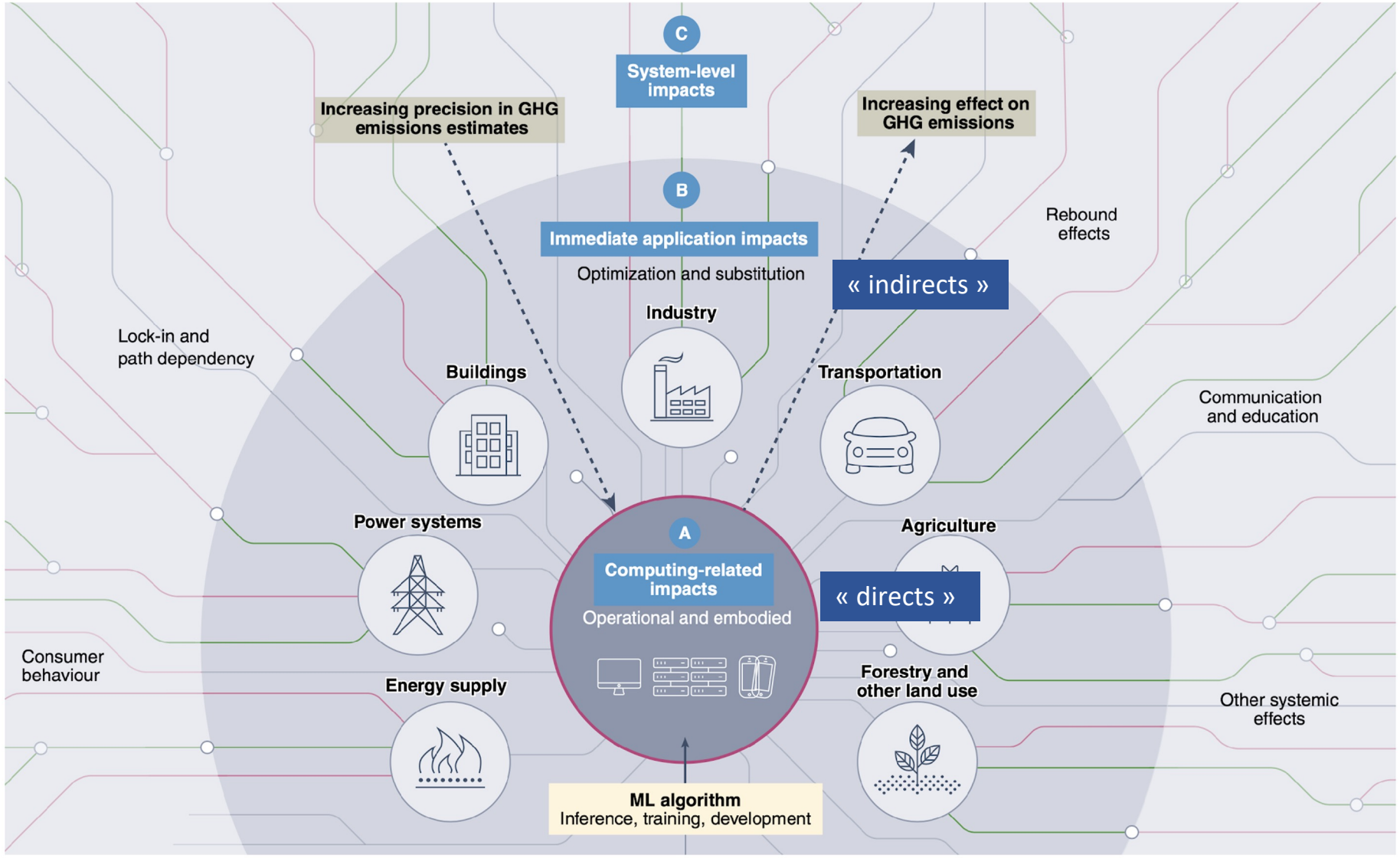


Image : Chien et al, 2026, Nature Reviews Clean Technology

Comment l'IA influe sur les émissions de gaz à effet de serre



Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F., & Rolnick, D. (2022). Nature Climate Change, 1-10.

Plan du cours

Impacts liés au calcul

Impacts des applications

Impacts systémiques

Considérations transversales

Réguler la consommation d’énergie et de ressources de l’IA

Plan du cours

Impacts liés au calcul

Impacts des applications

Impacts systémiques

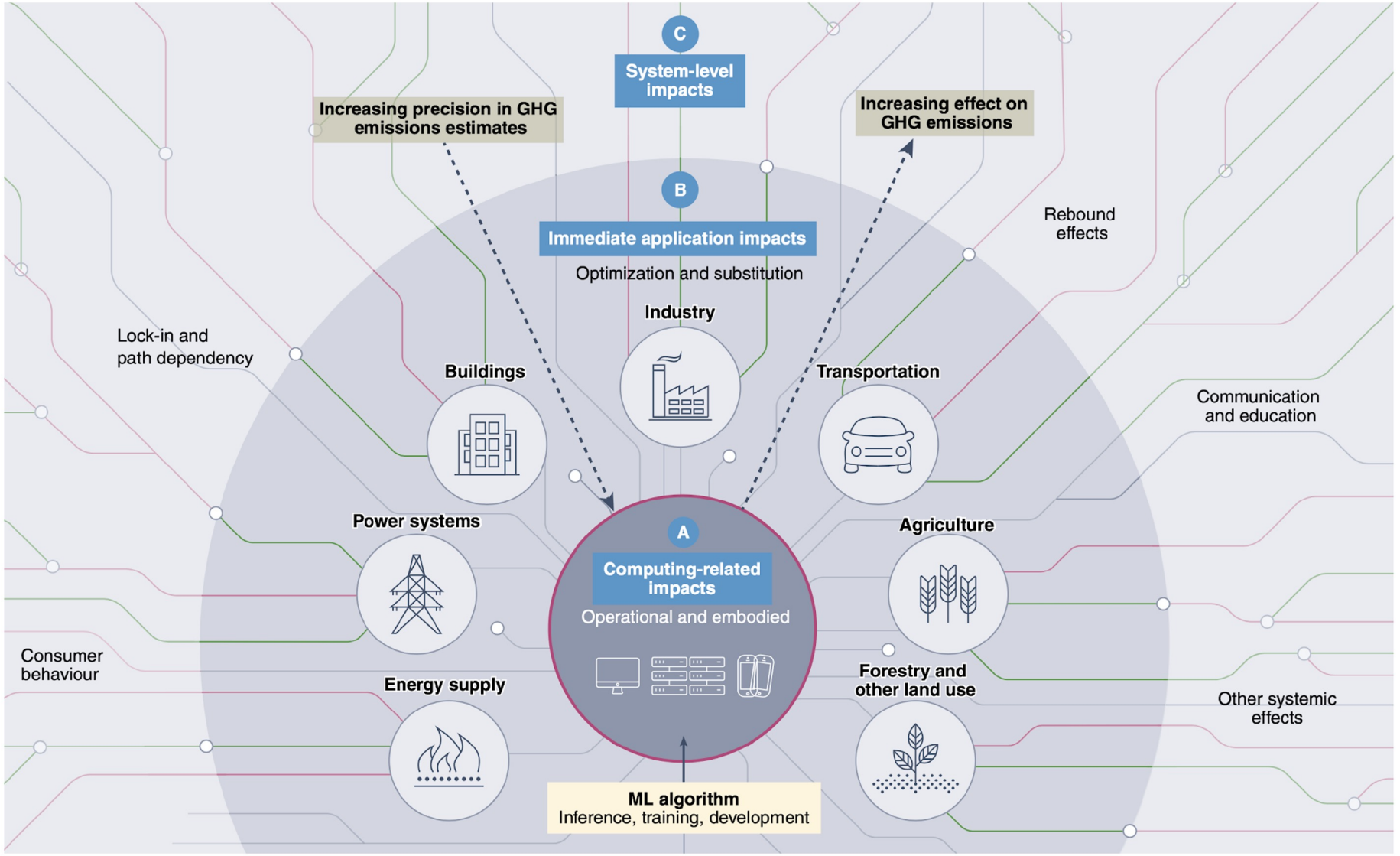
Considérations transversales

Réguler la consommation d'énergie et de ressources de l'IA

Entraînement, inférence

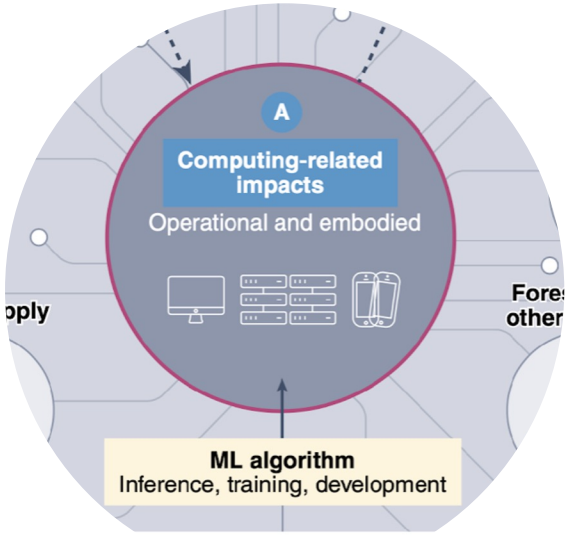
Impacts différenciés selon les tâches et les modèles

Comment l'IA influe sur les émissions de gaz à effet de serre



Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F., & Rolnick, D. (2022). Nature Climate Change, 1-10.

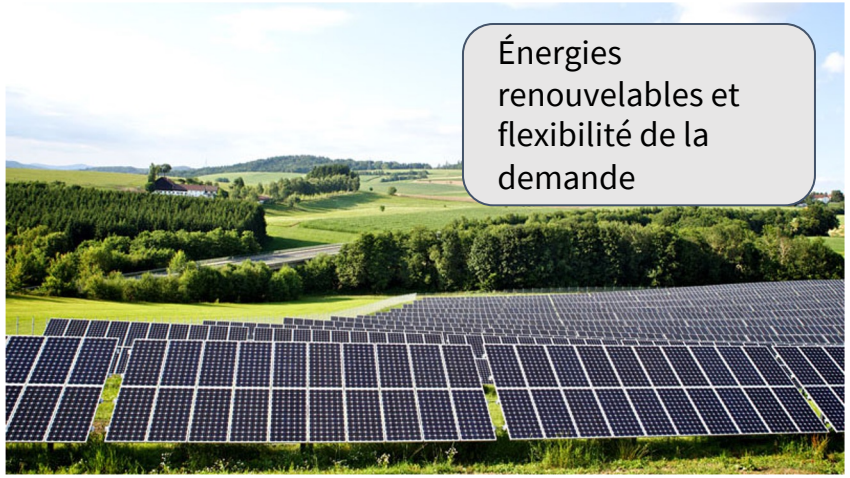
Comment l'IA influe sur les émissions de gaz à effet de serre



Impacts du calcul et du matériel de l'AA

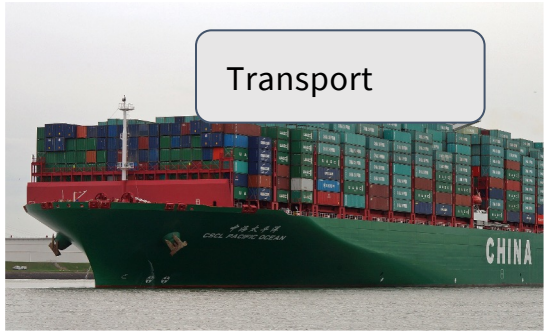
Émissions opérationnelles liées à l'énergie consommée pendant le calcul





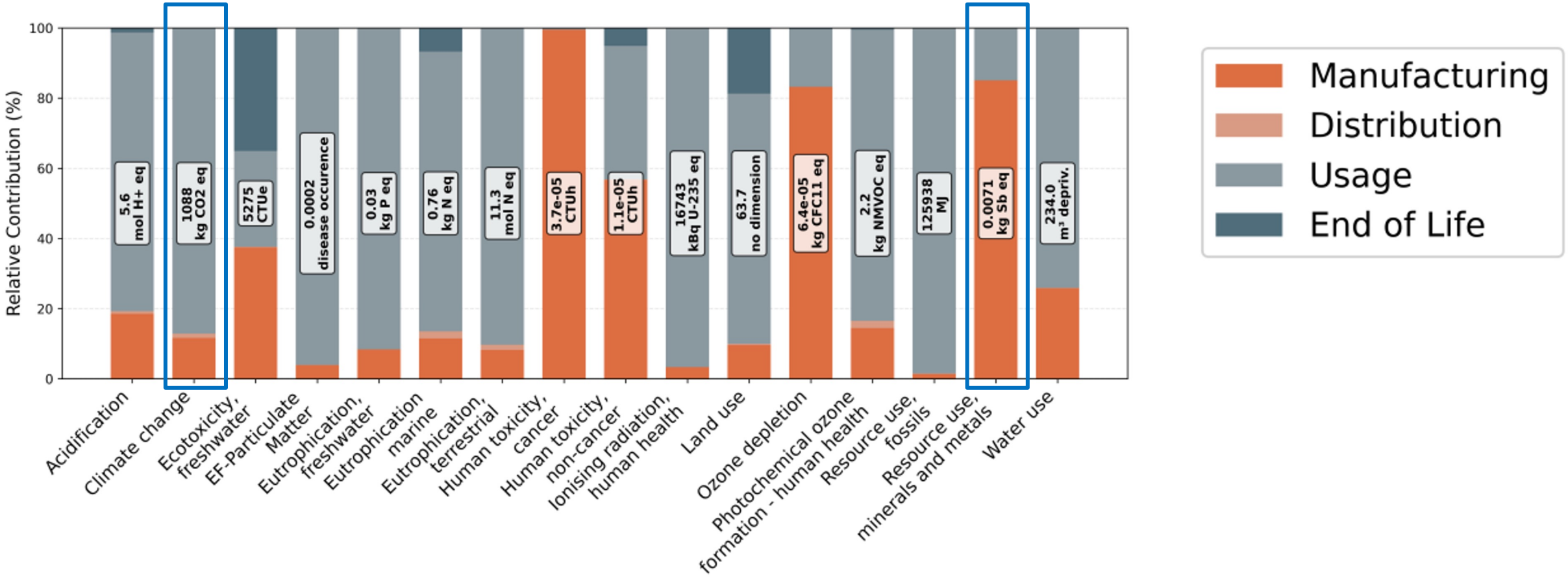
Émissions intrinsèques liées à la production et à la fin de vie du matériel







Impacts d'une carte GPU sur la durabilité

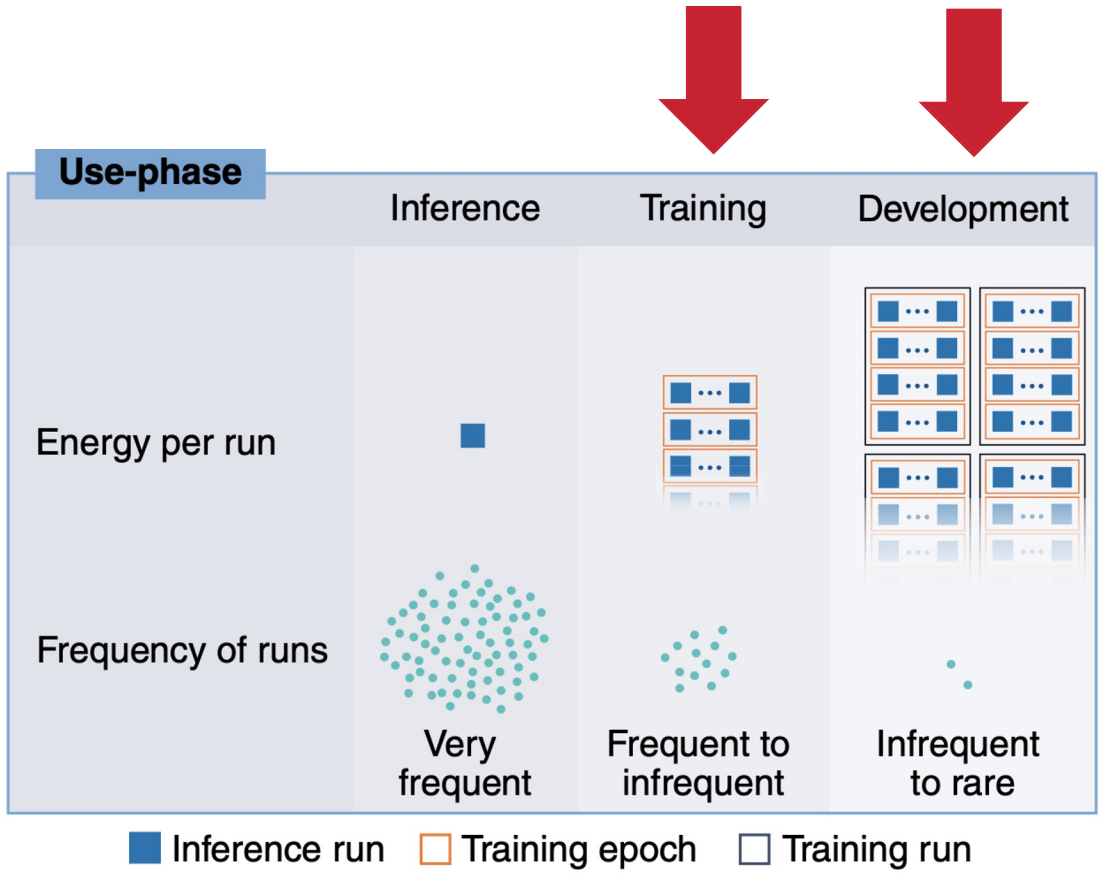


- Émissions opérationnelles >> émissions intrinsèques
- Importance de l'extraction minière

Source : arxiv.org/abs/2509.00093

Émissions de l'AA liées au calcul :

Développement et entraînement



Rappel :

L’IA n’est pas « une seule chose »

Les modèles ont des tailles différentes



La taille du modèle influe sur la demande d'énergie pour l'entraînement

~ 2 jours de consommation électrique de Berlin

Parameters and electricity consumption evaluations for several leading LLMs.

