

TRAJECTOIRES ENVIRONNEMENTALES DU NUMÉRIQUE

CPGE — Lycée Baggio



Adrien Luxey-Bitri



Mardi 2 décembre 2025

Au menu

Qui je suis

Le problème énergétique

La matérialité du numérique

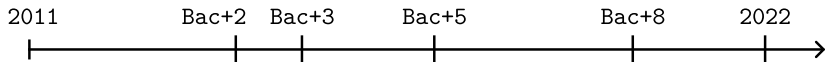
Le cas des centres de données

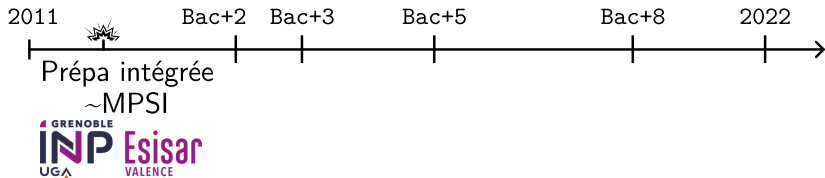
La croissance du numérique

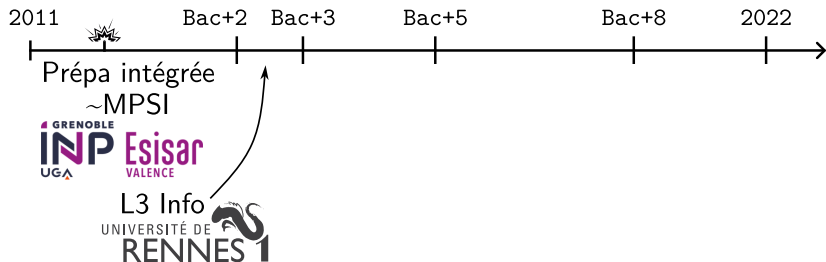
Et donc, l'IA ?

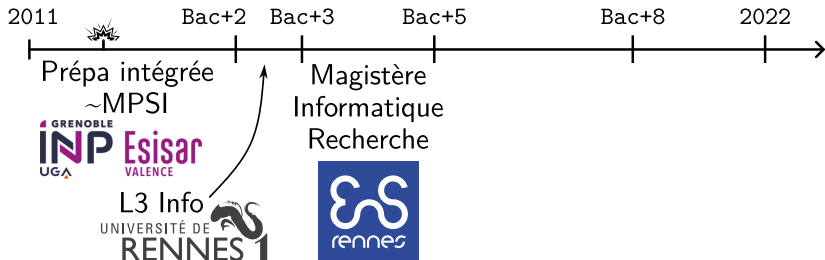
Références

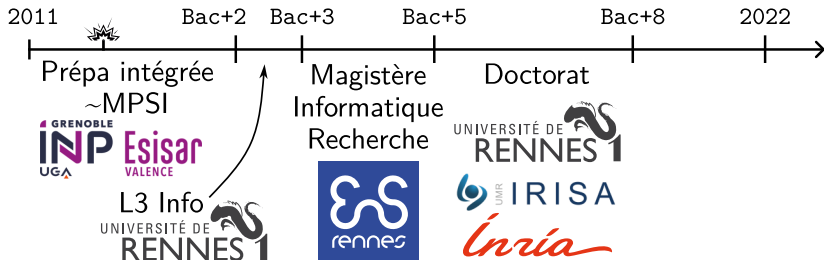
I – QUI JE SUIS

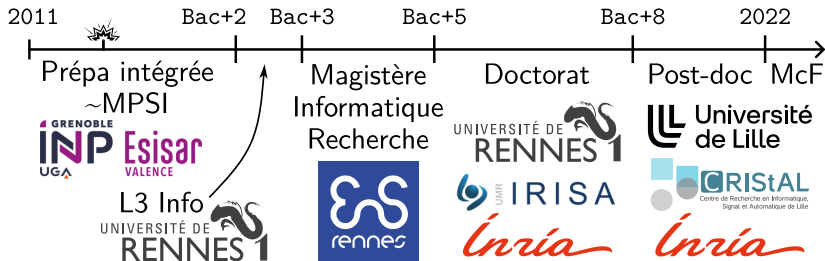


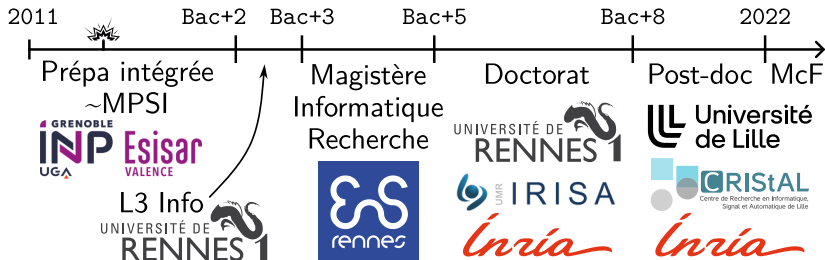




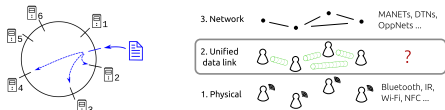


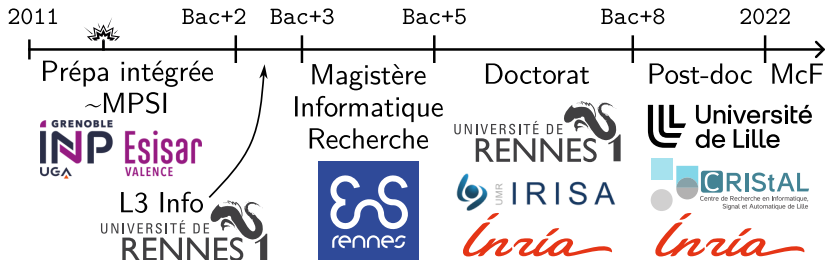




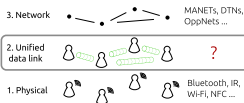


Thèse en systèmes répartis

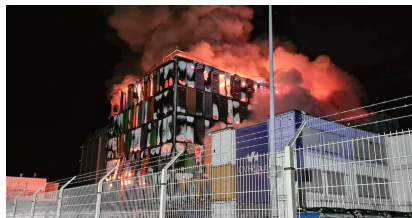




Thèse en systèmes répartis



Nouvelle spécialité : l'empreinte env. du numérique



Militant des libertés numériques

Hébergement décroissant



- 800 sites web
- 250 boîtes mail
- Chat, visio, pad, ...

