

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU NUMÉRIQUE

Anne-Cécile Orgerie

CPES
31 mai 2023, Rennes



Contexte

- Crise climatique
 - Limites planétaires
 - Niveau de vie décent et équitable
- Numérique
 - Souvent présenté comme faisant partie de la **solution** aux problèmes climatiques (optimisations, systèmes *smart*, etc.)
 - Mais fait assurément partie du **problème**

Mon contexte scientifique

- **Comprendre**
- Consommation énergétique
- Systèmes distribués à large échelle
- Parties calcul et communication
- En phase usage



Commencé il y a quelques années avec le *Grid computing*...

Empreinte carbone

Quelle est la part du numérique dans l'empreinte carbone mondiale ?

- 2,1%
- 3,8%
- 8,6%
- 15,2%

Empreinte carbone

Quelle est la part du numérique dans l'empreinte carbone mondiale ?

2,1 à 3,9% en 2021 (1,2 à 2,2 Gt CO₂eq)

Empreinte carbone

Quelle est la part du numérique dans l’empreinte carbone mondiale ?

2,1 à 3,9% en 2021 (1,2 à 2,2 Gt CO₂eq)

Prévisions : +6% à 10% par an

“The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations”, C. Freitag, M. Berners-Lee, K. Widdicks, B. Knowles, G. Blair, A. Friday, Patterns, 2021.

Empreinte carbone

Quelle est la part du numérique dans l’empreinte carbone mondiale ?

2,1 à 3,9% en 2021 (1,2 à 2,2 Gt CO₂eq)

Prévisions : +6% à 10% par an

“The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations”, C. Freitag, M. Berners-Lee, K. Widdicks, B. Knowles, G. Blair, A. Friday, Patterns, 2021.

Quelle est la part de l’aviation civile dans l’empreinte carbone mondiale ?

Empreinte carbone

Quelle est la part du numérique dans l’empreinte carbone mondiale ?

2,1 à 3,9% en 2021 (1,2 à 2,2 Gt CO₂eq)

Prévisions : +6% à 10% par an

“The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations”, C. Freitag, M. Berners-Lee, K. Widdicks, B. Knowles, G. Blair, A. Friday, Patterns, 2021.

Quelle est la part de l’aviation civile dans l’empreinte carbone mondiale ?

2,4% en 2018

“Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, P. Jaramillo et al, IPCC 2022.

Consommation électrique

Quelle est la part du numérique dans la consommation électrique française ?

- 2%
- 5%
- 8%
- 11%

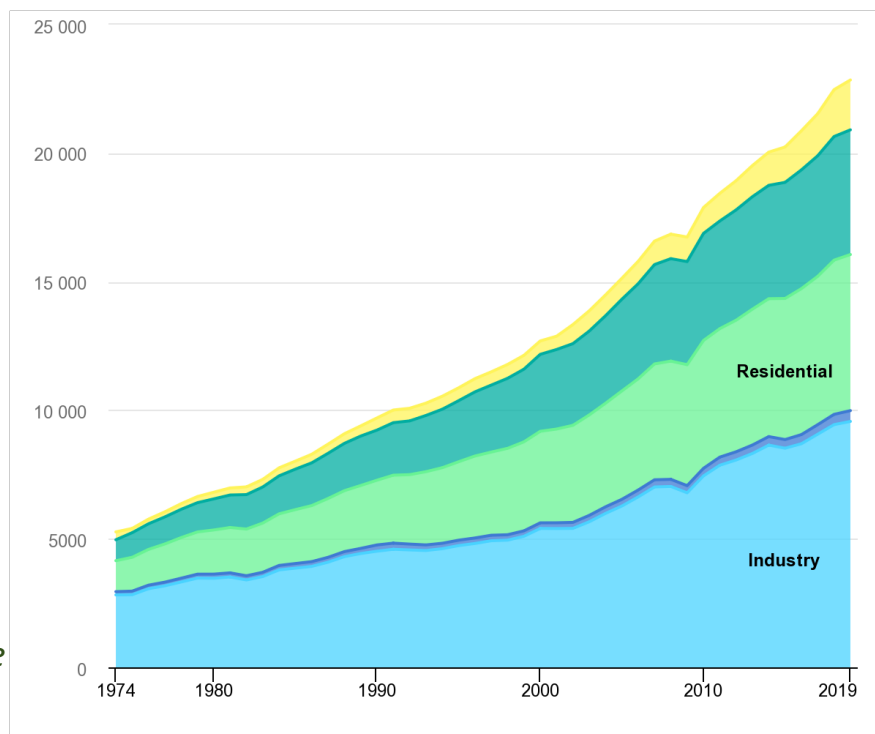
Consommation électrique

Quelle est la part du numérique dans la consommation électrique française ?

11% en 2020 (52 TWh)

Prévisions : 93 TWh en 2050 (+79%)

“Évaluation de l’impact environnemental du numérique en France et analyse prospective”, rapport ADEME – ARCEP, 2022.



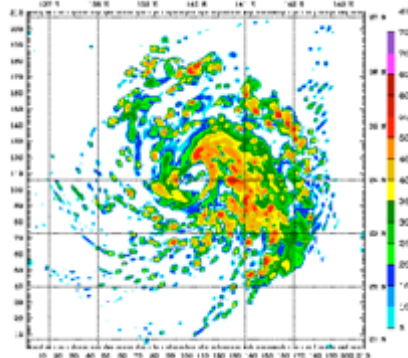
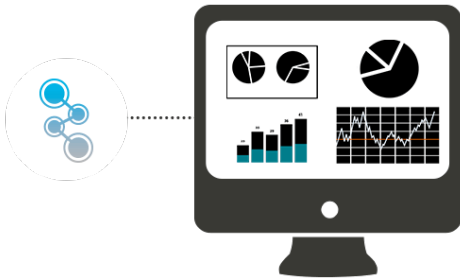
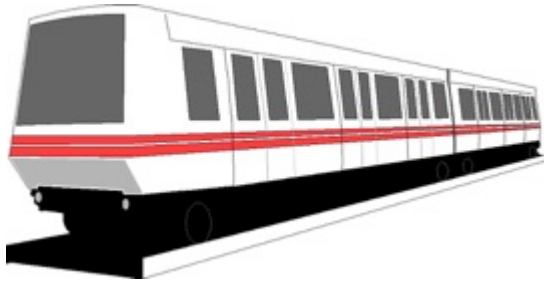
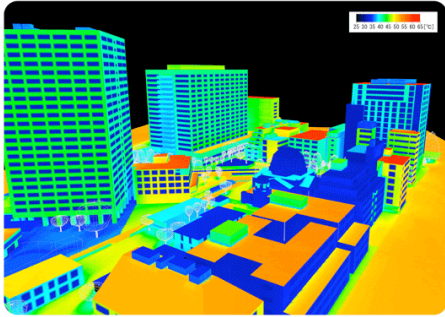
Consommation électrique mondiale en TWh.

En 2019 :

- 22 848 TWh
- +1,7%

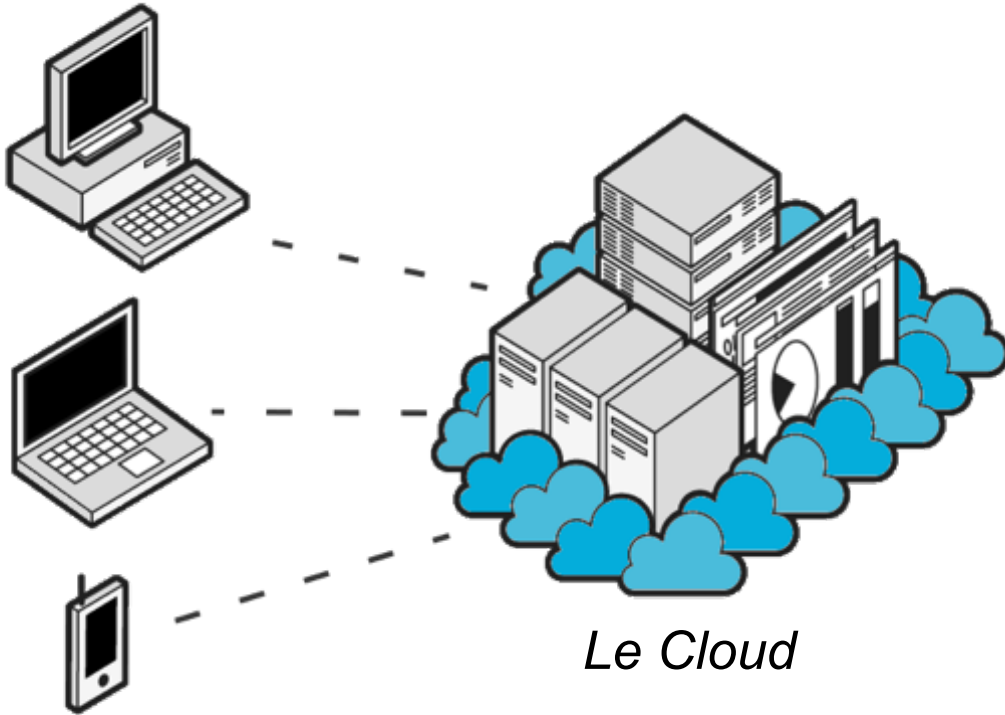
<https://www.iea.org/reports/electricity-information-overview/electricity-consumption#>