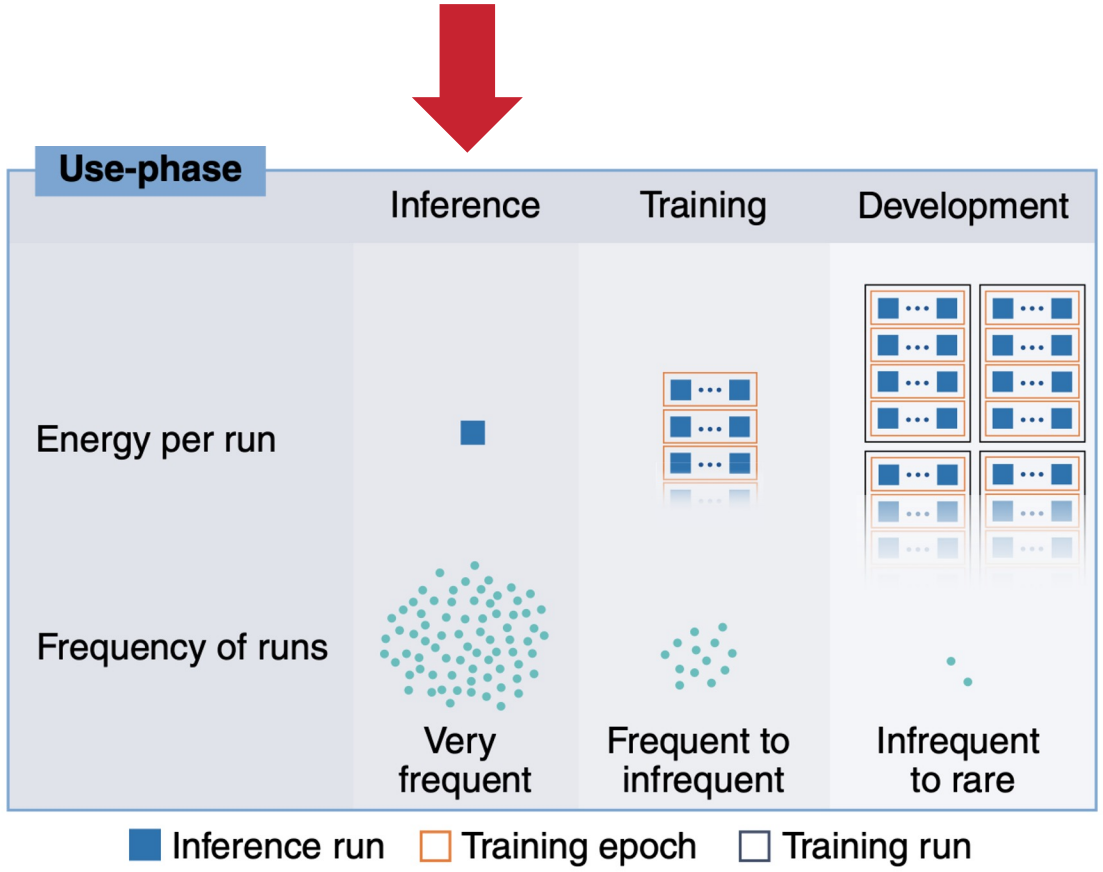
Developer	Model	Released year	Number of parameters (billion)	Accelerator type	Electricity consumption (MWh)	CO_2 emissions (ton)	Literature
Google	BERT	2018	0.1	GPU V100	1.5	0.7	[13,14]
	GLaM	2021	1162	TPU v4	456	40	[19]
	PaLM	2022	540	TPU v4	3436	271.4	[38]
OpenAI	GPT-2	2019	1.5	TPU v3	1.7	0.7	[14,39]
	GPT-3	2020	175	GPU V100	1287	552	[32,40]
	GPT-4	2023	1800	GPU A100	51,772 to 62,318	12,456 to 14,994	[41,42]
Meta	OPT	2022	175	GPU A100	324	75	[43]
	LLaMA 2	2023	7	GPU A100	74	31.2	[44]
			13		147	62.4	[44]
			70		688	291.4	[44]
	LLaMA 3	2024	1	GPU H100	/	107	[45,46]
			3		/	133	[45,46]
			8		/	390 to 420	[45,46]
			70		/	1900 to 2040	[45,46]
			405		/	8930	[45,46]
BigScience	BLOOM	2022	1	GPU A100	159	9.1	[18]
			104		267	15.2	[18]
			176		433	24.7	[18]
DeepMind	Gopher	2021	280	TPU v3	1151	380	[13,47]
				/	1066	352	[4]
TII	Falcon	2023	40	GPU A100	163[b]	8 to 90[b]	[48–50]
			180		2,940[b]	147 to 1,617[b]	[48–50]
Mistral AI	Mixtral 8 × 7B	2024	47[a]	GPU A100	232[b]	6.3[b]	[51–53]
DeepSeek	DeepSeek-V3	2024	671[a]	GPU H800	1,025[b]	550[b]	[54,55]

[a] These values denote the total number of parameters, with different quantities activated depending on the model architecture.

[b] The electricity consumption data of some LLMs lack direct values from open-published literature. Thus, these data are estimated, and the estimation process is provided in Appendix Table A1.

Source : Zhenya Ji et Ming Jiang 2026, https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116159.

Émissions de l'AA liées au calcul : Inférence



Les émissions de l'inférence sont en hausse

- Meta et Google indiquent tous deux que les émissions de l'inférence dépassent celles de l'entraînement
- Selon l'usage, l'entraînement ou l'inférence peut dominer
- Les consommateurs ont besoin de transparence pour comparer les modèles



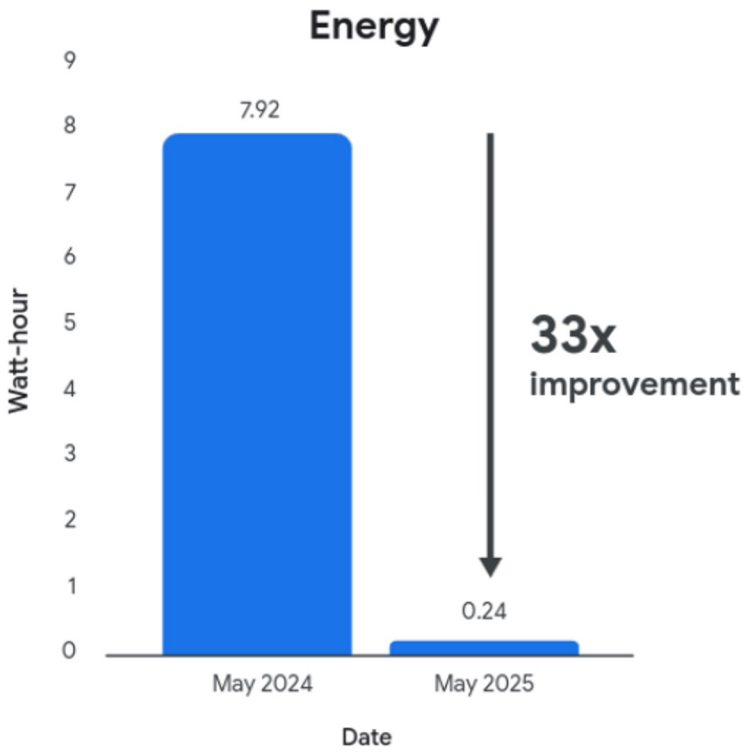
Model		Request freq.	Energy (kWh)	# inf. to equal training
Llama 3.1	8B	∞	0.011	276B
		8	0.051	59.5B
		1	0.333	9.12B
OLMo 2	7B	∞	0.018	20.9B
		8	0.049	7.68B
		1	0.348	1.05B
OLMo 2	13B	∞	0.033	22.1B
		8	0.057	12.8B
		1	0.386	1.89B

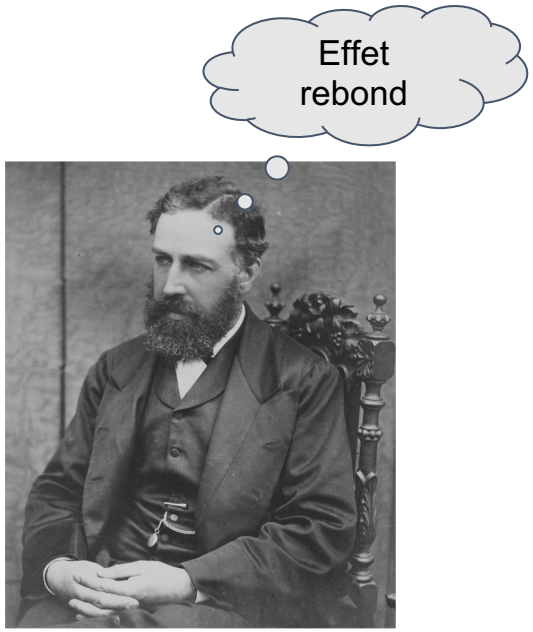
Jacob Morrison, Clara Na, Jared Fernandez, Tim Dettmers, Emma Strubell, Jesse Dodge. Holistically Evaluating the Environmental Impact of Creating Language Models. ICLR 2025 (Spotlight).

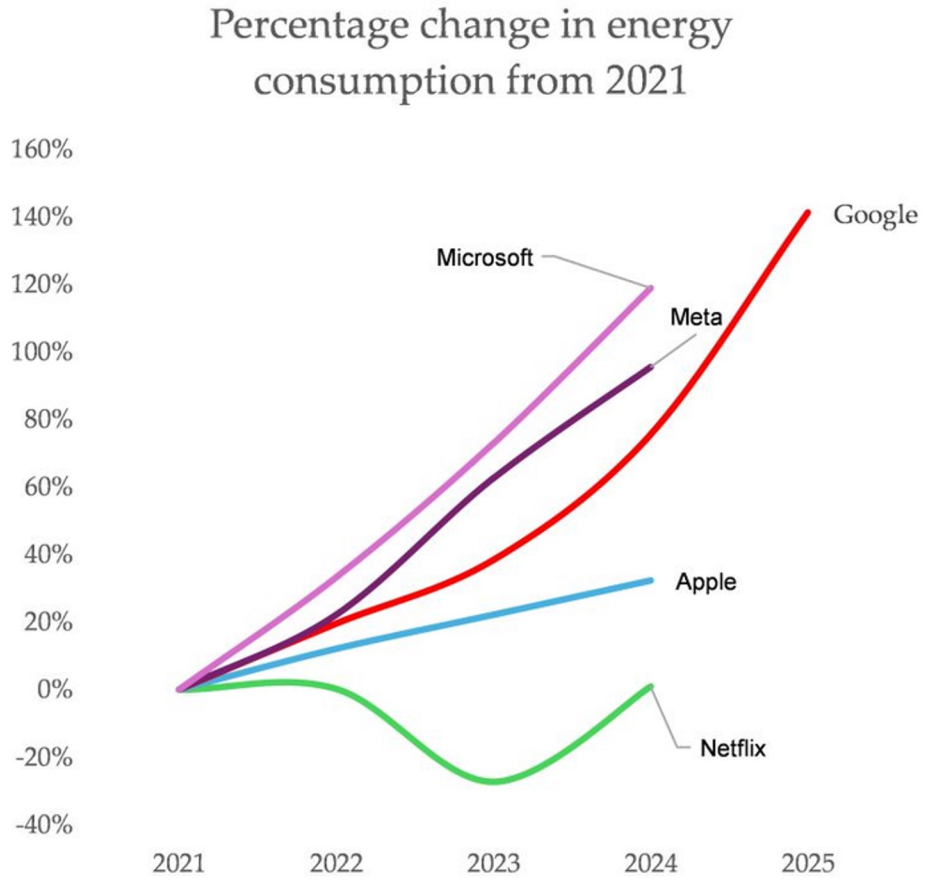
Une meilleure efficacité… largement annulée par la hausse de l'usage

Gemini efficiency improvements

Energy and carbon efficiency improvements per median Gemini Apps text prompt from May 2024 to May 2025.

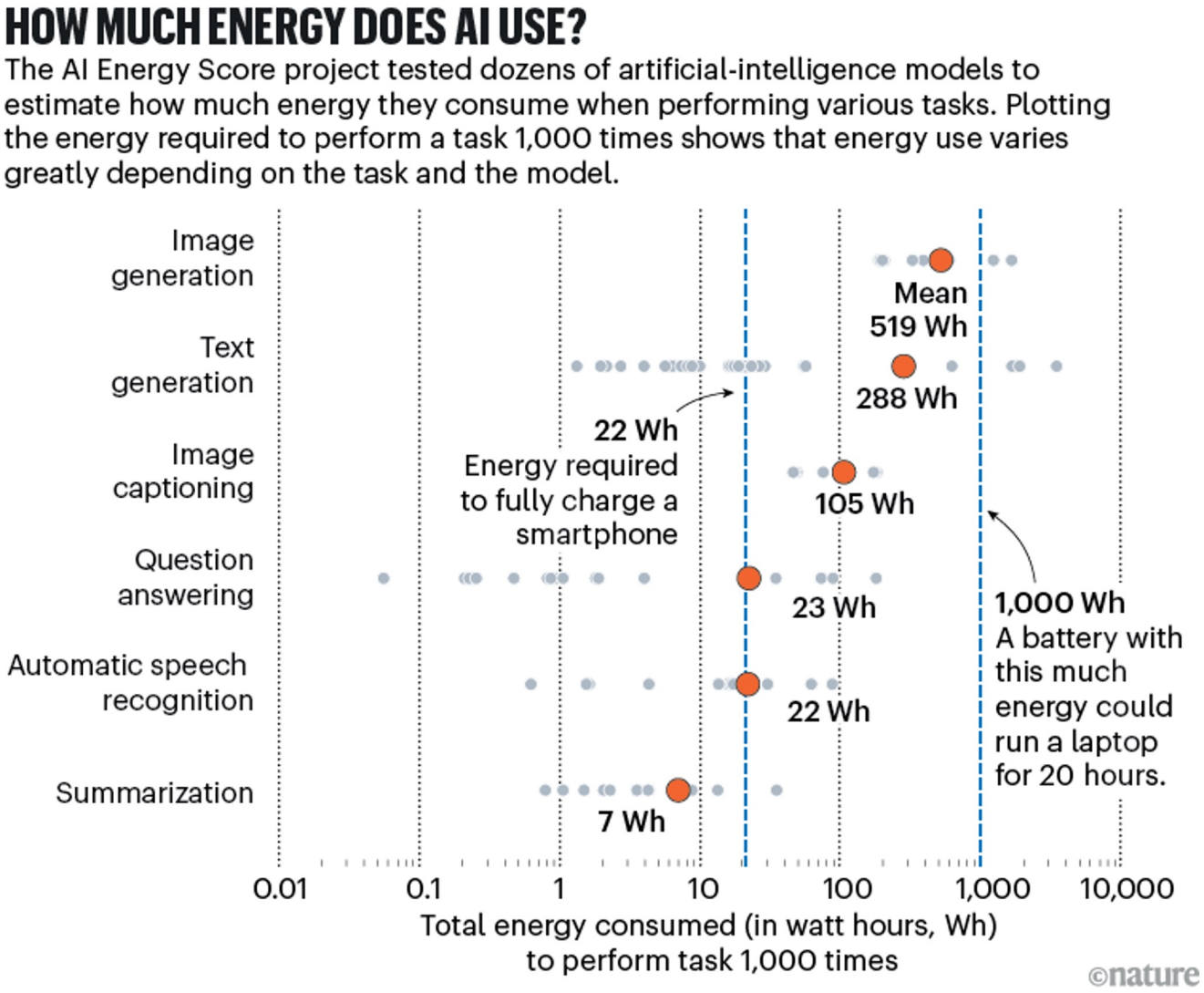






Sources : Google, Ketan Joshi

De grandes différences de besoins énergétiques d'inférence selon les tâches



Sources : https://www.nature.com/articles/d41586-025-00616-z d'après Luccioni et al., Hugging Face Energy Score

Sondage n° 2

Quel est l'ordre de grandeur entre

un **prompt**

et une **vidéo de 8 secondes en définition moyenne** ?

a) x 10, b) x 100, c) x 1 000, d) x 10 000

Sustainable AI Group

Lights, Camera, Carbon: Architectural Scaling Laws for Video Generation Energy Consumption

Nidhal Jegham, Boris Gamazaychikov, Sasha Luccioni

Sora 2.0 Pro is gone.
Here's what it cost to run.

OpenAI discontinued Sora in March 2026. We estimated its energy footprint from architecture and API timing alone, with no access to model weights required.

Per 8-second, 720p video generated

418.5 Wh

≈ 1,700× the energy of one Gemini text prompt (0.24Wh)

602.6 GWh

estimated if 4M users generated 2 videos/day for 6 months

~113,000

US households' electricity use during the same period, equivalent

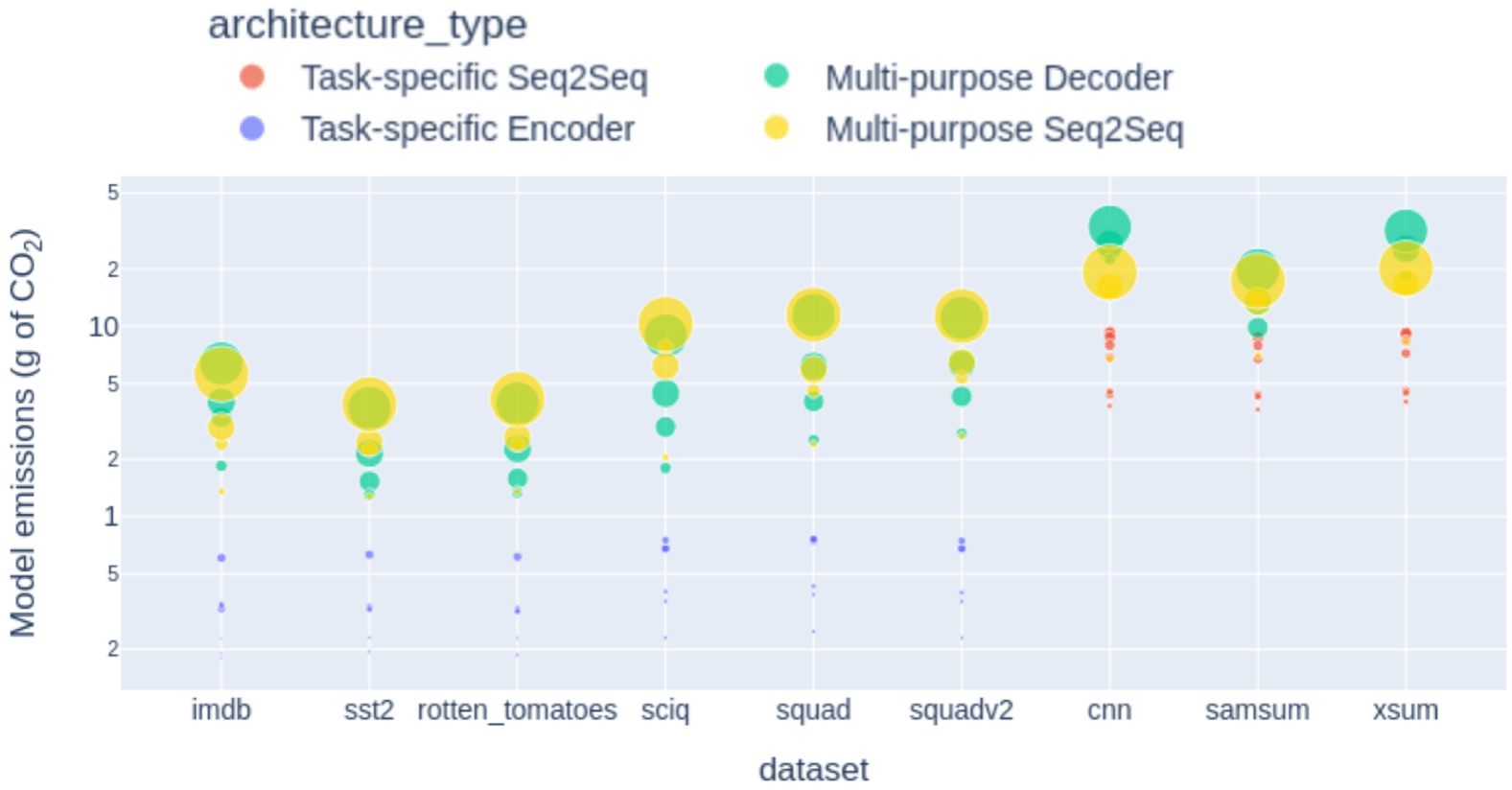
L'IA PEU ÉNERGIVORE EST COURANTE ET POSSIBLE

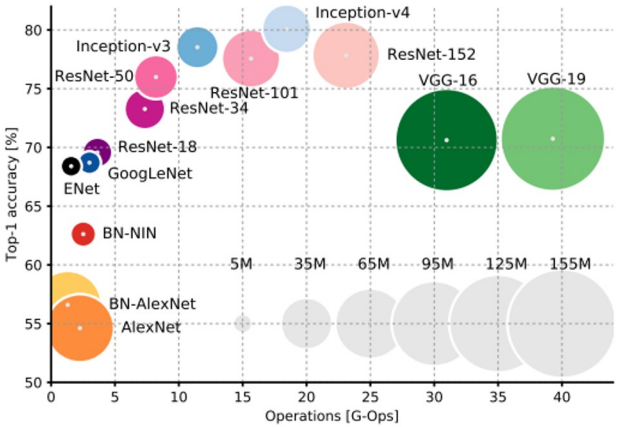
→ IA FRUGALE

Common Myth	Strategic Reality	Takeaways
Frugal AI = Cheap, Low Quality	Frugal AI prioritizes efficient, high-impact solutions, not cutting corners.	Reframe cost-saving as value-maximization through smarter, leaner AI investments.
Low-tech can't scale	Simple tools (WhatsApp, SMS, low-code AI) power platforms used by millions globally.	Embrace context-appropriate scaling – not every solution needs enterprise-grade infrastructure.
Only big tech can do AI	AI is increasingly democratized; startups and small teams build effective, lean models.	Tap into ecosystem partnerships and pilot frugal solutions for niche or underserved markets.
Frugal = Outdated Tech	Frugal AI leverages modern techniques (edge AI, model compression, efficient models).	Integrate Frugal AI metrics (TCO, energy score) into procurement and solution architecture.