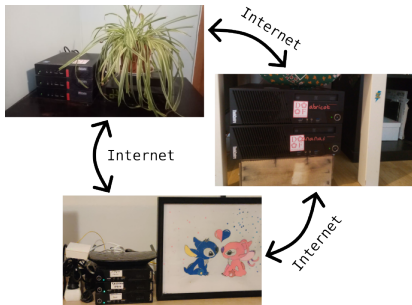
Militant des libertés numériques

Hébergement décroissant



- 800 sites web
- 250 boîtes mail
- Chat, visio, pad, ...

7 ordinaures



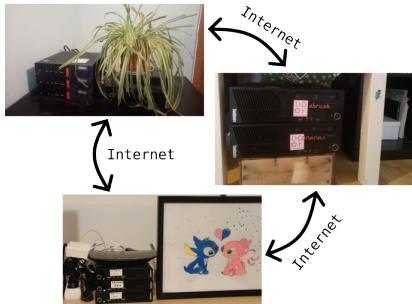
Militant des libertés numériques

Hébergement décroissant

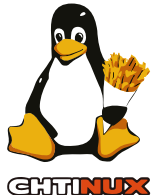


- 800 sites web
- 250 boîtes mail
- Chat, visio, pad, ...

7 ordinaures



Vos linuxiens locaux



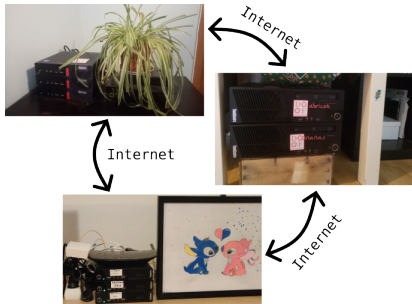
Militant des libertés numériques

Hébergement décroissant

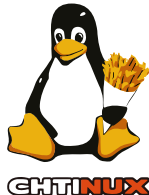


- 800 sites web
- 250 boîtes mail
- Chat, visio, pad, ...

7 ordinosaures



Vos linuxiens locaux

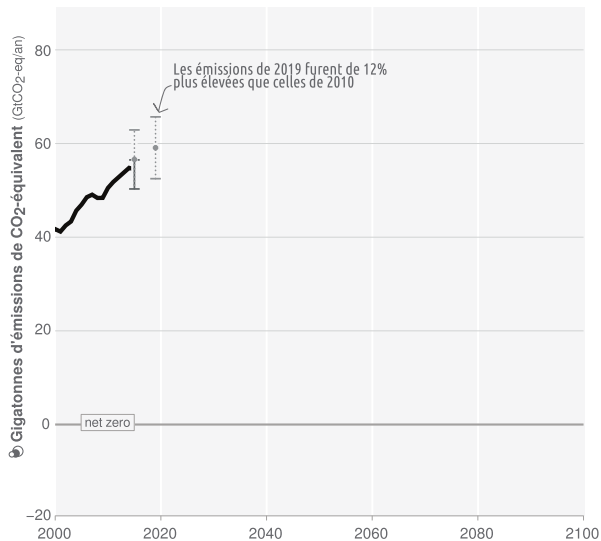


La fédé'