Calculer au 21^{ème} siècle?



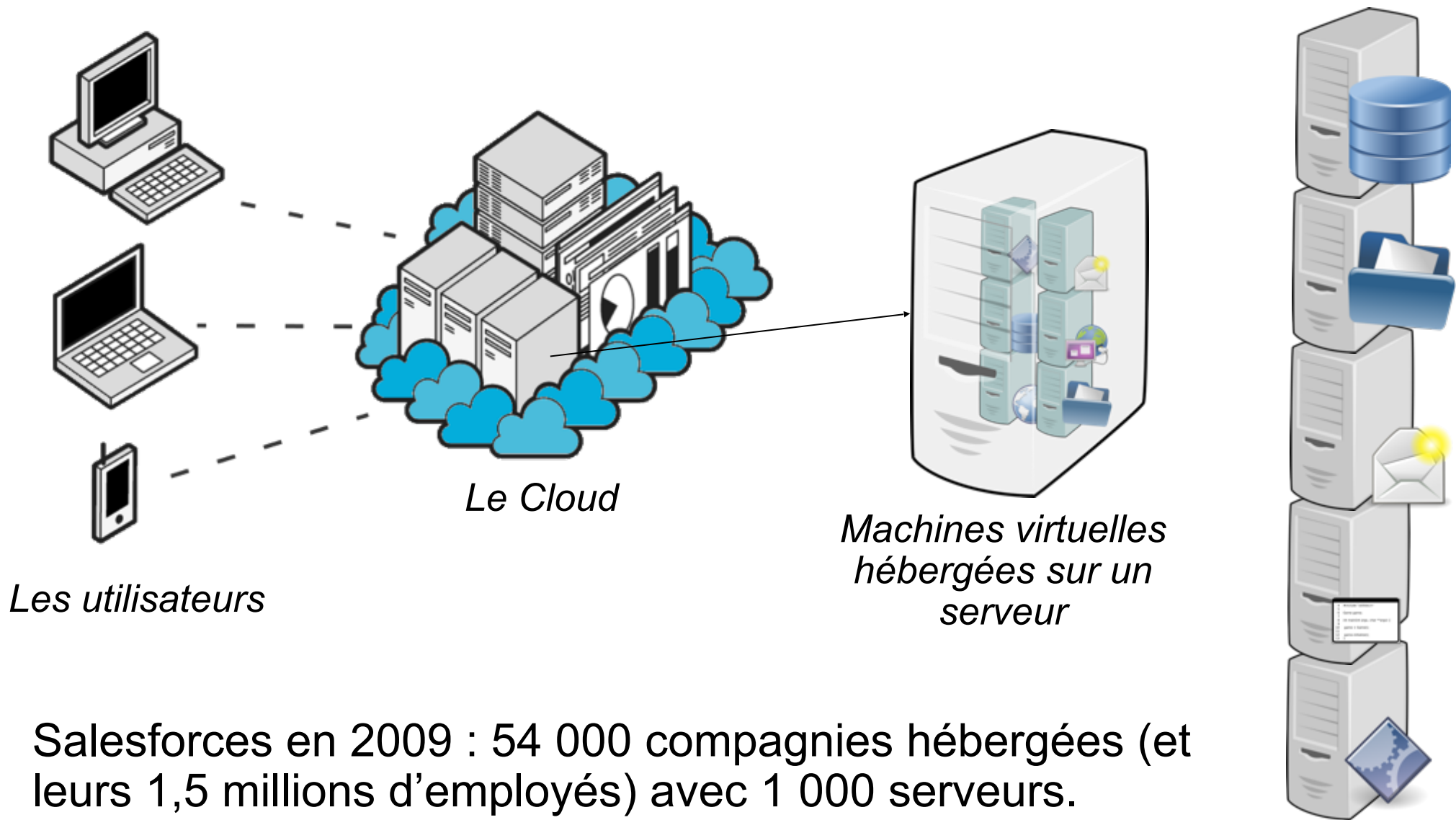
STIC : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication

Le Cloud : des ressources virtuelles



Les utilisateurs

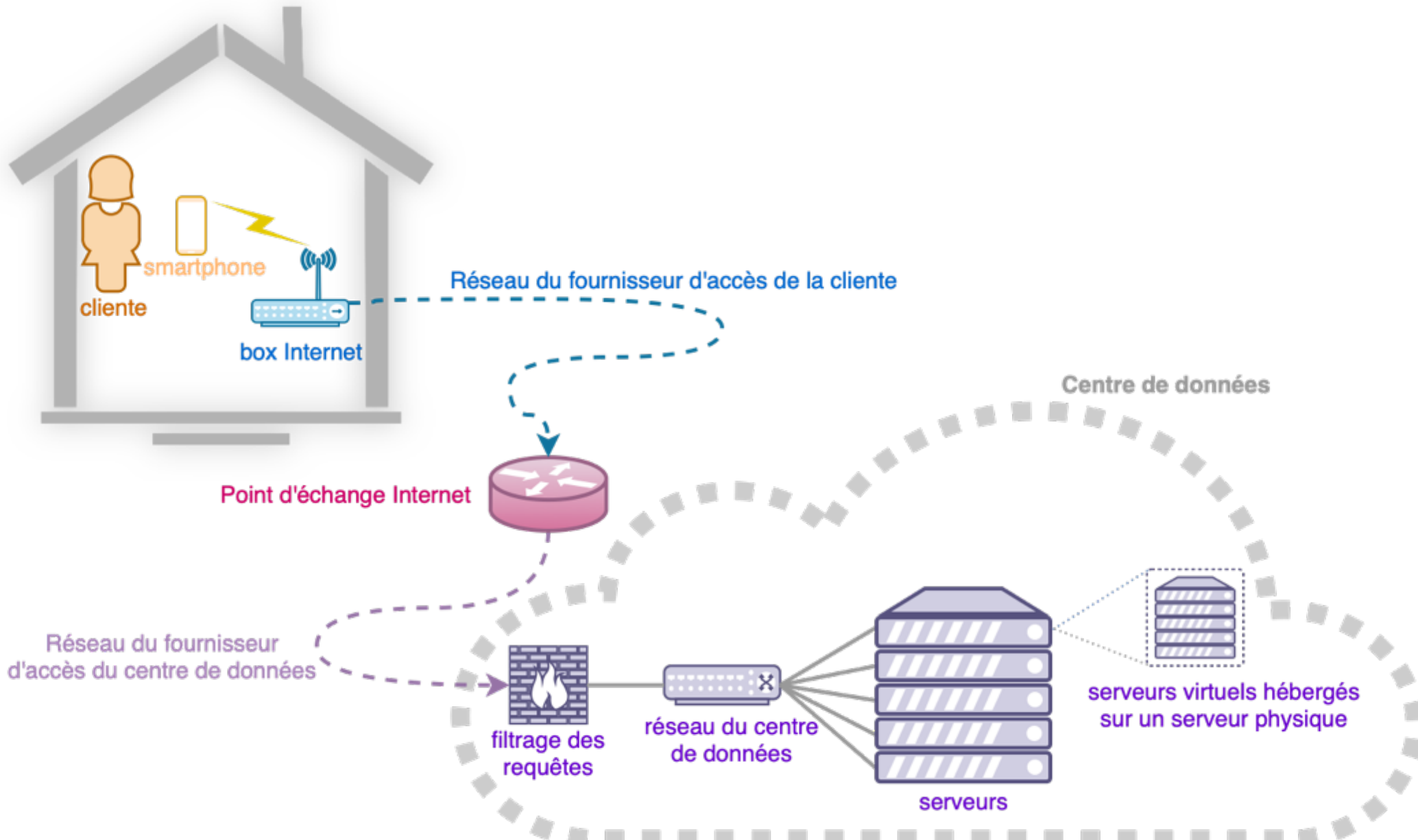
Le Cloud : des ressources virtuelles



Salesforces en 2009 : 54 000 compagnies hébergées (et leurs 1,5 millions d'employés) avec 1 000 serveurs.

