

# 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

# Mon parcours

Maître de conférences

2011

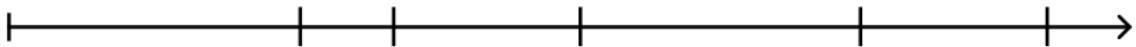
Bac+2

Bac+3

Bac+5

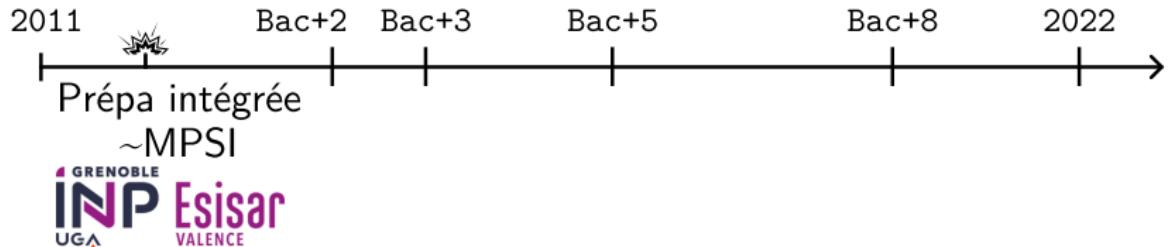
Bac+8

2022



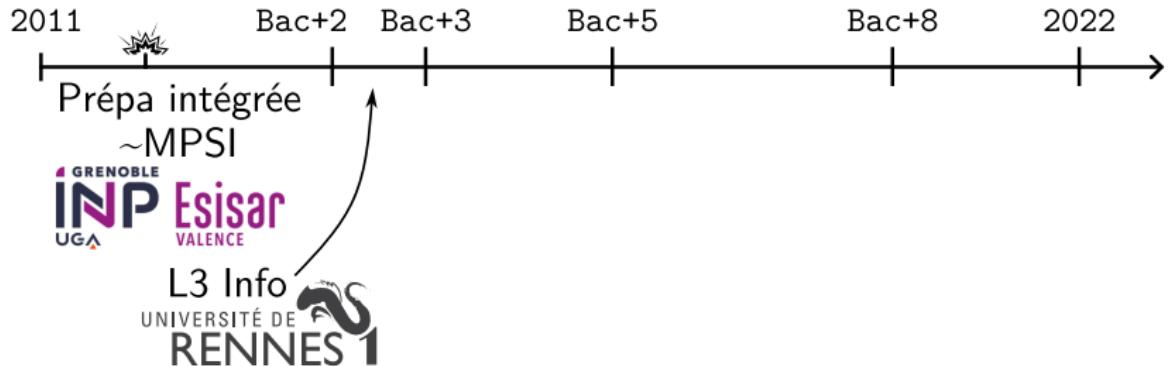
# Mon parcours

Maître de conférences



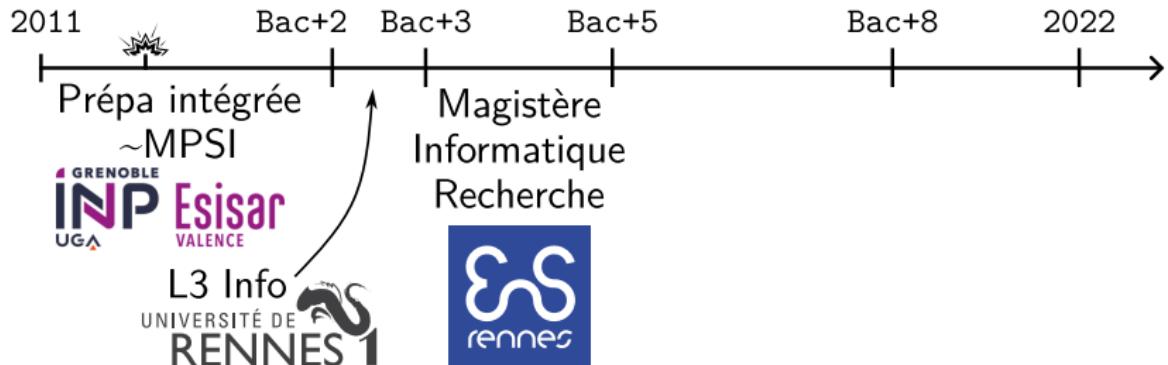
# Mon parcours

Maître de conférences



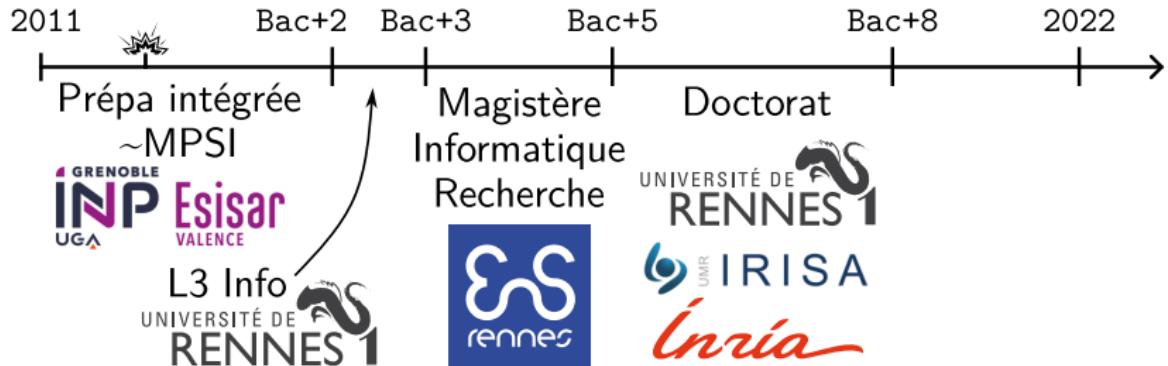
# Mon parcours

Maître de conférences



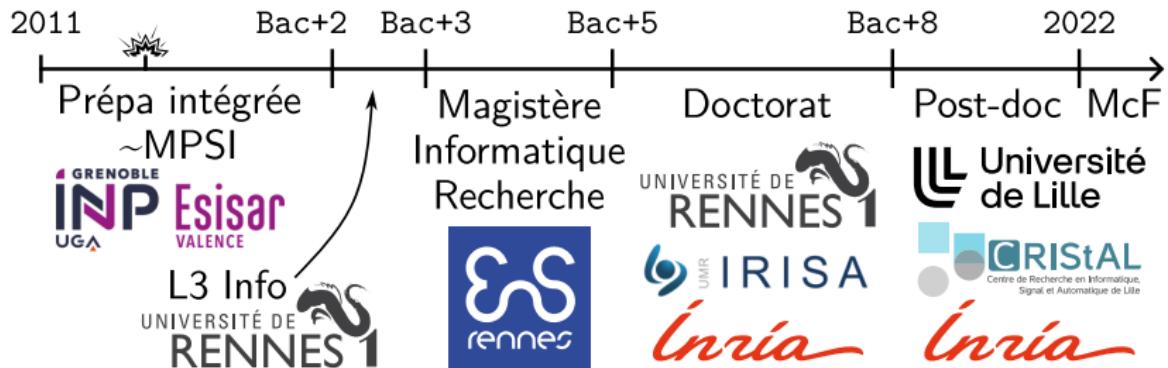
# Mon parcours

Maître de conférences



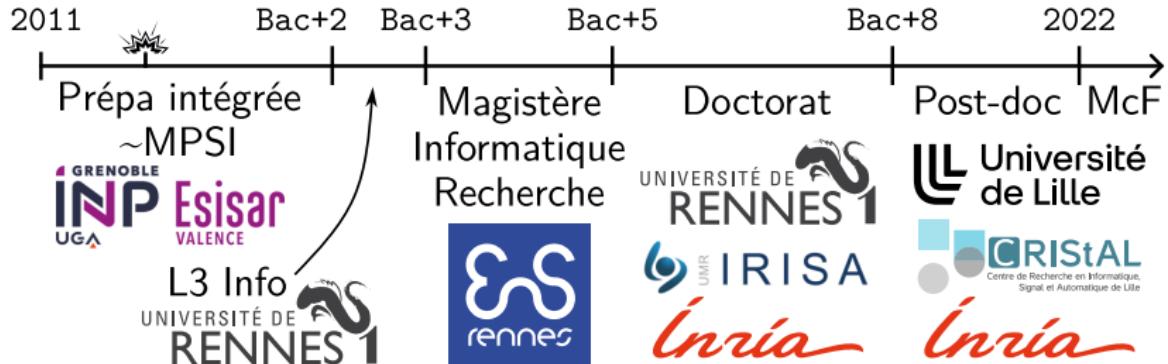
## Mon parcours

## Maître de conférences

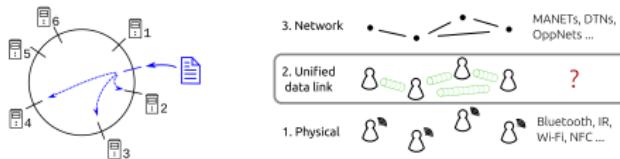


# Mon parcours

# Maître de conférences

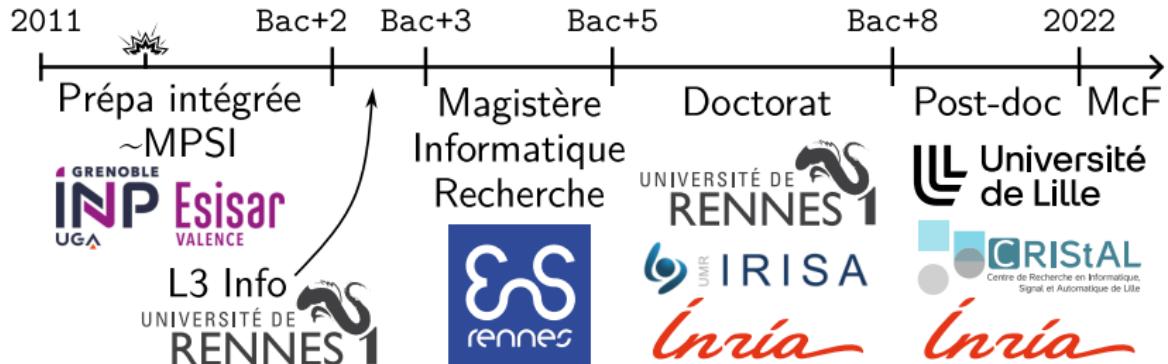


## Thèse en systèmes répartis

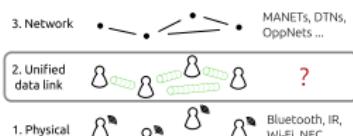
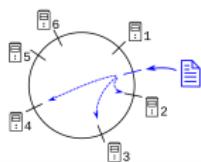


