

# RÉALITÉ MATÉRIELLE DU NUMÉRIQUE

---

Sylvain Contassot-Vivier

Université de Lorraine, LORIA, France

## **Stockage et calcul**

---

Quelques définitions utiles :

- **Internet** : réseau numérique *mondial*, qui relie entre eux des réseaux *locaux* (états, entreprises, foyers,...)

Quelques définitions utiles :

- **Internet** : réseau numérique *mondial*, qui relie entre eux des réseaux *locaux* (états, entreprises, foyers,...)
- **Serveur** : machine(s) exécutant un programme offrant un *service* spécifique via internet
  - De nombreux types de services : web, mail, stockage, calcul,...

Quelques définitions utiles :

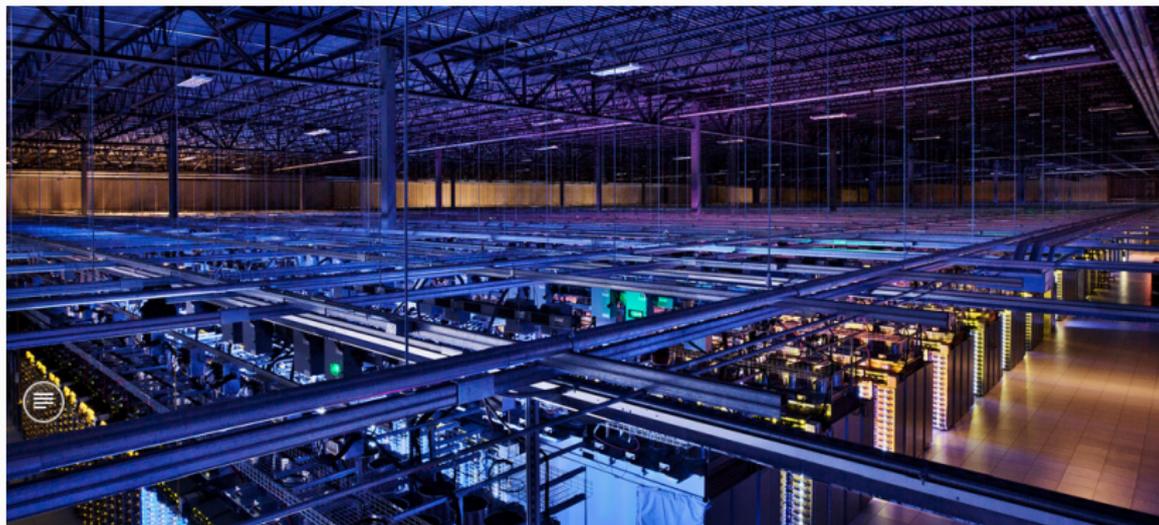
- **Internet** : réseau numérique *mondial*, qui relie entre eux des réseaux *locaux* (états, entreprises, foyers,...)
- **Serveur** : machine(s) exécutant un programme offrant un *service* spécifique via internet
  - De nombreux types de services : web, mail, stockage, calcul,...
- **Client** : *application* qui contacte un service via internet
  - La plupart des clients sont exécutés sur des machines personnelles (ordinateurs, téléphones, tablettes,...)

Quelques définitions utiles :

- **Internet** : réseau numérique *mondial*, qui relie entre eux des réseaux *locaux* (états, entreprises, foyers,...)
- **Serveur** : machine(s) exécutant un programme offrant un *service* spécifique via internet
  - De nombreux types de services : web, mail, stockage, calcul,...
- **Client** : *application* qui contacte un service via internet
  - La plupart des clients sont exécutés sur des machines personnelles (ordinateurs, téléphones, tablettes,...)
- **Datacenter** : centre de données
  - Regroupe les données numériques d'une entité (état, entreprise, foyer,...)
  - Requiert une installation importante : énergie, climatisation, sécurité,...
  - Souvent *externalisé* : confié à une entreprise spécialisée qui *héberge* les données de nombreux clients

# Centres de données – Datacenters

Exemple de Google :



Exemple de Google :

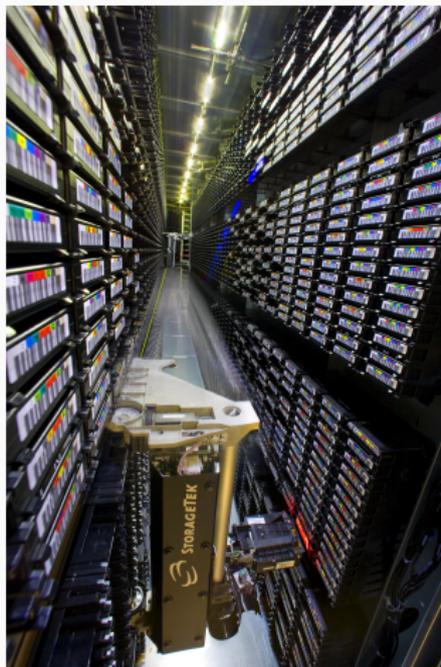


Exemple du NERSC :



# Centres de stockage

Exemple du NERSC :



# Centres de stockage

Exemple du NERSC :



# Centres de stockage

Exemple du projet Natick de Microsoft :



# Centres de calcul



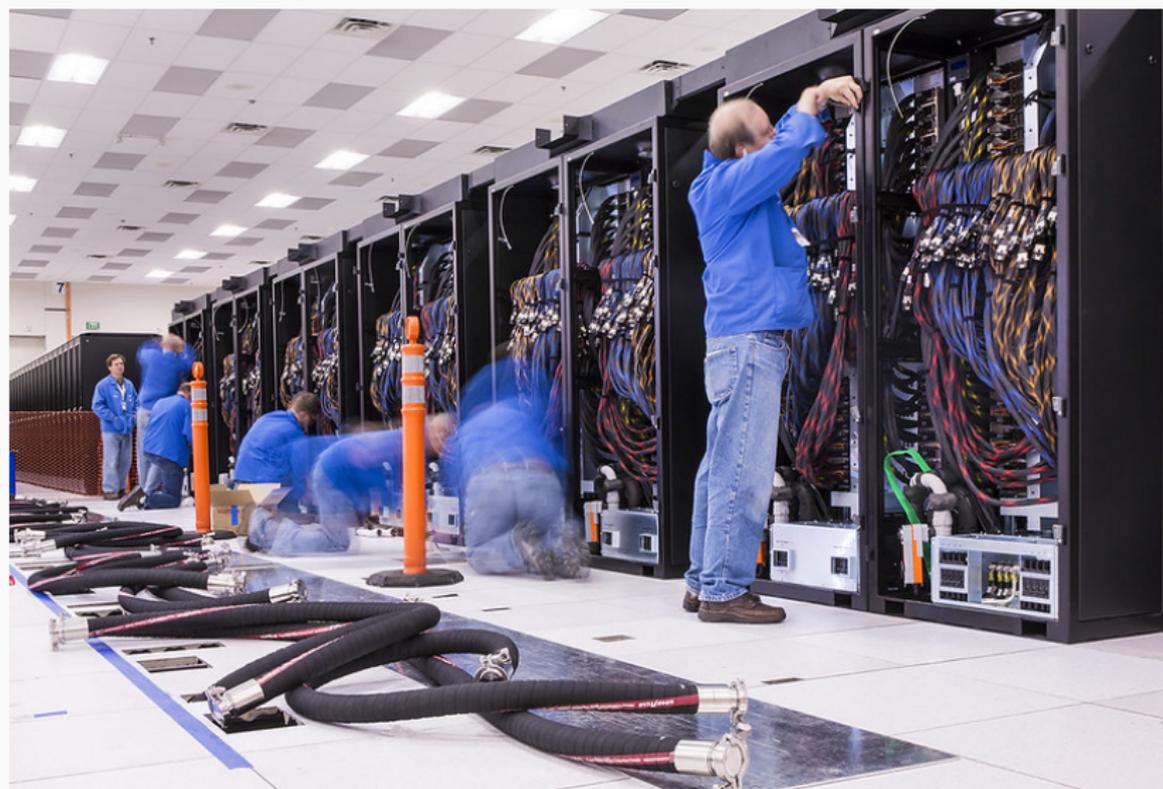
Super-calculateur **Summit** : 4,608 noeuds et  $\approx 10$  MW de consommation max



Super-calculateur SuperMUC



Refroidissement liquide du SuperMUC



Câblage du super-calculateur **Trinity**

## Énergie et ressources

---

*Difficile à évaluer* précisément :

- Grande diversité de matériels
- Téléphones, PC fixes/portables, tablettes, imprimantes, copieurs, écrans, vidéos-projecteurs, routeurs, switches,...

*Difficile à évaluer* précisément :

- Grande diversité de matériels
- Téléphones, PC fixes/portables, tablettes, imprimantes, copieurs, écrans, vidéos-projecteurs, routeurs, switches,...

Diverses *études* ou *livres* :

- GreenIt : article sur rapport de Enertech, Ademe, EDF, UE (2008)
- Ademe :
  - Étude sur conso. numérique dans 50 organisations (2012-2015)
  - Guide du numérique (2019)
- Total énergies : article sur la consommation d'internet (2018)
- CNRS : article sur le manque d'optimisation du numérique (2018)
- EDF : présentation des chiffres de la consommation (2019)
- INSEE : article sur les impacts environnementaux du numérique
- Parlement britannique : note sur la conso d'énergie du numérique
- France Culture : émission sur le numérique et l'environnement
- L'enfer numérique : livre sur l'impact environnemental du numérique
- Et d'autres sources indiquées directement dans les diapos...

On constate :

- Une *augmentation forte* de la part du numérique :
  - Répartie entre terminaux, centres de calcul/stockage et réseau

On constate :

- Une *augmentation forte* de la part du numérique :
  - Répartie entre terminaux, centres de calcul/stockage et réseau
- Représente **13,5%** des consommations des résidences en France

On constate :

- Une *augmentation forte* de la part du numérique :
  - Répartie entre terminaux, centres de calcul/stockage et réseau
- Représente **13,5%** des consommations des résidences en France
- Autour de **10%** de la consommation mondiale d'électricité

On constate :

- Une *augmentation forte* de la part du numérique :
  - Répartie entre terminaux, centres de calcul/stockage et réseau
- Représente **13,5%** des consommations des résidences en France
- Autour de **10%** de la consommation mondiale d'électricité
- Nécessaire de tenir compte du *cycle de vie* complet :
  - Fabrication, transport/dist., utilisation, fin de vie (fdv) / valorisation
- Distinction entre *utilisation* (Twh) et *fabrication/transport* (CO<sub>2</sub>)

On constate :

- Une *augmentation forte* de la part du numérique :
  - Répartie entre terminaux, centres de calcul/stockage et réseau
- Représente **13,5%** des consommations des résidences en France
- Autour de **10%** de la consommation mondiale d'électricité
- Nécessaire de tenir compte du *cycle de vie* complet :
  - Fabrication, transport/dist., utilisation, fin de vie (fdv) / valorisation
- Distinction entre *utilisation* (Twh) et *fabrication/transport* (CO<sub>2</sub>)
  - Consommations 2020 :
    - Data-centers : **200 à 250 Twh**, réseau : **260 à 340 Twh**
    - Appareils personnels 2020 : **335 Twh** (**1,2%** de l'élec. mondiale)

On constate :