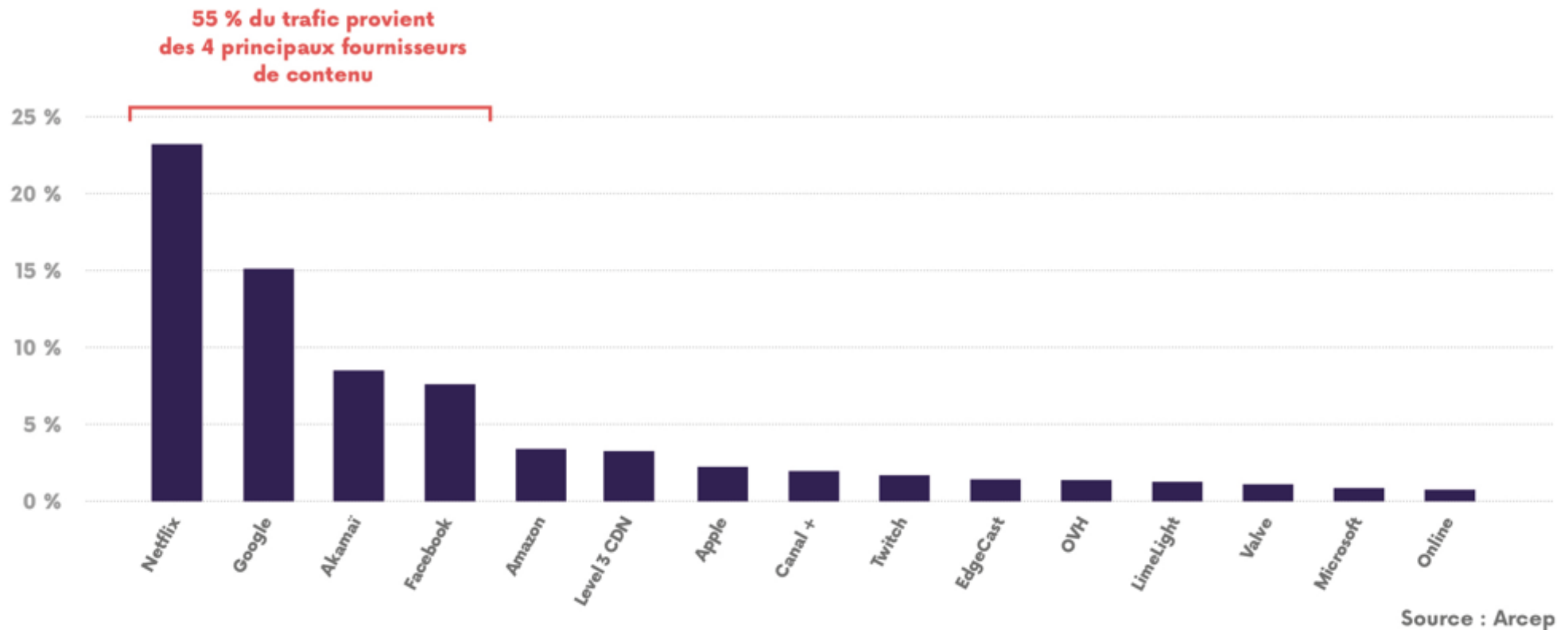
[Source : <https://techcrunch.com/2009/03/23/the-efficient-cloud-all-of-salesforce-runs-on-only-1000-servers>]

Quand utilise-t-on le cloud ?



Trafic Internet en France

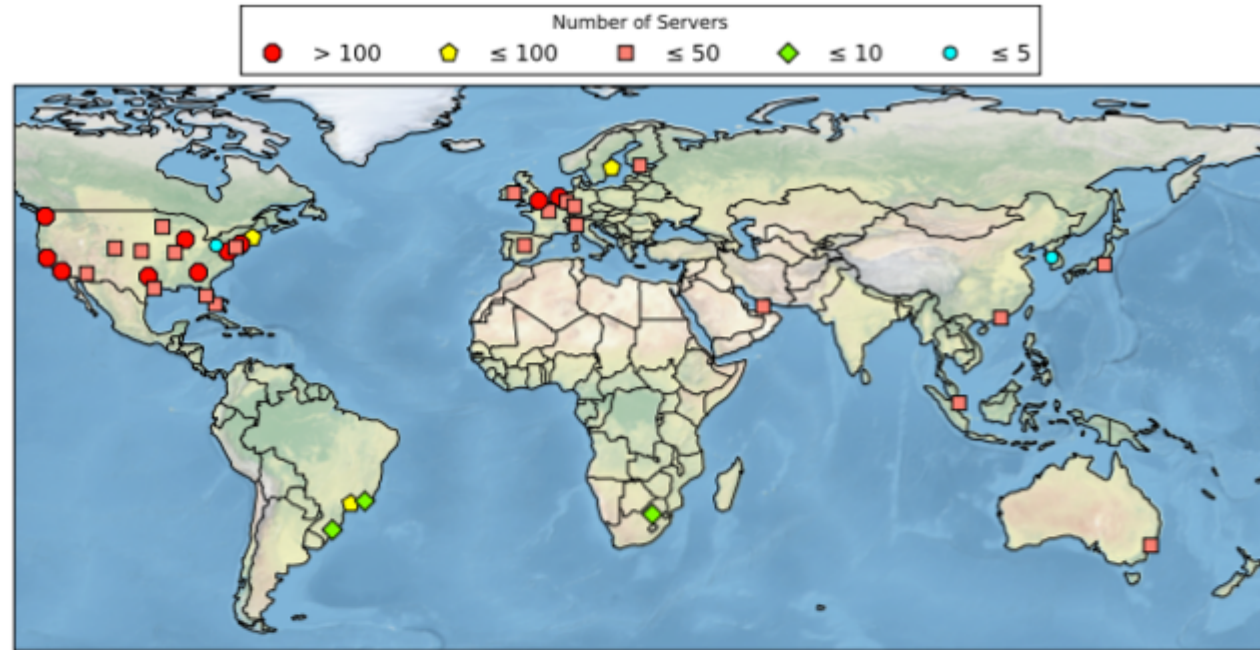
DÉCOMPOSITION SELON L'ORIGINE DU TRAFIC VERS LES CLIENTS DES PRINCIPAUX FAI EN FRANCE (FIN 2019)