# Mon parcours

# Maître de conférences



## Thèse en systèmes répartis



## Nouvelle spécialité : l'empreinte env. du numérique



# Militant des libertés numériques

---

## Hébergement décroissant



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

# Militant des libertés numériques

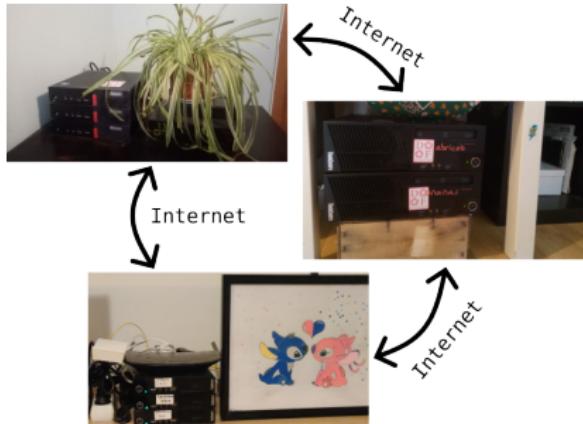
---

## Hébergement décroissant



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

*7 ordinosaures*



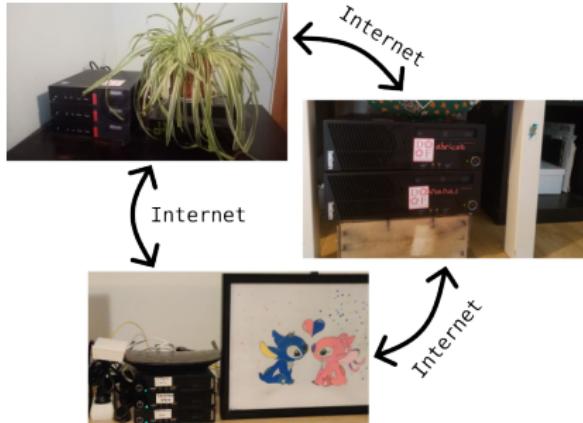
# Militant des libertés numériques

## Hébergement décroissant

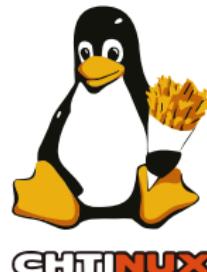


- 800 sites web
- 250 boites mail
- Chat, visio, pad, ...

*7 ordinosaures*



## Vos linuxiens locaux



# Militant des libertés numériques

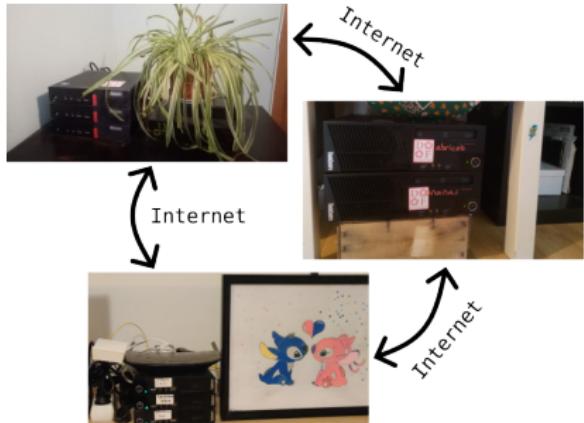
---

## Hébergement décroissant

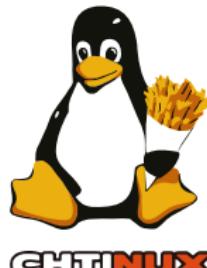


- 800 sites web
- 250 boites mail
- Chat, visio, pad, ...

*7 ordinosaures*



## Vos linuxiens locaux

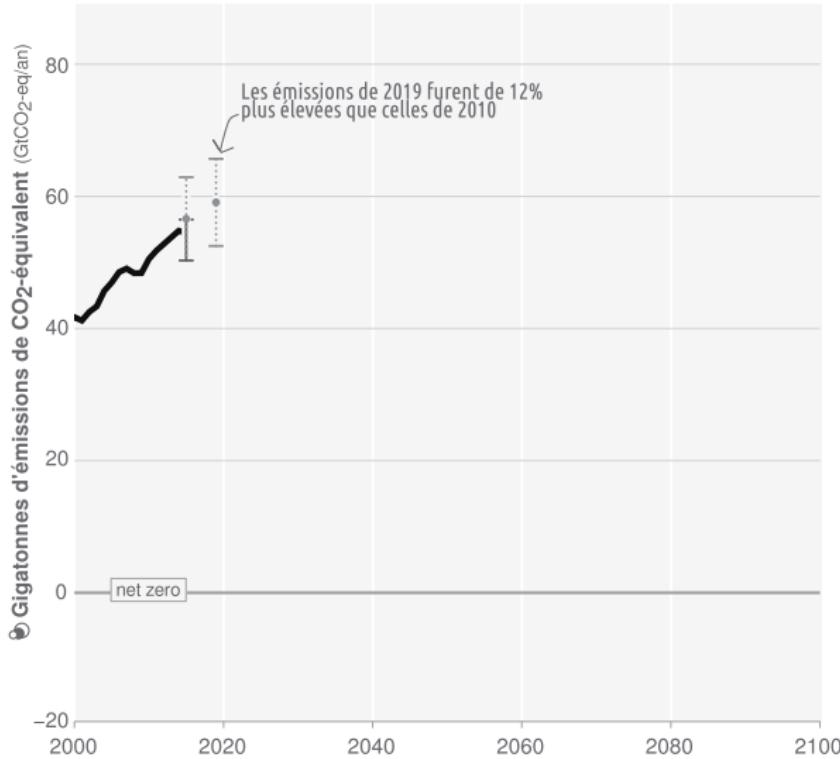


La fédé'