- Une *augmentation forte* de la part du numérique :
  - Répartie entre terminaux, centres de calcul/stockage et réseau
- Représente **13,5%** des consommations des résidences en France
- Autour de **10%** de la consommation mondiale d'électricité
- Nécessaire de tenir compte du *cycle de vie* complet :
  - Fabrication, transport/dist., utilisation, fin de vie (fdv) / valorisation
- Distinction entre *utilisation* (Twh) et *fabrication/transport* (CO<sub>2</sub>)
  - Consommations 2020 :
    - Data-centers : **200 à 250 Twh**, réseau : **260 à 340 Twh**
    - Appareils personnels 2020 : **335 Twh** (**1,2%** de l'élec. mondiale)
  - Conso Bitcoin 2021 : **110 Twh** > conso. pop. de l'Argentine (45 M)

On constate :

- Une **augmentation forte** de la part du numérique :
  - Répartie entre terminaux, centres de calcul/stockage et réseau
- Représente **13,5%** des consommations des résidences en France
- Autour de **10%** de la consommation mondiale d'électricité
- Nécessaire de tenir compte du **cycle de vie** complet :
  - Fabrication, transport/dist., utilisation, fin de vie (fdv) / valorisation
- Distinction entre **utilisation** (Twh) et **fabrication/transport** (CO<sub>2</sub>)
  - Consommations 2020 :
    - Data-centers : **200 à 250 Twh**, réseau : **260 à 340 Twh**
    - Appareils personnels 2020 : **335 Twh** (**1,2%** de l'élec. mondiale)
  - Conso Bitcoin 2021 : **110 Twh** > conso. pop. de l'Argentine (45 M)
  - Et **≈4%** des émissions de CO<sub>2</sub> (2,5% pour l'aviation civile mondiale)

On constate :

- Une **augmentation forte** de la part du numérique :
  - Répartie entre terminaux, centres de calcul/stockage et réseau
- Représente **13,5%** des consommations des résidences en France
- Autour de **10%** de la consommation mondiale d'électricité
- Nécessaire de tenir compte du **cycle de vie** complet :
  - Fabrication, transport/dist., utilisation, fin de vie (fdv) / valorisation
- Distinction entre **utilisation** (Twh) et **fabrication/transport** (CO<sub>2</sub>)
  - Consommations 2020 :
    - Data-centers : **200 à 250 Twh**, réseau : **260 à 340 Twh**
    - Appareils personnels 2020 : **335 Twh** (**1,2%** de l'élec. mondiale)
  - Conso Bitcoin 2021 : **110 Twh** > conso. pop. de l'Argentine (45 M)
  - Et **≈4%** des émissions de CO<sub>2</sub> (2,5% pour l'aviation civile mondiale)
- Exemple d'une étude d'Apple en 2019 concernant un MacBook Pro :  
(source [site interstices](#))
  - Pour 4 ans d'utilisation : **394 Kg CO<sub>2</sub>**

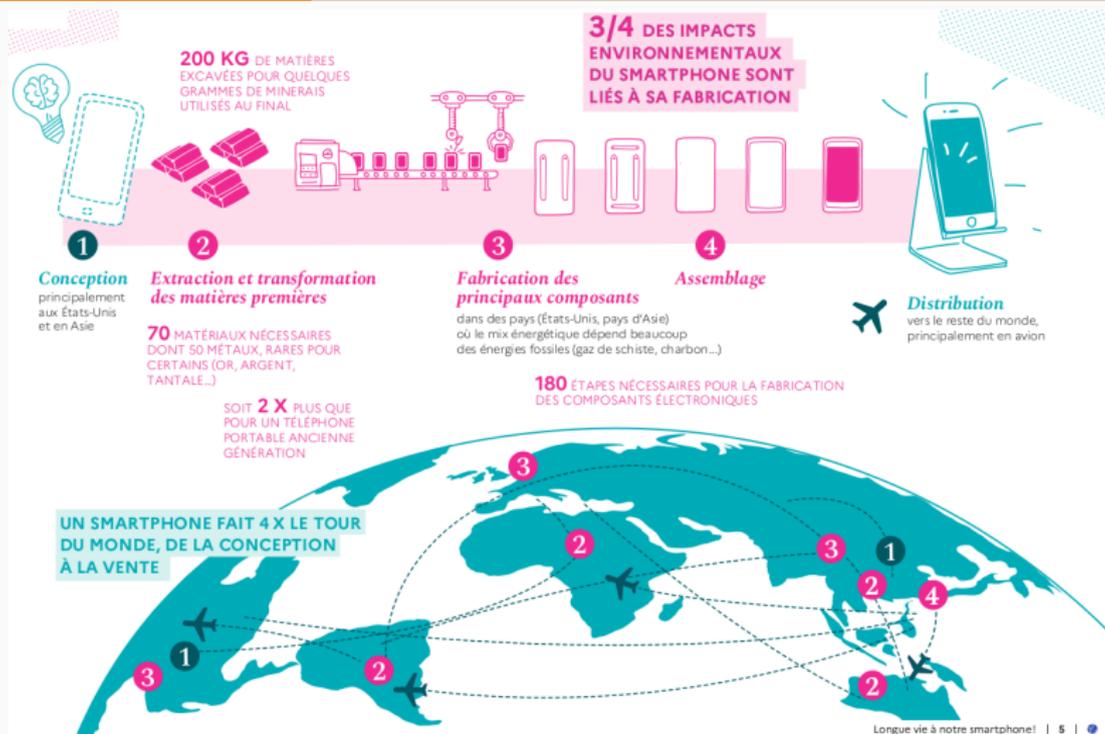
On constate :

- Une **augmentation forte** de la part du numérique :
  - Répartie entre terminaux, centres de calcul/stockage et réseau
- Représente **13,5%** des consommations des résidences en France
- Autour de **10%** de la consommation mondiale d'électricité
- Nécessaire de tenir compte du **cycle de vie** complet :
  - Fabrication, transport/dist., utilisation, fin de vie (fdv) / valorisation
- Distinction entre **utilisation** (Twh) et **fabrication/transport** (CO<sub>2</sub>)
  - Consommations 2020 :
    - Data-centers : **200 à 250 Twh**, réseau : **260 à 340 Twh**
    - Appareils personnels 2020 : **335 Twh** (**1,2%** de l'élec. mondiale)
  - Conso Bitcoin 2021 : **110 Twh** > conso. pop. de l'Argentine (45 M)
  - Et **≈4%** des émissions de CO<sub>2</sub> (2,5% pour l'aviation civile mondiale)
- Exemple d'une étude d'Apple en 2019 concernant un MacBook Pro :  
(source [site interstices](#))
  - Pour 4 ans d'utilisation : **394 Kg CO<sub>2</sub>**
  - Fabrication : **75%**, transport **5%**, utilisation **19%**, fdv **1%**

On constate :

- Une **augmentation forte** de la part du numérique :
  - Répartie entre terminaux, centres de calcul/stockage et réseau
- Représente **13,5%** des consommations des résidences en France
- Autour de **10%** de la consommation mondiale d'électricité
- Nécessaire de tenir compte du **cycle de vie** complet :
  - Fabrication, transport/dist., utilisation, fin de vie (fdv) / valorisation
- Distinction entre **utilisation** (Twh) et **fabrication/transport** (CO<sub>2</sub>)
  - Consommations 2020 :
    - Data-centers : **200 à 250 Twh**, réseau : **260 à 340 Twh**
    - Appareils personnels 2020 : **335 Twh** (**1,2%** de l'élec. mondiale)
  - Conso Bitcoin 2021 : **110 Twh** > conso. pop. de l'Argentine (45 M)
  - Et **≈4%** des émissions de CO<sub>2</sub> (2,5% pour l'aviation civile mondiale)
- Exemple d'une étude d'Apple en 2019 concernant un MacBook Pro :  
(source [site interstices](#))
  - Pour 4 ans d'utilisation : **394 Kg CO<sub>2</sub>**
  - Fabrication : **75%**, transport **5%**, utilisation **19%**, fdv **1%**
  - Utilisation pendant **16 ans** pour avoir équilibre utilisation/fabrication

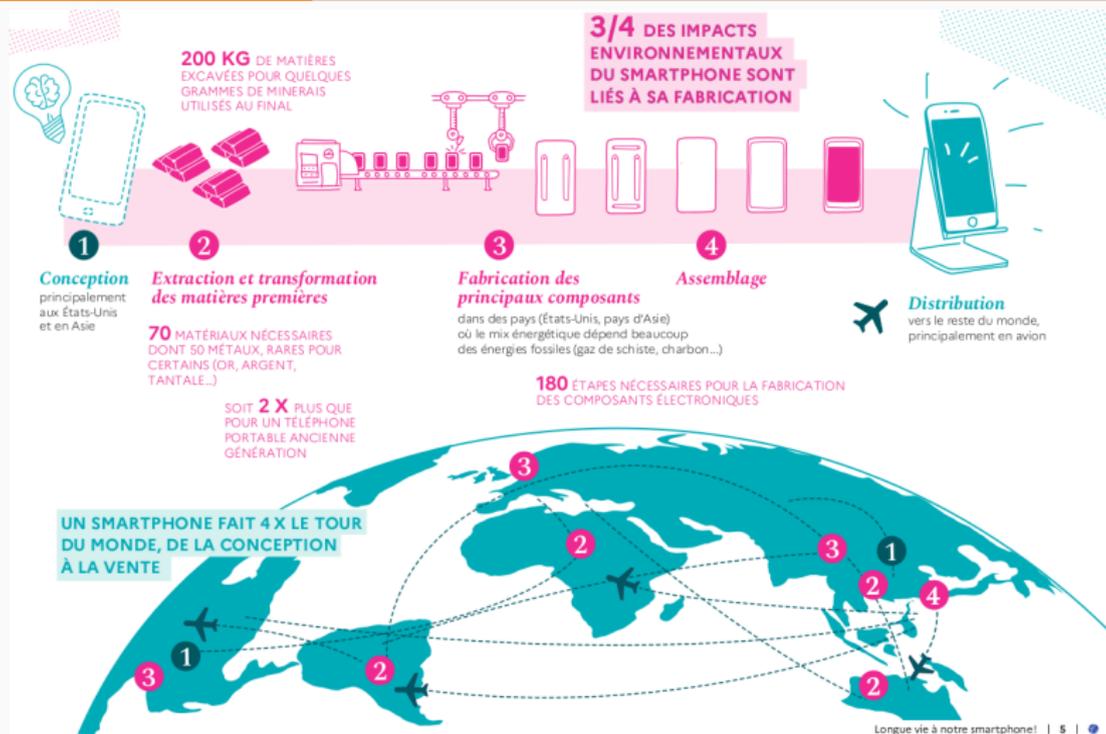
# Production et livraison d'un smartphone



Source Ademe 2023

1,43 Mds de téléphones vendus en 2021 (+6%), renouvellement tous les 2 ou 3 ans en France...

