

Numérique, Intelligence Artificielle & Environnement

Mathilde JAY

Rdatadev - 17 octobre 2023

Définition de l'énergie

D'après Wikipedia :

“L'énergie est un concept relié à ceux d'**action**, de **force** et de **durée** : la mise en œuvre d'une action nécessite de maintenir une certaine force pendant une durée suffisante, pour vaincre les inerties et résistances qui s'opposent à ce changement.

[...]

En science physique, l'énergie, mesurée en **joules** dans le système international, est une mesure de la capacité d'un système à **modifier un état**, à produire un travail entraînant un mouvement, un rayonnement électromagnétique ou de la chaleur.”

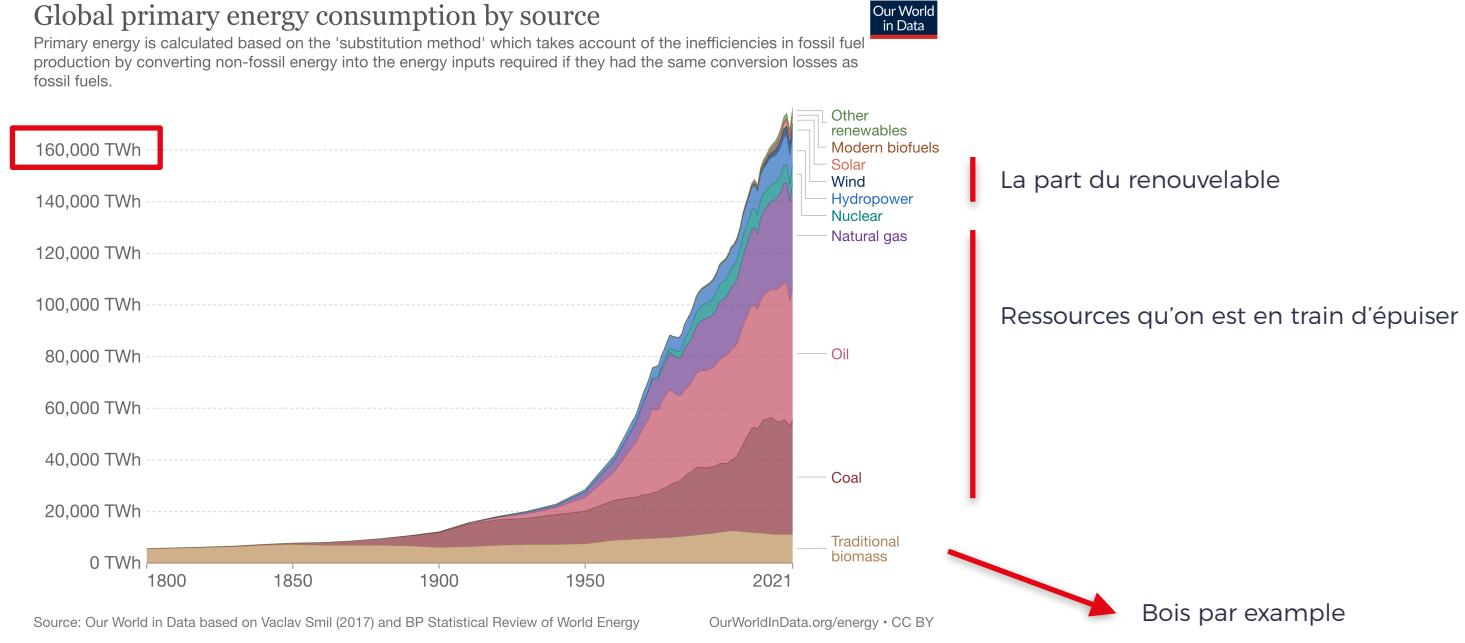
$$\text{Énergie (Joules)} = \text{Puissance (Watt)} \times \text{Durée (Secondes)}$$