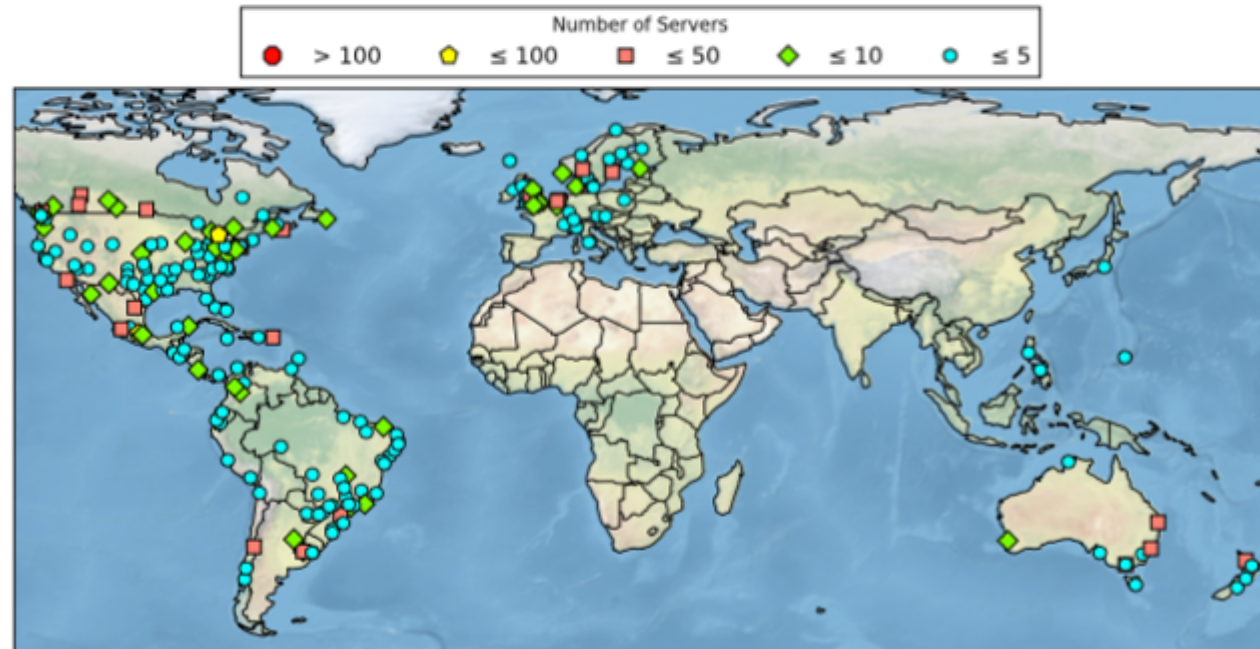
[Source : *Trafic Internet en France selon l'Arcep en 2019.*]

Ressources de Netflix

[Source : Open Connect Everywhere: A Glimpse at the Internet Ecosystem through the Lens of the Netflix CDN, T. Boettger, F. Cuadrado, G. Tyson, I. Castro, S. Uhlig, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2018.]



(a) CDN servers operated by Netflix at IXPs.



(b) CDN servers deployed within ISPs.

Un Cloud



Centre de calcul de Google



Dalles, Oregon

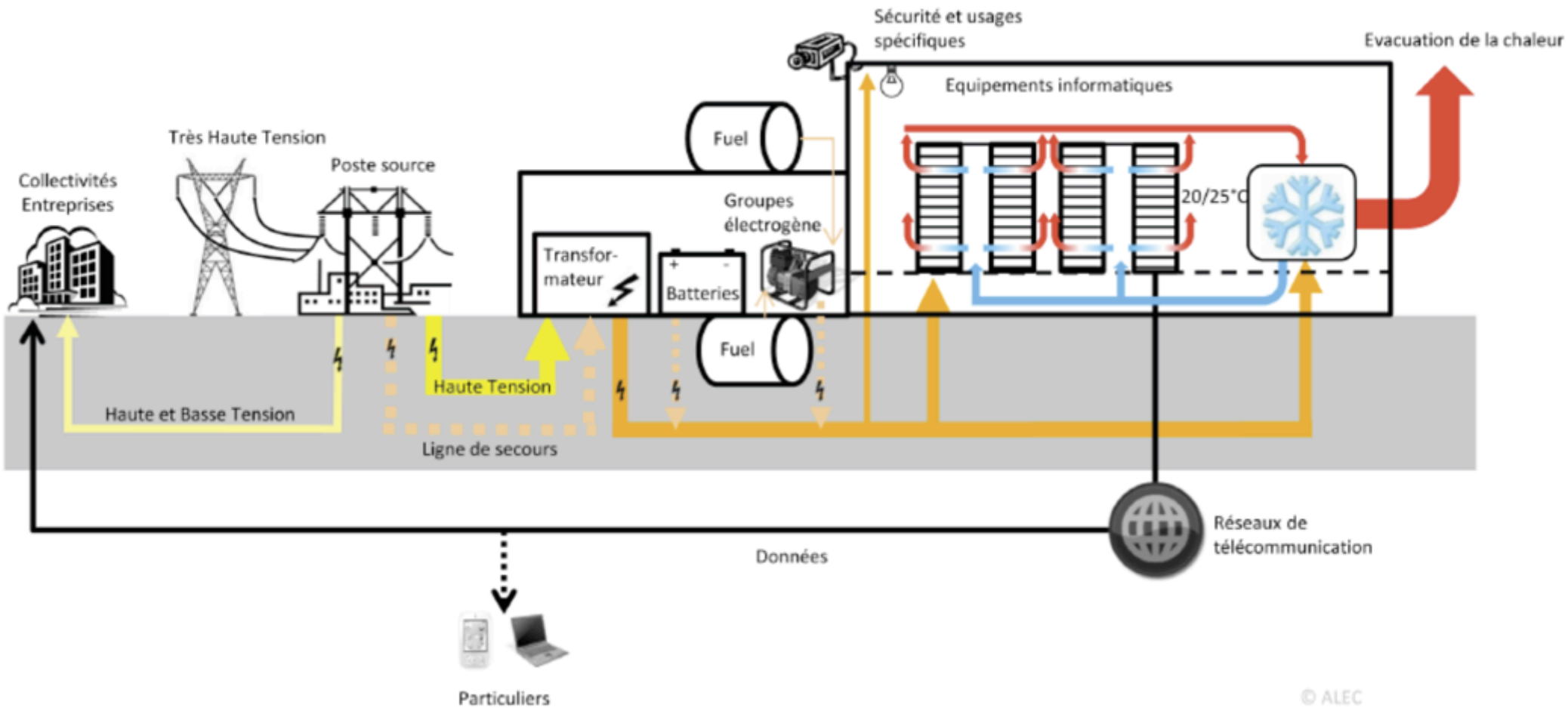
11,5 terrains de
football

100 MWatts

100 000 serveurs

[Source : <https://www.google.com/about/datacenters/inside/locations/the-dalles/>]