Livre blanc « Frugal AI: Driving Sustainable, Inclusive, and Scalable Innovation », 2025

Utiliser des modèles **polyvalents** pour l'inférence est **souvent inefficace** par rapport aux **modèles spécialisés**





Plus de paramètres

→ plus d'énergie

Luccioni, Alexandra Sasha, Jernite, Yacine, and Strubell, Emma. "Power Hungry Processing: ⚡Watts ⚡ Driving the Cost of AI Deployment?" *arXiv preprint arXiv:2311.16863 (2023)*

Plus de données ≠ toujours de meilleures performances

Table 6.1
Overall test set performance of local and global models (the best prediction performance on each local test set is highlighted in bold font).

Model	Trained on	Training epochs	Training samples	Training effort	Test RMSE (↓) on		
					Stanford	SIRTA	DEWA
SUNSET	Stanford	21.2 ± 6.1	125,876	2.67 ± 0.77M	2.68	136.96	155.82
	SIRTA	9.6 ± 1.8	438,172	4.21 ± 0.81M	6.53	96.42	219.79
	DEWA	11.8 ± 2.2	85,278	1.01 ± 0.19M	4.65	160.28	**89.49**
	Stanford+SIRTA	28.6 ± 5.6	564,048	16.13 ± 3.15M	**2.61**	**96.34**	129.21
ConvLSTM	Stanford	11.7 ± 2.7	125,876	1.47 ± 0.34M	2.62	113.05	N/A
	SIRTA	5.6 ± 2.6	438,172	2.49 ± 1.13M	4.39	96.46	N/A
	Stanford+SIRTA	6.0 ± 1.7	564,048	3.36 ± 0.99M	**2.62**	**95.53**	N/A

L'article montre aussi qu'**affiner un modèle global sur les données DEWA** (toutes ou un sous-ensemble suffisant) donne **des performances similaires** pour DEWA par rapport au **modèle local DEWA** (mais avec un effort d'entraînement total plus élevé)

Nie, Yuhao, et al. "Sky image-based solar forecasting using deep learning with heterogeneous multi-location data: Dataset fusion versus transfer learning." *Applied Energy* 369 (2024): 123467.

Stanford = Stanford University (Stanford, Californie, États-Unis)
SIRTA = Observatoire atmosphérique SIRTA (Palaiseau, France)
DEWA = Dubai Electricity and Water Authority (Dubaï, Émirats arabes unis)

Vers des modèles locaux

Julien Chaumond • 2nd
CTO at Hugging Face
2mo •

Connect

This is where we are right now. And it feels pretty magical 🧚

Qwen3.6 27B running inside of Pi coding agent via Llama.cpp on the MacBook Pro

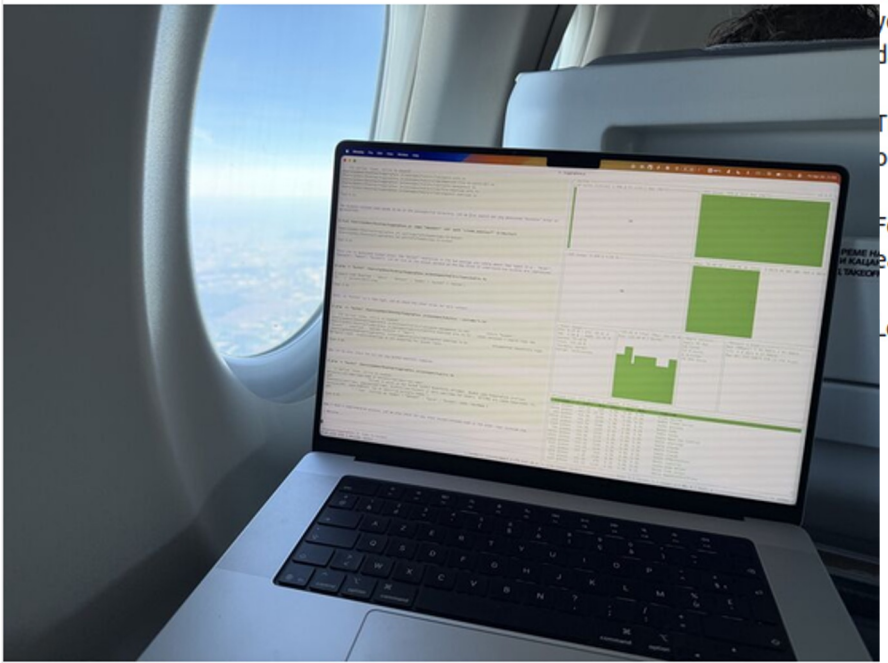
For non-trivial tasks on the **Hugging Face** codebases, this feels very, very close to hitting the latest Opus in Claude Code, or whatever shiny monopolistic closed source API of the day is.

In full airplane mode.

Most people haven't realized this yet.

If you have, it means you have a huge headstart to what I call the second revolution of AI.

Powerful local models for efficiency, security, privacy, sovereignty 🔥



Clem Delangue 🤗 • Following
Co-founder & CEO at Hugging Face
1w •

A study from **Stanford University** showed that 71.3% of chatgpt queries could be accurately answered by a local model. I suspect a major part of enterprise AI workloads could be run locally too for free (compared to the massive costs of frontier API cost).

Also, it reduces the risk of these workloads being taken away from you because you own the models instead of renting them - which sounds like a good idea these days haha.

That's why we're introducing the ability for everyone to filter AI models on **Hugging Face** based on your local hardware.

For me, there are 800k+ public models that fit on my M5 24GB and that I can use easily thanks to llamacpp.

Let's go local AI!

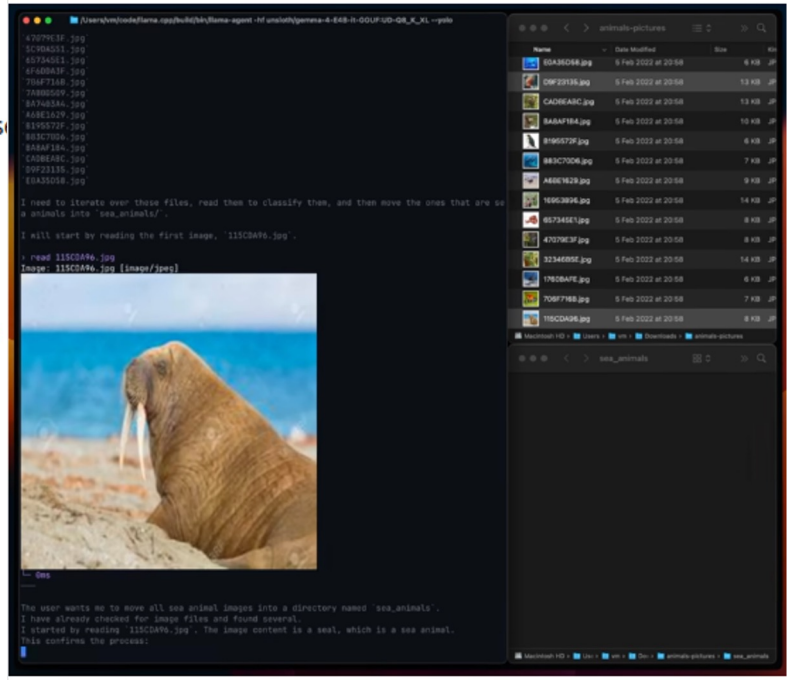
Victor Mustar • 2nd
Head of Product at Hugging Face
3mo •

+ Follow

I just watched the latest Google Gemma 4 open model work on my laptop. No cloud. No API key. No catch.

I pointed Gemma 4 E4B at a folder of mixed photos and asked it to sort the sea animals into their own directory. It opened each image, identified what it saw, and moved the files. All locally, in one agentic session, on a model small enough to fit in 5GB of RAM.

Three years ago this needed a data center. Today it runs while you're offline on a plane.

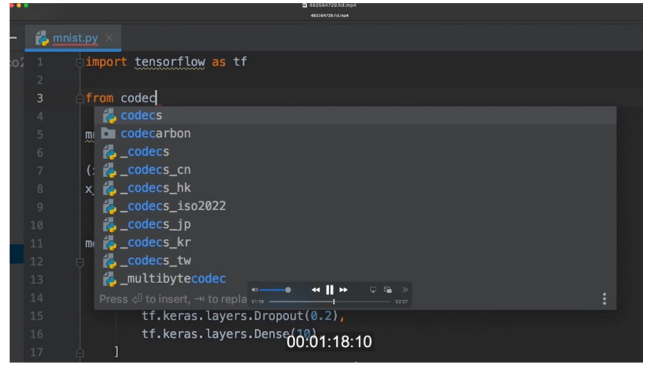


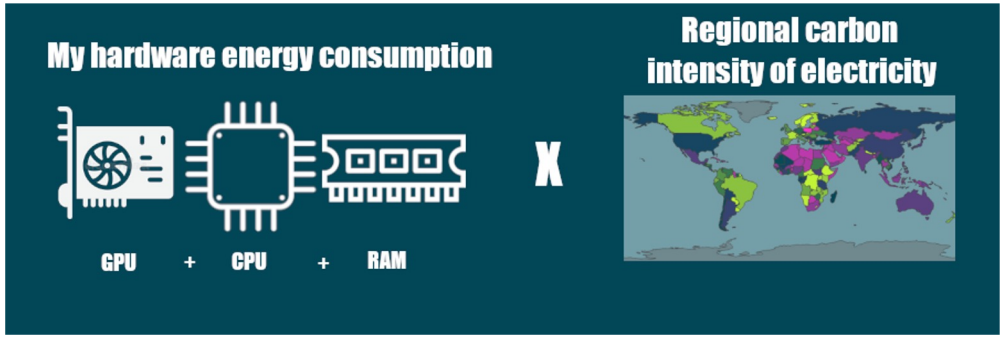
La frugalité dans le développement de l'IA

- Frugal AI Challenge : encourager les acteurs académiques et industriels à garder l'efficacité à l'esprit lorsqu'ils déploient des modèles d'IA
- Suivre la consommation d'énergie **et** les performances
- Encourager la frugalité dans le déploiement de l'IA tout en relevant des défis réels.
- Tâches :
  - Détecter la désinformation climatique
  - Classer les zones exposées aux incendies de forêt,



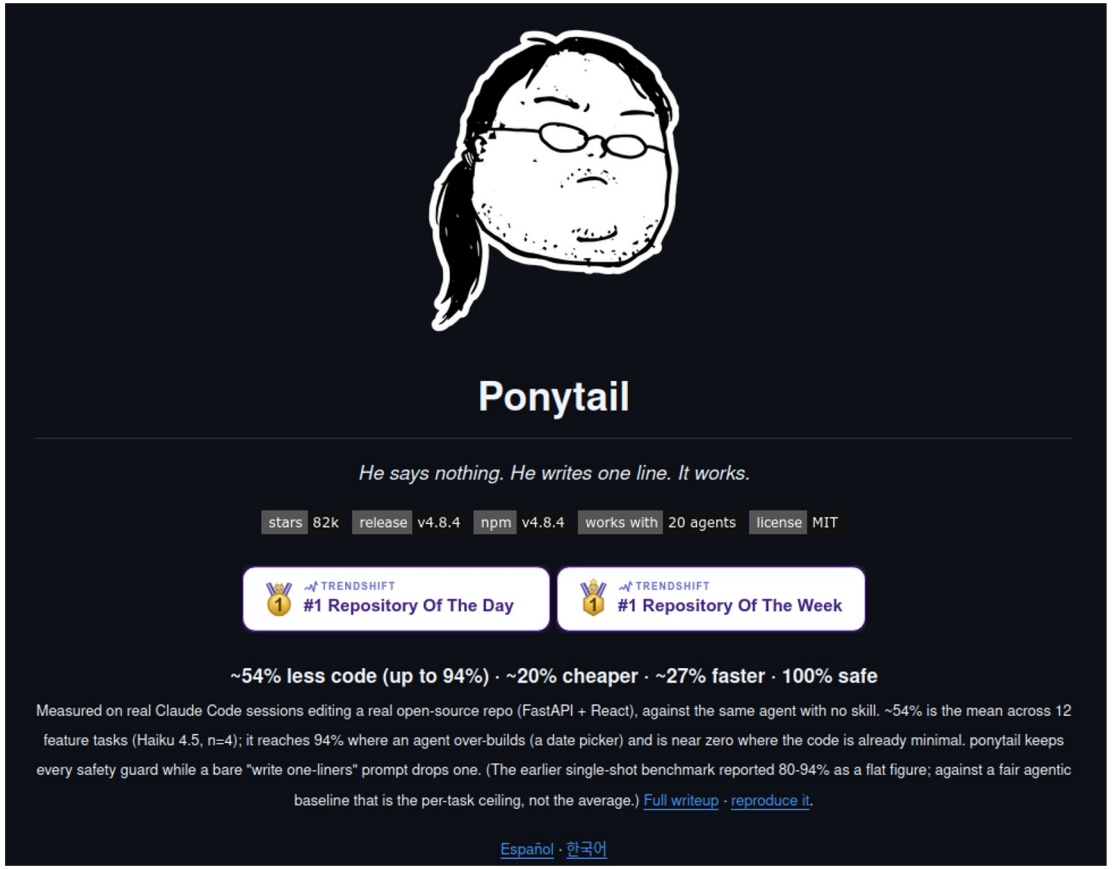
Code Carbon

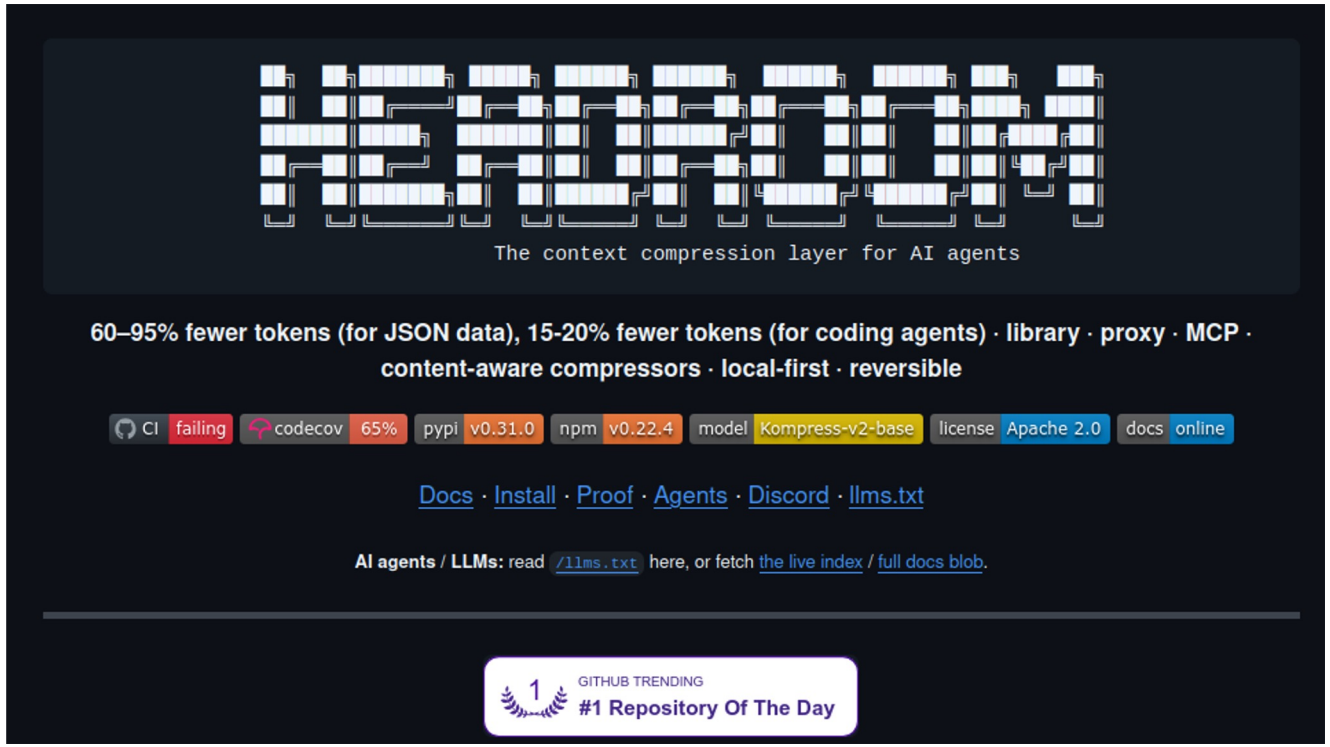




Les couches autour du modèle comptent aussi

→ Sortir du « token maxxing » grâce aux skills, etc.