Autre unité très utilisée : kWh

Sources d'énergie

Global primary energy consumption by source

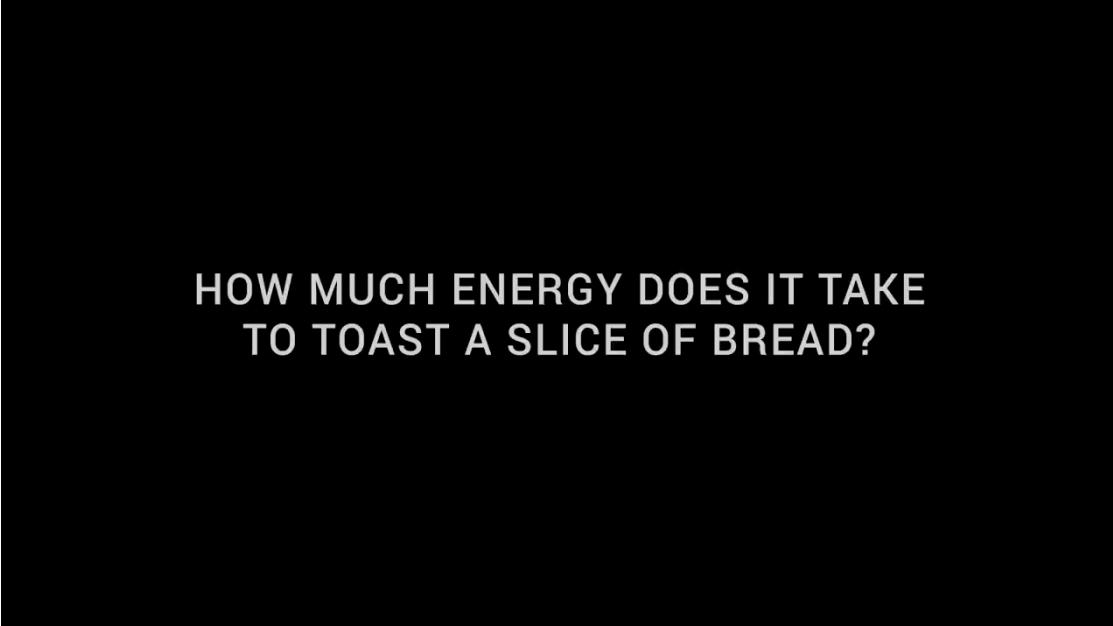
Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.



Exemples pour apprêhender des ordres de grandeurs

	Puissance	Durée pour atteindre 1 kWh
Sèche-cheveux	2 kW	30 minutes
Ampoules LED	4 W	10,4 jours
Voiture Renault ZOE	100 kW	36 secondes
4 moteurs d'avion	34 MW	0,1 secondes
Macbook Air	Batterie de 50 Wh	20 décharges
Pile AA alcaline	Batterie de 3,75 Wh	267 piles

Exemples pour apprêhender des ordres de grandeurs



HOW MUCH ENERGY DOES IT TAKE
TO TOAST A SLICE OF BREAD?

Numérique : définitions

TDP : Thermal Design Power

« Quantité maximale de chaleur générée par une puce ou un **composant informatique** que le système de refroidissement d'un ordinateur est conçu pour dissiper sous n'importe quelle charge de travail. »

Bonne approximation de la puissance du composant à utilisation maximale.

PUE : Power Usage Effectiveness

$$\text{PUE} = \frac{\text{Énergie totale consommée}}{\text{Énergie consommée par l'infrastructure informatique}}$$

Évalue l'efficacité énergétique des **centres de données**, en particulier du système de refroidissement.

Autre indicateurs : WUE (pour l'eau)

Exemples dans le numérique : TDP

	TDP
CPU	100 W
GPU H100 PCIe	350 W
GPU H100 SXM	700 W
TPU v4	200 W



Et pour un serveur complet ?

- Serveur cloud : quelques centaines de watt
- Serveur IA avec 8 GPUs : Quelques milliers de watt

Exemples dans le numérique: PUE

Moyenne mondiale : 1,55

(D'après <https://uptimeinstitute.com/about-ui/press-releases/2022-global-data-center-surveyreveals-strong-industry-growth>)

Moyenne chez les GAFAM : 1,1

(D'après eux)