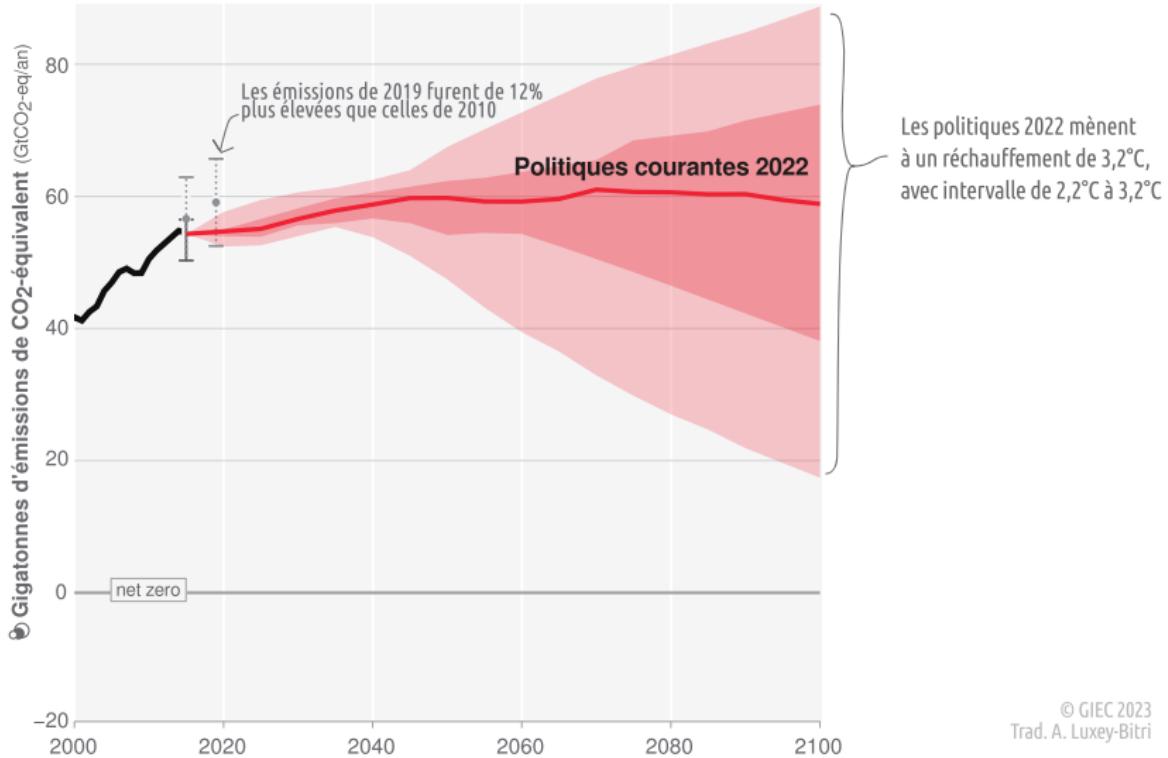
## II – LE PROBLÈME ÉNERGÉTIQUE

# Les gaz à effet de serre



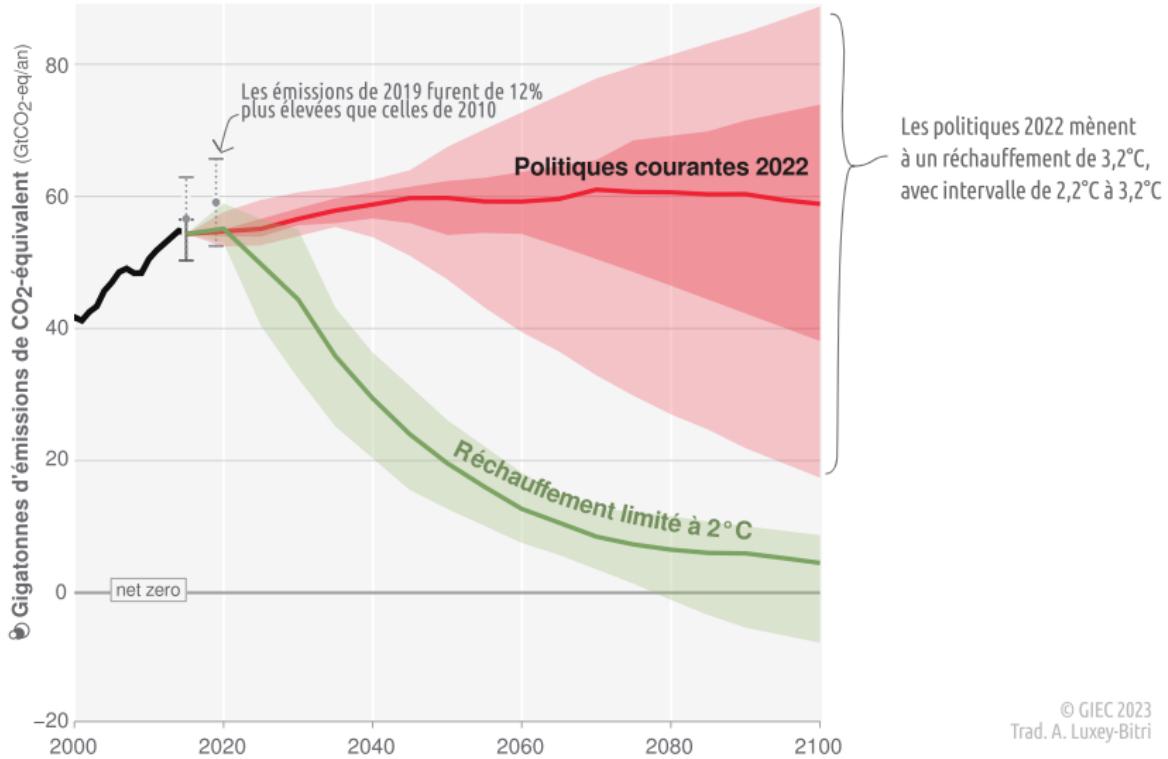
© GIEC 2023  
Trad. A. Luxey-Bitri

# Les gaz à effet de serre



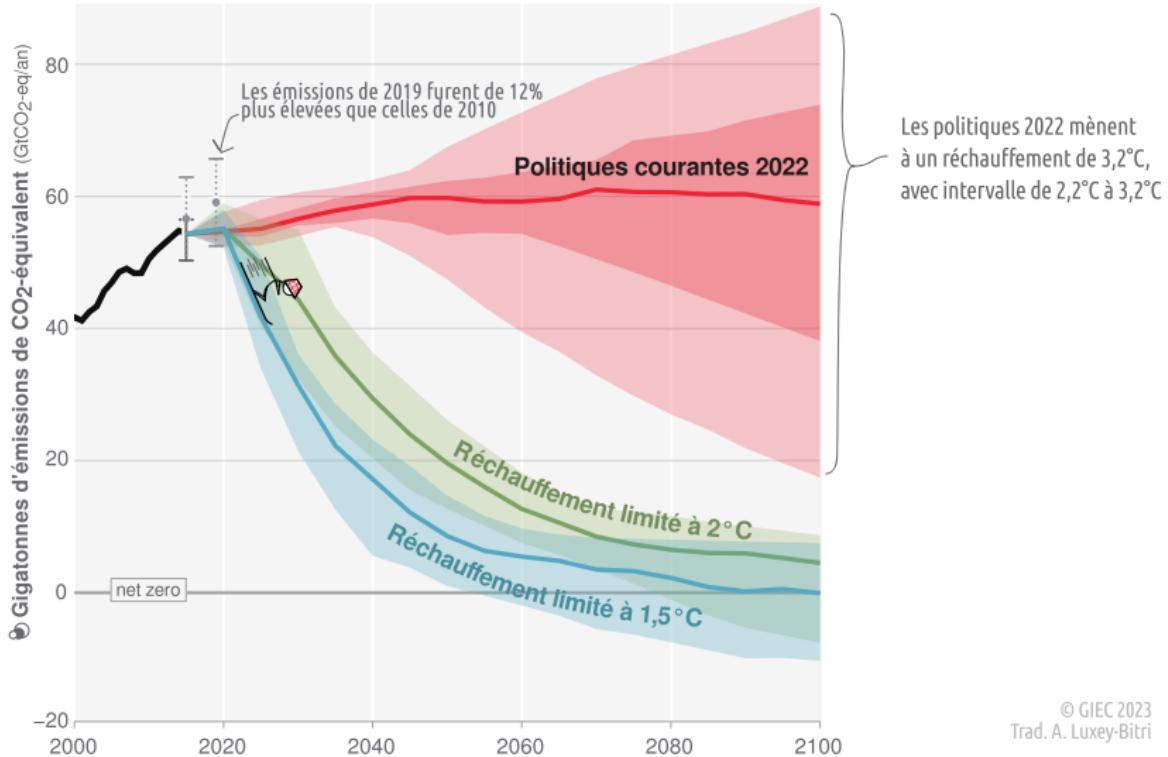
© GIEC 2023  
Trad. A. Luxey-Bitri

# Les gaz à effet de serre



© GIEC 2023  
Trad. A. Luxey-Bitri

# Les gaz à effet de serre



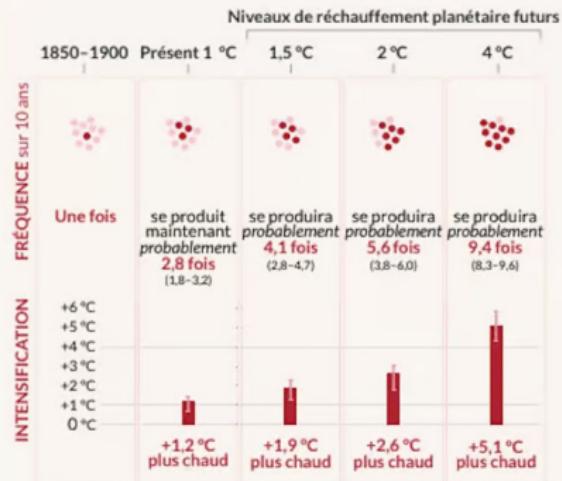
© GIEC 2023  
Trad. A. Luxey-Bitri

# Et leurs conséquences

## Extrêmes chauds au-dessus des terres émergées

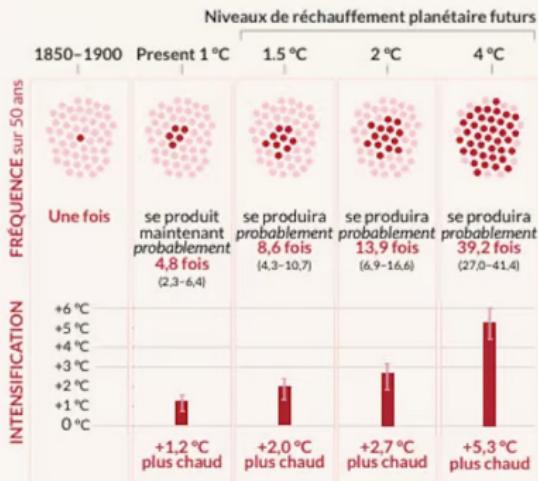
### Évènement décennal

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



### Évènement cinquantennal

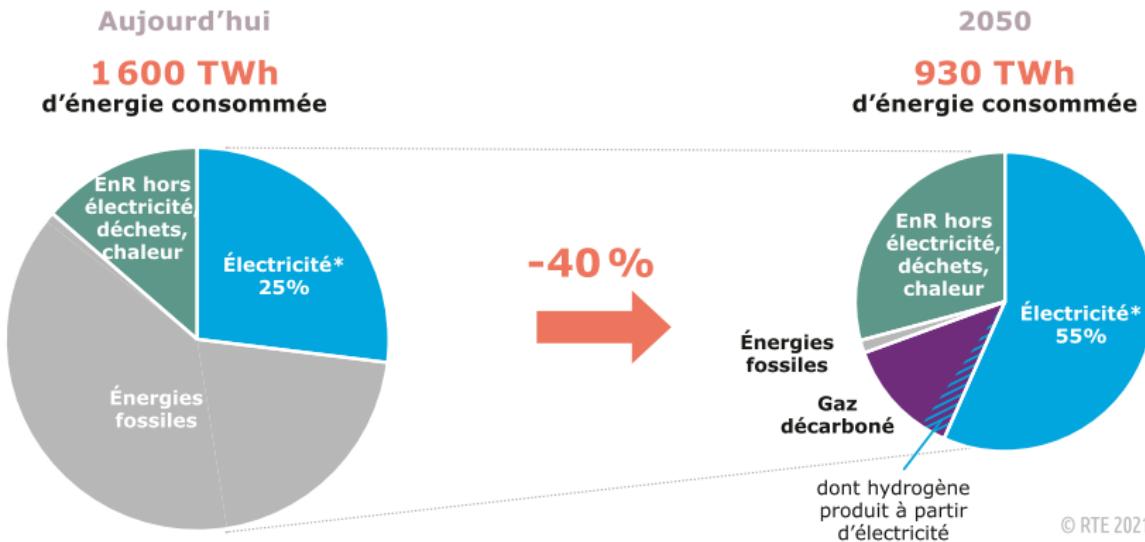
Augmentation de la fréquence et de l'intensité d'un événement de température extrême qui se produisait une fois tous les 50 ans en moyenne dans un climat sans influence humaine