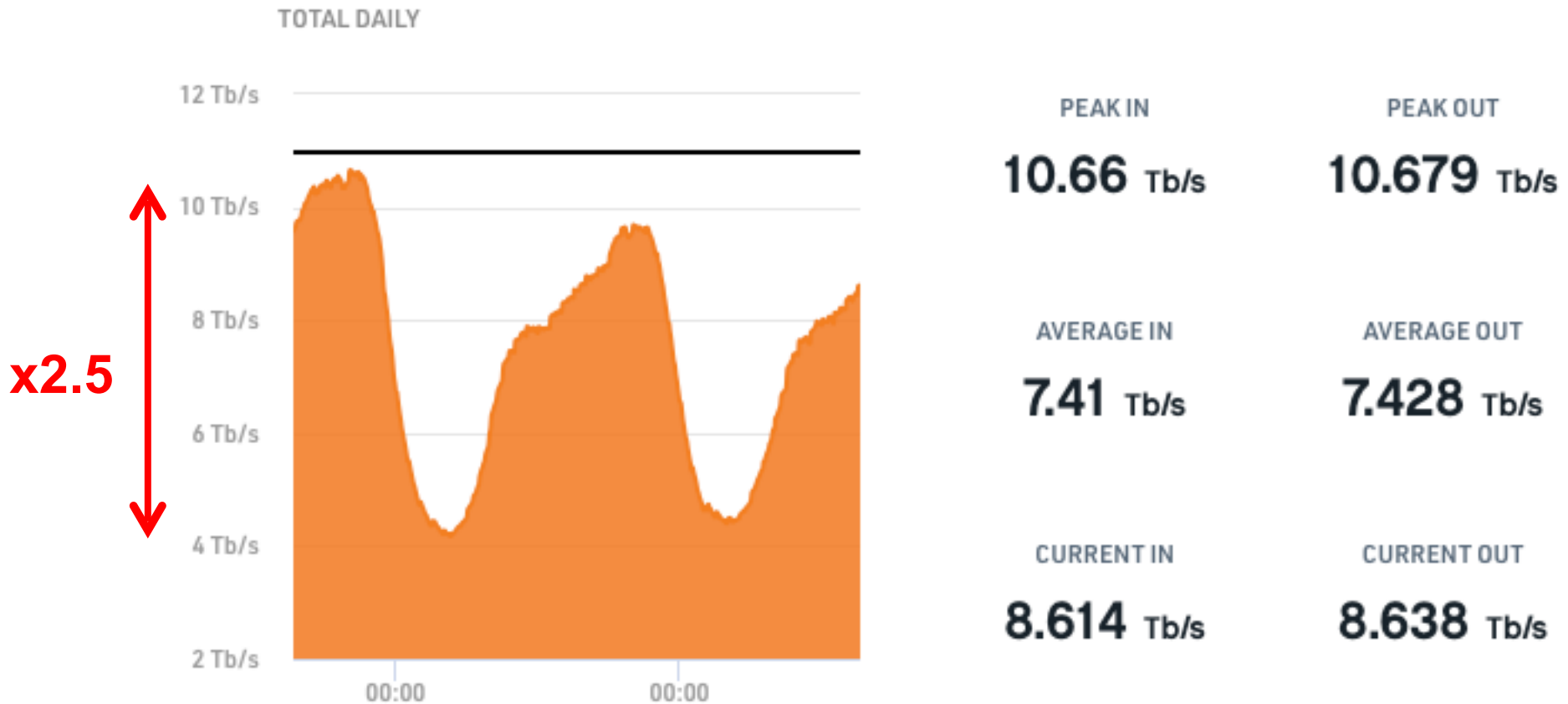
Aperçu d'un centre de calcul



[Source : <http://www.alec-plaine.co.org/wp-content/uploads/2013/10/ALEC-Plaine-Commune-2013-Les-data-centers-sur-Plaine-Commune.pdf>]

Anne-Cécile Orgerie

Dimensionnement pour les pics d'usage



Trafic agrégé sur l'ensemble des ports réseaux du point d'échange Internet d'Amsterdam (AMS-IX) le 8 février 2022.

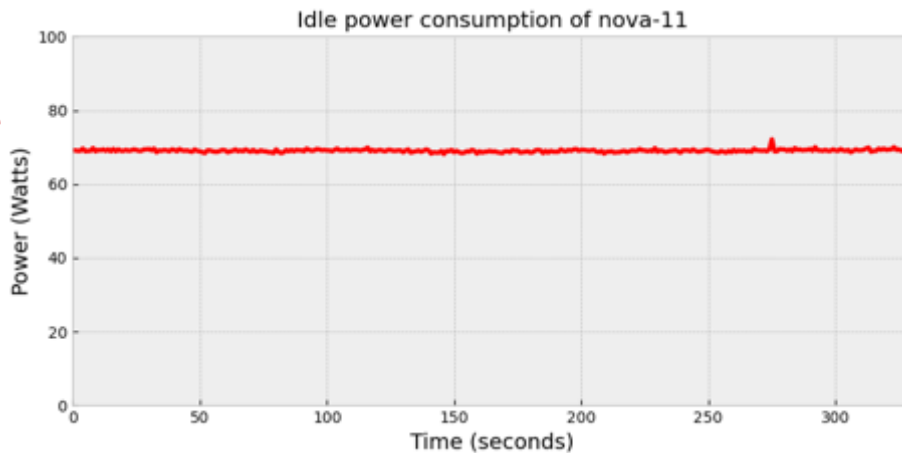
[Source : <https://www.ams-ix.net/ams>]

Idées fausses



#1 Un serveur qui ne fait rien consomme rien ou peu.

P_{idle}



Dell PowerEdge R430 : 2 x Intel Xeon E5-2620 v4, 8 cœurs/CPU, 64 Go RAM, 598 Go HDD (2016)

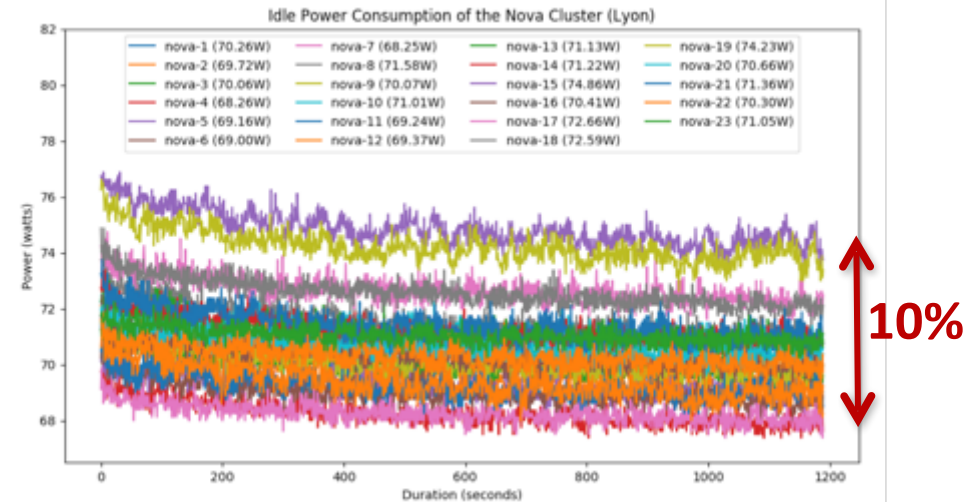
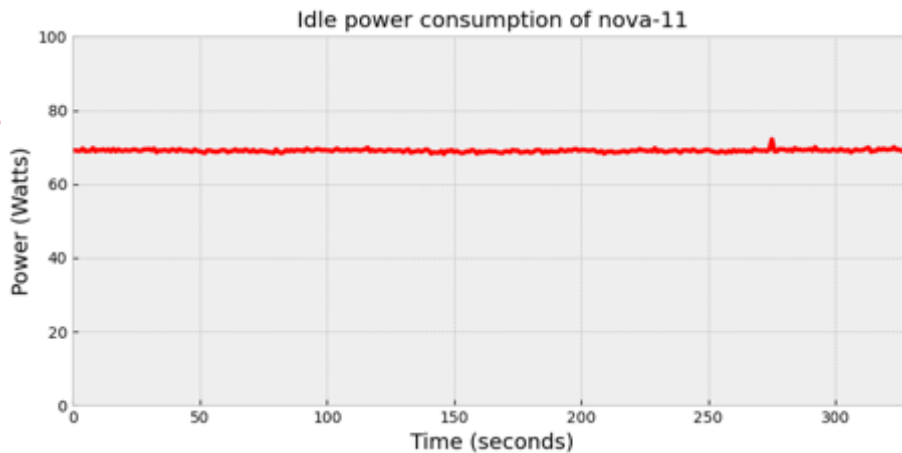
70 Watts environ pendant une période d'inactivité pour ce serveur.

Idées fausses

#1 Un serveur qui ne fait rien consomme rien ou peu.

#2 Un modèle de serveur consomme une puissance donnée.

P_{idle}



Dell PowerEdge R430 : 2 x Intel Xeon E5-2620 v4, 8 cœurs/CPU, 64 Go RAM, 598 Go HDD (2016)

70 Watts environ pendant une période d'inactivité pour ce serveur.

10% de différence de consommation en période d'inactivité et plus à plein charge.

Quelle partie consomme le plus ?