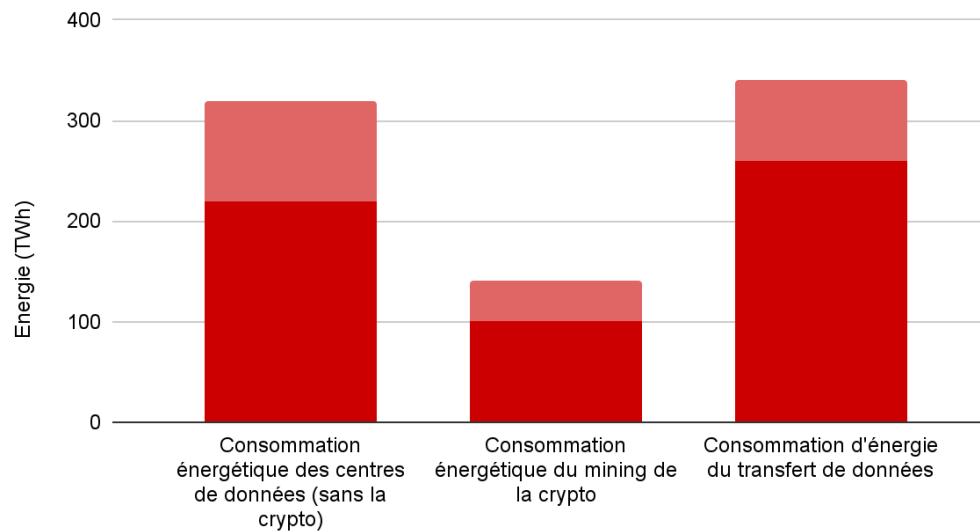
	PUE
Google	1,06-1,10
Meta	1,09
Amazon	1.07–1.15
Microsoft	1,18

Énergie consommée par les centres de données

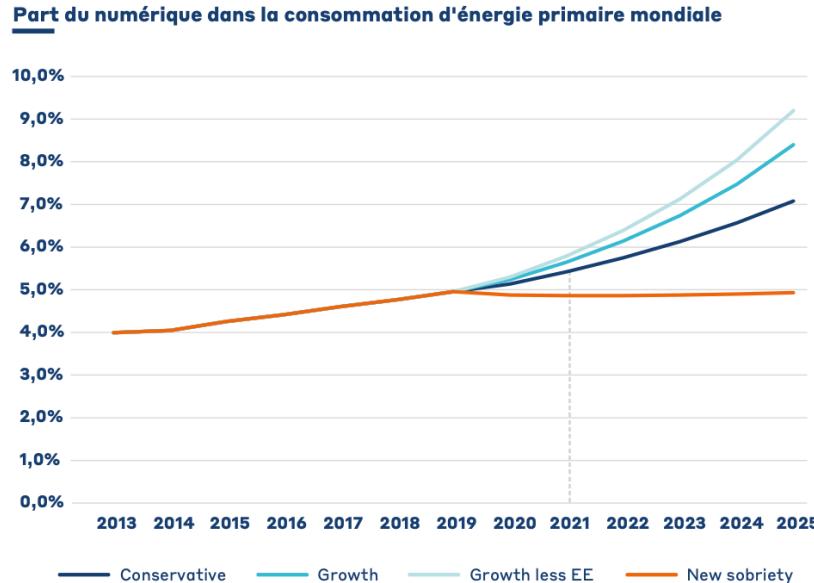
En 2021

Par rapport au total de
160 000 TWh

Centre de données +
crypto + transfert des
données
= **0,4 %** de l'énergie
produite mondialement



Énergie consommée par le numérique



https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/03>Note-danalyse_Numerique-et-5G_30-mars-2021.pdf

Estimation faite par le Shift Project (2021)

Prend en compte tous les équipements numériques

- Terminaux utilisateurs
 - Smartphones
 - Ordinateurs fixes ou portables

Par rapport au graphe précédent : **10 fois plus important** dans la part dans la consommation d'énergie primaire mondiale

Ouverture sur l'impact environnemental

Source d'énergie du numérique : l'électricité

Chaque source est **cause** d'émissions de CO₂.

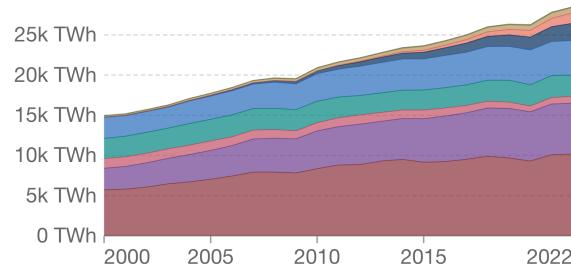
Mais avec une intensité carbone (quantité de CO₂ par kWh) qui peut être **très différente**.