## Précipitations extrêmes sur les terres émergées

## 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**

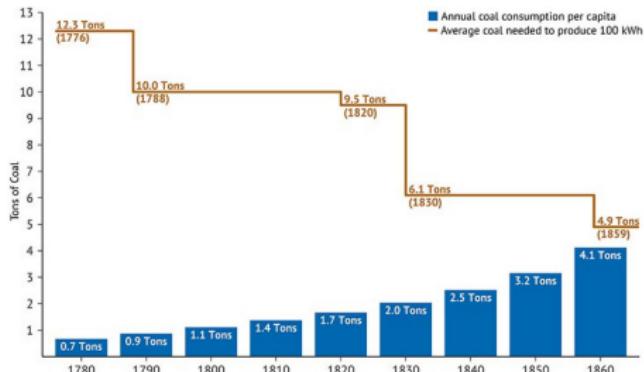
*Another lane  
will fix it!*



# Optimisation $\neq$ écologie

## Effet rebond

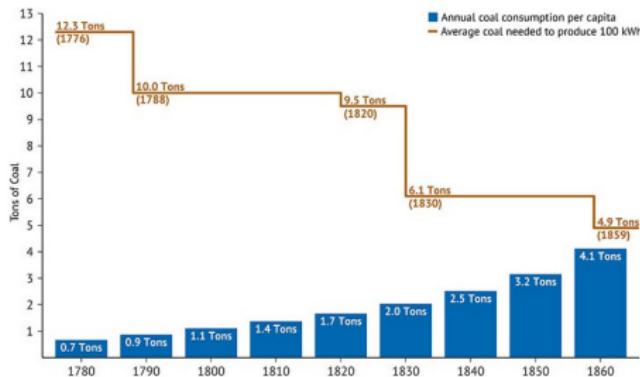
*Another lane  
will fix it!*



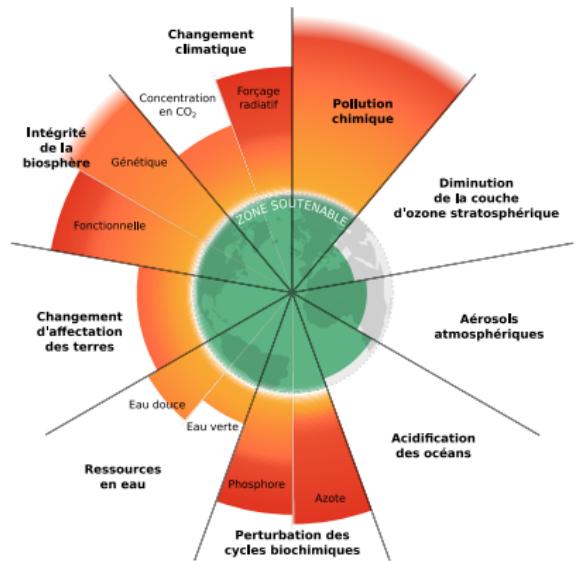
# Optimisation ≠ écologie

## Effet rebond

*Another lane  
will fix it!*



## Autres limites planétaires

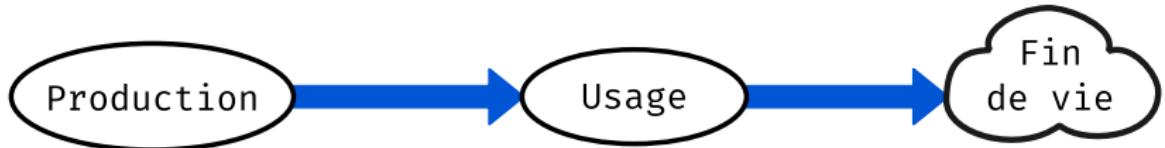


### III – LA MATÉRIALITÉ DU NUMÉRIQUE

# Cycle de vie des choses

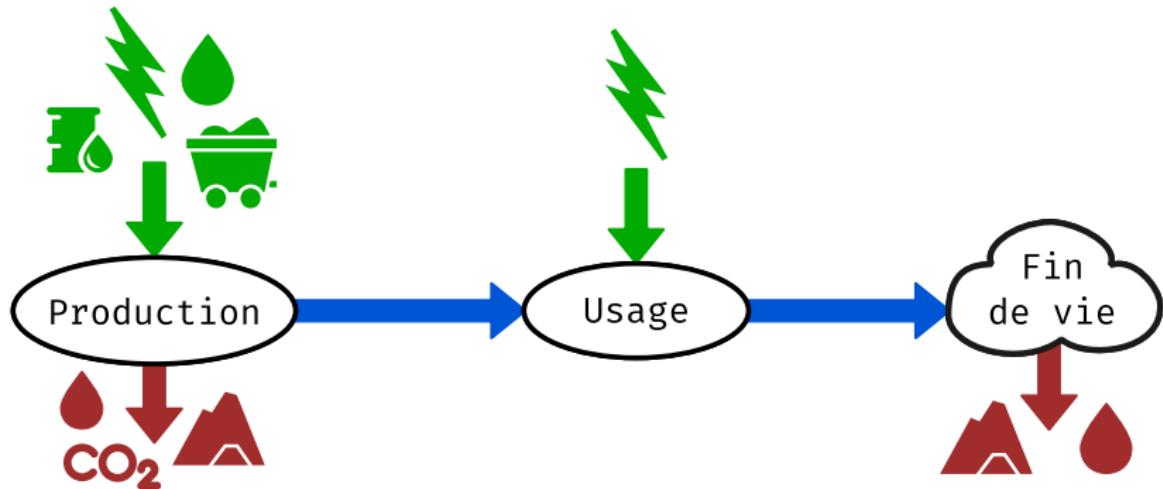
En particulier numériques

---



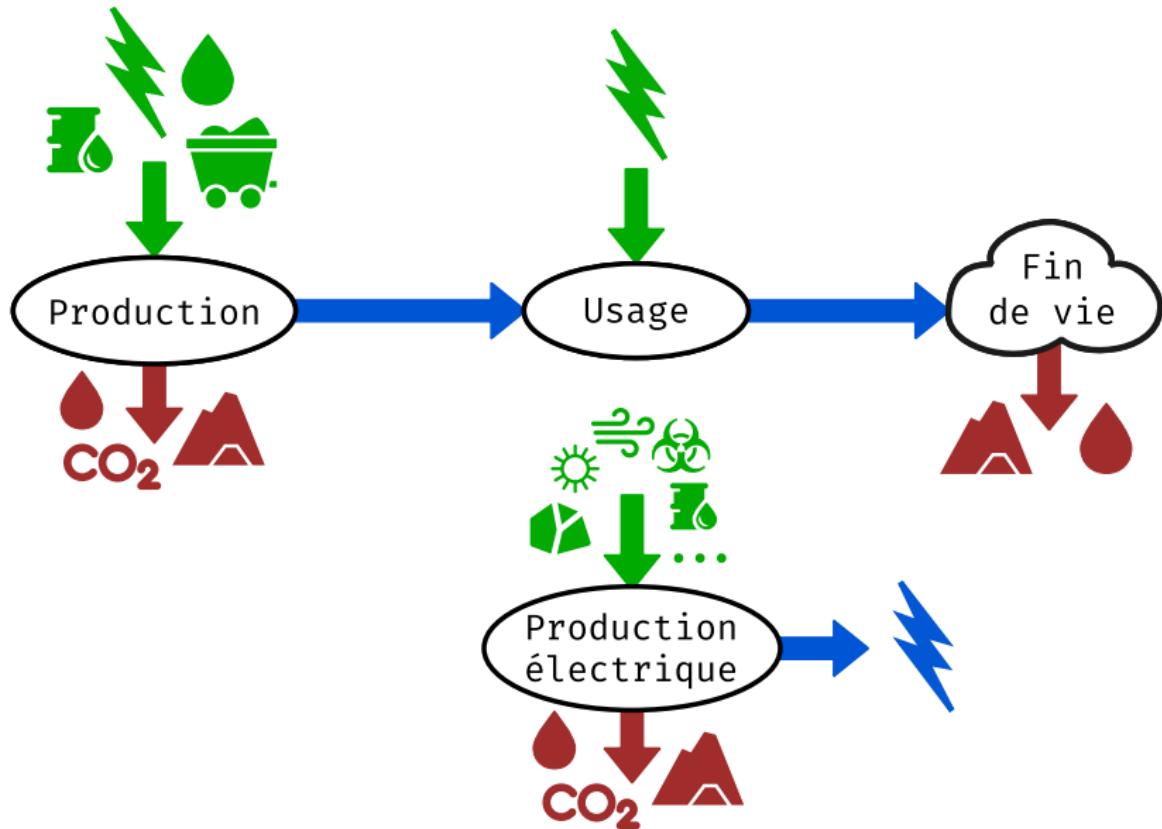
# Cycle de vie des choses

En particulier numériques



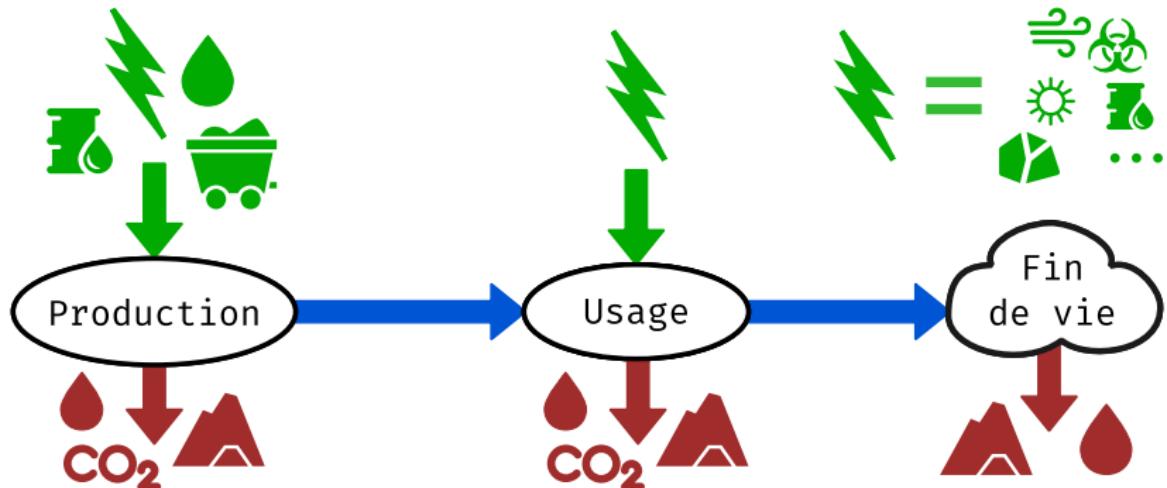
# Cycle de vie des choses

En particulier numériques



# Cycle de vie des choses

En particulier numériques



# Production

D'abord, la mine



# Production

---

D'abord, la mine



**Mine d'Escondida**  
Désert d'Atacama (Chili)



# Production

Un coktail minéral

## DALLE TACTILE + VITRE

In	Sn	Si	Al	K
Indium	Etain	Silicium	Aluminium	Potassium

## ÉCRAN

Eu	Tb	Y
Europium	Terbium	Yttrium

Gd	Ce	Tm
Gadolinium	Cérium	Thulium

La	B	Ba
Lanthane	Bore	Baryum

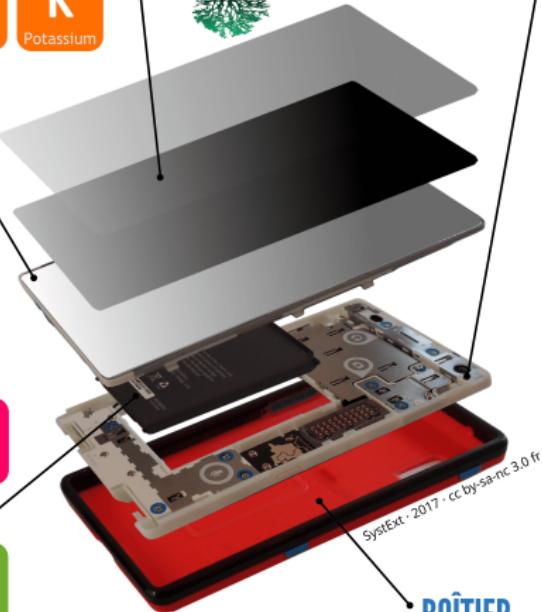
S	Mg	Mo	Hg
Soufre	Magnésium	Molybdène	Mercurie