Distribution de la consommation énergétique

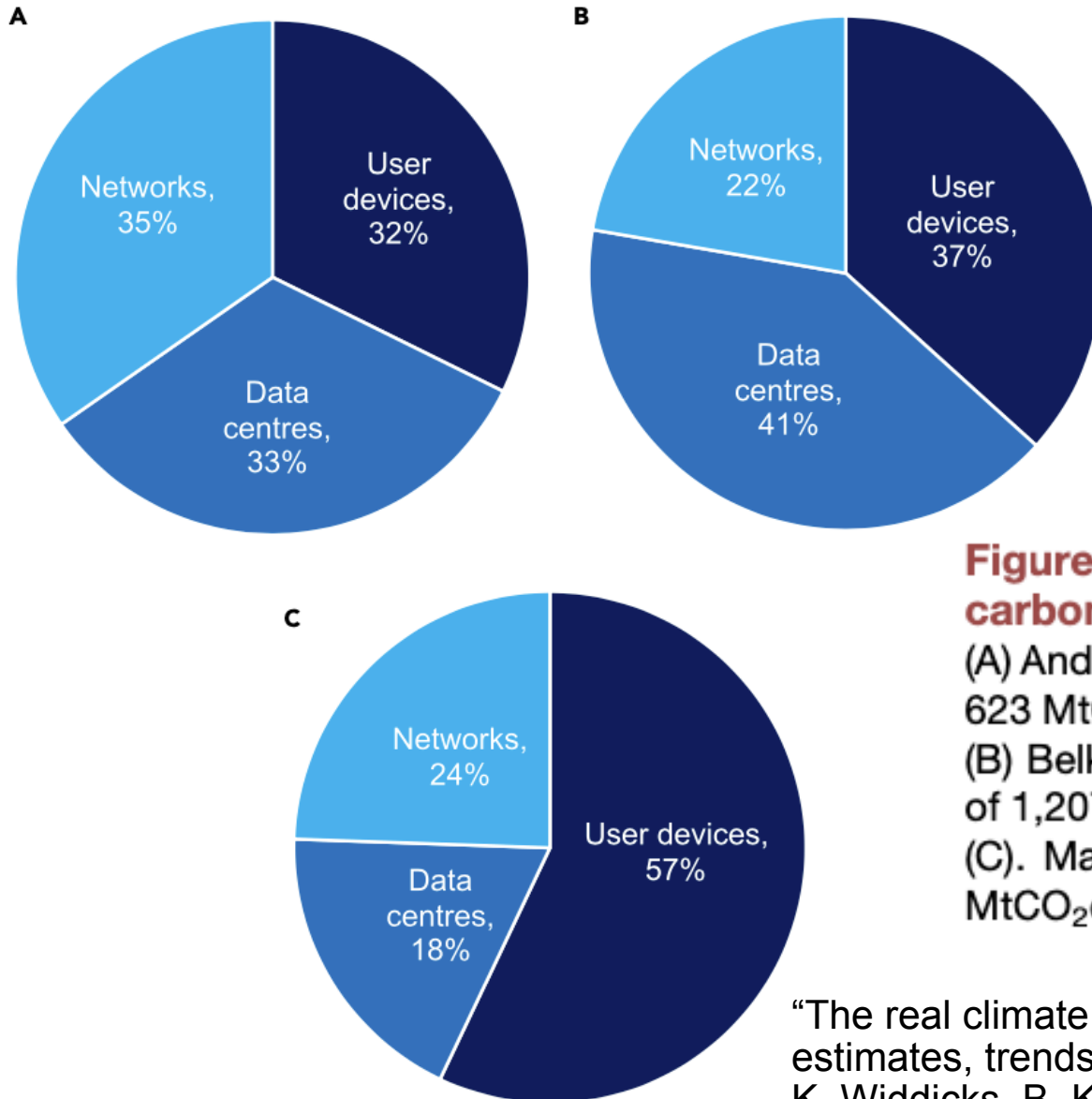


Figure 3. Proportional breakdown of ICT's carbon footprint, excluding TV

(A) Andrae and Edler (2015): 2020 best case (total of 623 MtCO₂e).

(B) Belkhir and Elmeligi (2018): 2020 average (total of 1,207 MtCO₂e).

(C). Malmodin (2020): 2020 estimate (total of 690 MtCO₂e).

“The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations”, C. Freitag, M. Berners-Lee, K. Widdicks, B. Knowles, G. Blair, A. Friday, Patterns, 2021.

Fausse idée #0 – le bon

Le Cloud est neutre en carbone.

FACEBOOK
Sustainability

Net Zero

reached net zero in operational GHG emissions

In 2020, we achieved net zero emissions in our operations by reducing emissions by 94 percent* and supporting carbon removal projects.

*from a 2017 baseline

 Microsoft

**2021
Environmental
Sustainability
Report**

100%
renewable energy

In 2020, we matched 100% of the electricity consumption of our operations with renewable energy purchases for the fourth consecutive year.

Google

**Environmental
Report**

Our commitments

Carbon negative

By 2030, we will be carbon negative, and by 2050, we will remove our historical emissions since we were founded in 1975.

Reduce direct emissions

We will reduce our Scope 1 and 2 emissions to near zero by 2025 through energy efficiency work and by reaching 100 percent renewable energy.

 **Environmental
Progress
Report**

100%
renewable energy
sourced for all
Apple facilities


Carbon neutral
for corporate operations
since April 2020

Fausse idée #0 – la brute

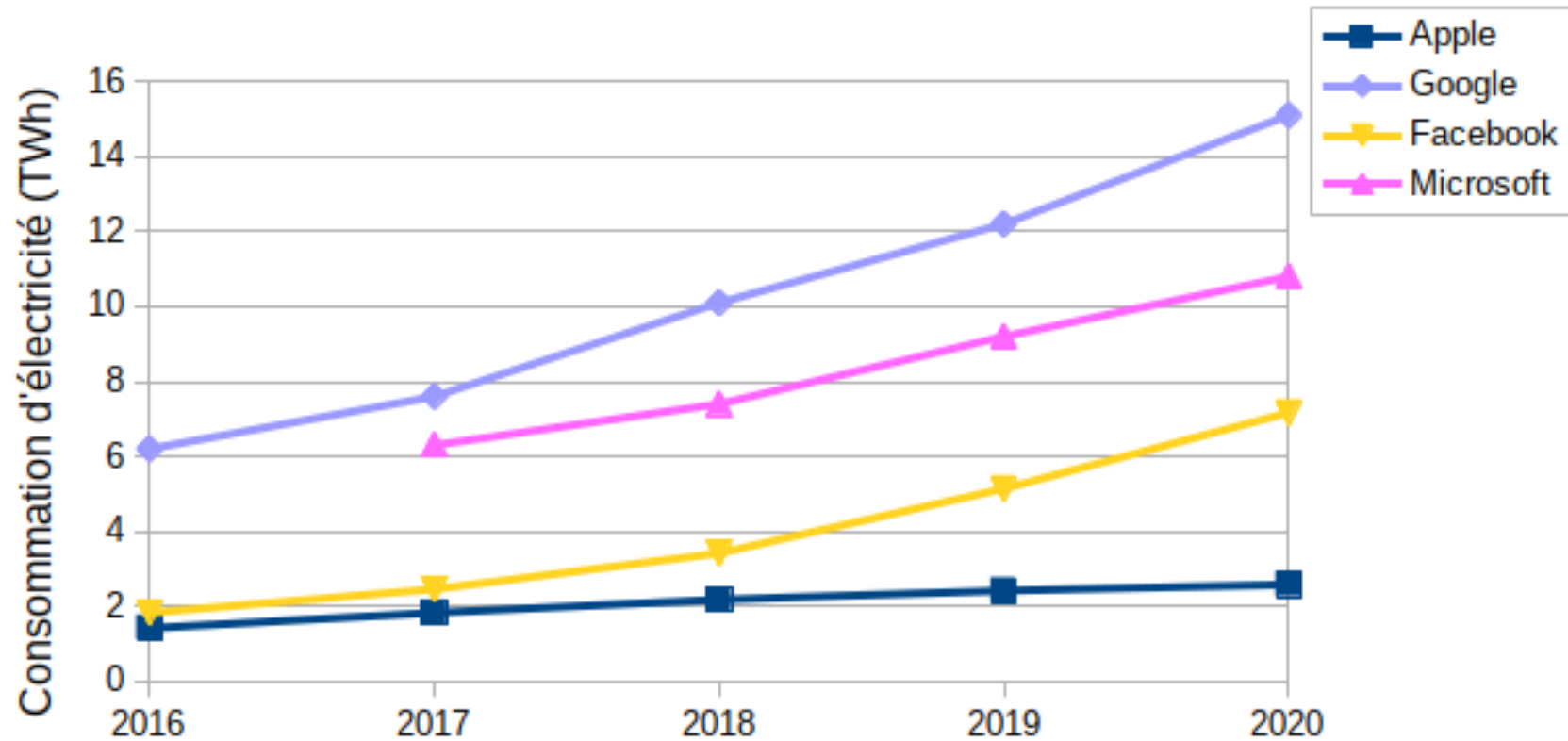


diagramme : Anne-Laure Ligozat

La consommation électrique continue d'augmenter fortement.