Electricity production by source

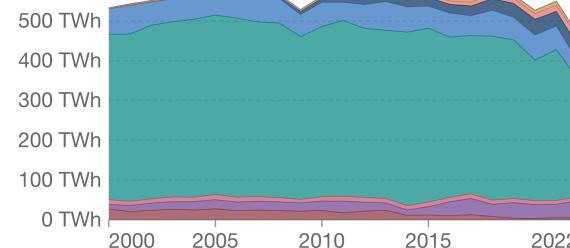
Our World in Data

Other renewables Bioenergy Solar Wind Hydropower Nuclear Oil Gas Coal

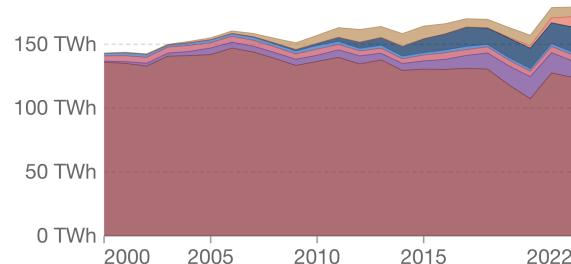
World



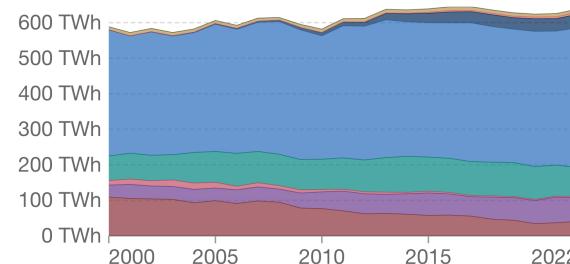
France



Poland



Canada



Source: Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy (2022); Ember (2023)
Note: 'Other renewables' includes waste, geothermal, wave and tidal.

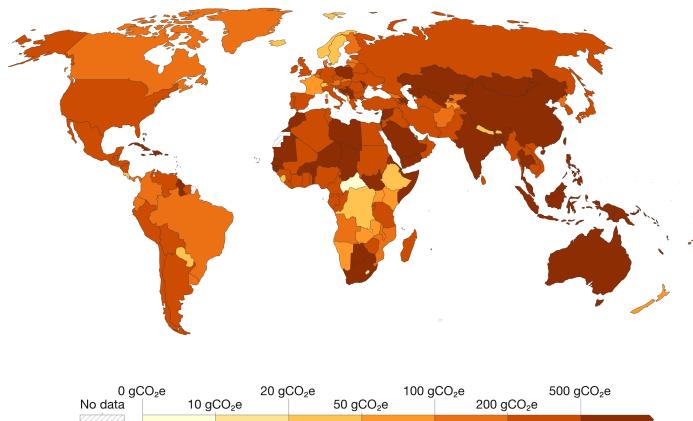
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Évaluer les émissions CO₂ équivalent

Carbon intensity of electricity, 2022

Carbon intensity is measured in grams of carbon dioxide-equivalents¹ emitted per kilowatt-hour of electricity.

Our World
in Data



Source: Ember Climate (from various sources including the European Environment Agency and EIA)

OurWorldInData.org/energy • CC BY

1. Carbon dioxide-equivalents (CO₂eq): Carbon dioxide is the most important greenhouse gas, but not the only one. To capture all greenhouse gas emissions, researchers express them in 'carbon dioxide-equivalents' (CO₂eq). This takes all greenhouse gases into account, not just CO₂. To express all greenhouse gases in carbon dioxide-equivalents (CO₂eq), each one is weighted by its global warming potential (GWP) value. GWP measures the amount of warming a gas creates compared to CO₂. CO₂ is given a GWP value of one. If a gas had a GWP of 10 then one kilogram of that gas would generate ten times the warming effect as one kilogram of CO₂. Carbon dioxide-equivalents are calculated for each gas by multiplying the mass of emissions of a specific greenhouse gas by its GWP factor. This warming can be stated over different timescales. To calculate CO₂eq over 100 years, we'd multiply each gas by its GWP over a 100-year timescale (GWP100). Total greenhouse gas emissions – measured in CO₂eq – are then calculated by summing each gas' CO₂eq value.