## BATTERIE

Li	Co	C	F
Lithium	Cobalt	Carbone	Fluor

Mn	V	P	Al
Manganèse	Vanadium	Phosphore	Aluminium



## CARTE ET COMPOSANTS

Ni	Pb	Sn	Bi
Nickel	Plomb	Etain	Bismuth

Au	Ag	W	Pt
Or	Argent	Tungstène	Platine

Rh	Be	Cu	P
Rhodium	Béryllium	Cuivre	Phosphore

As	Ga	Ge	Si
Arsenic	Gallium	Germanium	Silicium

Zr	Ru	Nd	Fe
Zirconium	Ruthénium	Néodyme	Fer

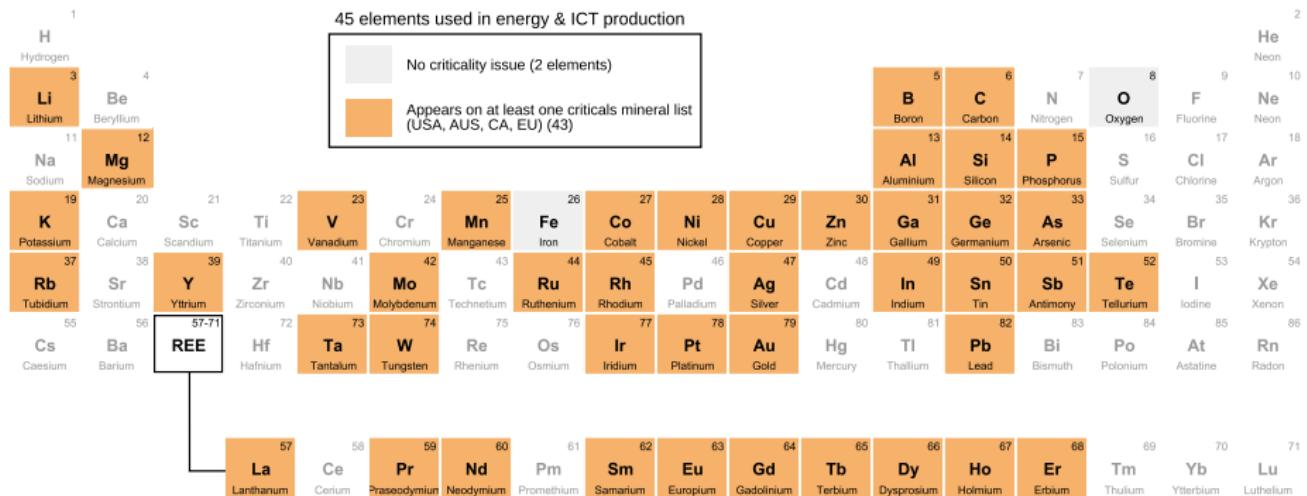
B	Sm	Co	Pr
Bore	Samarium	Cobalt	Praséodyme