# Production et livraison d'un smartphone

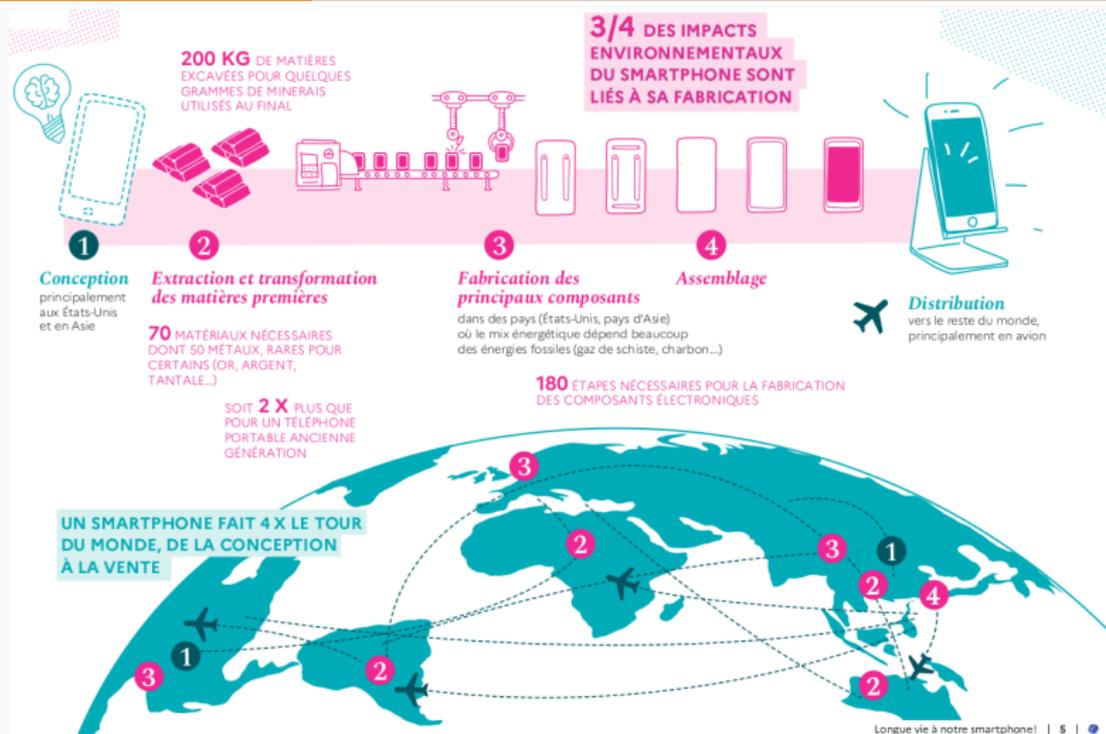


Source Ademe 2023

1,43 Mds de téléphones vendus en 2021 (+6%), renouvellement tous les 2 ou 3 ans en France...

→ Quid de l'*obsolescence programmée* ?

# Production et livraison d'un smartphone

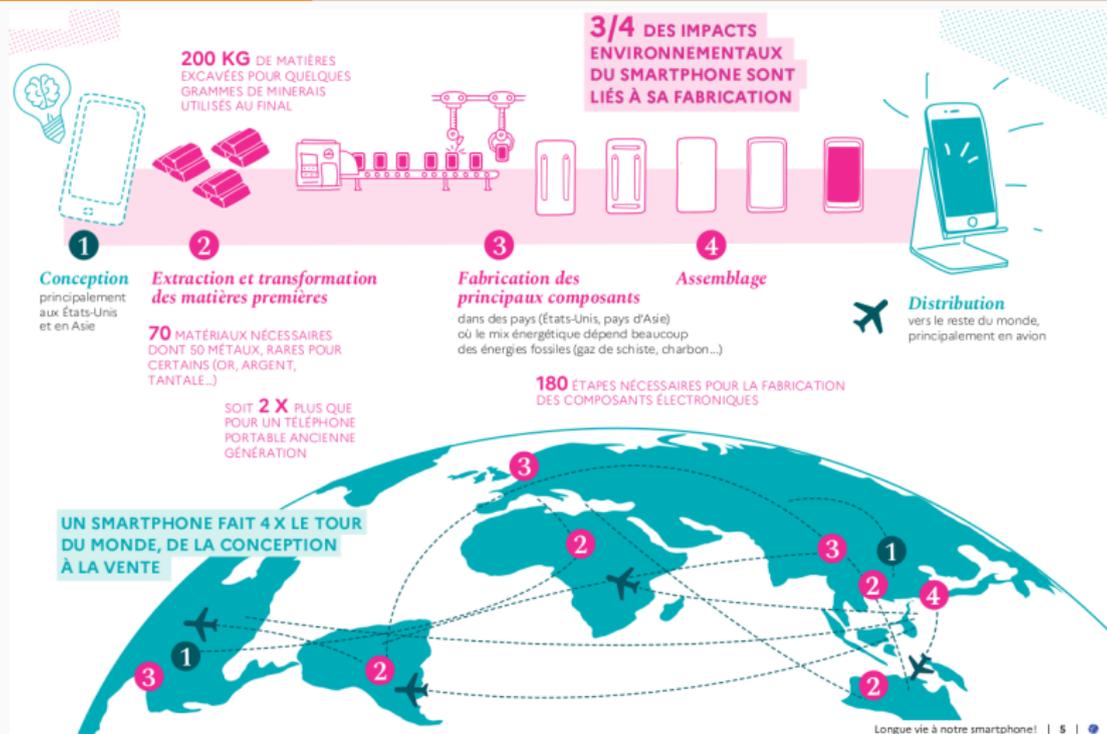


Source Ademe 2023

1,43 Mds de téléphones vendus en 2021 (+6%), renouvellement tous les 2 ou 3 ans en France...

→ Quid de l'*obsolescence programmée*? Art. L213-4-1 code de conso : 2 ans prison + amende 300k€

# Production et livraison d'un smartphone



Source Ademe 2023

1,43 Mds de téléphones vendus en 2021 (+6%), renouvellement tous les 2 ou 3 ans en France...

→ Quid de l'*obsolescence programmée*? Art. L213-4-1 code de conso : 2 ans prison + amende 300k€  
Apple a dépassé 3000 Mds US\$ de capitalisation en 2023!.. L'amende est-elle *dissuasive* ?!

# Parts des productions mondiales des métaux

---

Ratio de matières mobilisées / équipement produit :

- *34 Kg / 100 g* en 2019

Source : rapport INSEE (2019)

# Parts des productions mondiales des métaux

Ratio de matières mobilisées / équipement produit :

- 34 Kg / 100 g en 2019

Source : rapport INSEE (2019)

Matières premières :

Source : L'enfer numérique (2021)

Élément	Part (%)	Utilisation
terbium	88	aimants, éclairages
germanium	87	fibres optiques / infrarouges
gallium	70	circuits intégrés
ruthénium	66	divers éléments électroniques
dysprosium	63	aimants
indium	60	écrans, semiconducteurs, LED
erbium	50	éclairages
europium	50	
gadolinium	50	
iridium	43	divers éléments électroniques
béryllium	42	
antimoine	41	ignifuges
néodyme	26	aimants

# Parts des productions mondiales des métaux

Ratio de matières mobilisées / équipement produit :

- 34 Kg / 100 g en 2019

Source : rapport INSEE (2019)

Matières premières :

Source : L'enfer numérique (2021)

Élément	Part (%)	Utilisation
terbium	88	aimants, éclairages
germanium	87	fibres optiques / infrarouges
gallium	70	circuits intégrés
ruthénium	66	divers éléments électroniques
dysprosium	63	aimants
indium	60	écrans, semiconducteurs, LED
erbium	50	éclairages
europium	50	
gadolinium	50	
iridium	43	divers éléments électroniques
béryllium	42	
antimoine	41	ignifuges
néodyme	26	aimants

Les réserves naturelles de certains de ces éléments sont faibles

→ Risque d'épuisement des ressources à moyen terme (quelques décennies)

## Constats (suite)

---

- Matériels souvent *surdimensionnés* pour absorber les pics
  - Les matériels consomment *en continu* (partie fixe) :  $\approx$  50%

- Matériels souvent *surdimensionnés* pour absorber les pics
  - Les matériels consomment *en continu* (partie fixe) :  $\approx 50\%$
- Logiciels *mal conçus* :
  - Temps de développement trop courts
  - Formations/méthodologies inégales des développeurs de logiciels
    - Se reposent sur les compilateurs et la vitesse des machines
    - Pas suffisamment d'optimisation des algos et d'analyse de code

Pareto optimal sets for different  
combination of objectives

Energy & Time & Memory

C • Pascal • Go

Rust • C++ • Fortran

Ada

Java • Chapel • Lisp • Ocaml

Swift • Haskell • C#

Dart • F# • Racket • Hack • PHP

JavaScript • Ruby • Python

TypeScript • Erlang

Lua • JRuby • Perl

Article de Pereira et al de 2017

## Constats (suite)

---

- Matériels souvent *surdimensionnés* pour absorber les pics
  - Les matériels consomment *en continu* (partie fixe) :  $\approx$  50%
- Logiciels *mal conçus* :
  - Temps de développement trop courts
  - Formations/méthodologies inégales des développeurs de logiciels
    - Se reposent sur les compilateurs et la vitesse des machines
    - Pas suffisamment d'optimisation des algos et d'analyse de code
- En moyenne, 35 applis tournent sur un smartphone!  $\Rightarrow$  autonomie  $\searrow$

## Constats (suite)

---

- Matériels souvent *surdimensionnés* pour absorber les pics
  - Les matériels consomment *en continu* (partie fixe) :  $\approx$  50%
- Logiciels *mal conçus* :
  - Temps de développement trop courts
  - Formations/méthodologies inégales des développeurs de logiciels
    - Se reposent sur les compilateurs et la vitesse des machines
    - Pas suffisamment d'optimisation des algos et d'analyse de code
- En moyenne, 35 applis tournent sur un smartphone!  $\Rightarrow$  autonomie  $\searrow$
- Problème des *objets connectés* :
  - Non prise en compte de la conso de l'infrastructure nécessaire

## Constats (suite)

---

- Matériels souvent *surdimensionnés* pour absorber les pics
  - Les matériels consomment *en continu* (partie fixe) :  $\approx 50\%$
- Logiciels *mal conçus* :
  - Temps de développement trop courts
  - Formations/méthodologies inégales des développeurs de logiciels
    - Se reposent sur les compilateurs et la vitesse des machines
    - Pas suffisamment d'optimisation des algos et d'analyse de code
- En moyenne, **35** applis tournent sur un smartphone!  $\Rightarrow$  autonomie  $\searrow$
- Problème des *objets connectés* :
  - Non prise en compte de la conso de l'infrastructure nécessaire
  - Exemple des thermostats Google Nest (source [site interstices](#))
    - Utilisation sur 10 ans  $\rightarrow 30 \text{ Kg CO}_2$
    - **82%** sur la production et **15%** sur l'utilisation
    - utilisation pendant **54 ans** pour avoir l'équilibre!