Émissions CO₂ équivalent (CO₂equ)

=

Énergie consommée (kWh) x Intensité carbone

Impact du numérique

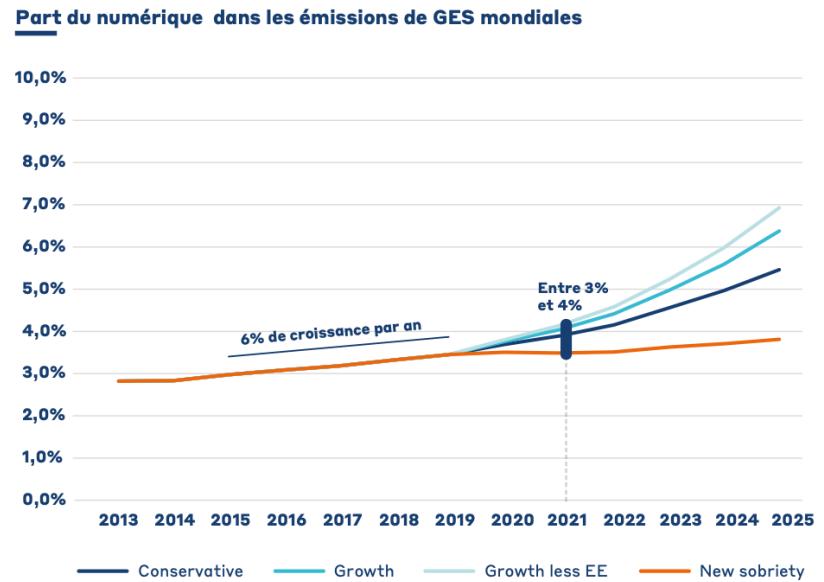
D'après l'agence internationale de l'énergie (AIE), pour les centres de données :

En 2020

- 300 Millions de tCO₂eq en 2020
 - Effets directs et indirects
- **0,6%** des émissions CO₂ globales

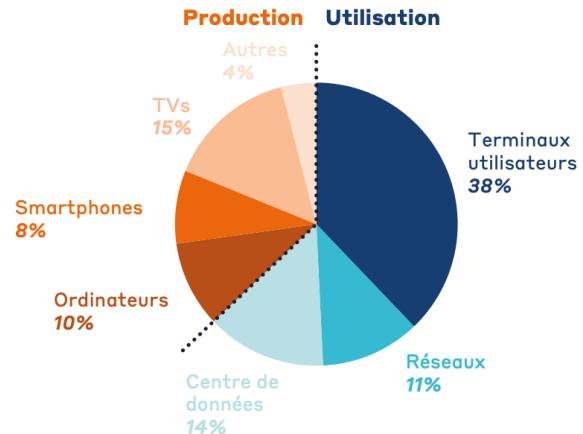
D'après le Shift Project

- Figure de droite
- Prennent en compte tous les équipements et tout le cycle de vie