Cl	Dy	Ta	
Chlore	Dysprosium	Tantale	

Nb	Pd		
Niobium	Palladium		

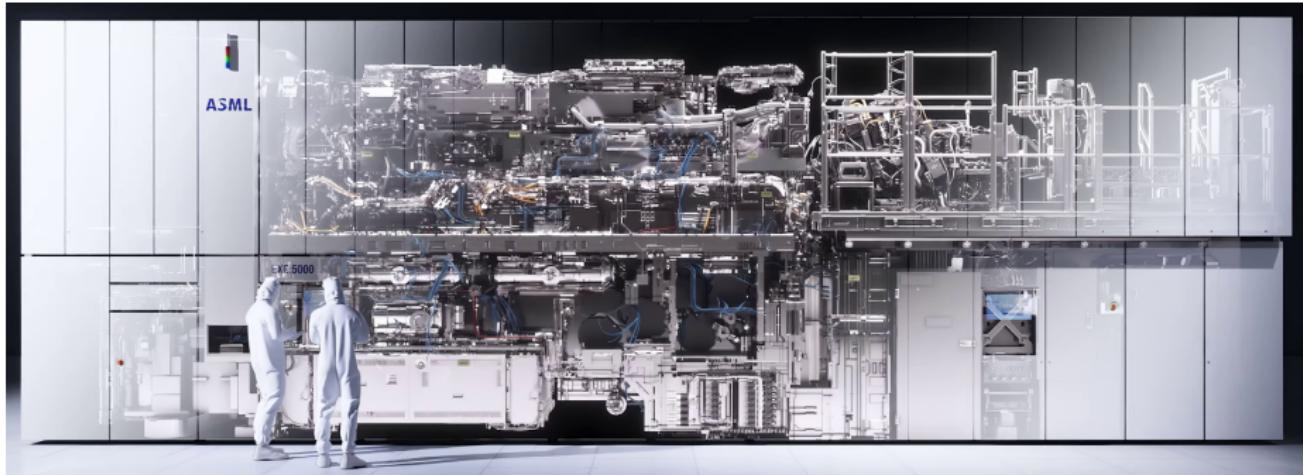
## Production

## Un cocktail minéral



# Production

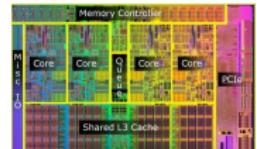
Des usines de pointe

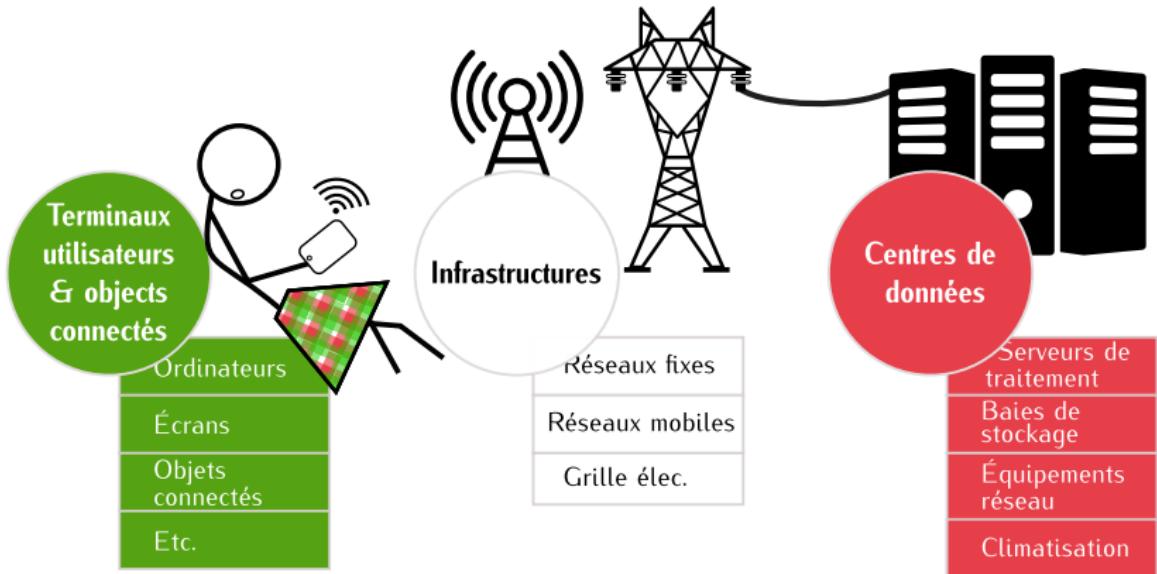


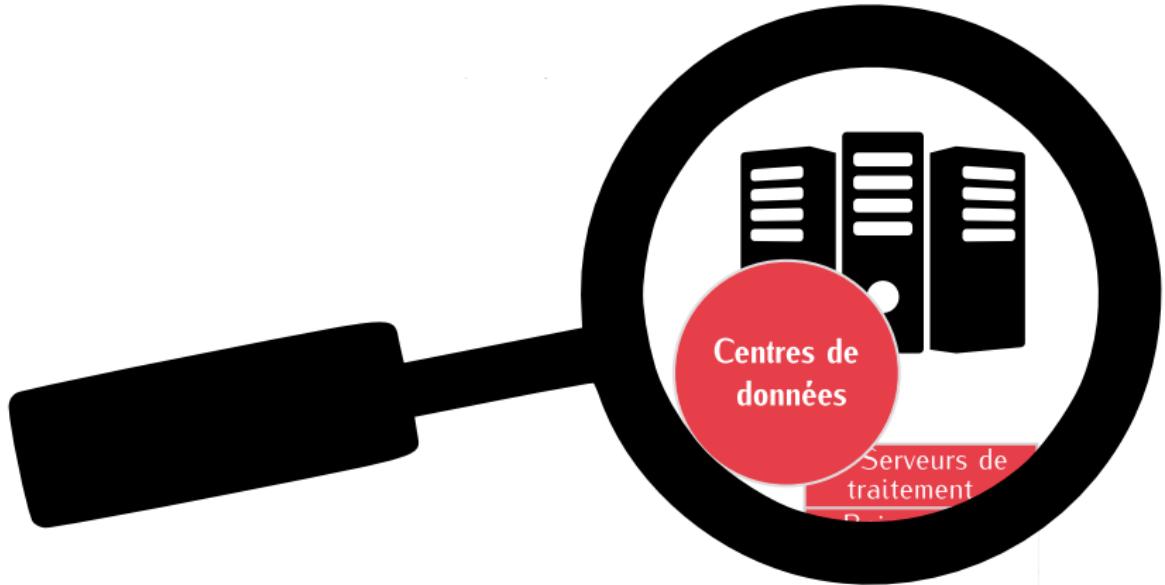
La lithographie High-NA EUV d'ASML

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



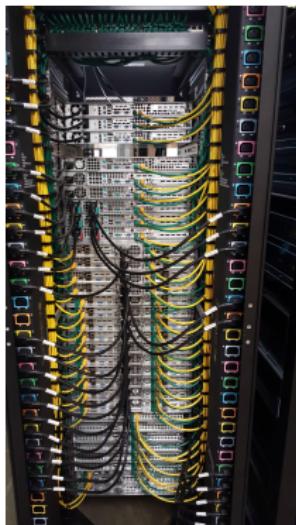
# En bref

---

## Plein d'ordinateurs



## Empilés en *racks*



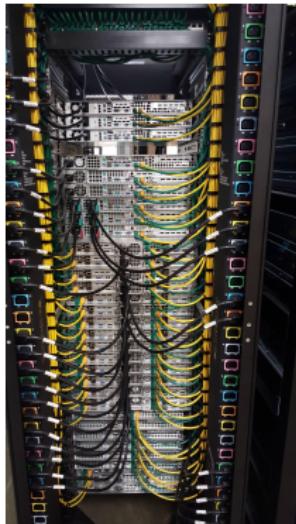
# En bref

---

Plein d'ordinateurs



Empilés en *racks*



Dans des grandes salles



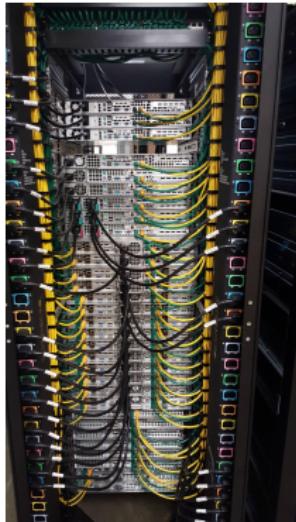
# En bref

---

Plein d'ordinateurs



Empilés en *racks*



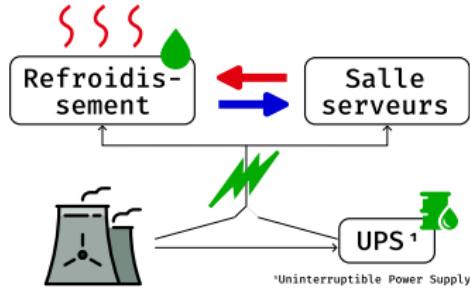
Dans des grandes salles



Dans des bâtiments