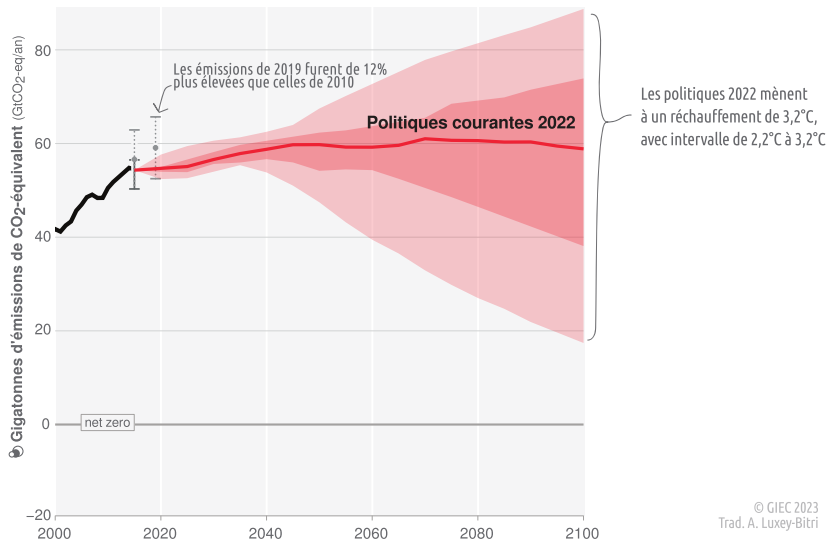
II – LE PROBLÈME ÉNERGÉTIQUE

Les gaz à effet de serre

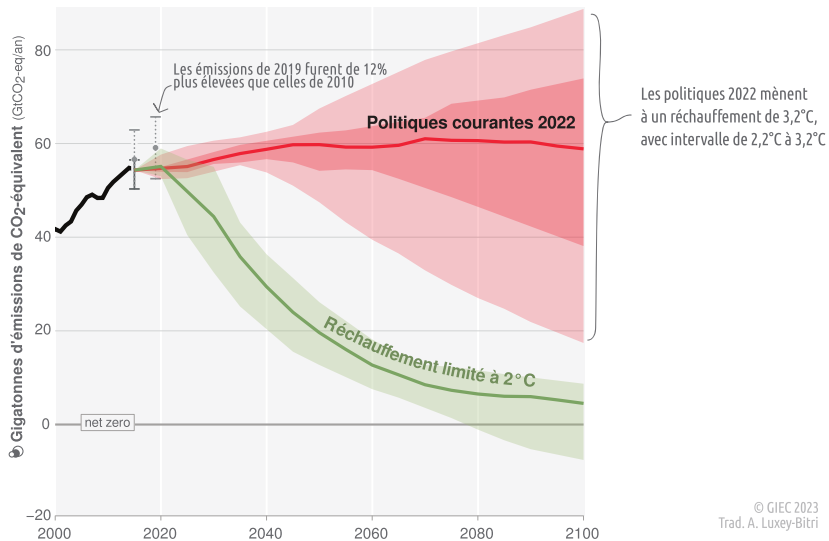


© GIEC 2023
Trad. A. Luxey-Bitri

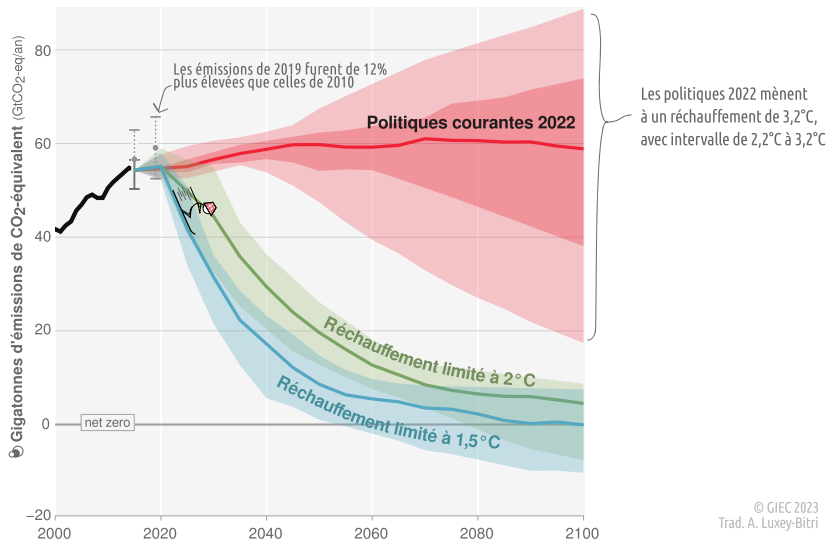
Les gaz à effet de serre



Les gaz à effet de serre



Les gaz à effet de serre

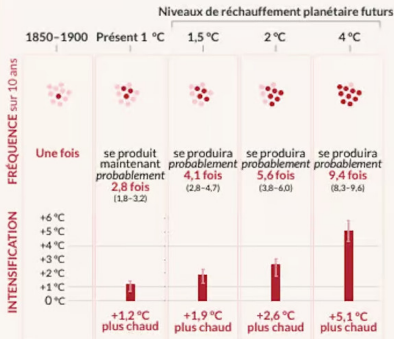


Et leurs conséquences

Extrêmes chauds au-dessus des terres émergées

Evènement décennal

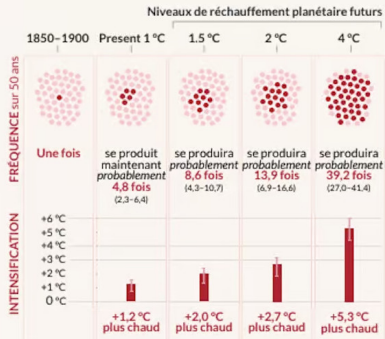
Augmentation de la fréquence et de l'intensité d'un évènement de température extrême qui se produisait **une fois tous les 10 ans** en moyenne dans un climat sans influence humaine.



Précipitations extrêmes sur les terres émergées

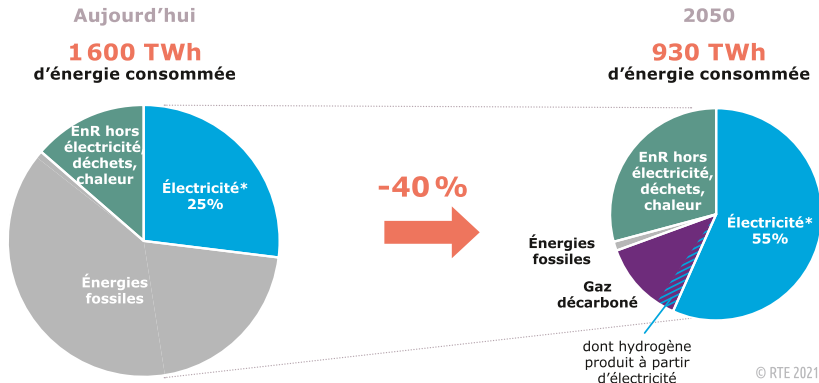
Evènement cinquantennal

Augmentation de la fréquence et de l'intensité d'un évènement de température extrême qui se produisait **une fois tous les 50 ans** en moyenne dans un climat sans influence humaine



Sécheresses de type agricole et écologique dans les régions qui s'assèchent

...



Sobriété & énergies « vertes »

Les énergies « vertes » en question



Montagne de Taihang (Chine)

Durée de vie d'un panneau solaire : 25 ans

Optimisation \neq écologie

Effet rebond

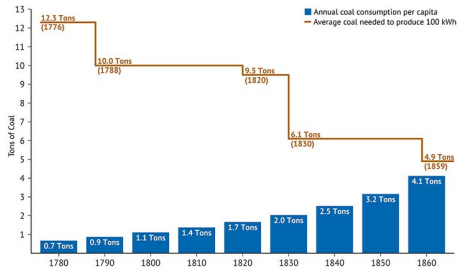
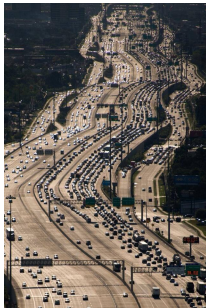
*Another lane
will fix it!*