Les « neutralités carbone » des entreprises du numérique, Anne-Laure Ligozat, <https://ecoinfo.cnrs.fr/2022/07/05/carbon-neutralities-of-ict-companies/>, 2022.

Fausse idée #0 – le truand

Empreinte carbone : 3 catégories

- Scope 1: émissions qui résultent directement des activités de l'entreprise, comme la génération d'électricité en interne, les émissions de gaz réfrigérants des climatisations, etc.
- Scope 2: émissions qui résultent de la consommation d'énergie de l'entreprise, typiquement l'électricité et le chauffage achetés.
- Scope 3: tout le reste ! c'est-à-dire les achats, les déplacements professionnels et domicile-travail des employés, la gestion des déchets...

En 2021, une évaluation partielle des GES de Microsoft indique qu'au moins 77% de leur impact relève du scope 3.

https://download.microsoft.com/download/7/2/8/72830831-5d64-4f5c-9f51-e6e38ab1dd55/Microsoft_Scope_3_Emissions.pdf

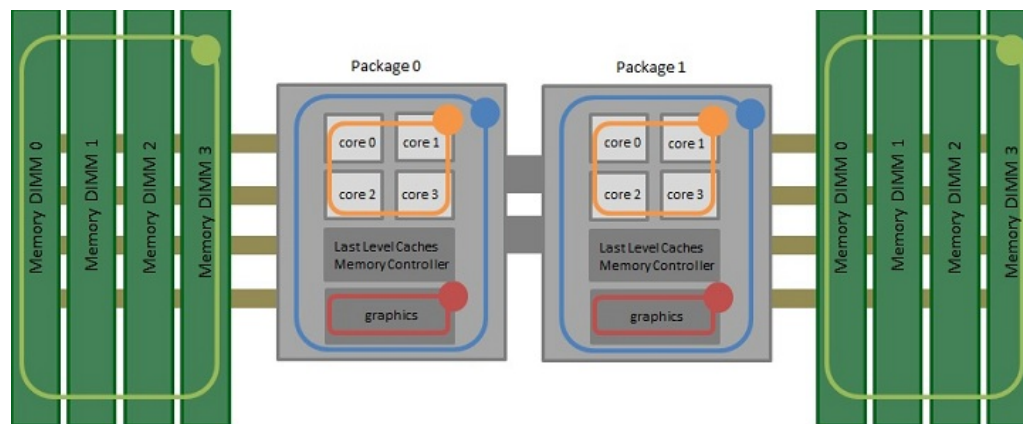
Mesurer est indispensable

- Intel power gadget

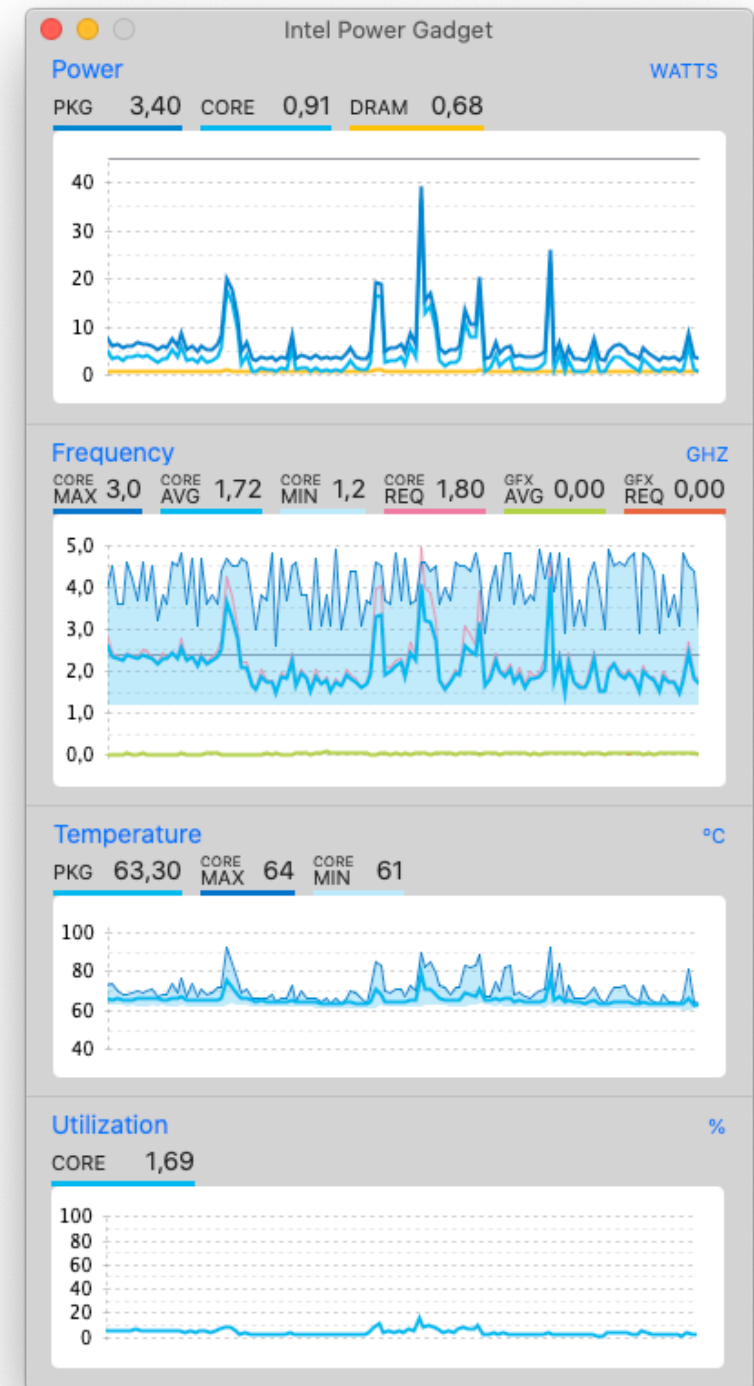
<https://software.intel.com/en-us/articles/intel-power-gadget-20>