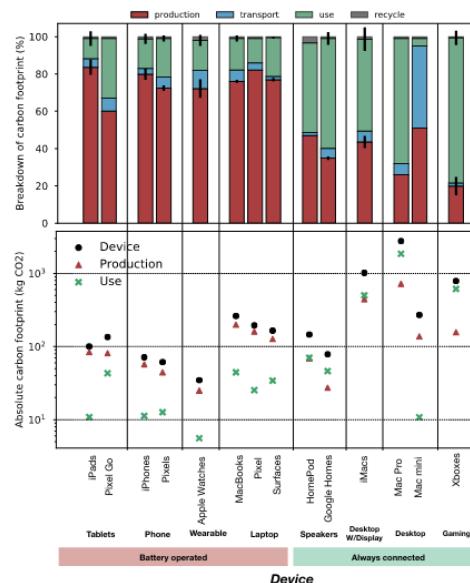


Analyse par cycle de vie

Distribution de l'empreinte carbone du numérique mondial par poste en 2019

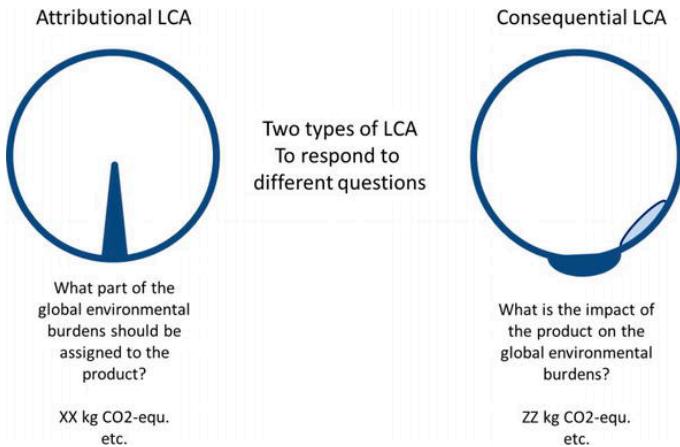


D'après le shift project

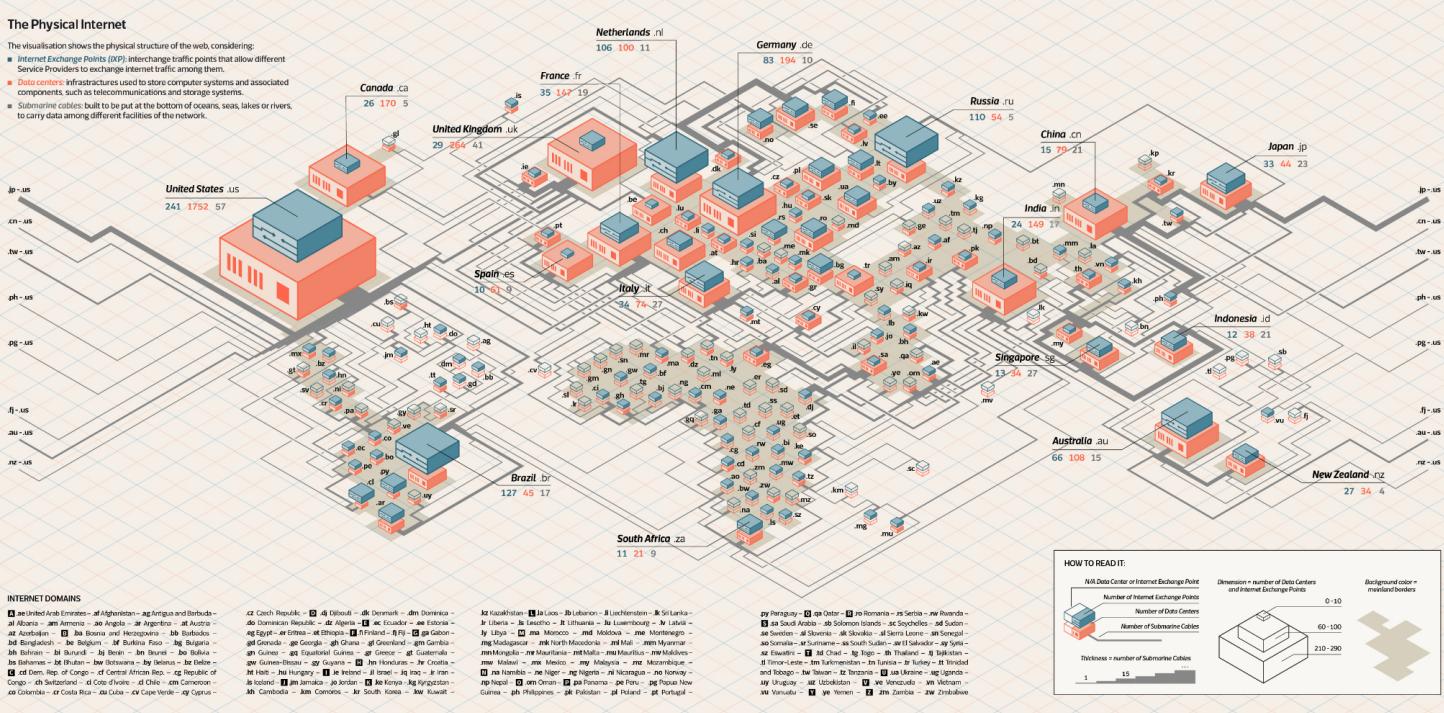


U. Gupta et al., "Chasing Carbon: The Elusive Environmental Footprint of Computing," arXiv:2011.02839 [cs], Oct. 2020, Accessed: Oct. 15, 2021. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2011.02839>