Optimisation \neq écologie

Effet rebond

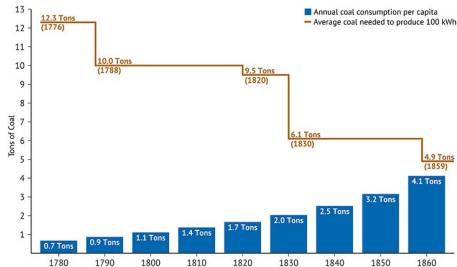
*Another lane
will fix it!*



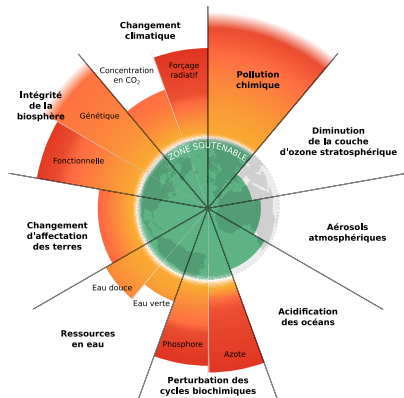
Optimisation \neq écologie

Effet rebond

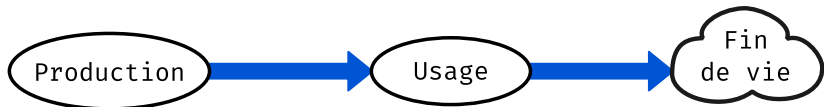
*Another lane
will fix it!*

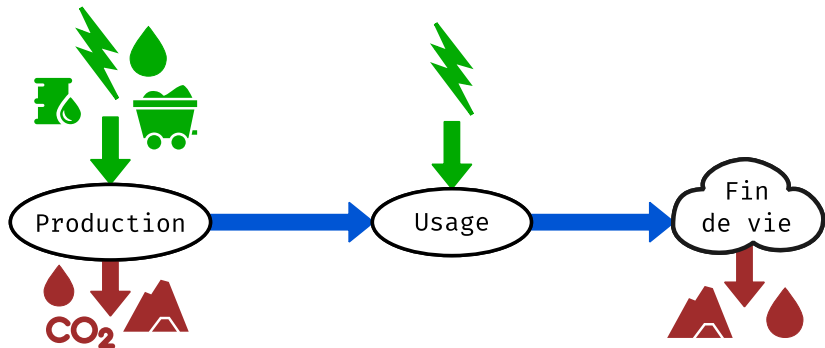


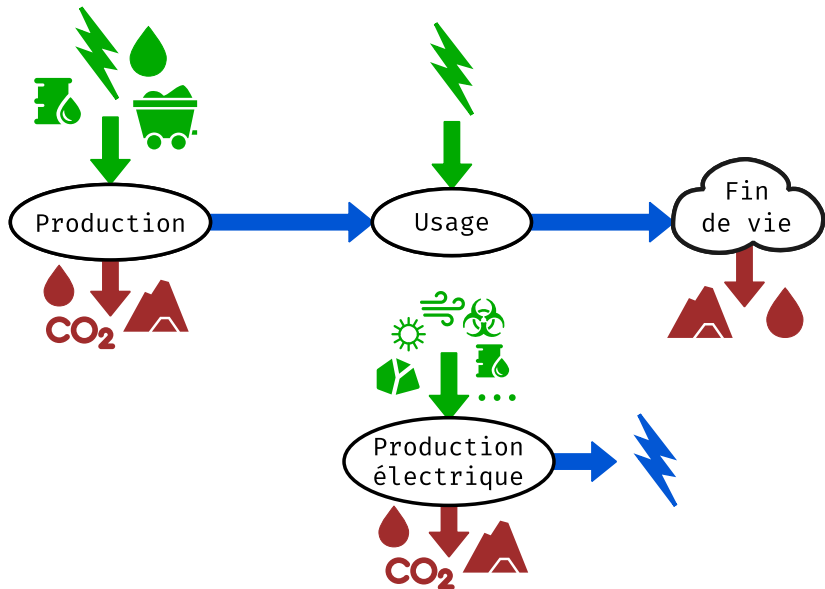
Autres limites planétaires

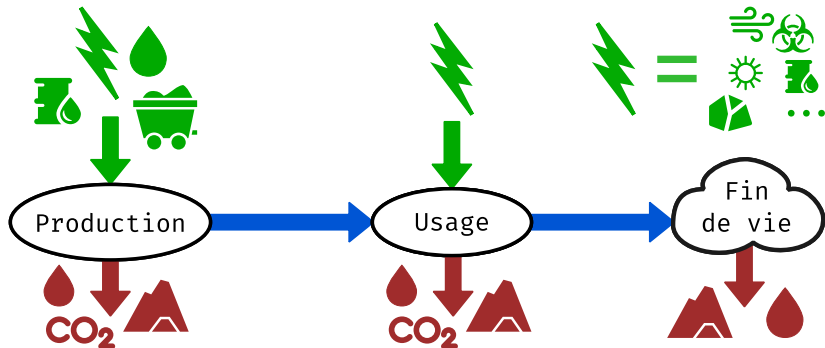


III – LA MATÉRIALITÉ DU NUMÉRIQUE













Mine d'Escondida
Désert d'Atacama (Chili)



DALLE TACTILE + VITRE

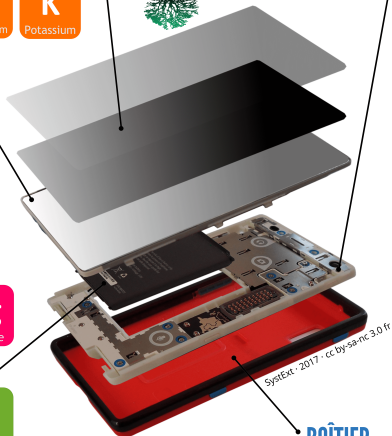
In Indium	Sn Etain	Si Silicium	Al Aluminium	K Potassium
---------------------	--------------------	-----------------------	------------------------	-----------------------

ÉCRAN

Eu Europium	Tb Terbium	Y Yttrium
Gd Gadolinium	Ce Cérium	Tm Thulium
La Lanthane	B Bore	Ba Baryum
S Soufre	Mg Magnésium	Mo Molybdène