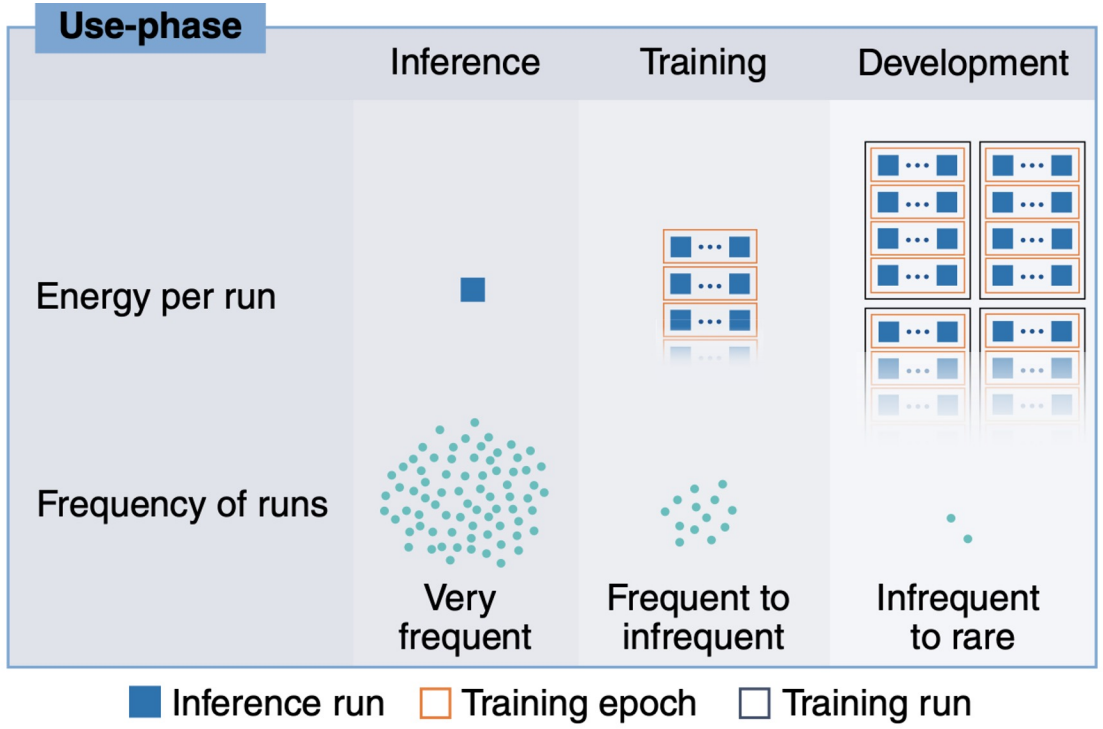
TinyML : faire tourner l'IA sur des microcontrôleurs

	Cloud AI (NVIDIA V100)		Mobile AI (iPhone 11)		Tiny AI (STM32F746)		ResNet-50	MobileNetV2	MobileNetV2 (int8)
Memory	16 GB	4× →	4 GB	3100× →	**320 kB**	← gap →	7.2 MB	6.8 MB	1.7 MB
Storage	TB~PB	1000× →	>64 GB	64000× →	**1 MB**	← gap →	102MB	13.6 MB	3.4 MB

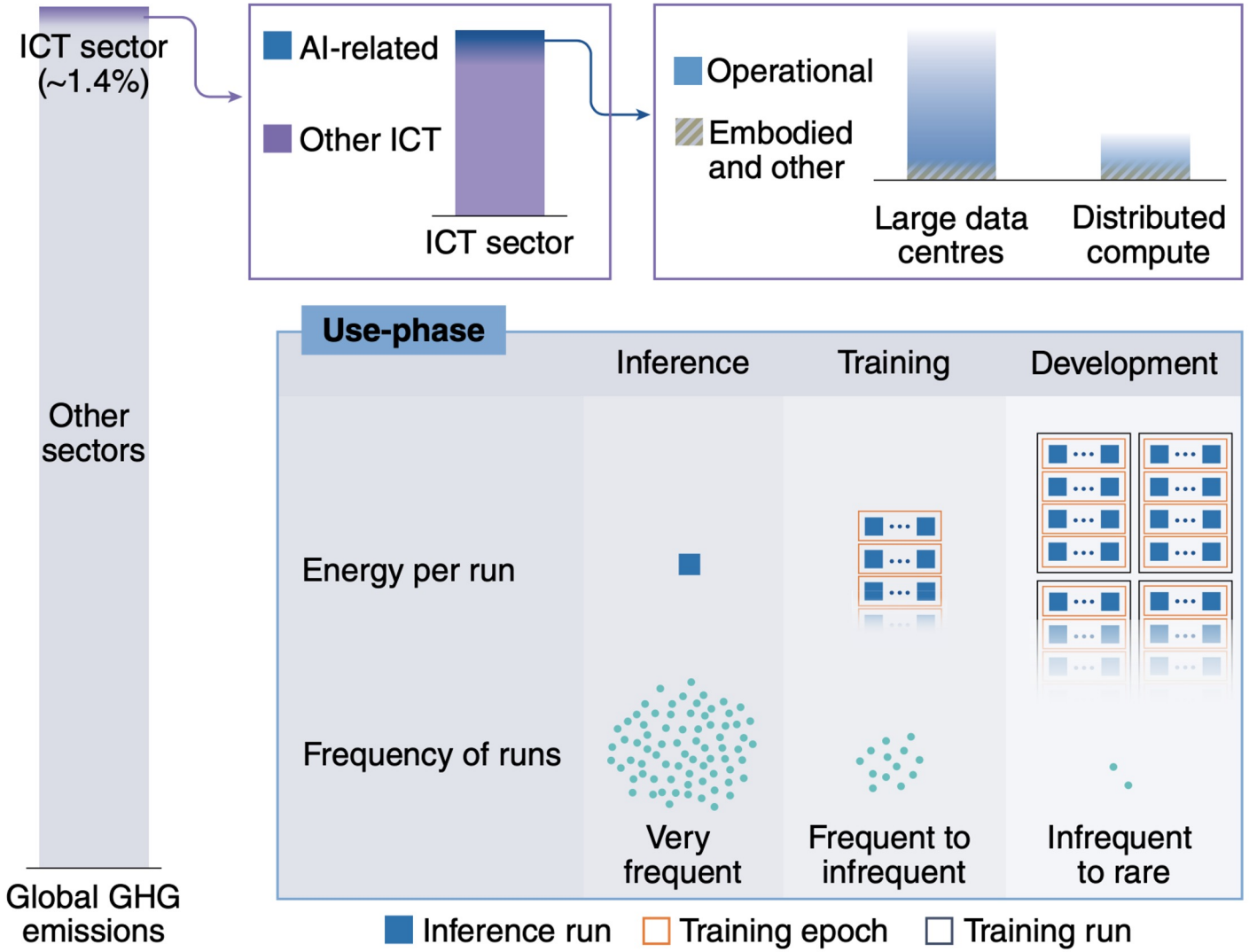


Lin et al 2024 Tiny Machine Learning: Progress and Futures; seedstudio.com

Passer d'une **approche ascendante...**

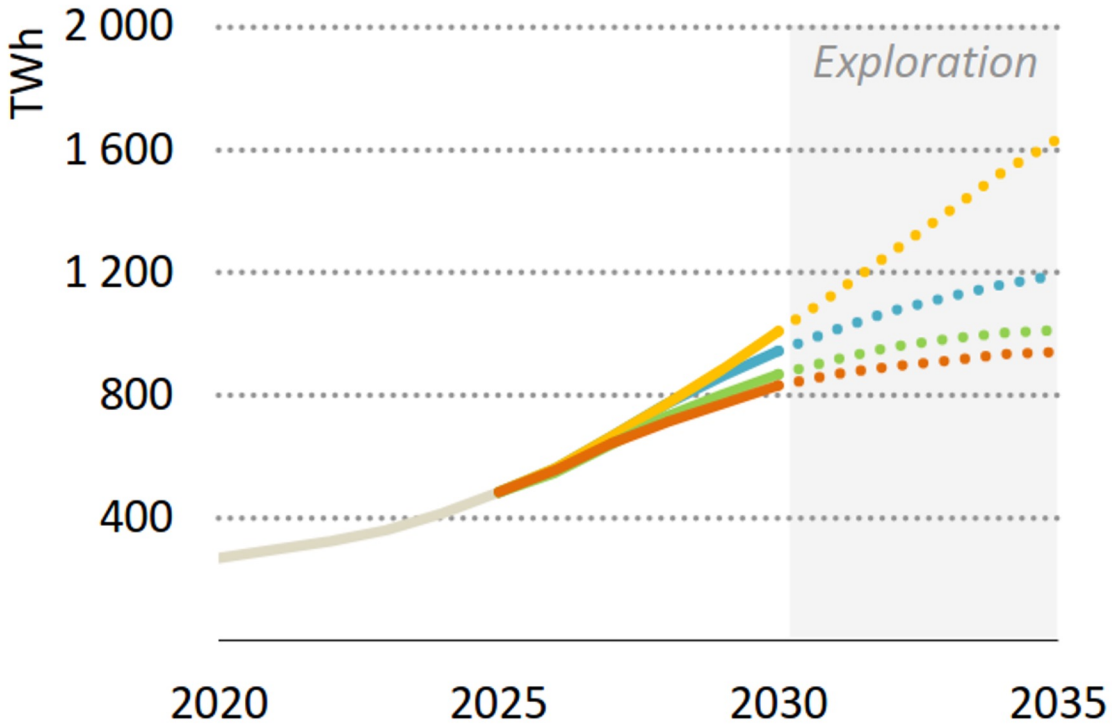


… À UNE **PERSPECTIVE** DESCENDANTE



La demande d'électricité augmente rapidement





Hausse de 6 %

entre 2010 et 2018

(malgré une multiplication par 5,5
des instances de calcul)

Hausse de 250 à 500 %

entre 2020 et 2035

Estimations approximatives, d'après :
Masanet, Eric, et al. "Recalibrating global data center energy-use estimates." Science (2020)

Source : AIE, « Energy and AI » 2026

Sondage n° 3

Quelle **source d'énergie** devrait être la **plus déployée** pour **répondre à la hausse de la demande** d'électricité liée à l'IA ?

a) renouvelables, b) charbon, c) gaz, d) nucléaire

Offre d'électricité supplémentaire : Intensité carbone ? Usages concurrents ? Impacts associés ?



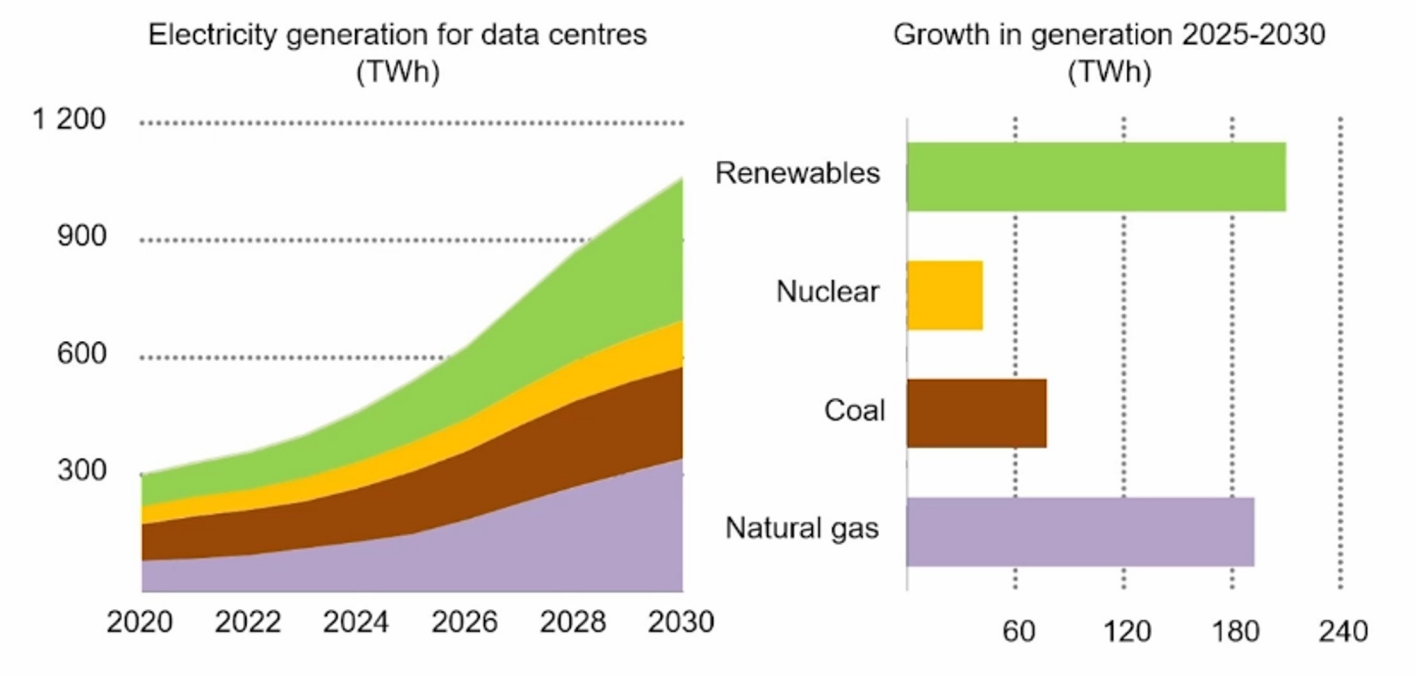
COMPANIES / ENVIRONMENT

Frontier Raises Over $900 Million for Carbon Removal Investments from Google, Anthropic and Others

ENERGY

Chevron to fuel massive Microsoft data center in Texas using natural gas

PUBLISHED MON, JUN 22 2026•7:59 AM EDT | UPDATED MON, JUN 22 2026•3:19 PM EDT



Source : AIE, « Energy and AI » 2026

Intégration au réseau des centres de données : une consommation en pics

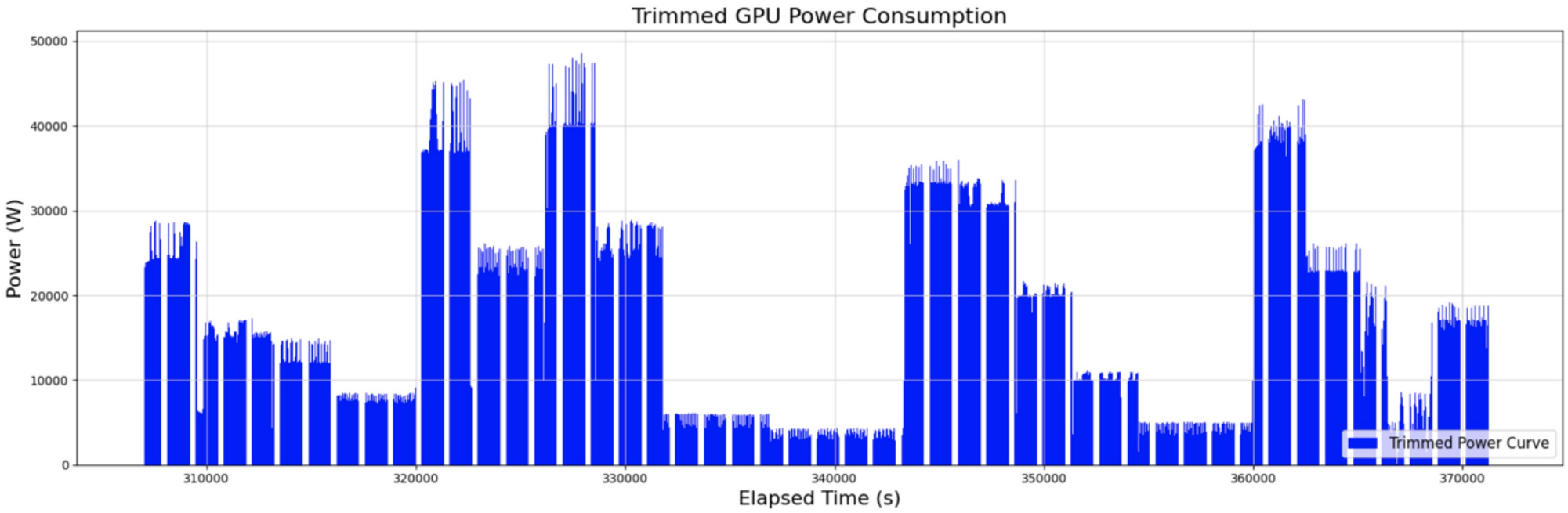


Fig. 6. Power Consumption of BERT in MIT Supercloud Dataset (Peak power consumption of approximately 48.70 kW, with an average consumption of 17.80 kW and a standard deviation of 12.39 kW. The job ran for an extended period of 4 days).

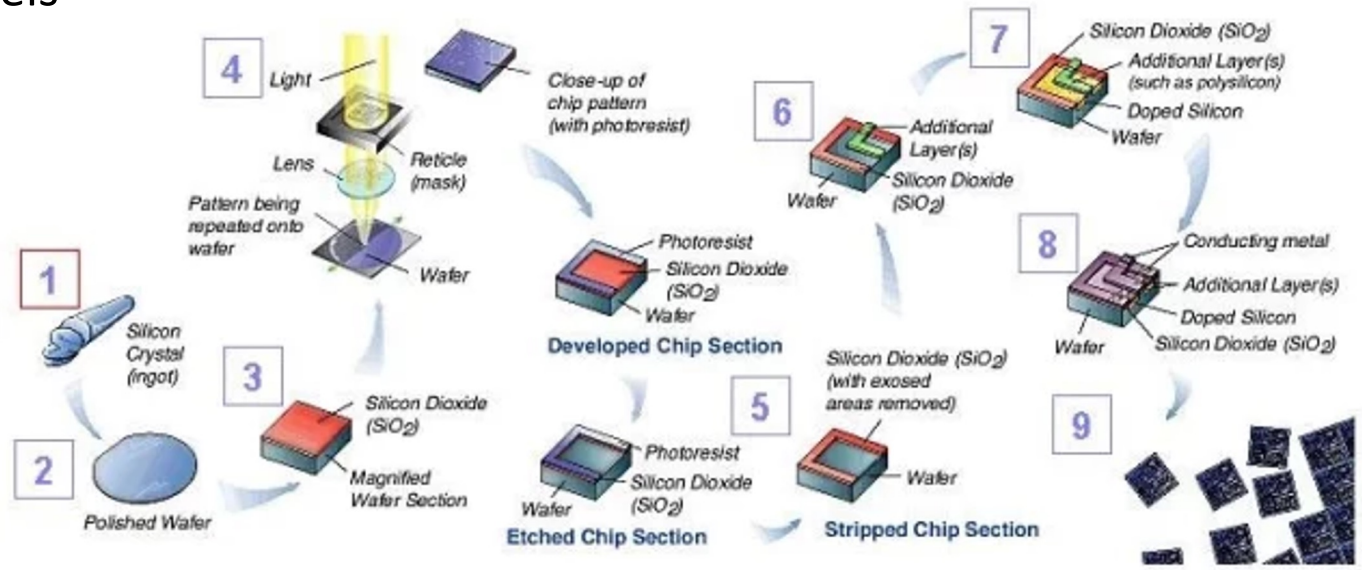
Li, Yuzhuo, et al. "The unseen AI disruptions for power grids: LLM-induced transients." *arXiv preprint arXiv:2409.11416* (2024).

À retenir pour la pratique (énergie)

- Il est important de réfléchir aux besoins énergétiques des modèles
- Tous les modèles ne consomment pas beaucoup d'énergie ! Grands modèles vs petits modèles 💻
- La consommation des plus grands modèles ne discrédite pas l'IA pour le climat dans son ensemble
- Essayez d'utiliser un petit modèle / un modèle spécialisé quand c'est possible : gains d'efficacité importants
- Réfléchissez aux tâches les plus utiles et à celles potentiellement inutiles
- Il existe des outils pour calculer les impacts énergétiques/GES de votre projet, p. ex. Code Carbon

Impacts sur la durabilité hors GES : matières premières

Les matières premières utilisées pour fabriquer les puces proviennent de 50 des 90 éléments naturels présents sur Terre. Pour certains, les stocks s'épuisent rapidement.