Analyse par cycle de vie : pour un service



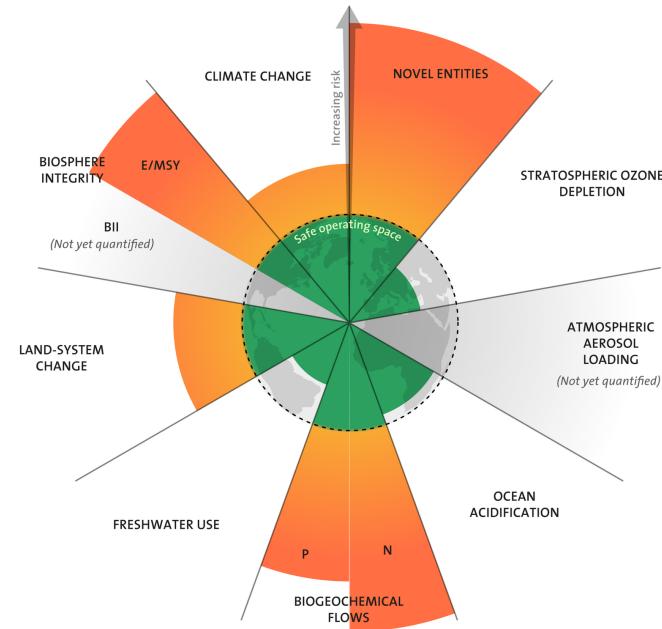
- Comment associer le coût de fabrication des équipements à un produit numérique ?
- Exemple :
 - Netflix
 - Midjourney / Dalle / Stable Diffusion



Situer le numérique (Gauthier Roussel) :
Livre sur l'impact environnemental du numérique

Tout n'est pas mesurable - ou ne doit pas être mesuré

- Pour le numérique :
 - Raréfaction des métaux rares
 - Consommation d'eau
 - Impact sur les sols / déchets
- Pas de besoin de savoir combien on consomme pour faire preuve de sobriété !



<https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2022-01-18-safe-planetary-boundary-for-pollutants-including-plastics-exceeded-say-researchers.html>