## Constats (suite)

- Matériels souvent *surdimensionnés* pour absorber les pics
  - Les matériels consomment *en continu* (partie fixe) :  $\approx 50\%$
- Logiciels *mal conçus* :
  - Temps de développement trop courts
  - Formations/méthodologies inégales des développeurs de logiciels
    - Se reposent sur les compilateurs et la vitesse des machines
    - Pas suffisamment d'optimisation des algos et d'analyse de code
- En moyenne, **35** applis tournent sur un smartphone!  $\Rightarrow$  autonomie  $\searrow$
- Problème des *objets connectés* :
  - Non prise en compte de la conso de l'infrastructure nécessaire
  - Exemple des thermostats Google Nest (source [site interstices](#))
    - Utilisation sur 10 ans  $\rightarrow 30 \text{ Kg CO}_2$
    - **82%** sur la production et **15%** sur l'utilisation
    - utilisation pendant **54 ans** pour avoir l'équilibre!
- Exemple des *consoles PS5* (Sony) :
  - Moyenne  $\approx 210 \text{ W}$  en jeu et  $0,38 \text{ W} \leq$  veille  $\leq 4,2 \text{ W}$  (selon options)
  - $\approx 76,6 \text{ kWh/an}$  en jouant **1h/jour** + veille entre **3,2 kWh** et **35,2 kWh**

## Constats (suite)

---

- *Habitudes de consommation* :
  - Streaming audio/video (80% BP), visios, navigation, pubs, mails,...

- *Habitudes de consommation* :
  - Streaming audio/video (80% BP), visios, navigation, pubs, mails,...
  - Coût d'un mail :
    - Entre 0,03 et 26 geCO<sub>2</sub> selon le contexte (type de mail, matériel,...)

## Constats (suite)

- *Habitudes de consommation :*

- Streaming audio/video (**80%** BP), visios, navigation, pubs, mails,...
- Coût d'un mail :
  - Entre **0,03** et **26 geCO<sub>2</sub>** selon le contexte (type de mail, matériel,...)
- Coût d'une visio : **96%** dû aux images
  - 1h entre Paris et Grenoble sur Renater = **226 geCO<sub>2</sub>** ( [RR CNRS 2022](#))
  - Équivalent à **52h** d'éclairage avec une ampoule de **40W**
  - Autres études : variabilité selon opérateur/contexte ( [ScienceDirect 2021](#))

	Carbone (geCO <sub>2</sub> /h)	Eau (L/h)	Terrain (cm <sup>2</sup> /h)
Streaming HD	440,58	5,20	77,48
Streaming SD	62,94	0,74	11,07
Visio avec vidéo	157,34	1,86	27,67
Visio sans vidéo	6,29	0,07	1,11

Article ScienceDirect (2021)

## Constats (suite)

- *Habitudes de consommation* :
  - Streaming audio/video (**80%** BP), visios, navigation, pubs, mails,...
  - Coût d'un mail :
    - Entre **0,03** et **26 geCO<sub>2</sub>** selon le contexte (type de mail, matériel,...)
  - Coût d'une visio : **96%** dû aux images
    - 1h entre Paris et Grenoble sur Renater = **226 geCO<sub>2</sub>** ( [RR CNRS 2022](#))
    - Équivalent à **52h** d'éclairage avec une ampoule de **40W**
    - Autres études : variabilité selon opérateur/contexte ( [ScienceDirect 2021](#))
    - La vidéo est-elle **toujours nécessaire**? Quid du **téléphone**?

	Carbone (geCO <sub>2</sub> /h)	Eau (L/h)	Terrain (cm <sup>2</sup> /h)
Streaming HD	440,58	5,20	77,48
Streaming SD	62,94	0,74	11,07
Visio avec vidéo	157,34	1,86	27,67
Visio sans vidéo	6,29	0,07	1,11

Article ScienceDirect (2021)

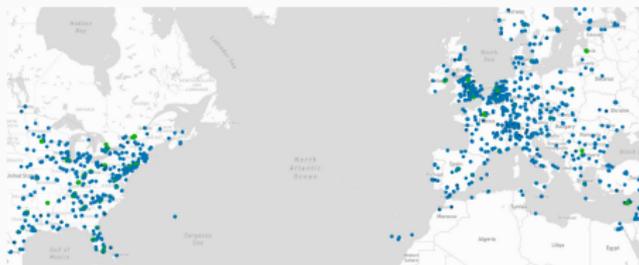
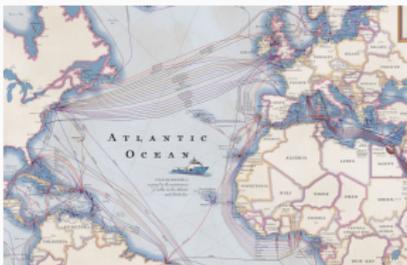
- *Habitudes de consommation* :
  - Streaming audio/video (**80%** BP), visios, navigation, pubs, mails,...
  - Coût d'un mail :
    - Entre **0,03** et **26 geCO<sub>2</sub>** selon le contexte (type de mail, matériel,...)
  - Coût d'une visio : **96%** dû aux images
    - 1h entre Paris et Grenoble sur Renater = **226 geCO<sub>2</sub>** ( [RR CNRS 2022](#))
    - Équivalent à **52h** d'éclairage avec une ampoule de **40W**
    - Autres études : variabilité selon opérateur/contexte ( [ScienceDirect 2021](#))
    - La vidéo est-elle **toujours nécessaire**? Quid du **téléphone**?
  - Optimisation globale des matériels, mais...

- *Habitudes de consommation* :
  - Streaming audio/video (**80%** BP), visios, navigation, pubs, mails,...
  - Coût d'un mail :
    - Entre **0,03** et **26 geCO<sub>2</sub>** selon le contexte (type de mail, matériel,...)
  - Coût d'une visio : **96%** dû aux images
    - 1h entre Paris et Grenoble sur Renater = **226 geCO<sub>2</sub>** ( [RR CNRS 2022](#))
    - Équivalent à **52h** d'éclairage avec une ampoule de **40W**
    - Autres études : variabilité selon opérateur/contexte ( [ScienceDirect 2021](#))
    - La vidéo est-elle *toujours nécessaire*? Quid du *téléphone*?
  - Optimisation globale des matériels, mais... *effet rebond!*

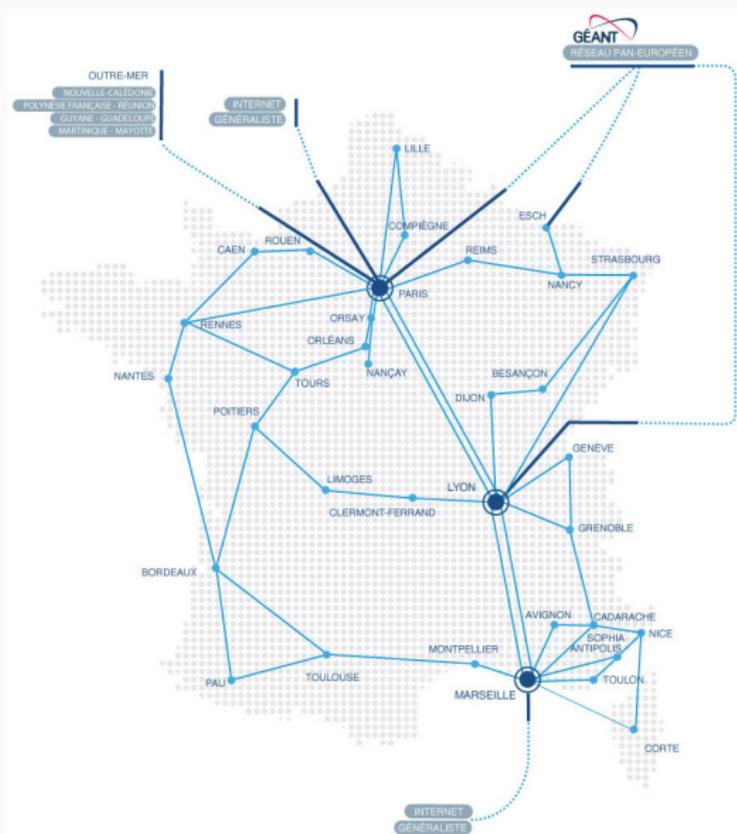
- *Habitudes de consommation* :
  - Streaming audio/video (**80%** BP), visios, navigation, pubs, mails,...
  - Coût d'un mail :
    - Entre **0,03** et **26 geCO<sub>2</sub>** selon le contexte (type de mail, matériel,...)
  - Coût d'une visio : **96%** dû aux images
    - 1h entre Paris et Grenoble sur Renater = **226 geCO<sub>2</sub>** ( [RR CNRS 2022](#))
    - Équivalent à **52h** d'éclairage avec une ampoule de **40W**
    - Autres études : variabilité selon opérateur/contexte ( [ScienceDirect 2021](#))
    - La vidéo est-elle *toujours nécessaire*? Quid du *téléphone*?
  - Optimisation globale des matériels, mais... *effet rebond!*  
→ Implique souvent de *nouveaux usages* et non des économies ☹

# Constats (suite)

- **Habitudes de consommation** :
  - Streaming audio/video (**80% BP**), visios, navigation, pubs, mails,...
  - Coût d'un mail :
    - Entre **0,03** et **26 geCO<sub>2</sub>** selon le contexte (type de mail, matériel,...)
  - Coût d'une visio : **96%** dû aux images
    - 1h entre Paris et Grenoble sur Renater = **226 geCO<sub>2</sub>** ( RR CNRS 2022)
    - Équivalent à **52h** d'éclairage avec une ampoule de **40W**
    - Autres études : variabilité selon opérateur/contexte ( ScienceDirect 2021)
    - La vidéo est-elle **toujours nécessaire**? Quid du **téléphone**?
  - Optimisation globale des matériels, mais... **effet rebond!**  
→ Implique souvent de **nouveaux usages** et non des économies ☹
- **Dématérialisation trompeuse** : câbles internet sous-marins data centers



# Carte de l'infrastructure du réseau national



Source Renater

Liste mise à jour sur <https://www.top500.org>

## TOP10 System - November 2023

$R_{max}$  and  $R_{peak}$  values are in PFlop/s. For more details about other fields, check the TOP500 description.

$R_{peak}$  values are calculated using the advertised clock rate of the CPU. For the efficiency of the systems you should take into account the Turbo CPU clock rate where it applies.

Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	<b>Frontier</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	8,699,904	1,194.00	1,679.82	22,703
2	<b>Aurora</b> - HPE Cray EX - Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 52C 2.4GHz, Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11, Intel DOE/SC/Argonne National Laboratory United States	4,742,808	585.34	1,059.33	24,687
3	<b>Eagle</b> - Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C 48C 2GHz, NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR, Microsoft Microsoft Azure United States	1,123,200	561.20	846.84	
4	<b>Supercomputer Fugaku</b> - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442.01	537.21	29,899

Les 4 plus puissants super-calculateurs fin 2023  
<https://www.top500.org/lists/top500/list/2023/11>

Liste mise à jour sur <https://www.top500.org>

## TOP10 System - November 2023

$R_{max}$  and  $R_{peak}$  values are in PFlop/s. For more details about other fields, check the TOP500 description.

$R_{peak}$  values are calculated using the advertised clock rate of the CPU. For the efficiency of the systems you should take into account the Turbo CPU clock rate where it applies.

Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	Frontier - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	8,699,904	1,194.00	1,679.82	22,703
2	Aurora - HPE Cray EX - Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 52C 2.4GHz, Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11, Intel DOE/SC/Argonne National Laboratory United States	4,742,808	585.34	1,059.33	24,687
3	Eagle - Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C 48C 2GHz, NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR, Microsoft Microsoft Azure United States	1,123,200	561.20	846.84	
4	Supercomputer Fugaku - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442.01	537.21	29,899

Les 4 plus puissants super-calculateurs fin 2023  
<https://www.top500.org/lists/top500/list/2023/11>

Liste mise à jour sur <https://www.top500.org>

## TOP10 System - November 2023

$R_{max}$  and  $R_{peak}$  values are in PFlop/s. For more details about other fields, check the TOP500 description.