BATTERIE

Li Lithium	Co Cobalt	C Carbone	F Fluor
Mn Manganèse	V Vanadium	P Phosphore	Al Aluminium



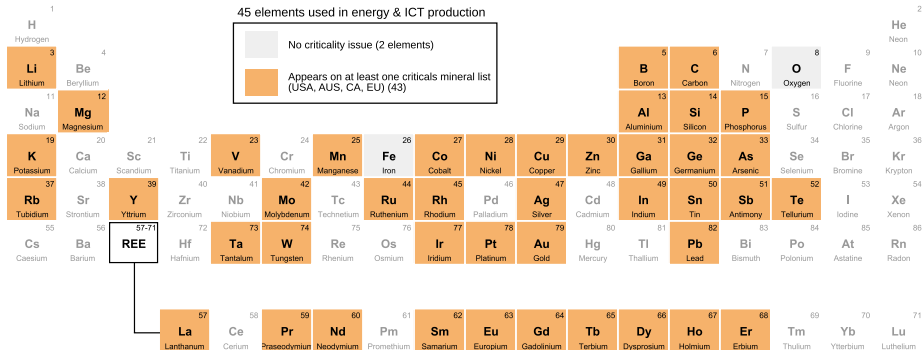
CARTE ET COMPOSANTS

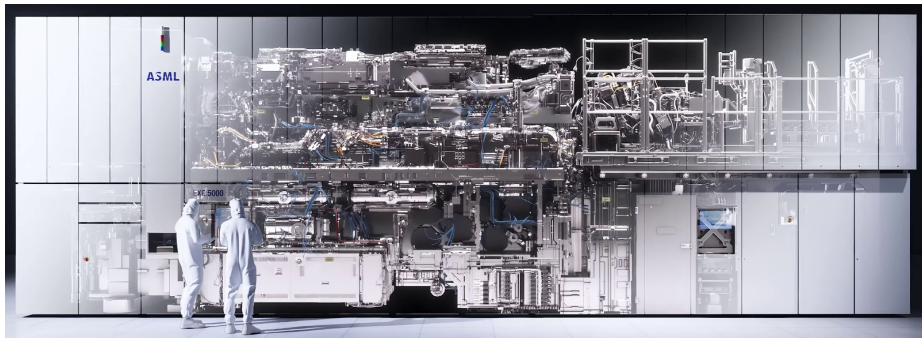
Ni Nickel	Pb Plomb	Sn Etain	Bi Bismuth
Au Or	Ag Argent	W Tungstène	Pt Platine
Rh Rhodium	Be Béryllium	Cu Cuivre	P Phosphore
As Arsenic	Ga Gallium	Ge Germanium	Si Silicium
Zr Zirconium	Ru Ruthénium	Nd Néodyme	Fe Fer
B Bore	Sm Samarium	Co Cobalt	Pr Praséodyme
Cl Chlore	Dy Dysprosium	Ta Tantale	
	Nb Niobium	Pd Palladium	

SystExt · 2017 · cc by-sa-nc 3.0 fr

BOÎTIER

Mg Magnésium	C Carbone	Sb Antimoine	Br Brome	Ni Nickel	Zn Zinc
------------------------	---------------------	------------------------	--------------------	---------------------	-------------------

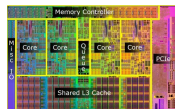
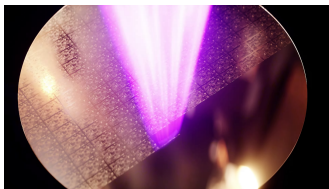


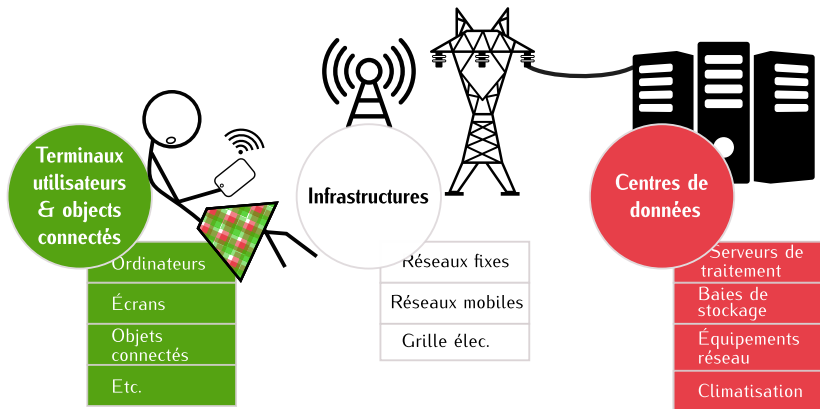


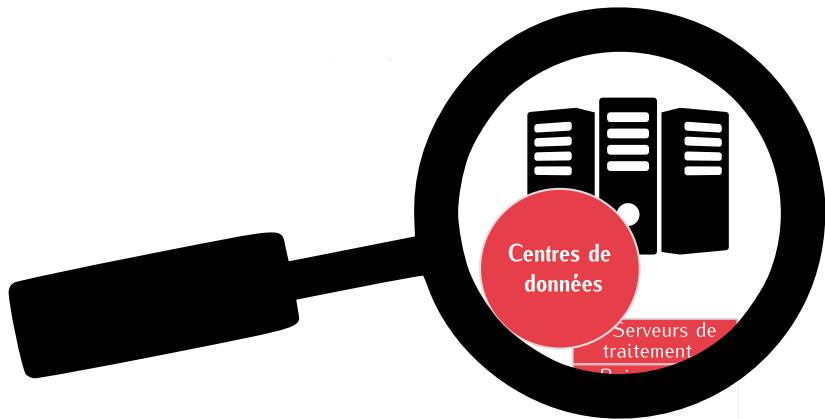
La lithographie High-NA EUV d'ASML

Résolution : 3 nm

Prix : 380M \$







« Après avoir cuisiné une ratatouille, comment récupérer séparément chaque ingrédient (tomate, courgette, sel...) ? »

« Après avoir cuisiné une ratatouille, comment récupérer séparément chaque ingrédient (tomate, courgette, sel...) ? »