Intelligence artificielle

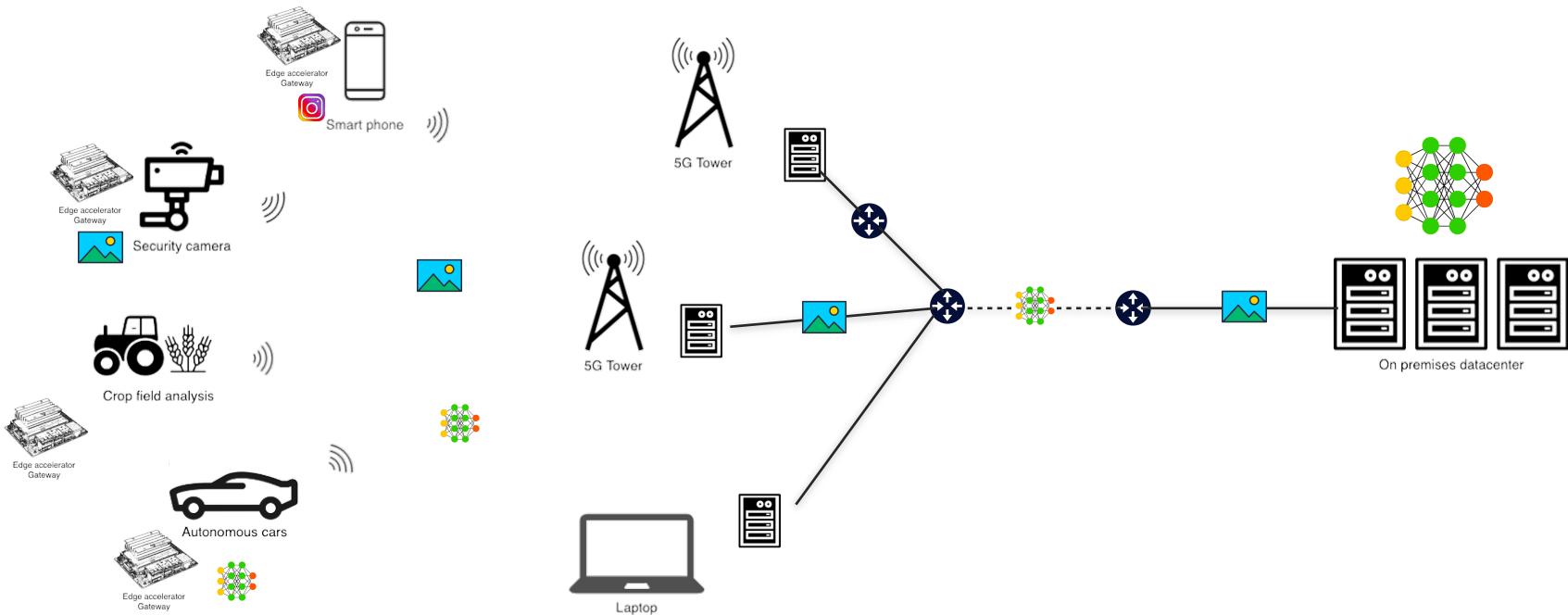


Au niveau mondial

D'après l'agence internationale de l'énergie :

- Alphabet (Google)
 - **10-15%** de sa consommation d'énergie était liée aux workload d'IA entre 2019 et 2021
 - Croissance de **20-25%** par an
 - En 2021, consommation total: 12k GWh (d'après Statistica)
- Meta et Google
 - **60-70%** pour l'inférence
 - **20-40%** pour l'entraînement
- AI générative vont accélérer la croissance

Infrastructures pour l'IA



Monitorer la consommation énergétique d'un centre de données

- Wattmètre / carte de management
- Wattmètres logiciels
- Estimation

Wattmètres

- PDU (Power Distribution Unit)
- Beaucoup de choix !

Wattmètres internes au server

- BMC (Baseboard management controller)
 - PowerMon2, PowerInsight,
- ...



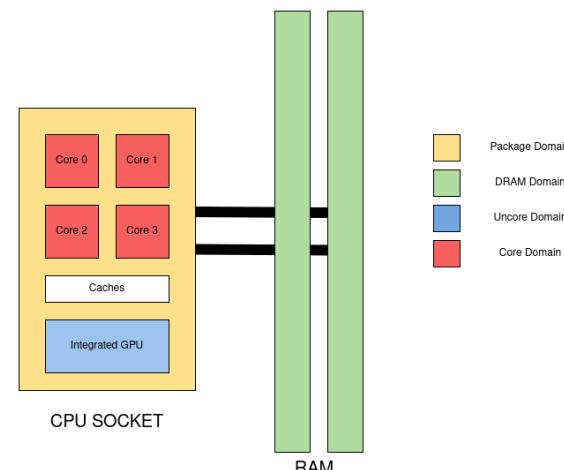
- + Méthode fiable - utilisée depuis longtemps
- + Compatible avec n'importe quelle machine
- Mesure la consommation globale du server (au niveau de la prise électrique)
- Fréquence et précision de mesure aléatoire
- Difficile à mettre en place à grande échelle
 - Coût, main d'oeuvre
 - Collection des données à automatiser

Interfaces internes

- + Disponibles sur la quasi-totalité des serveurs récents (Intel, Nvidia, AMD)
- + Bonne précision
 - Nombreuses études de qualité
 - Mise à jour instantanée
- Donne la consommation uniquement du CPU, de la DRAM et du GPU
- Utilisation directe relativement compliquée
- Besoin d'accès privilégiés à la machine

Beaucoup d'outils sont basés sur ces interfaces et les rendent plus facile à utiliser.

- Intel RAPL (Running Average Power Limit)
 - Pour les CPUs Intel
- Nvidia NVML (Nvidia Management Library)
 - Pour les GPUs Nvidia



Modèles de consommation

- Estimation à partir des caractéristiques de la tâche effectuée (temps d'exécution, ressources utilisées)

$$\begin{aligned} \text{Énergie} \\ = \\ \text{TDP} \times \text{Utilisation} \times \text{Temps d'exécution} \end{aligned}$$

- + Facile à comprendre et à utiliser
- + Compatible avec n'importe quelle machine
- Bonne précision
 - si l'utilisation des ressources est constante
 - Si bonne connaissance de la tâche
 - Pas de garanties
- Donne la consommation uniquement du CPU et du GPU

Merci pour votre
attention !

Questions ?