Impacts sur la durabilité hors GES :

EAU

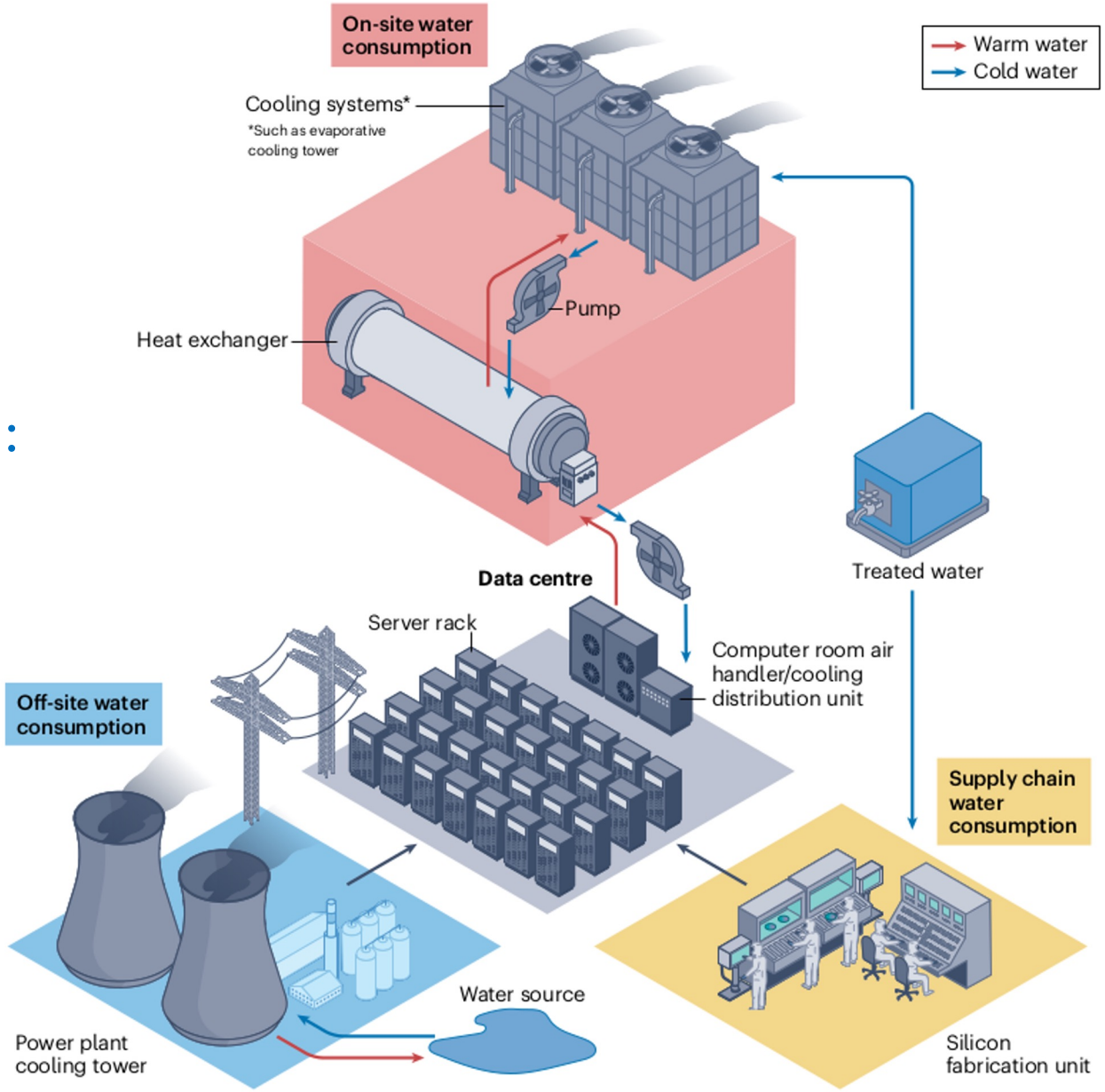


Image : Chien et al, 2026, Nature Reviews Clean Technology

Sondage n° 4

L’usage **direct** ou **indirect** d’eau des centres de données : lequel est le plus important ?

a) direct, b) indirect, c) similaire

Eau : des impacts différenciés

- **Prélèvement d'eau** vs **consommation d'eau** vs **rejet d'eau**
- Environ 50 % de consommation ; l'usage direct représente aujourd'hui moins de 0,5 % de la consommation d'eau des États-Unis

- **Usage indirect >>> usage direct** (jusqu'à 80 %)
- Prélèvement d'eau mondial projeté (scopes 1 + 2) en 2027 :
  - 4,2 à 6,6 milliards de mètres cubes (plus de 4 à 6 fois le Danemark ou la moitié du Royaume-Uni)

- **Impact/stress local :** le problème tient souvent davantage aux **pics** qu'aux totaux annuels ;
- Selon Bloomberg News, environ deux tiers des centres de données construits aux États-Unis depuis 2022 se trouvent dans des zones de fort stress hydrique.



The Bottle: Annual Use. National totals seem modest and manageable on paper.



The Pipe: Peak Demand. Massive withdrawals on hot days strain local infrastructure.

Image : Shaolei Ren

Eau : des solutions pour réduire les besoins ?



- Le refroidissement liquide « **en circuit fermé** » (sans évaporation) réduit l'usage d'eau à presque zéro, mais demande plus d'énergie (et peut créer davantage de pics)

- Il est de plus en plus possible de mieux **planifier** ou d'**alterner** entre différents modes de refroidissement, mais pas forcément pour toutes les parties du centre de données

- **La consommation indirecte** est plus difficile à réduire. Elle dépend de la technologie de production électrique (p. ex. gaz/nucléaire >> solaire) et du climat local



Image : The Guardian, Wikimedia

Quand les impacts sont les pires… en même temps : **les vagues de chaleur**

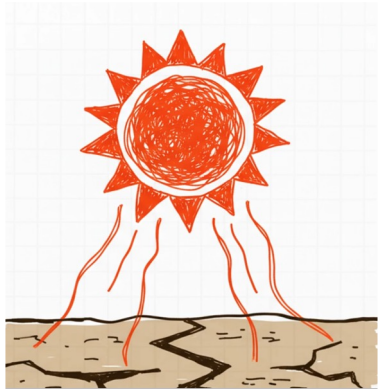
- **Le moment** de la consommation/du prélèvement d'eau compte : c'est pire en saison sèche / en période de stress thermique

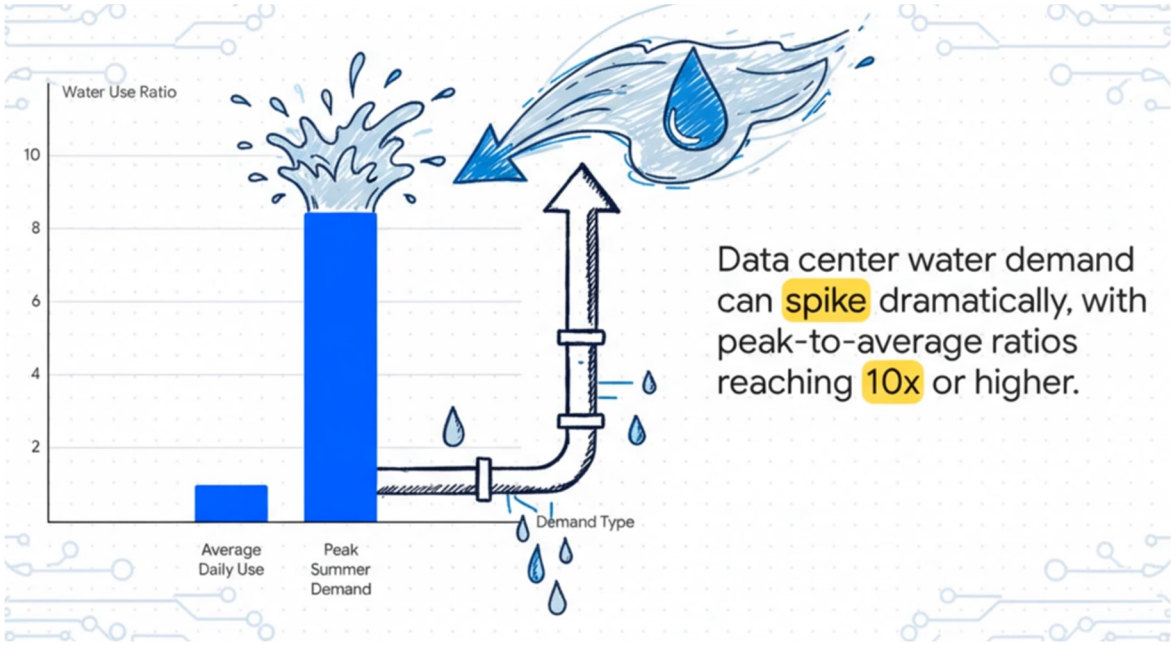
- Idem pour la consommation d'énergie : pendant les vagues de chaleur, la climatisation met le réseau sous tension

- **Dilemme** : pour refroidir les centres de données, on peut substituer un refroidissement gourmand en eau à un refroidissement gourmand en énergie, mais les deux peuvent être sous pression

- L'eau peut écrêter les pics de charge, mais l'allocation des ressources pose problème : beaucoup de communautés n'ont pas d'excédent d'eau
  → besoin d'une planification de la résilience







Images : Shaolei Ren, Wikimedia

Étude de cas située : l'expansion des centres de données au Brésil

Une vague massive d'investissements dans les infrastructures portée par l'IA, au-delà de 25 milliards de R$

89 % du mix électrique brésilien est **renouvelable**, dont près de la moitié d'origine hydraulique → **idéal pour les centres de données ?**

Les sécheresses croissantes mettent sous pression l'eau nécessaire à la fois à l'hydroélectricité et au refroidissement, alors que l'**accès à l'eau pose déjà problème** aux communautés

Une **précarité énergétique** persistante : plus de 1,3 million de personnes n'ont toujours pas d'électricité fiable



Exemple : de nouveaux centres de données au Ceará et au Rio Grande do Sul menacent l'accès à l'eau des communautés locales

Plan du cours

Impacts liés au calcul

Impacts des applications

Impacts systémiques

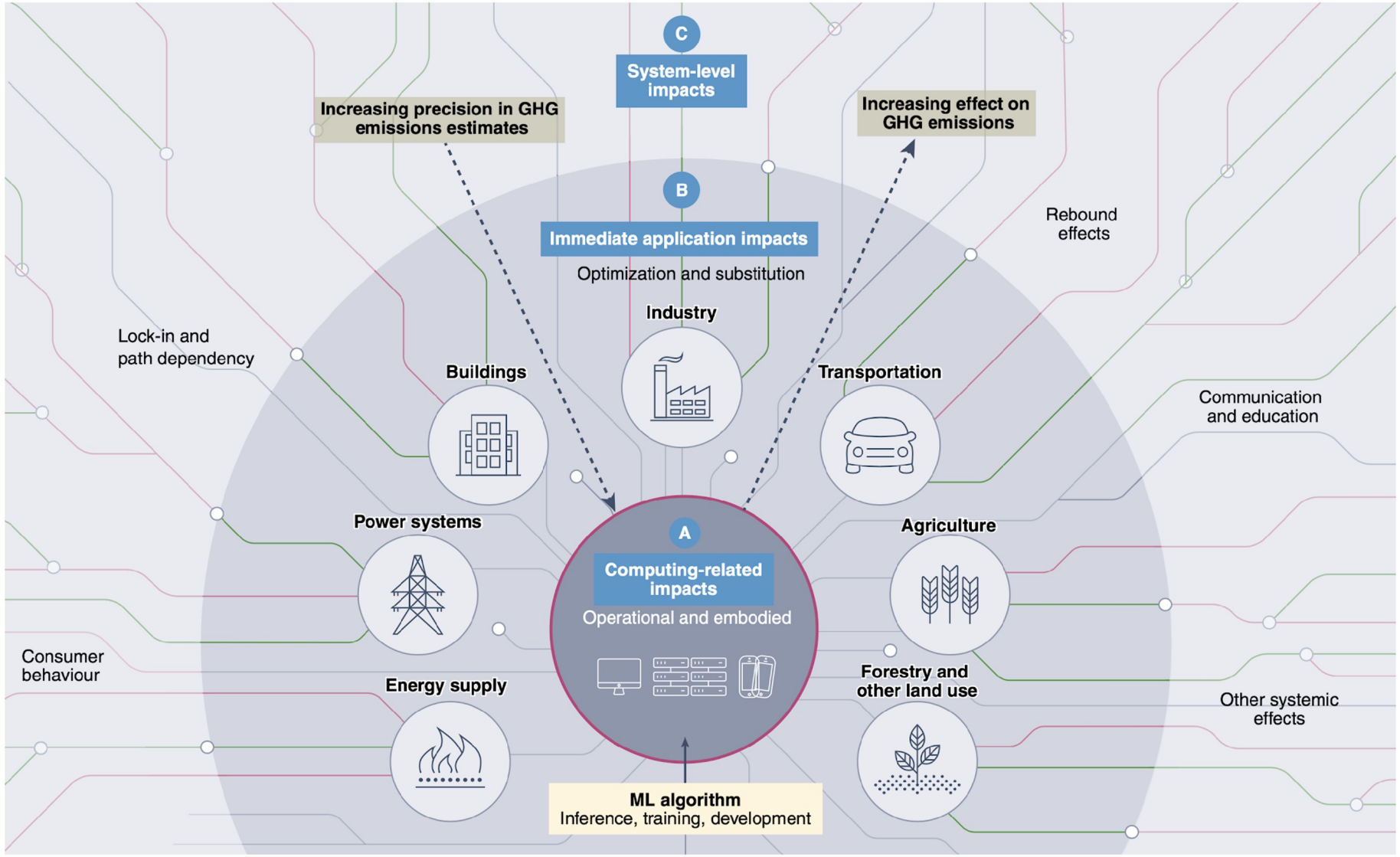
Considérations transversales

Réguler la consommation d’énergie et de ressources de l’IA

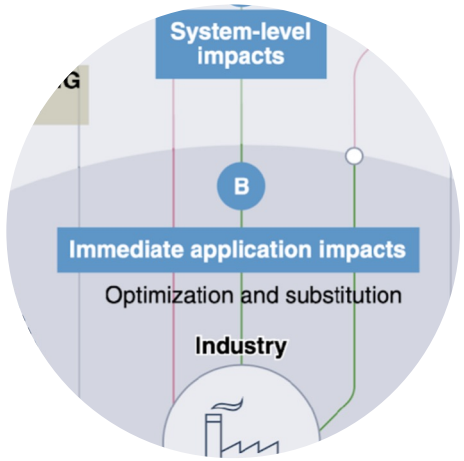
Impacts positifs

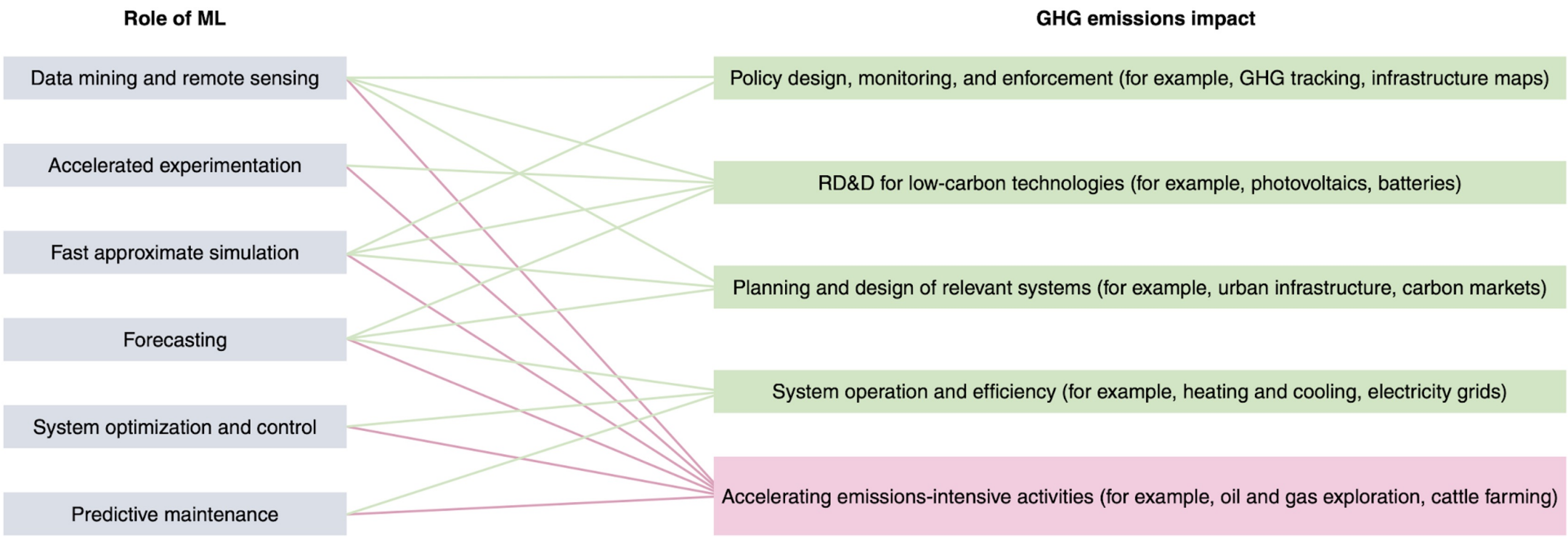
Impacts négatifs

Comment l'IA influe sur les émissions de gaz à effet de serre



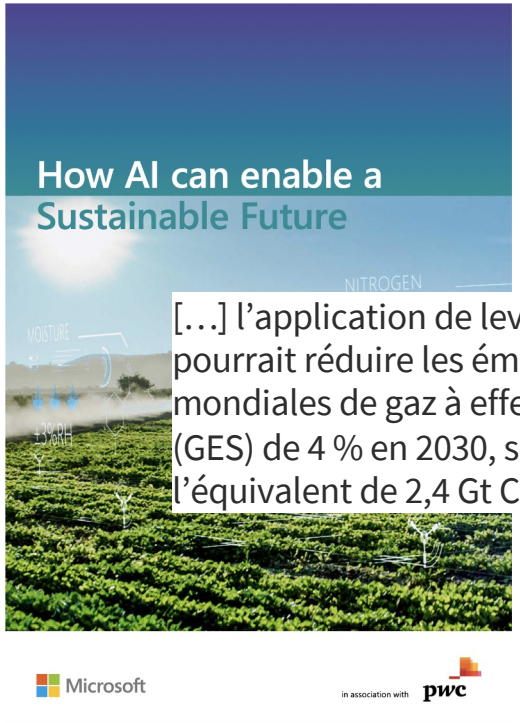
Comment l'IA influe sur les émissions de gaz à effet de serre





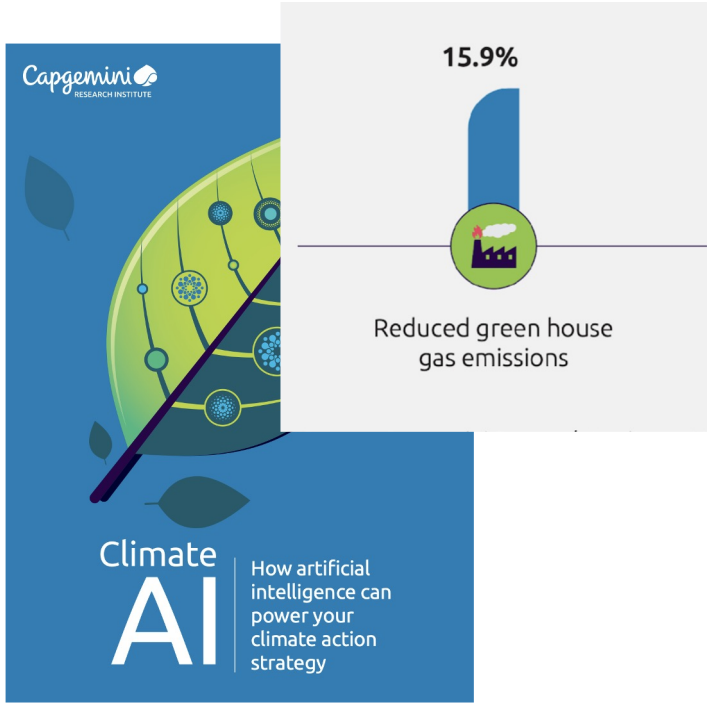
Kaack, L. H., Donti, P. L., Strubell, E., Kamiya, G., Creutzig, F., & Rolnick, D. (2022). *Nature Climate Change*, 1-10.