Méthode industrielle



« Après avoir cuisiné une ratatouille, comment récupérer séparément chaque ingrédient (tomate, courgette, sel...) ? »

Méthode industrielle



Méthode artisanale



Welcome to Sodom, Documentaire, 2018
Agbogbloshie, Accra, Ghana

IV – LE CAS DES CENTRES DE DONNÉES

En bref

Plein d'ordinateurs

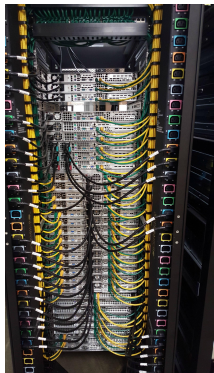


En bref

Plein d'ordinateurs



Empilés en *racks*

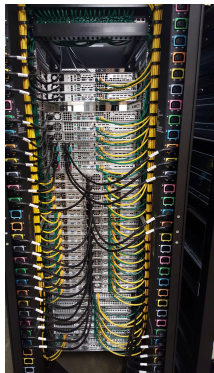


En bref

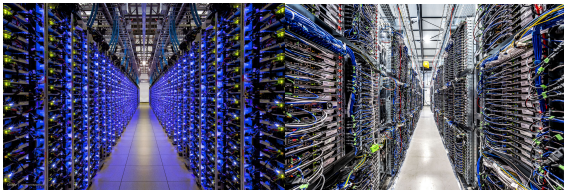
Plein d'ordinateurs



Empilés en racks



Dans des grandes salles

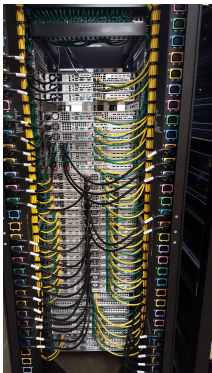


En bref

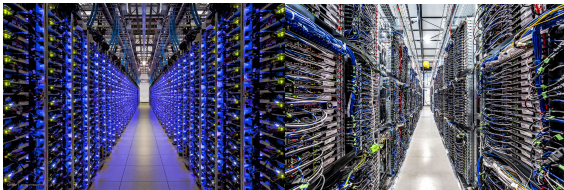
Plein d'ordinateurs



Empilés en racks



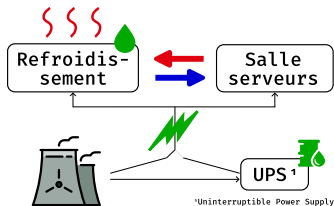
Dans des grandes salles



Dans des bâtiments



Composants d'un centre de données



Alim. sans coupure (UPS)

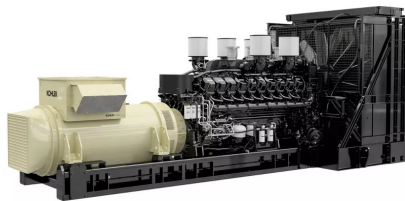
- Régule la tension
- Prend le relai si grille élec. HS

Contraintes :

- Connectivité
- Sécurité
- Disponibilité

Intrants :

- Électricité
- Énergie de secours
- Eau



Refroidissement

- **caloporteur**
(air, eau, huile...)
- Refroidi à l'eau

Alimentation sans coupure

Régulateur

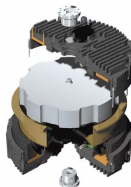


+

Démarrage

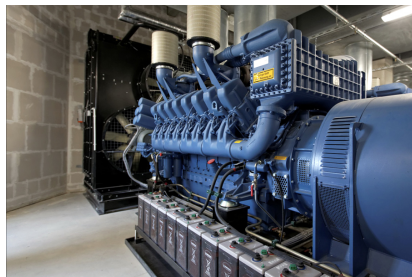


ou

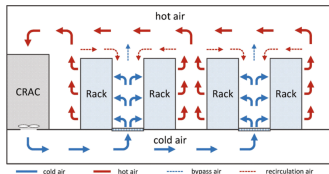


+

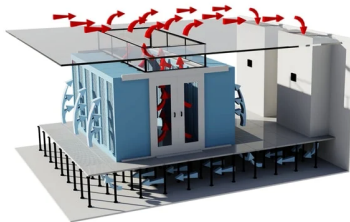
Générateur
de secours



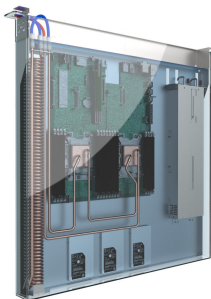
Refroidissement par climatisation



- Température
- Humidité



Refroidissement liquide



V – LA CROISSANCE DU NUMÉRIQUE

Croissance du trafic Internet

Global annual internet traffic Tracking Clean Energy Progress

1997
60 PB

2007
54 EB

2017
1.1 ZB

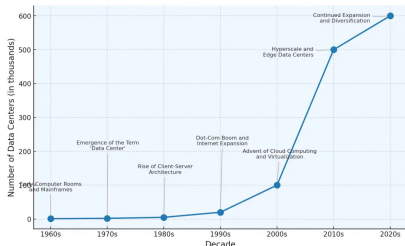
2022
4.2 ZB

KB	kilobyte	10^3 bytes
MB	megabyte	10^6 bytes
GB	gigabyte	10^9 bytes
TB	terabyte	10^{12} bytes
PB	petabyte	10^{15} bytes
EB	exabyte	10^{18} bytes
ZB	zettabyte	10^{21} bytes
YB	yottabyte	10^{24} bytes

International
Energy Agency

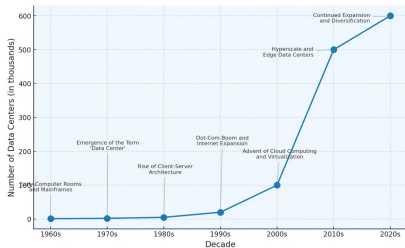
Des exponentielles partout

Quantité de centres de données

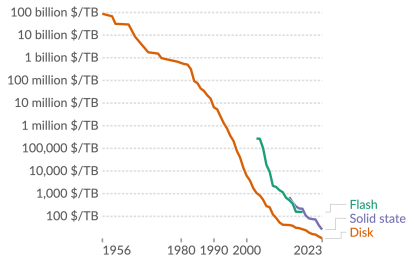


Des exponentielles partout

Quantité de centres de données



Prix du stockage



Data source: John C. McCallum (2023)

CC BY

Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.