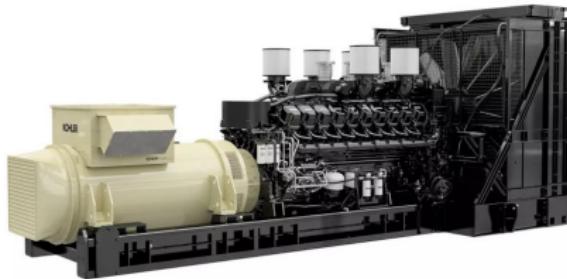


# Composants d'un centre de données



## 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

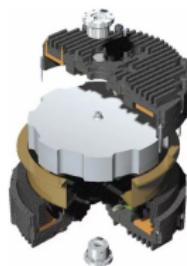


+



Démarrage

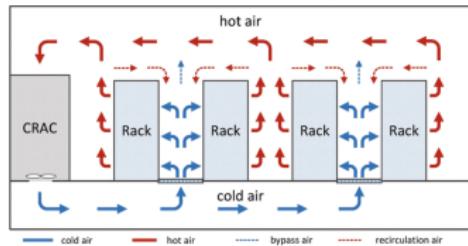
ou



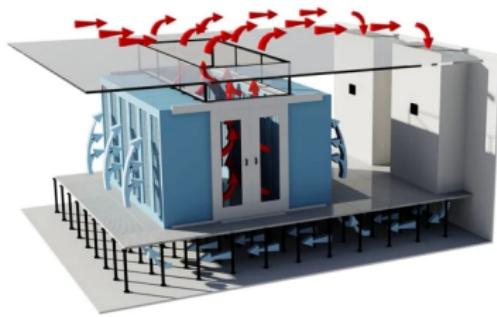
Générateur de secours



# Refroidissement par climatisation



- Température
- Humidité



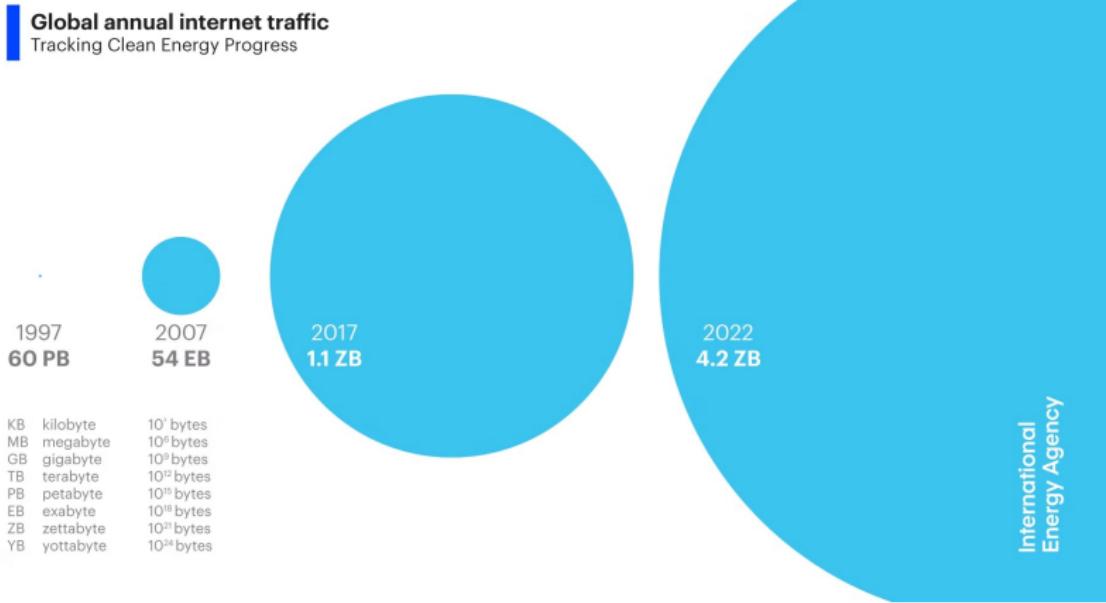
# Refroidissement liquide

---



## V – LA CROISSANCE DU NUMÉRIQUE

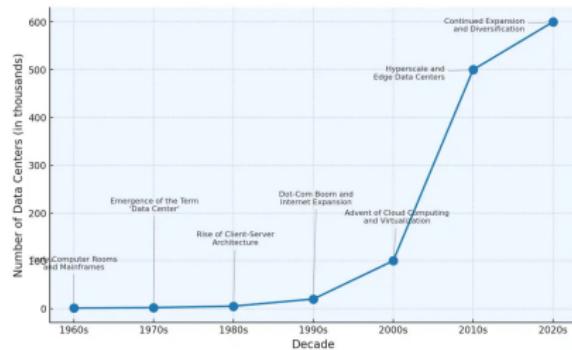
# Croissance du trafic Internet



# Des exponentielles partout

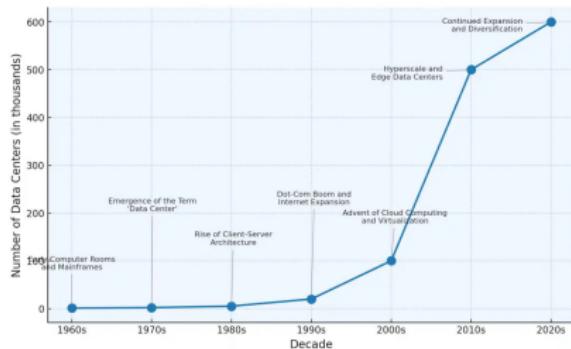
---

## Quantité de centres de données

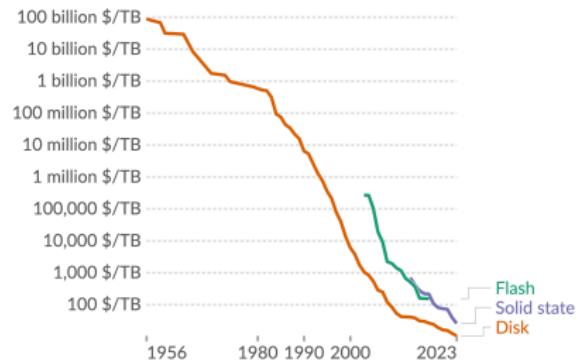


# Des exponentielles partout

## Quantité de centres de données



## Prix du stockage



Data source: John C. McCallum (2023)