$R_{peak}$  values are calculated using the advertised clock rate of the CPU. For the efficiency of the systems you should take into account the Turbo CPU clock rate where it applies.

Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	Frontier - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	8,699,904	1,194.00	1,679.82	22,703
2	Aurora - HPE Cray EX - Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 52C 2.4GHz, Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11, Intel DOE/SC/Argonne National Laboratory United States	4,742,808	585.34	1,059.33	24,687
3	Eagle - Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C 48C 2GHz, NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR, Microsoft Microsoft Azure United States	1,123,200	561.20	846.84	
4	Supercomputer Fugaku - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442.01	537.21	29,899

Les 4 plus puissants super-calculateurs fin 2023  
<https://www.top500.org/lists/top500/list/2023/11>

# Super-calculateurs

Mais on peut optimiser le rendement énergétique :  $\times 20$  en 10 ans

Rank	TOP500 Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Power (kW)	Energy Efficiency (GFlops/watts)
1	293	<b>Henri</b> - ThinkSystem SR670 V2, Intel Xeon Platinum 8362 32C 2.8GHz, NVIDIA H100 80GB PCIe, Infiniband HDR, <b>Lenovo</b> Flatiron Institute United States	8,288	2.88	44	65.396
2	44	<b>Frontier TDS</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, <b>HPE</b> Oak Ridge NL United States	120,832	19.20	309	62.684
3	17	<b>Adastra</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, <b>HPE</b> GENCI-CINES France	319,072	46.10	921	58.021
4	25	<b>Setonix - GPU</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, <b>HPE</b> PSC, Kensington Australia	181,248	27.16	477	56.983

Les 4 super-calculateurs les plus efficaces fin 2023  
<https://www.top500.org/lists/green500/2023/11>

EE des 4 super-calculateurs les plus puissants :  
**52.592, 23.710, ?, 14.783**

Globalement une très faible part des matériaux :

- **DEEE** : Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques

Globalement une très faible part des matériaux :

- **DEEE** : Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
- France : entre **17** et **23 Kg** produits par an et par habitant →  $\approx 1,4 \text{ Mt}$  / an

Globalement une très faible part des matériaux :

- **DEEE** : Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
- France : entre **17** et **23 Kg** produits par an et par habitant → **≈1,4 Mt** / an
- Monde : **57 Mt** de DEEE produits chaque année → 5000 Tours Eiffel ☹  
(Documentaire - Arte)

Globalement une très faible part des matériaux :

- **DEEE** : Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
- France : entre **17** et **23 Kg** produits par an et par habitant → **≈1,4 Mt** / an
- Monde : **57 Mt** de DEEE produits chaque année → 5000 Tours Eiffel ☺  
(Documentaire - Arte)
- **1g** de RAM mobilise **16000** fois son poids (Frankenstream - Arte)  
Une voiture mobilise **54** fois son poids...

Globalement une très faible part des matériaux :

- **DEEE** : Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
- France : entre **17** et **23 Kg** produits par an et par habitant → **≈1,4 Mt** / an
- Monde : **57 Mt** de DEEE produits chaque année → 5000 Tours Eiffel ☺  
(Documentaire - Arte)
- **1g** de RAM mobilise **16000** fois son poids (Frankenstream - Arte)  
Une voiture mobilise **54** fois son poids...
- Matériaux difficilement récupérables :
  - Seulement **1%** des métaux rares utilisés ☺
  - **10 Mds US\$** de métaux précieux perdus par an
  - Certaines estimations donnent 30 à 50 ans avant épuisement de certains matériaux

Globalement une très faible part des matériaux :

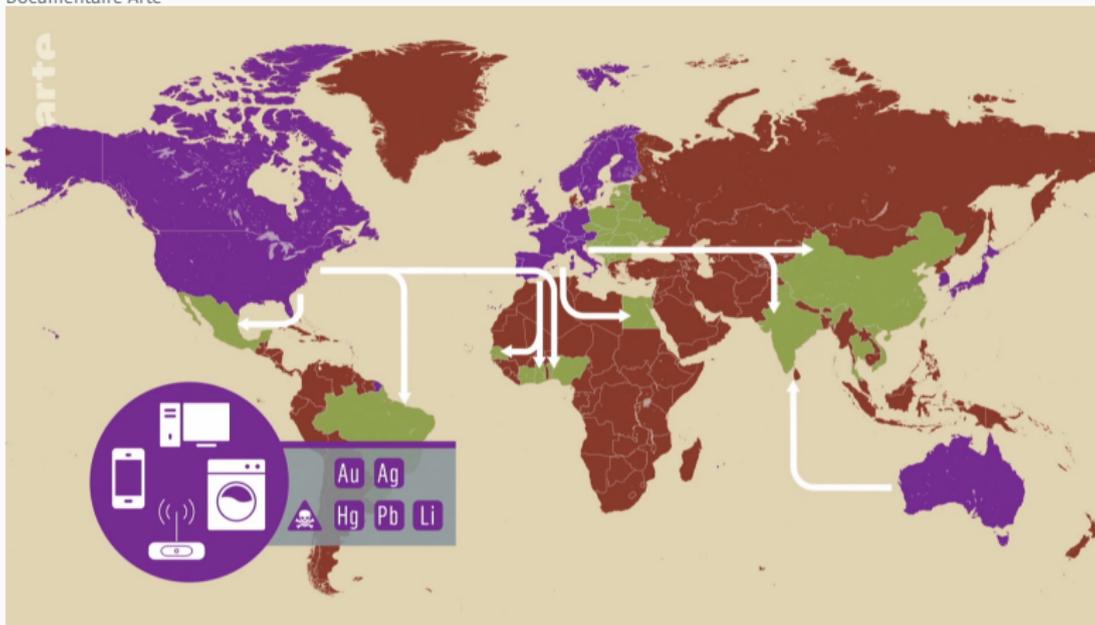
Vidéo sur Agbogbloshie au Ghana



- Problème des *filières non contrôlées* du recyclage :  $\approx 83\%$  en 2019

Globalement une très faible part des matériaux :

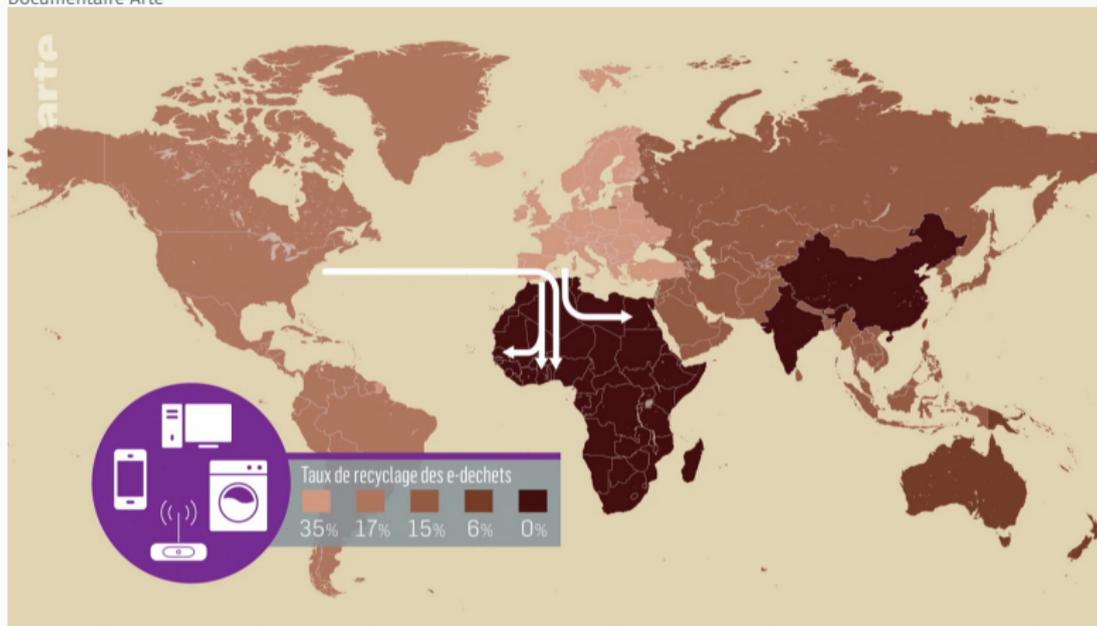
Documentaire Arte



- Problème des *filières non contrôlées* du recyclage : **≈83%** en 2019

Globalement une très faible part des matériaux :

Documentaire Arte



- Problème des *filières non contrôlées* du recyclage : **≈83%** en 2019

## Quid de l'eau ?

---

Étude de 2021 sur la consommation d'eau dans les data-centers :

- *Demande en eau* va augmenter de **55%** entre 2000 et 2050
  - Production de biens et d'énergie, usage domestique

Étude de 2021 sur la consommation d'eau dans les data-centers :

- *Demande en eau* va augmenter de **55%** entre 2000 et 2050
  - Production de biens et d'énergie, usage domestique
- Utilisation de l'eau dans les data-centers :
  - *Production électrique* et *refroidissement*
  - Et une part importante (>50%) d'eau potable...

# Quid de l'eau ?

---

Étude de 2021 sur la consommation d'eau dans les data-centers :

- *Demande en eau* va augmenter de **55%** entre 2000 et 2050
  - Production de biens et d'énergie, usage domestique
- Utilisation de l'eau dans les data-centers :
  - *Production électrique* et *refroidissement*
  - Et une part importante (>50%) d'eau potable...
- En 2018, Google a déclaré utiliser **15,8 Gl** d'eau → ≈ étang de Biguglia  
Microsoft à déclaré **3,6 Gl**, et Amazon ne divulgue pas grand chose...  
Mais ne déclarent que leur utilisation directe (exclut l'énergie)  
Informations détaillées considérées comme secret industriel...