Our World
in Data

Transistor count

50,000,000,000

10,000,000,000

5,000,000,000

1,000,000,000

500,000,000

100,000,000

50,000,000

10,000,000

5,000,000

1,000,000

500,000

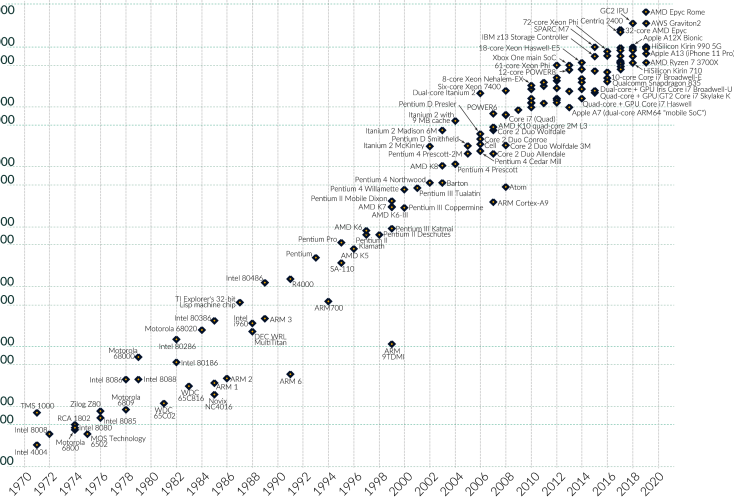
100,000

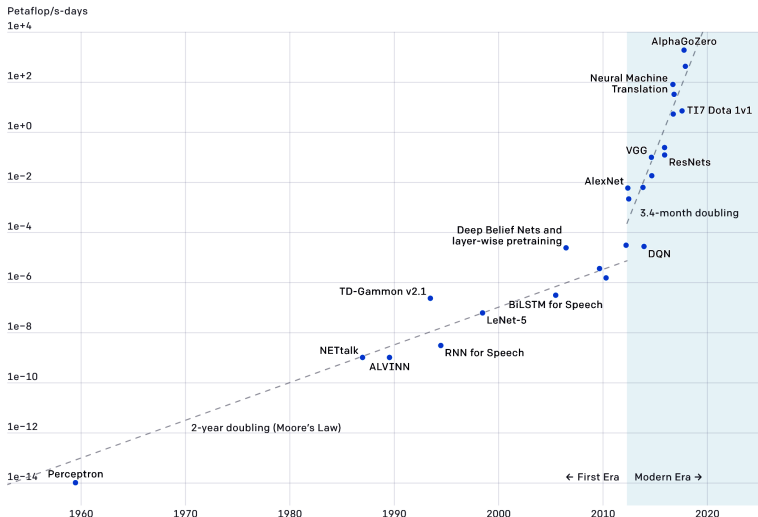
50,000

10,000

5,000

1,000





VI – ET DONC, L'IA ?

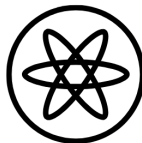
Comment ça marche ?



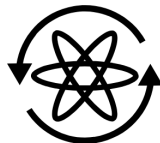
Données
d'entraînement



Entraînement

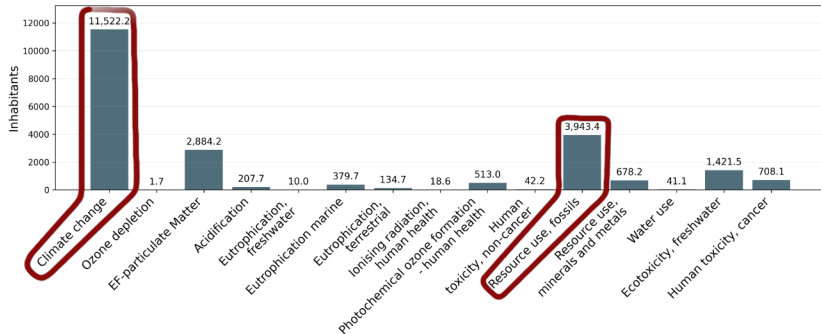


Modèle
entraîné



Inférence





Est-ce que ça vaut le coup ?



Est-ce que ça vaut le coup ?

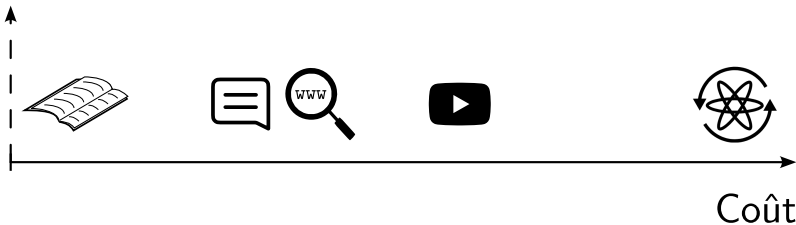
Utilité ?



Coût

Est-ce que ça vaut le coup ?

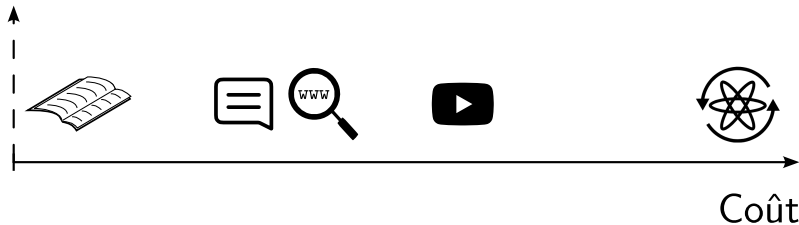
Utilité ?



Tout dépend de l'usage : recette de cuisine ou sauver le monde ?

Est-ce que ça vaut le coup ?

Utilité ?