Les estimations du **potentiel de réduction des émissions de GES** sont peu fiables

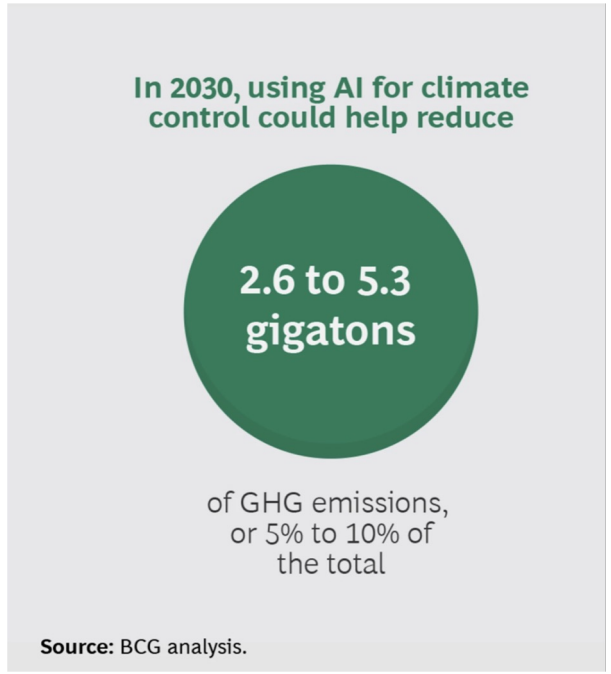


[…] l'application de leviers d'IA pourrait réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) de 4 % en 2030, soit l'équivalent de 2,4 Gt CO2e […]

2019



2020



2021

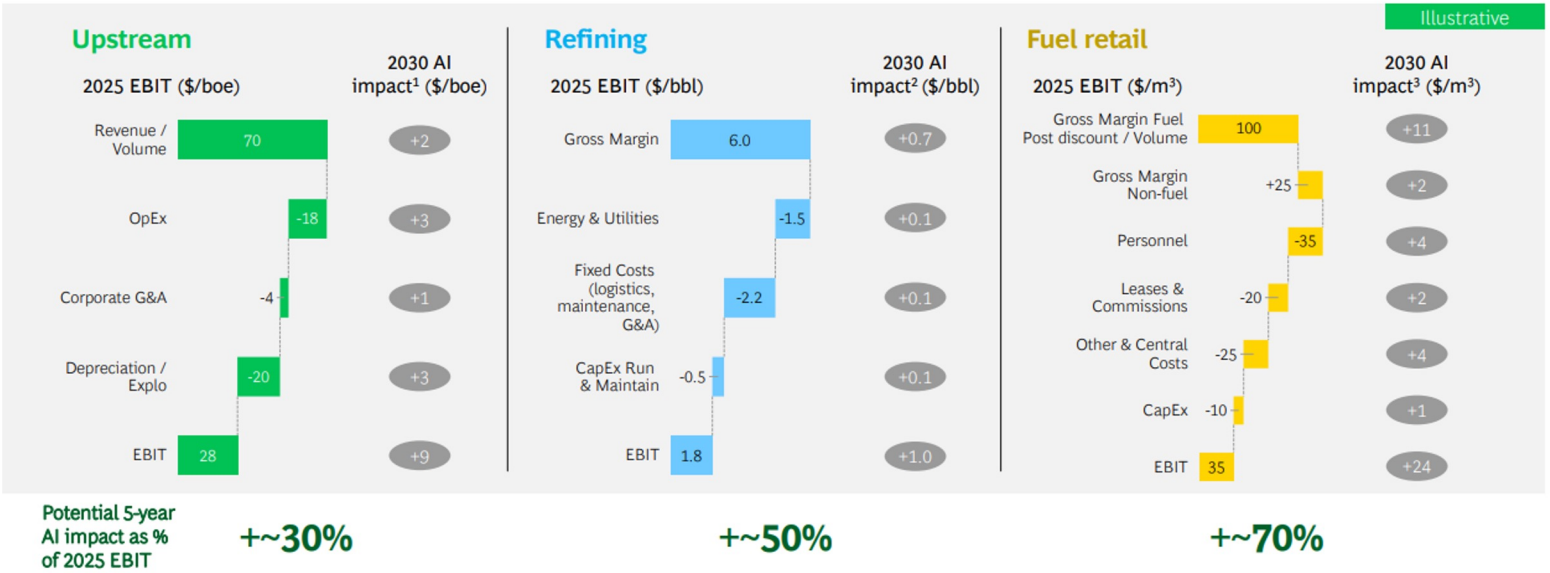
Les estimations des cabinets de conseil et des entreprises technologiques reposent souvent sur une modélisation non publiée ou sur l'extrapolation d'entretiens avec des parties prenantes → **des intérêts en jeu qui surestiment probablement les impacts positifs**

Applications de l'IA qui augmentent les émissions



L'IA utilisée pour accélérer les **industries à fortes émissions**

Exemple : applications dans le pétrole et le gaz



L'IA qui augmente les impacts et les émissions (et au-delà) : le forage pétrolier

Upstream

Case study | A real-time prescriptive tool provides drilling field personnel with continuous AI guidance

Instructions' compliance from rig

RT sensor data from rig



Architecture and models

Customized screen



1

The **office** sets up the AI system and configures key technical inputs

2

- Rig sensor data is contextualized with planning information, DDRs, and any third-party software available
- AI adaptive models are executed and retrained in RT

Superior analytical performance with high adaptability

Real-time AI and physical models for one truth recommendations

Bespoke solution, not a black box

Fully tailored to client rules, org, and data

3

The **tool** assists at all moments by sending a recommendation of optimal parameters and time targets for each field activity

Simplified information

Easy-to-use interface showing only relevant data – no field engineer needed to interpret complex inputs

4

Field personnel follow recommendations, saving minutes from each activity

They also send any feedback as part of the continuous improvement process

End-to-end process taking < 5s to allow for immediate action from the field

Existing platform with total rig integration

10-20%

Capex reduction potential

Focus on optimizing ILT (invisible lost time)

ILT represents +35% of the drilling time

Real-time prescriptive solution that connecting to any field service software

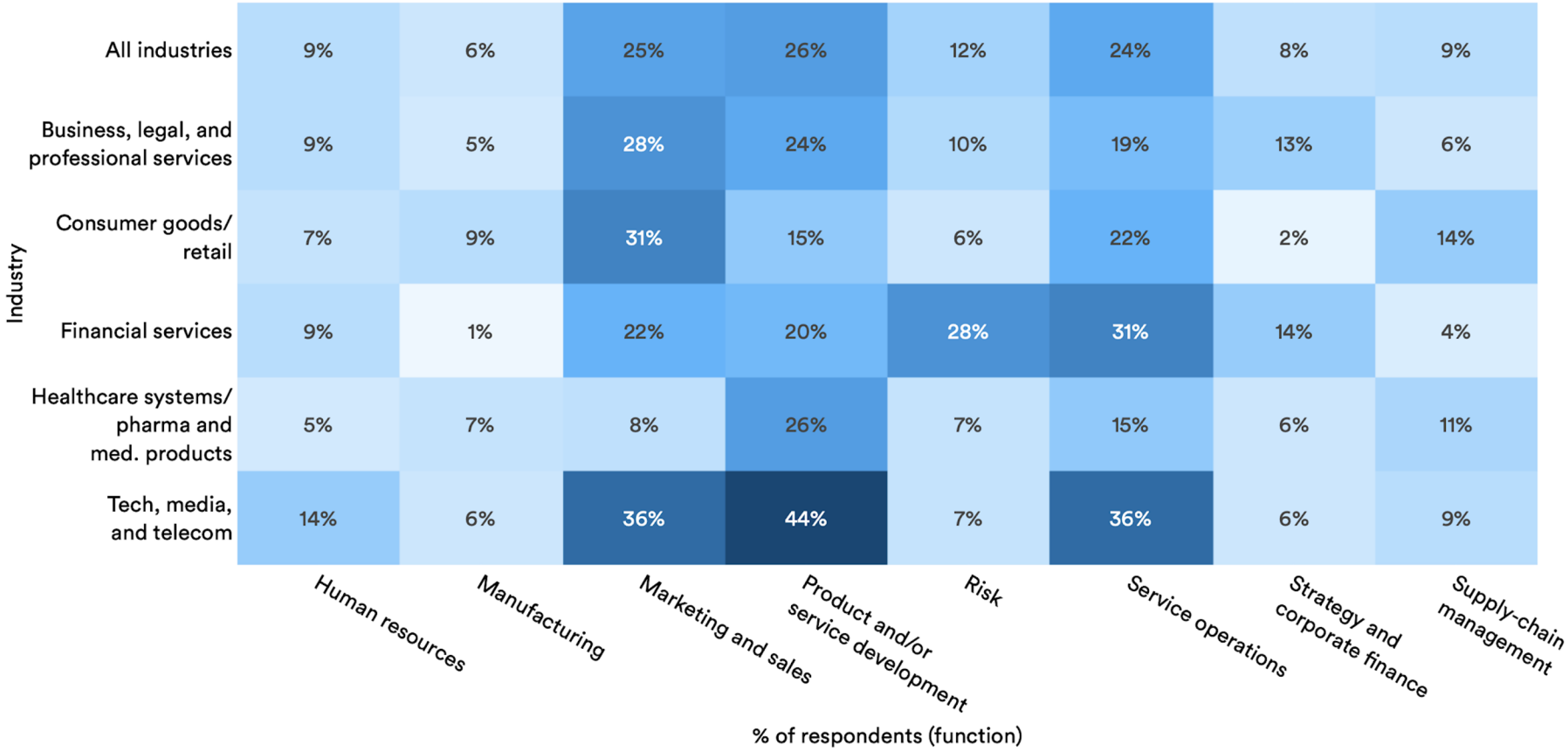
13

Copyright © 2025 by Boston Consulting Group. All rights reserved.

L'essentiel de l'usage de l'IA dans la société concerne des applications sans lien avec le climat

AI adoption by industry and function, 2023

Source: McKinsey & Company Survey, 2023 | Chart: 2024 AI Index report



Jusqu'ici, l'IA pour le climat relève plutôt de l'IA traditionnelle

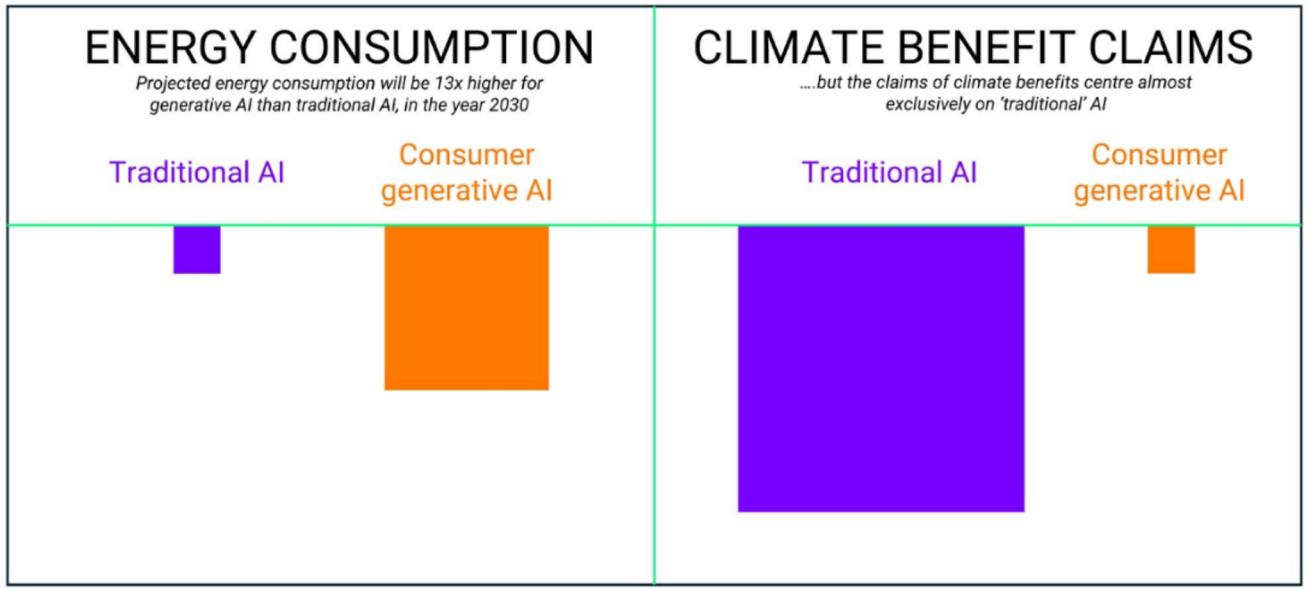


FIGURE 1 - CLIMATE BENEFIT versus DAMAGE
This graphic illustrates how most climate benefit claims relate to traditional AI, whereas most harm will relate to consumer generative AI. The first compares the projected electricity consumption in a central 2030 scenario, also represented by the area of each square. The second comparison shows the number of claims by AI type, represented by the area of each square.

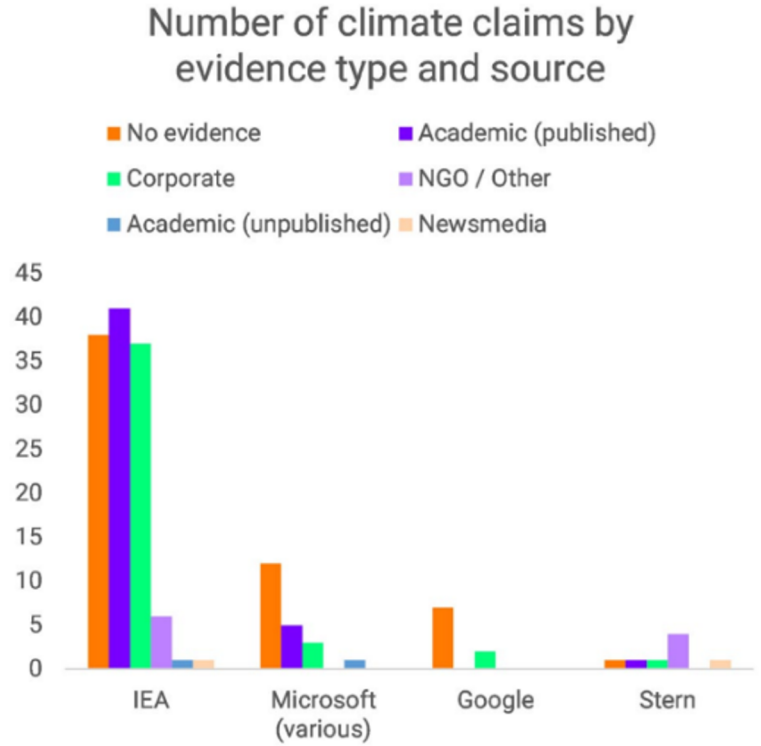


FIGURE 7 - TYPES OF EVIDENCE FOR CLIMATE CLAIMS
This graphic shows the distribution of evidence types by source. Corporate sources tended to rely on no evidence or corporate sites. The IEA's claims drew from a mix of academic, corporate and no evidence.