## Quid de l'eau ?

---

Étude de 2021 sur la consommation d'eau dans les data-centers :

- *Demande en eau* va augmenter de **55%** entre 2000 et 2050
  - Production de biens et d'énergie, usage domestique
- Utilisation de l'eau dans les data-centers :
  - *Production électrique* et *refroidissement*
  - Et une part importante (>50%) d'eau potable...
- En 2018, Google a déclaré utiliser **15,8 Gl** d'eau → ≈ étang de Biguglia  
Microsoft à déclaré **3,6 Gl**, et Amazon ne divulgue pas grand chose...  
Mais ne déclarent que leur utilisation directe (exclut l'énergie)  
Informations détaillées considérées comme secret industriel...
- DC de taille intermédiaire (**15 MW**) ≈ 3 hôpitaux de taille moyenne

Étude de 2021 sur la consommation d'eau dans les data-centers :

- *Demande en eau* va augmenter de **55%** entre 2000 et 2050
  - Production de biens et d'énergie, usage domestique
- Utilisation de l'eau dans les data-centers :
  - *Production électrique* et *refroidissement*
  - Et une part importante (>50%) d'eau potable...
- En 2018, Google a déclaré utiliser **15,8 Gl** d'eau → ≈ étang de Biguglia  
Microsoft à déclaré **3,6 Gl**, et Amazon ne divulgue pas grand chose...  
Mais ne déclarent que leur utilisation directe (exclut l'énergie)  
Informations détaillées considérées comme secret industriel...
- DC de taille intermédiaire (**15 MW**) ≈ 3 hôpitaux de taille moyenne
- Des *efforts d'optimisation* sont entrepris : (Google et Microsoft)
  - 2010 → 2018 : serveurs **x6**, trafic réseau **x10** et stockage **x25**
  - Mais seulement **6%** d'augmentation de la consommation d'énergie
  - Recours aux énergies renouvelables et au cloud (**40%** des serveurs)

## Quid de l'eau ?

---

Utilisation de l'eau dans les *systèmes de climatisation* :

- Une partie s'évapore → perdue = non récupérée

## Quid de l'eau ?

---

Utilisation de l'eau dans les *systèmes de climatisation* :

- Une partie s'évapore → perdue = non récupérée
- Centre de **1 MW** consomme **25,5 Ml** d'eau par an

## Quid de l'eau ?

---

Utilisation de l'eau dans les *systèmes de climatisation* :

- Une partie s'évapore → perdue = non récupérée
- Centre de **1 MW** consomme **25,5 MI** d'eau par an
- Systèmes classiques refroidissent toute la pièce ☹

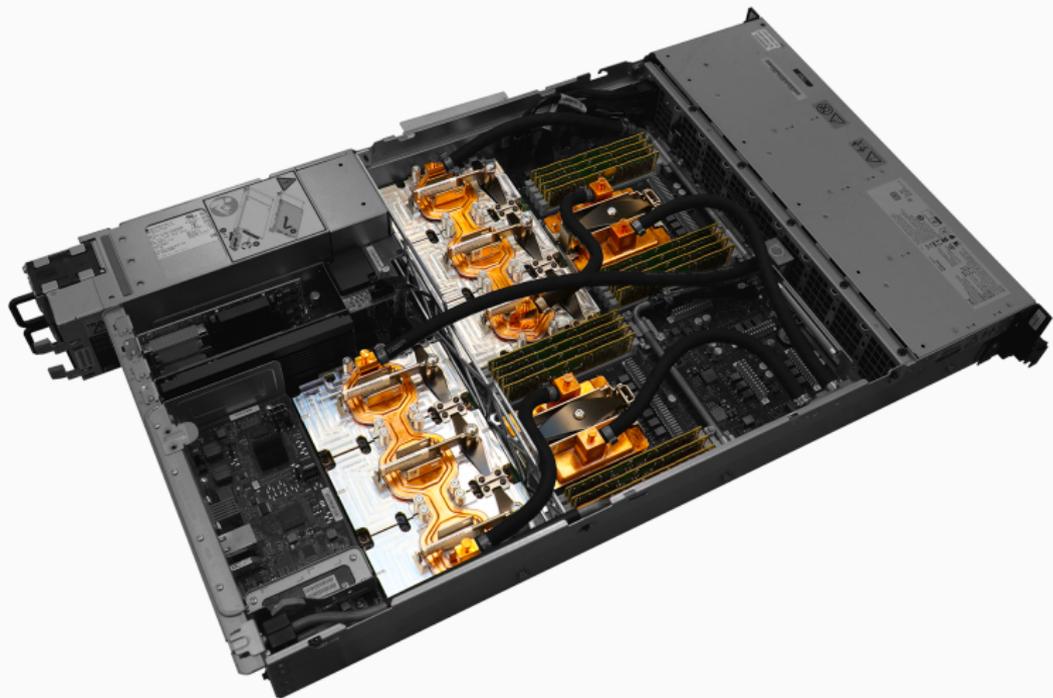
## Quid de l'eau ?

---

Utilisation de l'eau dans les *systèmes de climatisation* :

- Une partie s'évapore → perdue = non récupérée
- Centre de **1 MW** consomme **25,5 Ml** d'eau par an
- Systèmes classiques refroidissent toute la pièce ☹
- Mais *refroidissement ciblé* est plus efficace (jusqu'à **29%** de réduction)

# Quid de l'eau ?



## Quid de l'eau ?

---

Utilisation de l'eau dans les *systèmes de climatisation* :

- Une partie s'évapore → perdue = non récupérée
- Centre de **1 MW** consomme **25,5 Ml** d'eau par an
- Systèmes classiques refroidissent toute la pièce ☹
- Mais *refroidissement ciblé* est plus efficace (jusqu'à **29%** de réduction)

Projet Natick de Microsoft (2020) :

- 864 serveurs immergés en mer pendant 2 ans...  
...mais coût bien plus élevé ☹

## Quid de l'eau ?

Utilisation de l'eau dans les *systèmes de climatisation* :

- Une partie s'évapore → perdue = non récupérée
- Centre de **1 MW** consomme **25,5 MI** d'eau par an
- Systèmes classiques refroidissent toute la pièce ☹
- Mais *refroidissement ciblé* est plus efficace (jusqu'à **29%** de réduction)

Projet Natick de Microsoft (2020) :

- 864 serveurs immergés en mer pendant 2 ans...  
...mais coût bien plus élevé ☹

Localiser les centres à côté d'usines de dessalement :

- UD : Pompage d'eau de mer en profondeur (↘ effet sur environnement)
- DC : Circulation de l'eau froide (climatisation)
- UD : Récupération de l'eau chaude (plus facile à dessaler)
- Bien! Mais *applicabilité limitée*

# Évolution des données numériques

---

Principalement *deux unités* :

- *bit* : unité élémentaire (0/1)
- *octet* : groupe de 8 bits  $\approx$  un caractère (texte)

Principalement *deux unités* :

- *bit* : unité élémentaire (0/1)
- *octet* : groupe de 8 bits  $\approx$  un caractère (texte)

Dénomination des quantités :

- Préfixe de pondération : *K*, *M*, *G*, *T*, ...
- Distinction entre base 2 (ajout de *i*) et base 10 (par défaut)
- Distinction entre bit (*b*) et octet (*o* ou *B*)

# Unités de mesure des données

Principalement *deux unités* :

- **bit** : unité élémentaire (0/1)
- **octet** : groupe de 8 bits  $\approx$  un caractère (texte)

Dénomination des quantités :

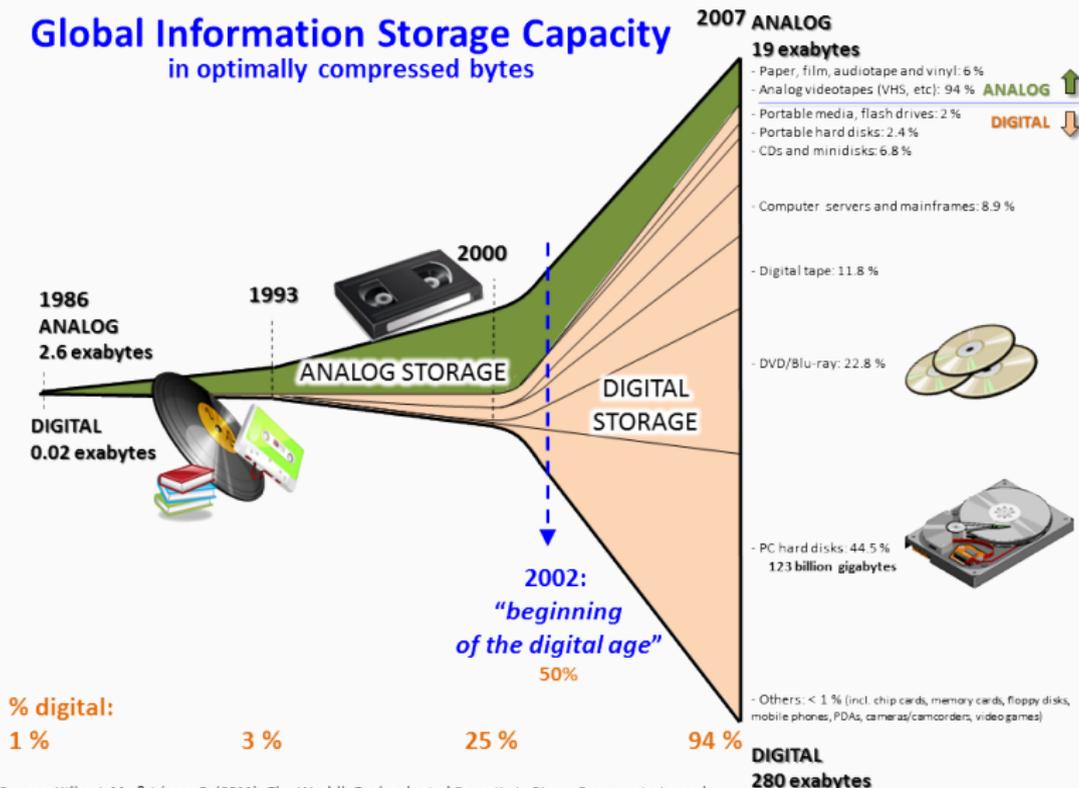
- Préfixe de pondération : **K**, **M**, **G**, **T**, ...
- Distinction entre base 2 (ajout de **i**) et base 10 (par défaut)
- Distinction entre bit (**b**) et octet (**o** ou **B**)

Exemples :

- 1 Kb = 1000 bits =  $10^3$  bits
  - 1 Ko = 1KB =  $10^3$  octets
  - Mo =  $10^3$  Ko, Go =  $10^3$  Mo, To =  $10^3$  Go, Po =  $10^3$  To, Eo =  $10^3$  Po, ...
  - 1 Zo = 1000 Eo = 1 000 000 000 000 000 000 000 octets
- 1 Kib = 1024 bits =  $2^{10}$  bits  
1 Kio = 1 KiB =  $2^{10}$  octets

# Évolution des volumes de données

## Global Information Storage Capacity in optimally compressed bytes



Source: Hilbert, M., & López, P. (2011). The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information. *Science*, 332(6025), 60–65. <http://www.martinhilbert.net/WorldInfoCapacity.html>

1 Eo =  $10^{18}$  octets = 1 000 000 000 000 000 000 octets

Constats et prévisions :

- Production *journalière* de données :  $2,5 \times 10^6$  To en 2020

Constats et prévisions :

- Production *journalière* de données :  $2,5 \times 10^6$  To en 2020
- Quelques valeurs *journalières* indicatives :

Twitter (Millions Twt)	Facebook (Millions Go)	WhatsApp (Milliards msgs)	Emails (Milliards msgs)	Youtube (Heures)
500	4	65	294	720000

Constats et prévisions :

- Production *journalière* de données :  $2,5 \times 10^6$  To en 2020
- Quelques valeurs *journalières* indicatives :

Twitter (Millions Twt)	Facebook (Millions Go)	WhatsApp (Milliards msgs)	Emails (Milliards msgs)	Youtube (Heures)
500	4	65	294	720000

- Statistiques dynamiques de Twitch

Constats et prévisions :

- Production *journalière* de données :  $2,5 \times 10^6$  To en 2020
- Quelques valeurs *journalières* indicatives :

Twitter (Millions Twt)	Facebook (Millions Go)	WhatsApp (Milliards msgs)	Emails (Milliards msgs)	Youtube (Heures)
500	4	65	294	720000

- Statistiques dynamiques de Twitch
- Le problème majeur est le taux de croissance annuel élevé ( $\approx 20\%$ )
  - Lié au développement des appareils utilisateurs (photos, vidéos,...)