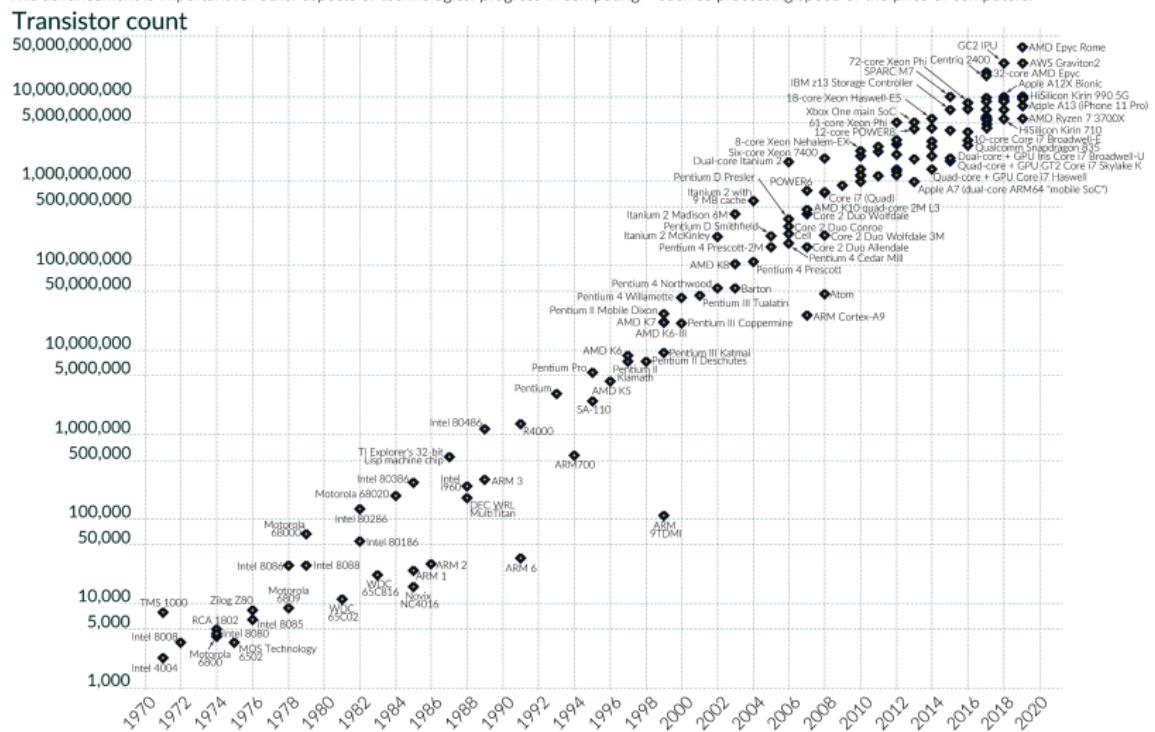
CC BY

## Loi de Moore

## Densité de transistors

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.



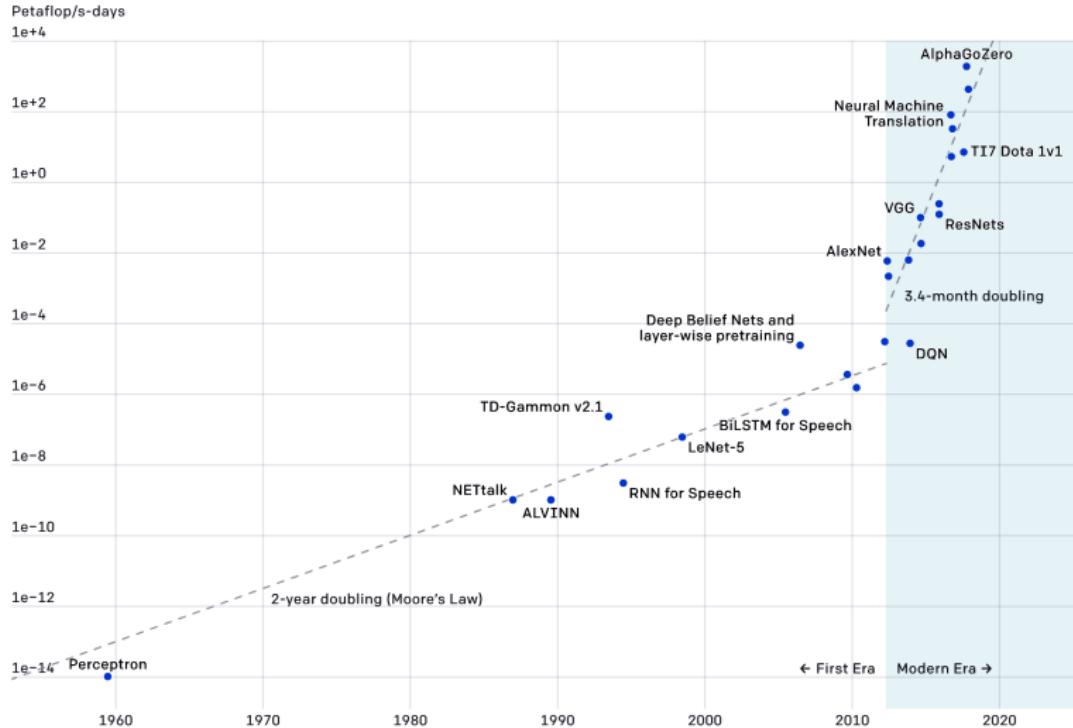
Data source: Wikipedia ([https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Transistor\\_count&oldid=1000000000](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Transistor_count&oldid=1000000000))

Data source: Wikipedia ([wikipedia.org/wiki/Transistor\\_count](https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count))  
OurWorldInData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the authors. Hannah Ritchie and Max Roser.

# Entraînement d'une IA

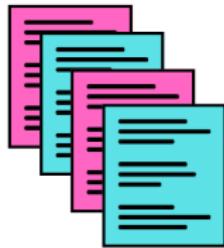
D'après OpenAI



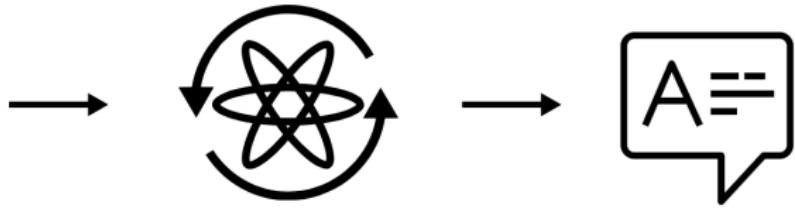
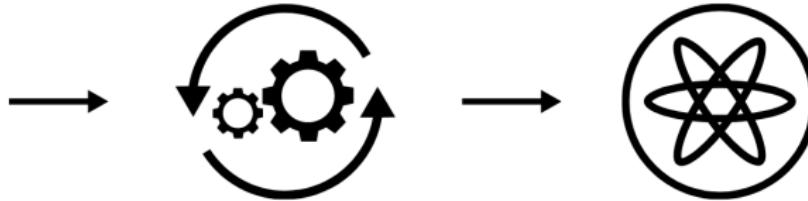
## VI – ET DONC, L'IA ?

# Comment ça marche ?

---

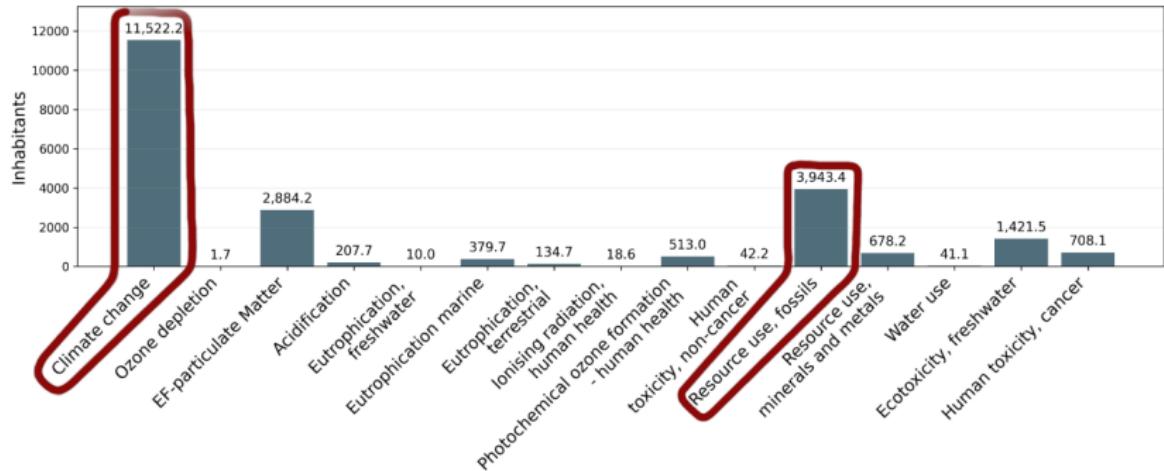


Données  
d'entraînement



# Coût de l'entraînement

De GPT-4 en 2023



# Est-ce que ça vaut le coup ?

---



# Est-ce que ça vaut le coup ?

---

## Utilité ?



# 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 |

---

- [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/mtxsmp/#/> (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](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).