Images : Ketan Joshi, The AI Climate Hoax: Behind the Curtain of How Big Tech Greenwashes Impacts, 2026

Plan du cours

Impacts liés au calcul

Impacts des applications

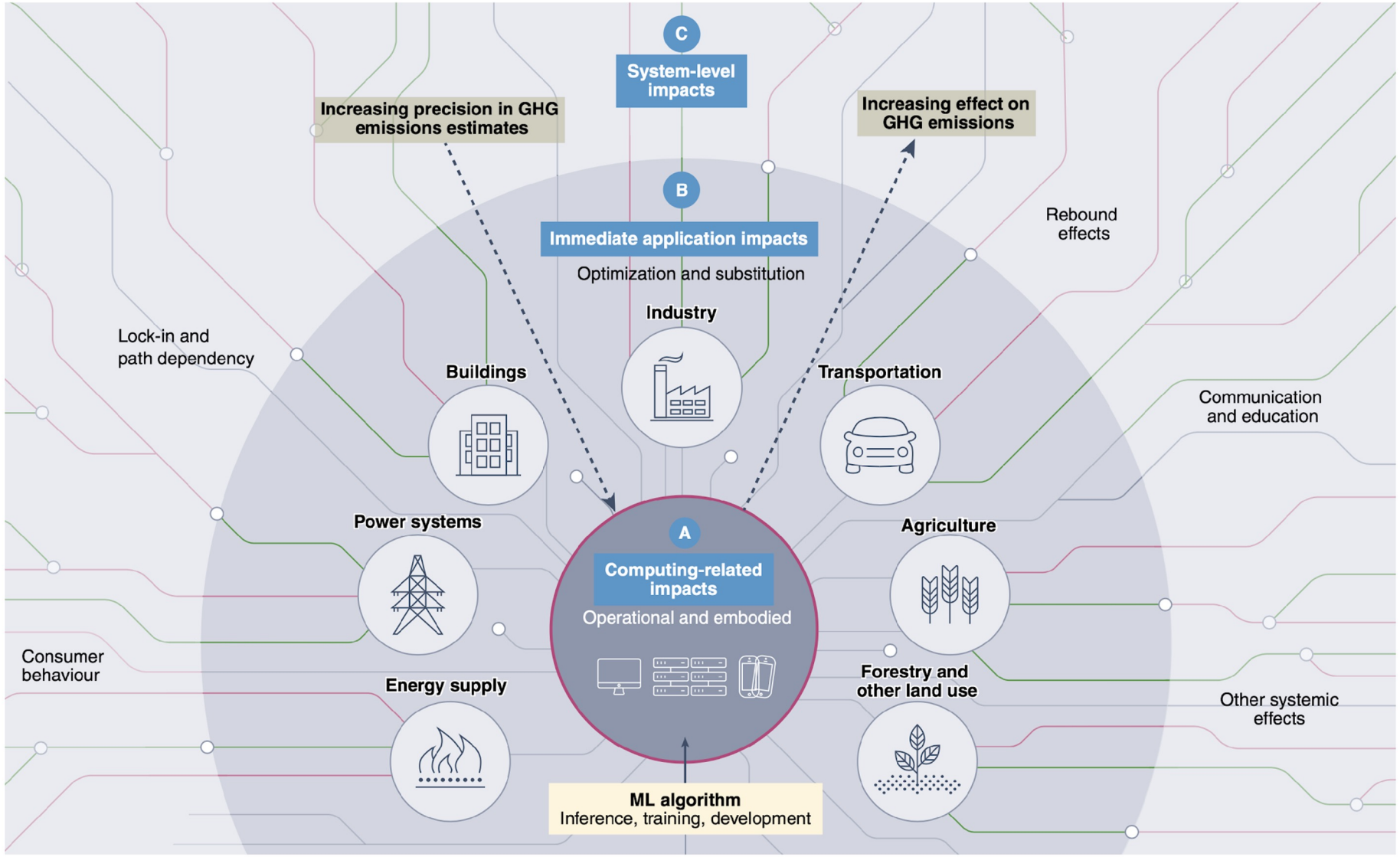
Impacts systémiques

Considérations transversales

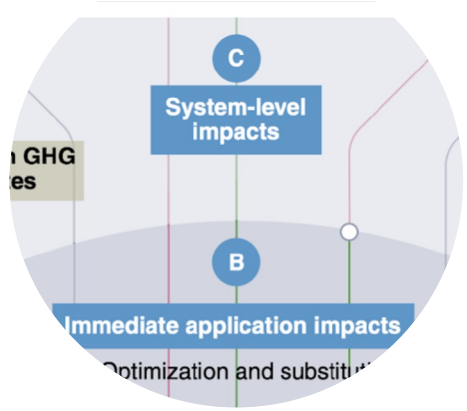
Réguler la consommation d'énergie et de ressources de l'IA

- Effets rebond
- Déplacements de pouvoir dans la société

Comment l'IA influe sur les émissions de gaz à effet de serre



Comment l'IA influe sur les émissions de gaz à effet de serre

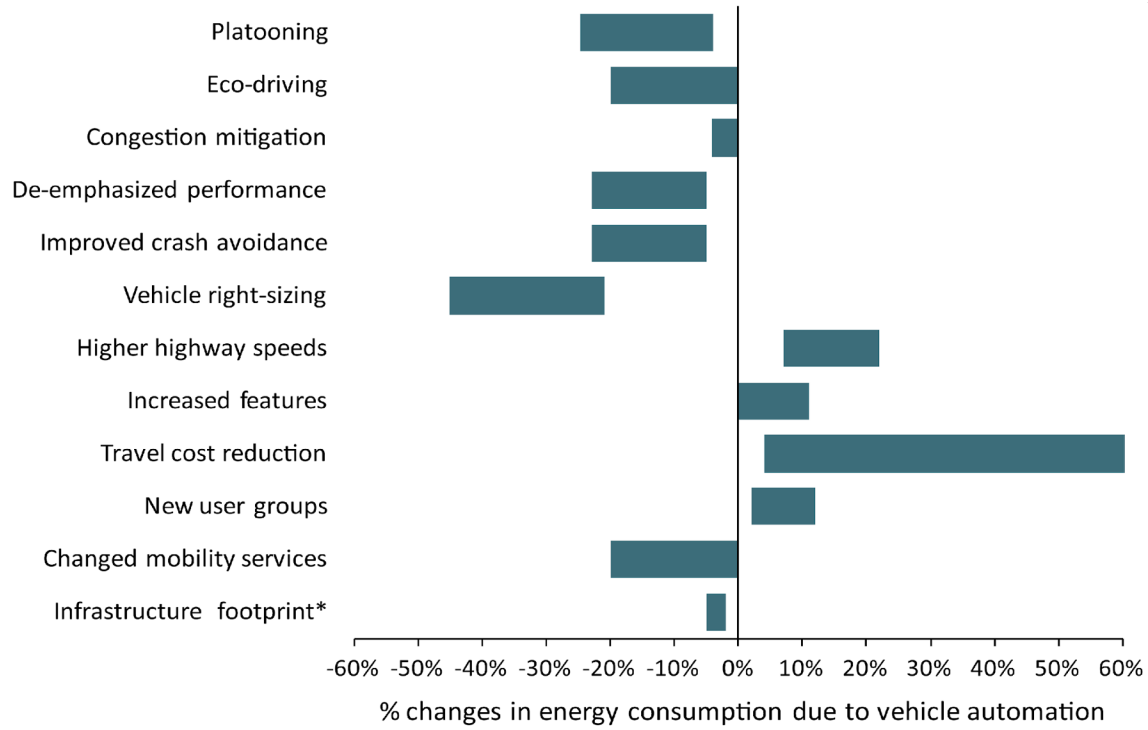


Impacts systémiques des applications de l'IA

Effets potentiels de **rebond** et de **verrouillage**

- Véhicules autonomes, covoiturage





Source de l'image : Wadud et al. 2016

Impacts systémiques des applications de l'IA

Effets potentiels de **rebond** et de **verrouillage**

- Véhicules autonomes, covoiturage

Hausse de la **consommation dans la société**

- Publicités personnalisées, livraison à la demande



Crédit image : Megan_Rexazin_Conde / Pixabay.com

Impacts systémiques des applications de l'IA

Effets potentiels de **rebond** et de **verrouillage**

- Véhicules autonomes, covoiturage

Hausse de la **consommation dans la société**

- Publicités personnalisées, livraison à la demande

(Dés)information et **polarisation**

- Personnalisation/amplification des contenus



Crédit image : Rose Wong / pour NBC News

Impacts systémiques des applications de l'IA

Effets potentiels de **rebond** et de **verrouillage**

- Véhicules autonomes, covoiturage

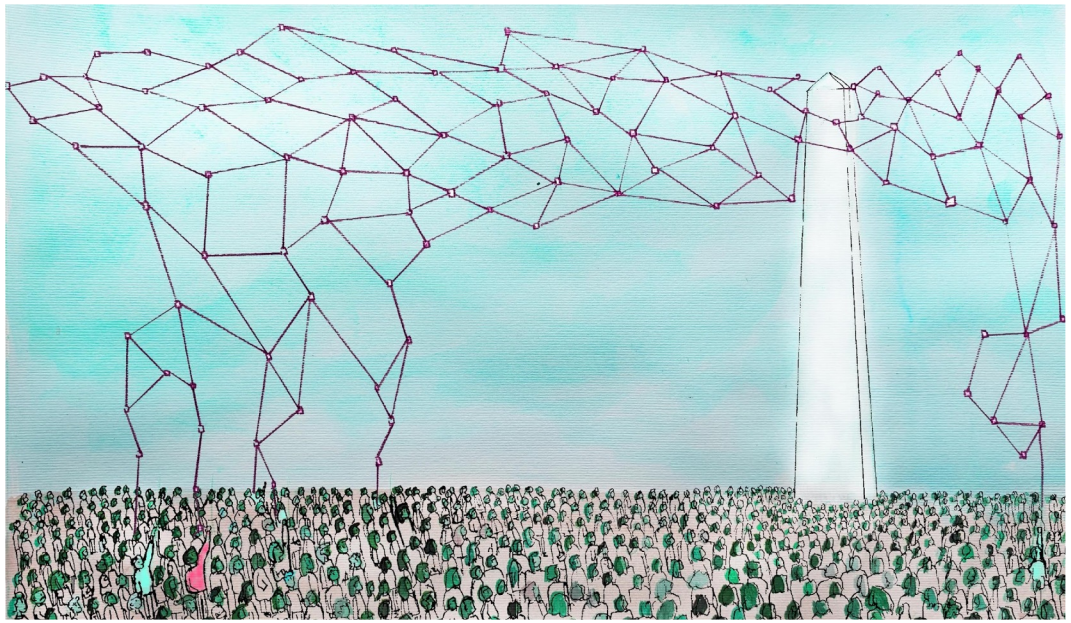
Hausse de la **consommation dans la société**

- Publicités personnalisées, livraison à la demande

(Dés)information et **polarisation**

- Personnalisation/amplification des contenus

Provoquer des **déplacements de pouvoir dans la société** liés à l'accès et à la capacité d'agir



Crédit image : Jamillah Knowles & We and AI / Better Images of AI / People and Ivory Tower AI / CC-BY 4.0

Sondage n° 5

Donnez un exemple d'impact systémique de l'IA qui, selon vous, a ou aura un impact important sur le climat, pour l'une des catégories :

a) effet rebond, b) hausse de la consommation,
c) désinformation et polarisation, d) déplacements de pouvoir dans la société

Plan du cours

Impacts liés au calcul

Impacts des applications

Impacts systémiques

Considérations transversales

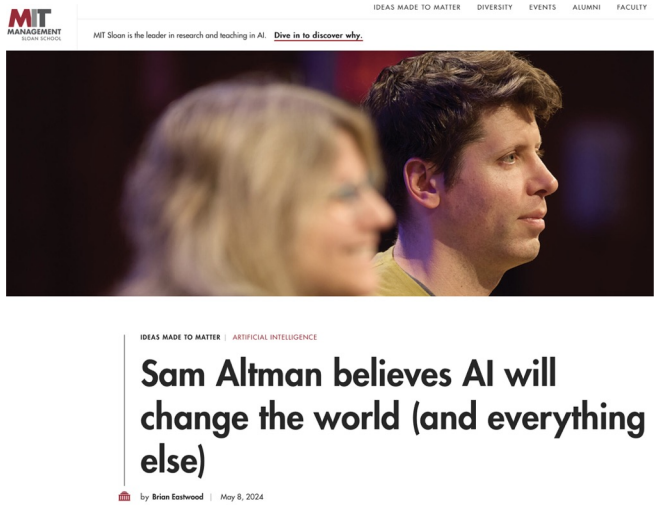
Réguler la consommation d’énergie et de ressources de l’IA

Discours

Estimations

Le « sophisme de l'IA générative » : invoquer l'IA pour le climat pour justifier les grands modèles

- Pour justifier la consommation d'énergie des centres de données dédiés aux grands modèles comme les LLM, les applications d'IA pour le climat sont un **discours commode** pour les entreprises technologiques
- Pourtant, la plupart de l'IA appliquée aux secteurs liés au climat ne repose pas sur de grands modèles
- On peut faire progresser l'IA pour le climat **sans** coûts énergétiques importants liés au calcul



« Même s'il fallait consacrer 1 % de l'électricité mondiale à entraîner une IA puissante, et que cette IA nous aide à trouver comment passer à une énergie non carbonée ou à mieux capter le carbone, ce serait une victoire massive »

Déclaration trompeuse de Sam Altman

« Potentielite chronique »

- Concept de Vlad Coroamă : beaucoup de discours sur le potentiel…
- Mais il existe d'importants obstacles au déploiement de l'IA dans les domaines liés au climat
- Les acteurs présentent le potentiel d'économies de l'IA en construisant des **scénarios d'adoption les plus favorables**
- Visualisations et synthèses traduisent un **excès de confiance** dans l'atteinte d'estimations hypothétiques

Messages clés des Energy Security Scenarios 2025 de Shell



Source : https://www.shell.com/news-and-insights/scenarios/the-2025-energy-security-scenarios.html

Des estimations globales ?

Source	Type	Lié au calcul	Lié aux applications (réductions)	Lié aux applications (hausses)	Systé-mique
Stern et al. 2025	Article de revue	Hausse totale des centres de données	Électricité, viande et produits laitiers, véhicules routiers légers	Non	Non
AIE 2025	Rapport technique	Total des centres de données	Certaines applications énergétiques	Non	Rebond uniquement
PWC 2025	Rapport de conseil	Hausse totale des centres de données	Ensemble de l'économie	Non	Non
Schneider Electric 2024	Rapport technique	IA	Non	Non	Non
de Vries 2023	Article de revue	IA	Non	Non	Non

Aucune hausse liée aux applications ni aucun effet systémique évalués

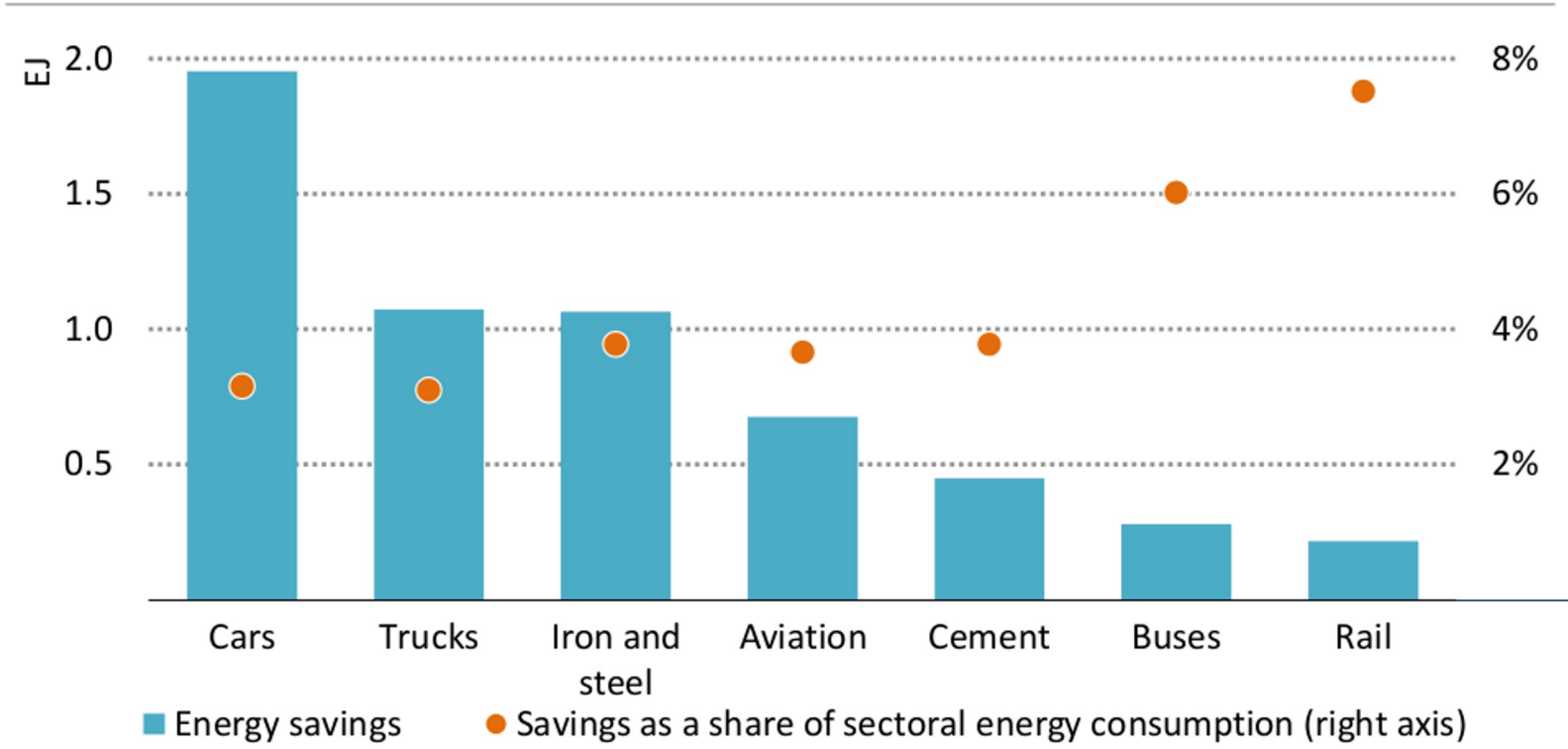
Le danger des sophismes dans (l'absence de) comparaisons Entre les impacts **positifs** et **négatifs** de l'IA

« *La consommation d'énergie de l'IA vaut-elle ses bénéfices climatiques ?* »
est une question **mal posée**

économies d'énergie potentielles dans certains secteurs

≠ bénéfice climatique net

≠ un accélérateur mondial majeur pour atteindre les objectifs climatiques



IEA. CC BY 4.0.

Widespread adoption of known AI applications has the potential to save 13.5 EJ across all end-use sectors in 2035, greater than Indonesia's annual energy consumption today

Note: This energy savings potential is estimated using existing AI applications only and does not factor in solutions that might emerge in the future. A detailed discussion of this approach is available in IEA (2025a).

Source : AIE 2026, Energy and AI

Adoption généralisée de l'IA dans toutes les industries

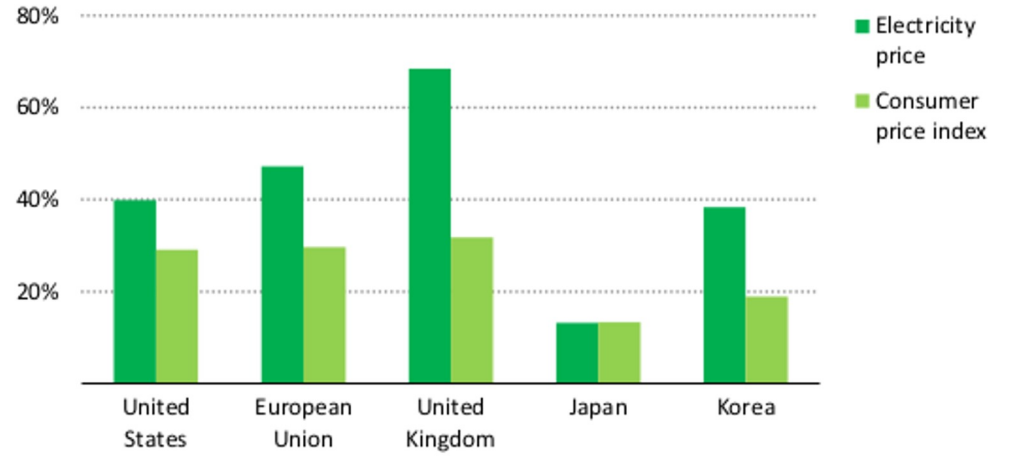
Verdir le réseau ne suffit pas

- La planète ne peut pas absorber une croissance débridée de l'IA
- a déjà des impacts sociaux

La voie vers zéro émission nette est étroite : y rester exige le déploiement immédiat et massif de toutes les technologies énergétiques propres et efficaces disponibles. Dans la trajectoire zéro émission nette présentée dans ce rapport, l'économie mondiale en 2030 est environ 40 % plus importante qu'aujourd'hui, mais consomme 7 % d'énergie en moins. Un effort mondial majeur pour accroître l'efficacité énergétique est un élément essentiel de ces efforts, avec une amélioration annuelle de l'intensité énergétique de 4 % en moyenne jusqu'en 2030, soit environ trois fois le rythme moyen des deux dernières décennies.