## Quelle est la place des données scientifiques ?

---

Elle est plutôt réduite :

- *eLabFTW UL* :
  - 6,5 Go pour site de production et 0,83 Go pour bac à sable

## Quelle est la place des données scientifiques ?

---

Elle est plutôt réduite :

- *eLabFTW UL* :
  - **6,5 Go** pour site de production et **0,83 Go** pour bac à sable
- *DOREL* : **119,47 Go** pour  $\approx 46000$  fichiers

## Quelle est la place des données scientifiques ?

---

Elle est plutôt réduite :

- *eLabFTW UL* :
  - **6,5 Go** pour site de production et **0,83 Go** pour bac à sable
- *DOREL* : **119,47 Go** pour  $\approx 46000$  fichiers
- *Data Center Mutualisé Lorrain* : Février 2024 (installation partielle 22%)
  - Commun à l'UL et au CHRU
  - UL : plateformes pour les formations et la gestion de l'établissement
  - CHRU : certification HDS (Hébergeur de Données de Santé)
  - Énergie :  $2 \times 800$  kW (redondance), serveurs 100 kW, infrastructure 90 kW
  - *PUE* de **1,9** mais à terme **1,4** + récupération de chaleur (métropole)

## Quelle est la place des données scientifiques ?

---

Elle est plutôt réduite :

- *eLabFTW UL* :
  - **6,5 Go** pour site de production et **0,83 Go** pour bac à sable
- *DOREL* : **119,47 Go** pour  $\approx 46000$  fichiers
- *Data Center Mutualisé Lorrain* : Février 2024 (installation partielle 22%)
  - Commun à l'UL et au CHRU
  - UL : plateformes pour les formations et la gestion de l'établissement
  - CHRU : certification HDS (Hébergeur de Données de Santé)
  - Énergie :  $2 \times 800$  kW (redondance), serveurs 100 kW, infrastructure 90 kW
  - *PUE* de **1,9** mais à terme **1,4** + récupération de chaleur (métropole)
- *HAL* : **10 To** au national et environ **400 Go** pour l'UL

# Quelle est la place des données scientifiques ?

Elle est plutôt réduite :

- **eLabFTW UL** :
  - **6,5 Go** pour site de production et **0,83 Go** pour bac à sable
- **DOREL** : **119,47 Go** pour  $\approx 46000$  fichiers
- **Data Center Mutualisé Lorrain** : Février 2024 (installation partielle 22%)
  - Commun à l'UL et au CHRU
  - UL : plateformes pour les formations et la gestion de l'établissement
  - CHRU : certification HDS (Hébergeur de Données de Santé)
  - Énergie :  $2 \times 800$  kW (redondance), serveurs 100 kW, infrastructure 90 kW
  - **PUE** de **1,9** mais à terme **1,4** + récupération de chaleur (métropole)
- **HAL** : **10 To** au national et environ **400 Go** pour l'UL  
→  **$\approx 4$  millionèmes** de la production journalière de données...
- **ITER** : projet international sur la fusion nucléaire

# Quelle est la place des données scientifiques ?

Elle est plutôt réduite :

- **eLabFTW UL** :
  - **6,5 Go** pour site de production et **0,83 Go** pour bac à sable
- **DOREL** : **119,47 Go** pour  $\approx 46000$  fichiers
- **Data Center Mutualisé Lorrain** : Février 2024 (installation partielle 22%)
  - Commun à l'UL et au CHRU
  - UL : plateformes pour les formations et la gestion de l'établissement
  - CHRU : certification HDS (Hébergeur de Données de Santé)
  - Énergie :  $2 \times 800$  kW (redondance), serveurs 100 kW, infrastructure 90 kW
  - **PUE** de **1,9** mais à terme **1,4** + récupération de chaleur (métropole)
- **HAL** : **10 To** au national et environ **400 Go** pour l'UL
  - **$\approx 4$  millionèmes** de la production journalière de données...
- **ITER** : projet international sur la fusion nucléaire
  - En 2020  $\approx$  **2,2 Po** de données au total
  - Estimation à **2 Po** / jr en 2035
  - **0,08%** de la production journalière **actuelle**...

# Quelle est la place des données scientifiques ?

Elle est plutôt réduite :

- **eLabFTW UL** :
  - **6,5 Go** pour site de production et **0,83 Go** pour bac à sable
- **DOREL** : **119,47 Go** pour  $\approx 46000$  fichiers
- **Data Center Mutualisé Lorrain** : Février 2024 (installation partielle 22%)
  - Commun à l'UL et au CHRU
  - UL : plateformes pour les formations et la gestion de l'établissement
  - CHRU : certification HDS (Hébergeur de Données de Santé)
  - Énergie :  $2 \times 800$  kW (redondance), serveurs 100 kW, infrastructure 90 kW
  - **PUE** de **1,9** mais à terme **1,4** + récupération de chaleur (métropole)
- **HAL** : **10 To** au national et environ **400 Go** pour l'UL  
→  **$\approx 4$  millionèmes** de la production journalière de données...
- **ITER** : projet international sur la fusion nucléaire
  - En 2020  $\approx$  **2,2 Po** de données au total
  - Estimation à **2 Po** / jr en 2035
  - **0,08%** de la production journalière **actuelle**...
- **LHC** : Grand collisionneur de hadrons
  - **30 Po** produits par an et **100 Po** stockés sur bande
  - **1,2%** de la production journalière...

- Rapport 2022 de l'UNESCO sur le numérique (datareportal)
- Version datareportal de Janvier 2023
  - Population : **8,01 Mds** (57% urbains)

- Rapport 2022 de l'UNESCO sur le numérique (datareportal)
- Version datareportal de Janvier 2023
  - Population : **8,01 Mds** (57% urbains)
  - Utilisateurs **téls mobiles** : **5,44 Mds** (68% pop),

5h01/jr

- Rapport 2022 de l'UNESCO sur le numérique (datareportal)
- Version datareportal de Janvier 2023
  - Population : **8,01 Mds** (57% urbains)
  - Utilisateurs **téls mobiles** : **5,44 Mds** (68% pop),
  - Utilisateurs **internet** : **5,16 Mds** (64% pop),  
En France : **92%** pop,

5h01/jr

6h37/jr

5h26/jr

- Rapport 2022 de l'UNESCO sur le numérique (datareportal)
- Version datareportal de Janvier 2023
  - Population : **8,01 Mds** (57% urbains)
  - Utilisateurs **téls mobiles** : **5,44 Mds** (68% pop), 5h01/jr
  - Utilisateurs **internet** : **5,16 Mds** (64% pop), 6h37/jr  
En France : **92%** pop, 5h26/jr
  - Utilisateurs **réseaux sociaux** : **4,76 Mds** (59% pop), 2h31/jr

- Rapport 2022 de l'UNESCO sur le numérique (datareportal)
- Version datareportal de Janvier 2023
  - Population : **8,01 Mds** (57% urbains)
  - Utilisateurs **téls mobiles** : **5,44 Mds** (68% pop), 5h01/jr
  - Utilisateurs **internet** : **5,16 Mds** (64% pop), 6h37/jr  
En France : **92%** pop, 5h26/jr
  - Utilisateurs **réseaux sociaux** : **4,76 Mds** (59% pop), 2h31/jr
  - Montres connectées : **22,5%** des utilisateurs d'internet, **16,6%** en France

- Rapport 2022 de l'UNESCO sur le numérique (datareportal)
- Version datareportal de Janvier 2023
  - Population : **8,01 Mds** (57% urbains)
  - Utilisateurs **téls mobiles** : **5,44 Mds** (68% pop), 5h01/jr
  - Utilisateurs **internet** : **5,16 Mds** (64% pop), 6h37/jr  
En France : **92%** pop, 5h26/jr
  - Utilisateurs **réseaux sociaux** : **4,76 Mds** (59% pop), 2h31/jr
  - Montres connectées : **22,5%** des utilisateurs d'internet, **16,6%** en France
  - **E-commerce** : **4,11 Mds** (51% pop et 79% des Ut. internet)
    - **3590 Mds US\$/an**, **17,1%** du commerce mondial
    - Mode, électronique, jeux, meubles,...

- Rapport 2022 de l'UNESCO sur le numérique (datareportal)
- Version datareportal de Janvier 2023
  - Population : **8,01 Mds** (57% urbains)
  - Utilisateurs **téls mobiles** : **5,44 Mds** (68% pop), 5h01/jr
  - Utilisateurs **internet** : **5,16 Mds** (64% pop), 6h37/jr  
En France : **92%** pop, 5h26/jr
  - Utilisateurs **réseaux sociaux** : **4,76 Mds** (59% pop), 2h31/jr
  - Montres connectées : **22,5%** des utilisateurs d'internet, **16,6%** en France
  - **E-commerce** : **4,11 Mds** (51% pop et 79% des Ut. internet)
    - **3590 Mds US\$/an**, **17,1%** du commerce mondial
    - Mode, électronique, jeux, meubles,...
  - **Publicité numérique** : **667 Mds US\$** → **73,3%** du marché mondial  
Sur les réseaux sociaux : **226 Mds US\$** → **1/3** du total numérique

- Rapport 2022 de l'UNESCO sur le numérique (datareportal)
- Version datareportal de Janvier 2023
  - Population : **8,01 Mds** (57% urbains)
  - Utilisateurs **téls mobiles** : **5,44 Mds** (68% pop), 5h01/jr
  - Utilisateurs **internet** : **5,16 Mds** (64% pop), 6h37/jr  
En France : **92%** pop, 5h26/jr
  - Utilisateurs **réseaux sociaux** : **4,76 Mds** (59% pop), 2h31/jr
  - Montres connectées : **22,5%** des utilisateurs d'internet, **16,6%** en France
  - **E-commerce** : **4,11 Mds** (51% pop et 79% des Ut. internet)
    - **3590 Mds US\$/an**, **17,1%** du commerce mondial
    - Mode, électronique, jeux, meubles,...
  - **Publicité numérique** : **667 Mds US\$** → **73,3%** du marché mondial  
Sur les réseaux sociaux : **226 Mds US\$** → **1/3** du total numérique
  - **Clouds** : **236 Mds US\$** en 2020

- Rapport 2022 de l'UNESCO sur le numérique (datareportal)
- Version datareportal de Janvier 2023
  - Population : **8,01 Mds** (57% urbains)
  - Utilisateurs **téls mobiles** : **5,44 Mds** (68% pop), 5h01/jr
  - Utilisateurs **internet** : **5,16 Mds** (64% pop), 6h37/jr  
En France : **92%** pop, 5h26/jr
  - Utilisateurs **réseaux sociaux** : **4,76 Mds** (59% pop), 2h31/jr
  - Montres connectées : **22,5%** des utilisateurs d'internet, **16,6%** en France
  - **E-commerce** : **4,11 Mds** (51% pop et 79% des Ut. internet)
    - **3590 Mds US\$/an**, **17,1%** du commerce mondial
    - Mode, électronique, jeux, meubles,...
  - **Publicité numérique** : **667 Mds US\$** → **73,3%** du marché mondial  
Sur les réseaux sociaux : **226 Mds US\$** → **1/3** du total numérique
  - **Clouds** : **236 Mds US\$** en 2020
  - Pages webs sur les chats : **5,63 Mds** et les chiens : **6,08 Mds**