Tout dépend de l'usage : recette de cuisine ou sauver le monde ?

« La technologie n'est ni bonne ni mauvaise, **ni neutre.** »

La **sobriété** comme boussole

« Garantir le bien-être de tous en respectant les limites planétaires »

La **sobriété** comme boussole

« Garantir le bien-être de tous en respectant les limites planétaires »

⇒ La solution n'est parfois pas technique !

La sobriété comme boussole

« Garantir le bien-être de tous en respectant les limites planétaires »

⇒ La solution n'est parfois pas technique !



Slides sur <https://luxeylab.net>.

VII – RÉFÉRENCES

Références I

- [Jev66] William Stanley JEVONS, *The Coal Question : An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-mines*, 2nd edition, London : Macmillan and Co., 1866.
- [Sys17] SYSTEXT ASSOCIATION, *Des Métaux Dans Mon Smartphone*, avr. 2017, URL : <https://www.systext.org/sites/all/animationreveal/mtxsmpl/#/> (vu le 07/10/2024).
- [Chi18] CHINA PLUS, *Taihang Mountain Goes Solar*, déc. 2018, URL : <https://chinaplus.cri.cn/photo/china/18/20181218/224696.html> (vu le 01/12/2022).
- [KW18] Christian KRÖNES et Florian WEIGENSAMER, *Welcome to Sodom*, Documentaire, nov. 2018.
- [Che19a] Ali CHEHADE, *Water Cooling : From Innovation to Disruption – Part I*, déc. 2019, URL : <https://blog.ovhcloud.com/water-cooling-from-innovation-to-disruption-part-i/> (vu le 29/09/2024).
- [Che19b] Ali CHEHADE, *Water Cooling : From Innovation to Disruption – Part II*, déc. 2019, URL : <https://blog.ovhcloud.com/water-cooling-from-innovation-to-disruption-part-ii/> (vu le 29/09/2024).
- [RTE21] RTE, *Futurs Énergétiques 2050*, Rapport Exécutif, Paris, oct. 2021, URL : <https://rte-futursenergetiques2050.com/> (vu le 04/12/2024).
- [Che+22] Ali CHEHADE et al., *New Hybrid Immersion Liquid Cooling Developments at OVHcloud*, oct. 2022, URL : <https://blog.ovhcloud.com/new-hybrid-immersion-liquid-cooling-developments-at-ovhcloud/> (vu le 29/09/2024).
- [Ope22] OPENAI, *AI and Compute*, OpenAI, juin 2022, URL : <https://openai.com/index/ai-and-compute/> (vu le 07/02/2025).

Références II

- [Cal+23] Katherine CALVIN et al., *IPCC, 2023 : Climate Change 2023 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland*. Rapp. tech., Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), juill. 2023, doi : 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647, URL : <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (vu le 06/02/2025).
- [Cer+23] S. CERF et al., *Untangling the Critical Minerals Knot : When ICT Hits the Energy Transitions*, déc. 2023, URL : <https://inria.hal.science/hal-04709741> (vu le 07/10/2024).
- [IEA23] IEA, *World Energy Outlook 2023*, rapp. tech., OECD, 2023, URL : <https://origin.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (vu le 01/10/2024).
- [Raa23] Dierk RAABE, « The Materials Science behind Sustainable Metals and Alloys », À : *Chemical Reviews* 123.5 (mars 2023), p. 2436–2608, issn : 0009-2665, doi : 10.1021/acs.chemrev.2c00799, URL : <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00799> (vu le 22/12/2024).
- [ASM24] ASML, *EUV Lithography Systems*, 2024, URL : <https://www.asml.com/en/products/euv-lithography-systems> (vu le 07/10/2024).
- [Dat24] DATACATE INC, *Data Centers : A Timeline of Growth and Expansion*, sept. 2024, URL : <https://www.datacate.net/data-centers-a-timeline-of-growth-and-expansion/> (vu le 07/02/2025).
- [Izo24] Célia IZOARD, *La Ruée Minière Au XXIe Siècle. Enquête Sur Les Métaux à l'heure de La Transition*, Seuil, Paris, 2024.
- [Shi24] Anton SHILOV, « Intel Shares Biggest Unboxing Video Ever as ASML's \$380 Million High-NA Lithography Machine Is Installed in Oregon Fab », À : *Tom's Hardware* (mars 2024).

Références III

- [Sys24] SYSTEXT, *Controverses minières – Pour en finir avec certaines contrevérités sur la mine et les filières minérales – Mine secondaire et recyclage*, Rapport d'étude Volet 2 – Tome 3, Paris, France : Association SystExt, avr. 2024, URL : https://www.systext.org/sites/all/documents/RP_SystExt_Controverses-Mine_VOLET-2_Tome-3_Avril2024.pdf (vu le 18/06/2024).
- [CHA25] CHATONS, *Site officiel*, 2025, URL : <https://www.chatons.org>.
- [Cht25] CHTINUX, *Site officiel*, 2025, URL : <https://chtinux.org>.
- [Deu25] DEUXFLEURS, *Site officiel*, 2025, URL : <https://deuxfleurs.fr>.
- [Fal+25] Sophia FALK et al., *More than Carbon : Cradle-to-Grave Environmental Impacts of GenAI Training on the Nvidia A100 GPU*, Archive ouverte, août 2025, doi : 10.48550/arXiv.2509.00093.
- [GP25] Raúl GUILLÉN et Vincent PEYRET, « Vos batteries vont-elles exploser ? », À : *Le Monde diplomatique* (fév. 2025), pages 1, 22 et 23, URL : <https://www.monde-diplomatique.fr/2025/02/GUILLEN/68043> (vu le 07/02/2025).
- [LSC25] Alexandra Sasha LUCCIONI, Emma STRUBELL et Kate CRAWFORD, *From Efficiency Gains to Rebound Effects : The Problem of Jevons' Paradox in AI's Polarized Environmental Debate*, jan. 2025, doi : 10.48550/arXiv.2501.16548, arXiv : 2501.16548 [cs], URL : <http://arxiv.org/abs/2501.16548> (vu le 06/02/2025).