Source : AIE, « Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector » (2021)

Figure 8.1 ▷ Change in nominal residential electricity price and consumer price index by country or region, January 2019-December 2025



Residential electricity prices have risen faster than headline inflation in several markets in recent years

Source : AIE, « Energy and AI » 2026

Plan du cours

Impacts liés au calcul

Impacts des applications

Impacts systémiques

Considérations transversales

Réguler la consommation d'énergie et de ressources

Favoriser l'IA pour le climat

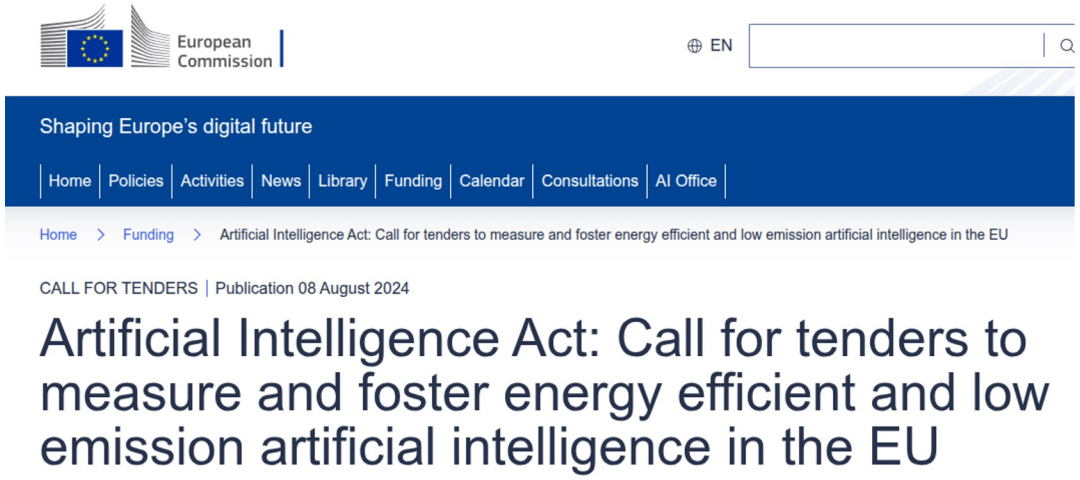
Exiger la transparence

Rappel : cours sur les politiques et la réglementation de l'IA et du climat

À FAIRE : ajouter des diapositives de synthèse si j'obtiens l'accès aux autres présentations

Initiatives existantes pour favoriser les applications

- Financements publics dédiés à la recherche et au développement (UE, Allemagne, Autriche, Suède, États-Unis, etc.)
- Grands programmes de recherche et de surveillance (Copernicus, Nasa Harvest, etc.)
- Certaines stratégies d'IA et le règlement européen sur l'IA (2024) mettent en avant le changement climatique comme domaine d'application



Encourager

les applications frugales

afnor NORMALISATION

General framework for frugal AI

Measuring and reducing the environmental impact of AI

IA et environnement : 12 territoires sélectionnés pour concevoir l'IA frugale au service de la transition écologique

Publié le 13 septembre 2024 , par Olivier Devillers, pour Localtis

Environnement, Numérique

La Banque des Territoires a accueilli le 10 septembre 2024 les 8 nouveaux lauréats de l'appel à projets démonstrateur d'IA frugale pour la transition écologique des territoires, rejoignant les 4 territoires déjà labellisés. L'occasion de découvrir, avec des exemples variés et concrets, la notion de frugalité appliquée à l'intelligence artificielle.



Initiatives existantes exigeant la transparence

- Le règlement européen sur l'IA (2024)

  Déclaration des ressources de calcul et de la consommation d'énergie des systèmes à haut risque et des grands modèles

- Proposition de loi américaine Artificial Intelligence Environmental Impacts Act (2024)

  Exiger des évaluations d'impact environnemental (par l'EPA et le NIST)

  Impacts liés aux applications et au calcul



Official Journal of the European Union — EN, L series

2024/1689 — 12.7.2024

REGULATION (EU) 2024/1689 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

of 13 June 2024

laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act)

(Text with EEA relevance)

Annex IV: Technical Documentation
[for high-risk AI systems]
(c) […] the computational resources used to develop, train, test and validate the AI system;

Annex XI: Section 1 – Information to be provided by all providers of general-purpose AI models
(d) the computational resources used to train the model (e.g. number of floating point operations), training time, and other relevant details related to the training;
(e) known or estimated energy consumption of the model. With regard to point (e), where the energy consumption of the model is unknown, the energy consumption may be based on information about computational resources used.

Sondage n° 6

Le règlement européen sur l'IA exige la publication de la consommation d'énergie de l'IA à usage général pour :

a) l'entraînement, b) l'inférence, c) les deux, d) aucun

Les omissions comptent

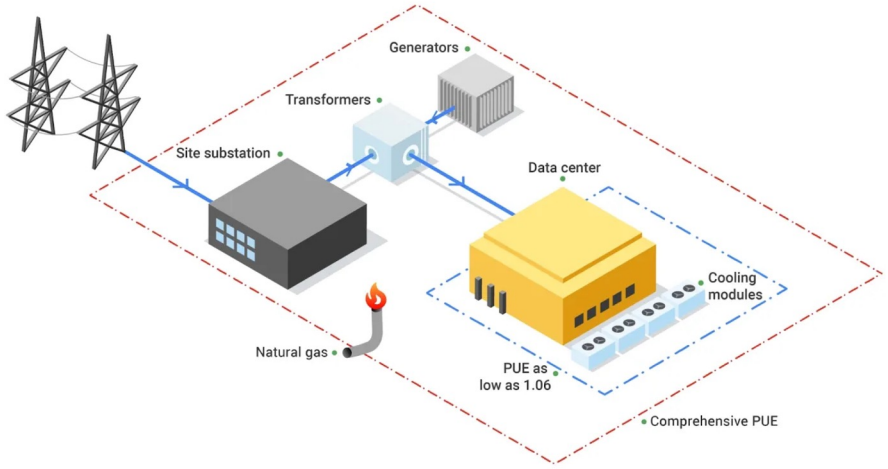


Exemple du **règlement européen sur l'IA** :

- Pour l'**IA à usage général** : lacune importante, car il ne couvre que l'énergie consommée pendant la phase de développement du modèle et **laisse de côté la phase d'inférence**
- Lorsque le règlement impose la publication de la consommation d'énergie, ces **informations sont réservées aux autorités et inaccessibles aux fournisseurs en aval** → cela réduit fortement la transparence et la redevabilité, et affaiblit le contrôle public et les réactions du marché.
- Le règlement sur l'IA ne traite pas des émissions de gaz à effet de serre (GES) générées **par** les applications de l'IA
- La consommation d'eau n'est pas traitée
- L'environnement pourrait en théorie être un critère pour les systèmes à haut risque, mais ce n'est pas explicite.

Réguler les centres de données

- Directive relative à l'efficacité énergétique UE/2023/1791 (« DEE ») et règlement délégué de la Commission UE/2024/1364
  - s'applique à tous les centres de données de l'UE d'une puissance d'au moins 500 kW, y compris les petits centres de données.
  - Les exploitants doivent collecter, rendre publiques et déclarer à une base de données de l'UE des informations, chaque année.
  - Les données exigées comprennent la consommation d'énergie, la puissance utilisée, les températures de consigne, la valorisation de la chaleur fatale, la consommation d'eau et l'usage d'énergies renouvelables



Indicateur d'efficacité énergétique PUE (image : Google)

- Loi allemande de 2023 sur l'efficacité énergétique
  - impose aux exploitants de centres de données d'informer chaque année leurs clients de la consommation d'énergie

Besoin d'une supervision intégrée de l'implantation des centres de données

- Faire de la gouvernance des infrastructures de données, au-delà d'un simple enjeu énergie-eau, un levier d'aménagement équitable du territoire et une vision politique centrée sur les personnes.

- Interaction avec l'usage des sols : l'implantation a de multiples implications du fait de son interaction avec le zonage local, la valeur foncière et les priorités de restauration des écosystèmes

- Débat en cours sur les mécanismes de compensation ; des cadres de bénéfices pour les communautés sont nécessaires

- **→ Besoin d'une supervision intégrée couvrant l'énergie, l'environnement et l'économie numérique.**





Synthèse

📝 Les impacts de l'IA sur la durabilité couvrent tout son cycle de vie et relèvent de diverses catégories d'impact

→ Examiner le calcul, les applications et les impacts systémiques

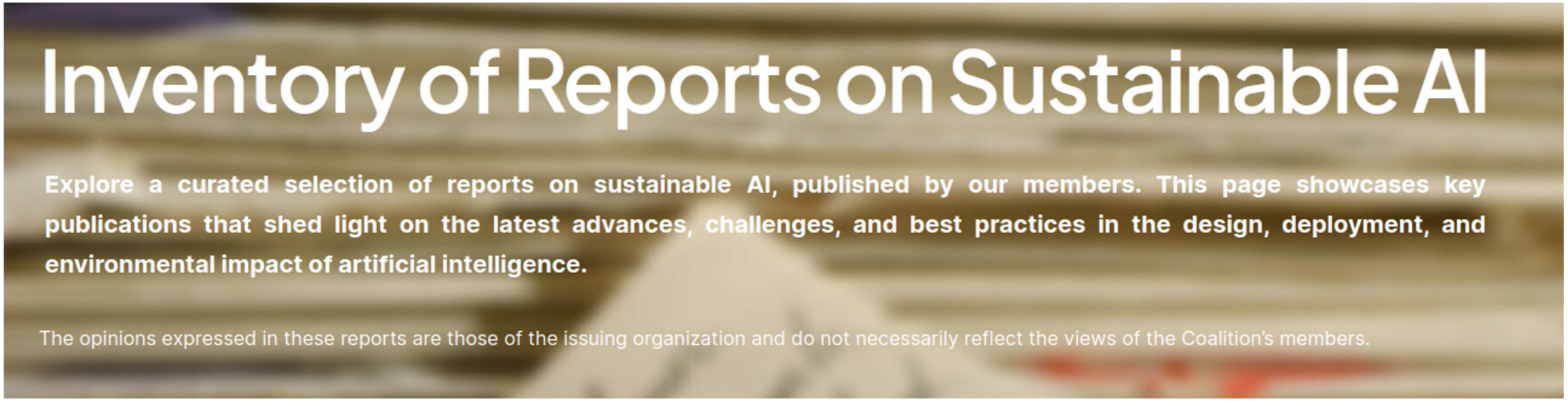
📝 Les impacts des grands modèles doivent être mieux traités par une action fondée sur des données probantes

📝 Oui aux applications frugales d'IA pour le climat !

📝Les estimations restent incertaines ; perspectives et discours doivent rester prudents

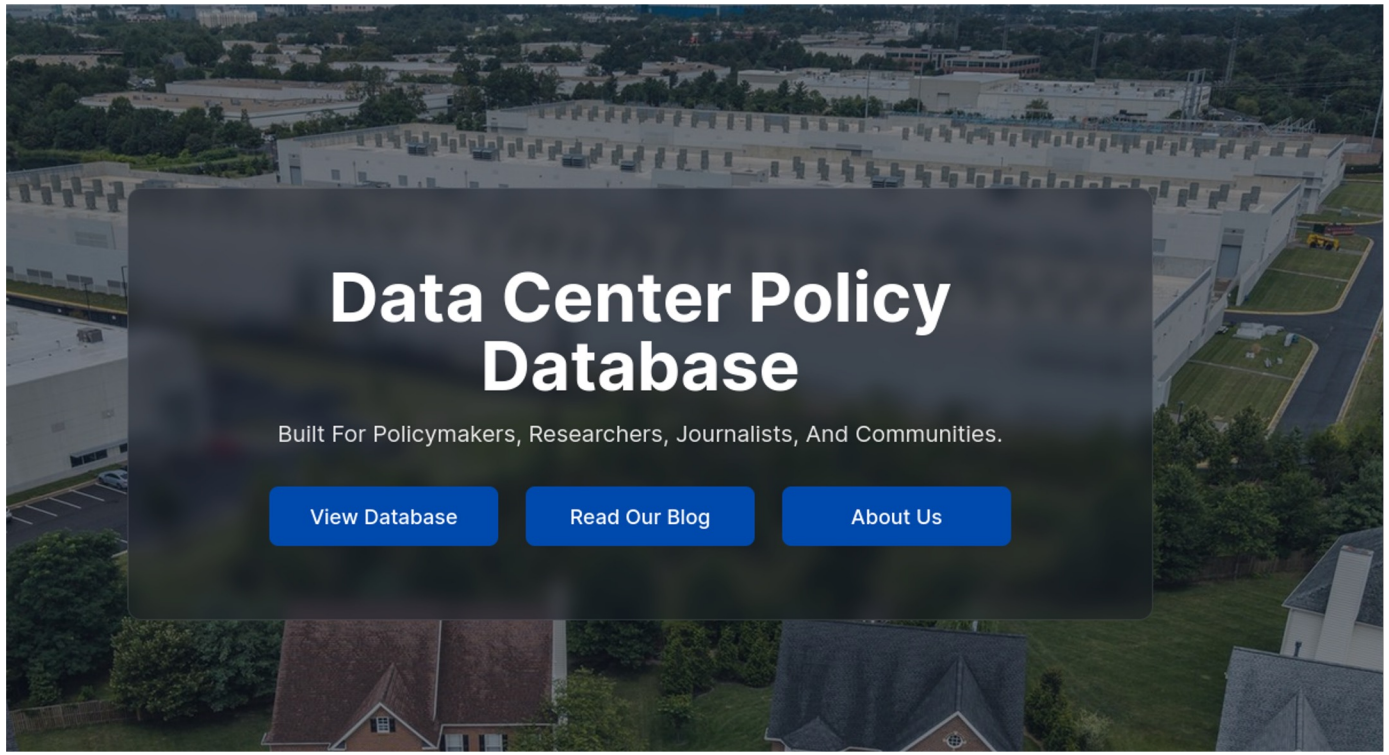
📝 Réguler l'IA, au-delà des incitations du marché, peut renforcer la transparence,

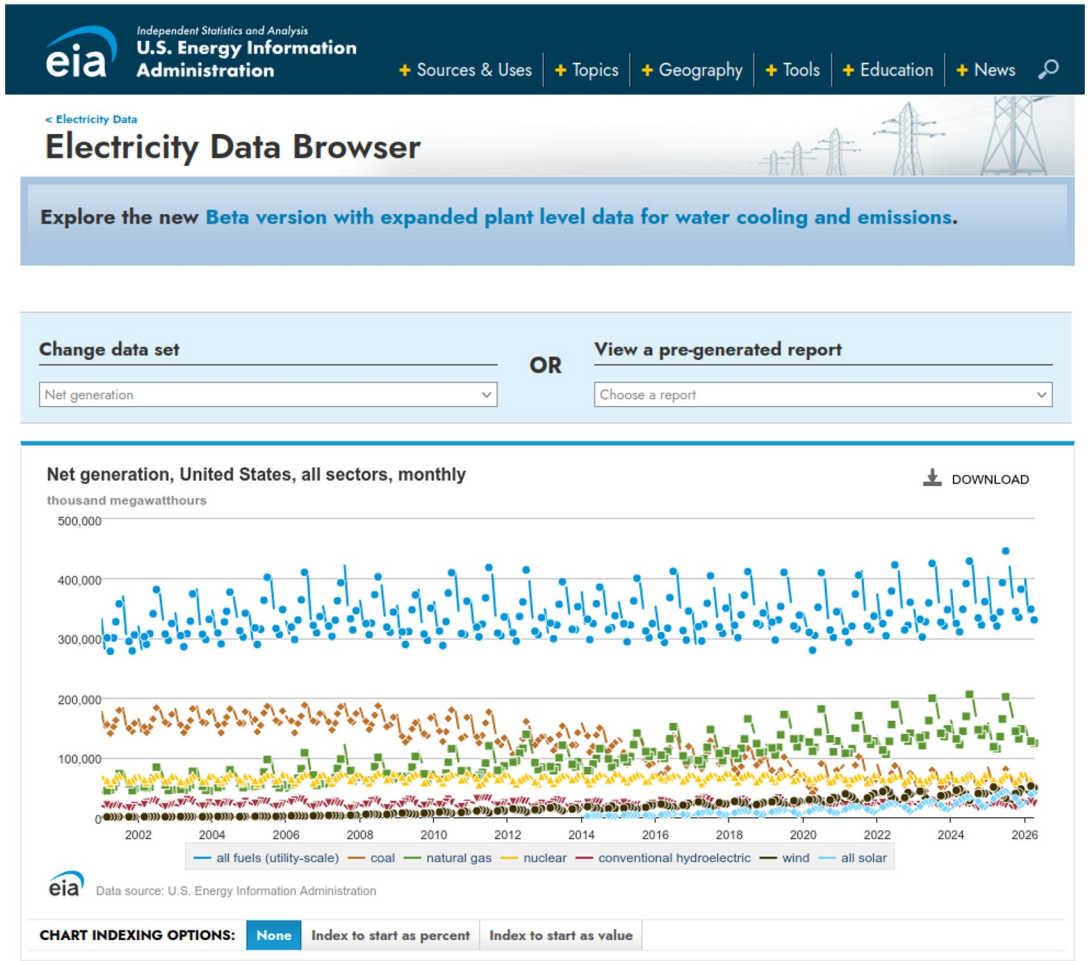
Autres ressources



https://www.sustainableaicoalition.org/inventory-of-key-reports-on-sustainable-ai/

Données


Data Center Policy Database
Built For Policymakers, Researchers, Journalists, And Communities.
View Database
Read Our Blog
About Us


eia
Independent Statistics and Analysis
U.S. Energy Information Administration
+ Sources & Uses
+ Topics
+ Geography
+ Tools
+ Education
+ News
< Electricity Data
Electricity Data Browser
Explore the new Beta version with expanded plant level data for water cooling and emissions.
Change data set
Net generation
OR
View a pre-generated report
Choose a report
Net generation, United States, all sectors, monthly
DOWNLOAD
thousand megawatthours
500,000
400,000
300,000
200,000
100,000
2002
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022
2024
2026
all fuels (utility-scale)
coal
natural gas
nuclear
conventional hydroelectric
wind
all solar
Data source: U.S. Energy Information Administration
CHART INDEXING OPTIONS:
None
Index to start as percent
Index to start as value

Questions-réponses

Quiz n° 1

Pour les principaux grands modèles de langage commerciaux, la consommation d'énergie la plus importante est-elle celle de

a) l'entraînement, b) l'inférence ?

Quiz n° 2

Les grands modèles donnent-ils toujours de meilleurs résultats que les petits pour les tâches liées au climat ?

a) Vrai, b) Faux

Quiz n° 3

Disposons-nous d'estimations scientifiques solides sur *l'impact* net futur de l'IA sur le climat ?

a) Vrai, b) Faux

Quiz n° 4

Qualitativement,

l'impact net *actuel* de l'IA sur le climat est-il :

a) négatif, b) positif ?

Quiz n° 5

Utiliser davantage d’énergies renouvelables est-il la solution à la hausse de la demande d’électricité de l’IA ?

a) Vrai, b) Faux

Lectures préalables

- Aligning artificial intelligence with climate change mitigation, Kaack et al 2022 https://www.nature.com/articles/s41558-022-01377-7
- The AI Climate Hoax: Behind the Curtain of How Big Tech Greenwashes Impacts, Ketan Joshi, 2026 https://drive.google.com/file/d/12l1W4W25b-_ff6yFNJABkfal9_9oevxe/view
- The Real Story on AI's Water Use–and How to Tackle It, Shaolei Ren & Amy Luers, 2025 https://spectrum.ieee.org/ai-water-usage