- Rapport 2022 de l'UNESCO sur le numérique (datareportal)
- Version datareportal de Janvier 2023
  - Population : **8,01 Mds** (57% urbains)
  - Utilisateurs **téls mobiles** : **5,44 Mds** (68% pop), 5h01/jr
  - Utilisateurs **internet** : **5,16 Mds** (64% pop), 6h37/jr  
En France : **92%** pop, 5h26/jr
  - Utilisateurs **réseaux sociaux** : **4,76 Mds** (59% pop), 2h31/jr
  - Montres connectées : **22,5%** des utilisateurs d'internet, **16,6%** en France
  - **E-commerce** : **4,11 Mds** (51% pop et 79% des Ut. internet)
    - **3590 Mds US\$/an**, **17,1%** du commerce mondial
    - Mode, électronique, jeux, meubles,...
  - **Publicité numérique** : **667 Mds US\$** → **73,3%** du marché mondial  
Sur les réseaux sociaux : **226 Mds US\$** → **1/3** du total numérique
  - **Clouds** : **236 Mds US\$** en 2020
  - Pages webs sur les chats : **5,63 Mds** et les chiens : **6,08 Mds**
- Bande passante internationale en 2023 : **3,9 Pbps**

## Quelle place pour les données?

---

- Étude The information catastrophe – AIP Advances
  - *Capacité de stockage* en 2020 estimée à **6,7 Zö**
    - Croissance annuelle autour de **19%**

# Quelle place pour les données?

---

- Étude The information catastrophe – AIP Advances
  - *Capacité de stockage* en 2020 estimée à **6,7Zo**
    - Croissance annuelle autour de **19%**
- ⇒ Saturations énergétique et matérielle dans 3 à 4 siècles
  - Nombre d'atomes de la Terre dans moins de 400 ans → pas si loin... ☹

# Quelle place pour les données ?

---

- Étude The information catastrophe – AIP Advances
  - *Capacité de stockage* en 2020 estimée à **6,7 Zo**
    - Croissance annuelle autour de **19%**
  - ⇒ Saturations énergétique et matérielle dans 3 à 4 siècles
    - Nombre d'atomes de la Terre dans moins de 400 ans → pas si loin... ☹
- Estimation *données mondiales créées* (≠ stockées) :
  - **≈60 Zo** en 2020 et **≈80 Zo** en 2021

# Quelle place pour les données?

- Étude The information catastrophe – AIP Advances
  - *Capacité de stockage* en 2020 estimée à **6,7 Zo**
    - Croissance annuelle autour de **19%**
  - ⇒ Saturations énergétique et matérielle dans 3 à 4 siècles
    - Nombre d'atomes de la Terre dans moins de 400 ans → pas si loin... ☹
- Estimation *données mondiales créées* (≠ stockées) :
  - **≈60 Zo** en 2020 et **≈80 Zo** en 2021 **175** (2025), **612** (2030),...

# Quelle place pour les données ?

- Étude The information catastrophe – AIP Advances
  - *Capacité de stockage* en 2020 estimée à **6,7 Zo**
    - Croissance annuelle autour de **19%**
  - ⇒ Saturations énergétique et matérielle dans 3 à 4 siècles
    - Nombre d'atomes de la Terre dans moins de 400 ans → pas si loin... ☹
- Estimation *données mondiales créées* (≠ stockées) :
  - **≈60 Zo** en 2020 et **≈80 Zo** en 2021 **175** (2025), **612** (2030),...
- Actuellement : 1 bit stocké sur  $25 \times 10^{-9} \text{m} \equiv 25 \text{nm}^2$ 
  - Environ **2%** des données sont stockées jusqu'à l'année suivante

# Quelle place pour les données?

- Étude The information catastrophe – AIP Advances
  - *Capacité de stockage* en 2020 estimée à **6,7 Zo**
    - Croissance annuelle autour de **19%**
  - ⇒ Saturations énergétique et matérielle dans 3 à 4 siècles
    - Nombre d'atomes de la Terre dans moins de 400 ans → pas si loin... ☹
- Estimation *données mondiales créées* (≠ stockées) :
  - **≈60 Zo** en 2020 et **≈80 Zo** en 2021 **175** (2025), **612** (2030),...
- Actuellement : 1 bit stocké sur  $25 \times 10^{-9} \text{m} \equiv 25 \text{nm}^2$ 
  - Environ **2%** des données sont stockées jusqu'à l'année suivante
  - ⇒ Ligne de **≈1600 ua**

# Quelle place pour les données?

- Étude The information catastrophe – AIP Advances
  - *Capacité de stockage* en 2020 estimée à **6,7 Zo**
    - Croissance annuelle autour de **19%**
  - ⇒ Saturations énergétique et matérielle dans 3 à 4 siècles
    - Nombre d'atomes de la Terre dans moins de 400 ans → pas si loin... ☹
- Estimation *données mondiales créées* (≠ stockées) :
  - **≈60 Zo** en 2020 et **≈80 Zo** en 2021 **175** (2025), **612** (2030),...
- Actuellement : 1 bit stocké sur  $25 \times 10^{-9} \text{m} \equiv 25 \text{nm}^2$ 
  - Environ **2%** des données sont stockées jusqu'à l'année suivante
  - ⇒ Ligne de **≈1600 ua** **Pluton 40 ua, Voyager1 160 ua**

# Quelle place pour les données ?

- Étude The information catastrophe – AIP Advances
  - **Capacité de stockage** en 2020 estimée à **6,7 Zo**
    - Croissance annuelle autour de **19%**
  - ⇒ Saturations énergétique et matérielle dans 3 à 4 siècles
    - Nombre d'atomes de la Terre dans moins de 400 ans → pas si loin... ☹
- Estimation **données mondiales créées** (≠ stockées) :
  - **≈60 Zo** en 2020 et **≈80 Zo** en 2021 **175** (2025), **612** (2030),...
- Actuellement : 1 bit stocké sur  $25 \times 10^{-9} \text{ m} \equiv 25 \text{ nm}^2$ 
  - Environ **2%** des données sont stockées jusqu'à l'année suivante
  - ⇒ Ligne de **≈1600 ua** **Pluton 40 ua, Voyager1 160 ua**
- Avec 19% de croissance, on obtient :
  - Couverture de la France par les données produites en 76 ans
  - Couverture de la France par les données stockées en 98 ans
  - Couverture de la Terre par les données produites en 115 ans
  - Couverture de la Terre par les données stockées en 137 ans

## Conclusion

---

## Quelles conclusions ?

---

L'outil numérique est devenu *incontournable* dans notre société :

- Utilisation professionnelle dans quasiment tous les secteurs
- Utilisation intensive dans les loisirs et la culture

## Quelles conclusions ?

---

L'outil numérique est devenu *incontournable* dans notre société :

- Utilisation professionnelle dans quasiment tous les secteurs
  - Utilisation intensive dans les loisirs et la culture
- Intérêt global indiscutable!

## Quelles conclusions ?

---

L'outil numérique est devenu *incontournable* dans notre société :

- Utilisation professionnelle dans quasiment tous les secteurs
  - Utilisation intensive dans les loisirs et la culture
- Intérêt global indiscutable!

Mais comme souvent, la difficulté vient de l'*utilisation de l'outil* :

- Idée trop répandue que le numérique est *virtuel* (pas de coût)

## Quelles conclusions ?

---

L'outil numérique est devenu *incontournable* dans notre société :

- Utilisation professionnelle dans quasiment tous les secteurs
  - Utilisation intensive dans les loisirs et la culture
- Intérêt global indiscutable!

Mais comme souvent, la difficulté vient de l'*utilisation de l'outil* :

- Idée trop répandue que le numérique est *virtuel* (pas de coût)
- Possibilité individuelle de générer de grandes quantités de données

## Quelles conclusions ?

---

L'outil numérique est devenu *incontournable* dans notre société :

- Utilisation professionnelle dans quasiment tous les secteurs
  - Utilisation intensive dans les loisirs et la culture
- Intérêt global indiscutable!

Mais comme souvent, la difficulté vient de l'*utilisation de l'outil* :

- Idée trop répandue que le numérique est *virtuel* (pas de coût)
- Possibilité individuelle de générer de grandes quantités de données
- Modèle économique de nombreux services numériques :
  - *Illusion de la gratuité* ⇒ usage sans limite!

## Quelles conclusions ?

---

L'outil numérique est devenu *incontournable* dans notre société :

- Utilisation professionnelle dans quasiment tous les secteurs
- Utilisation intensive dans les loisirs et la culture
- Intérêt global indiscutable!

Mais comme souvent, la difficulté vient de l'*utilisation de l'outil* :

- Idée trop répandue que le numérique est *virtuel* (pas de coût)
- Possibilité individuelle de générer de grandes quantités de données
- Modèle économique de nombreux services numériques :
  - *Illusion de la gratuité* ⇒ usage sans limite!
- Effet de masse sur les images et vidéos :
  - *Diffusion et visionnage* de vidéos
  - Utilisation intensive des réseaux (filaire, wifi, 4G, 5G)

## Quelles conclusions ?

---

Difficultés également sur le *recyclage* :

- Très difficile de récupérer les matériaux dans les anciens appareils
- Nécessaire de prolonger l'utilisation des appareils
  - Plus de réutilisation : loi REEN (2022)
  - Adapter les *modèles économiques* des fabricants et développeurs

## Quelles conclusions ?

---

Difficultés également sur le *recyclage* :

- Très difficile de récupérer les matériaux dans les anciens appareils
- Nécessaire de prolonger l'utilisation des appareils
  - Plus de réutilisation : loi REEN (2022)
  - Adapter les *modèles économiques* des fabricants et développeurs

L'évolution actuelle n'est *pas tenable* sur le long terme...

- Nécessité de modification individuelle des usages

## Quelles conclusions ?

---

Difficultés également sur le *recyclage* :

- Très difficile de récupérer les matériaux dans les anciens appareils
- Nécessaire de prolonger l'utilisation des appareils
  - Plus de réutilisation : loi REEN (2022)
  - Adapter les *modèles économiques* des fabricants et développeurs

L'évolution actuelle n'est *pas tenable* sur le long terme...

- Nécessité de modification individuelle des usages

Sinon...

- Risque de limitations imposées sans discernement par les acteurs privés et/ou publics
  - Filtre économique → impact fort sur les faibles revenus

## Quelles conclusions ?

---

Difficultés également sur le *recyclage* :

- Très difficile de récupérer les matériaux dans les anciens appareils
- Nécessaire de prolonger l'utilisation des appareils
  - Plus de réutilisation : loi REEN (2022)
  - Adapter les *modèles économiques* des fabricants et développeurs

L'évolution actuelle n'est *pas tenable* sur le long terme...

- Nécessité de modification individuelle des usages

Sinon...

- Risque de limitations imposées sans discernement par les acteurs privés et/ou publics
  - Filtre économique → impact fort sur les faibles revenus

⇒ Nécessité de réfléchir aux *usages prioritaires* pour la société :

- Quoi stocker ?
- Combien de temps ?
- Quels usages des outils (audio/visio,...) ?