- Compteurs matériels RAPL

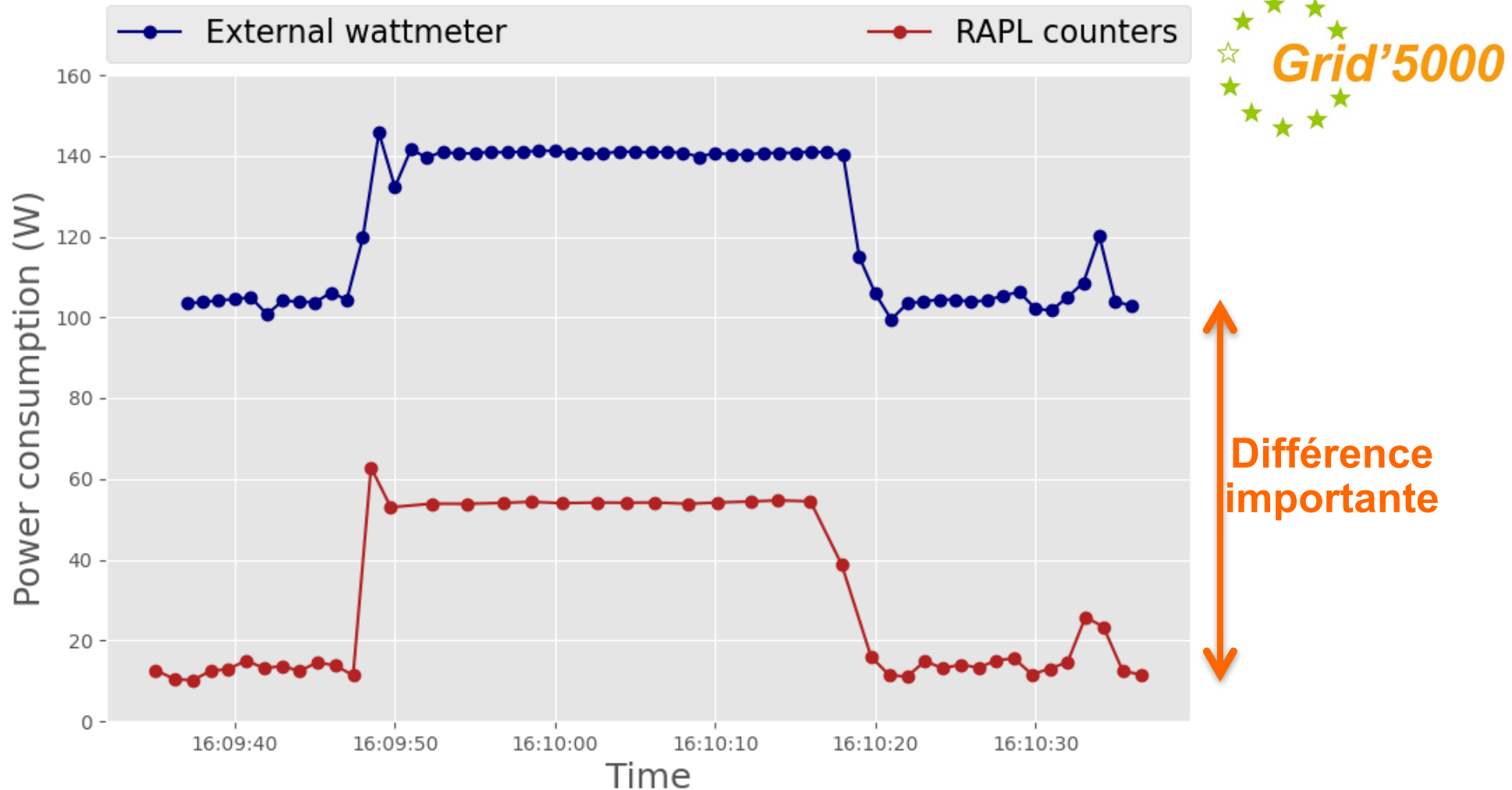
<https://pypi.org/project/pyRAPL/>



- package power plane
- pp0/core power plane (all cores on the package)
- pp1/graphics power plane (client only)
- DRAM power plane (server only)



Savoir ce qu'on mesure



Attention : RAPL ignore une partie importante de la consommation.

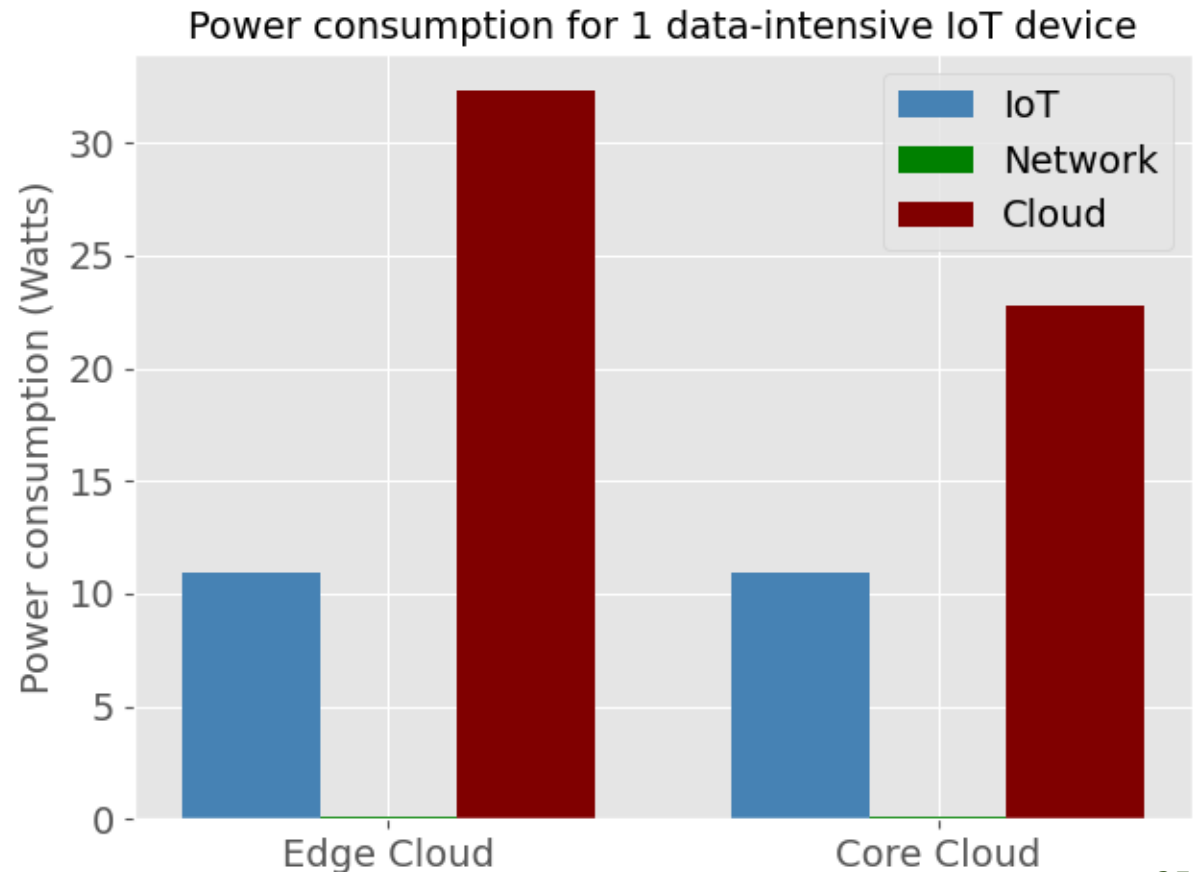
Évaluer la consommation de l'Internet des objets



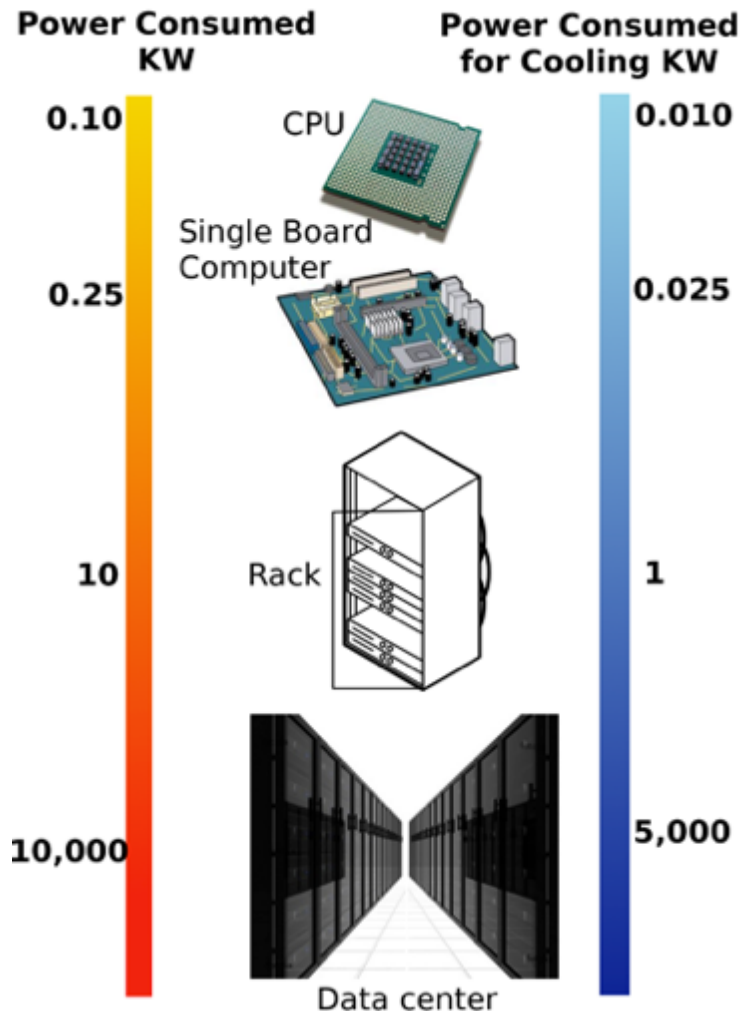
Compromis entre:

- Performance
- Précision de détection
- Consommation énergétique

Ça dépend.



Des économies possibles à tous niveaux



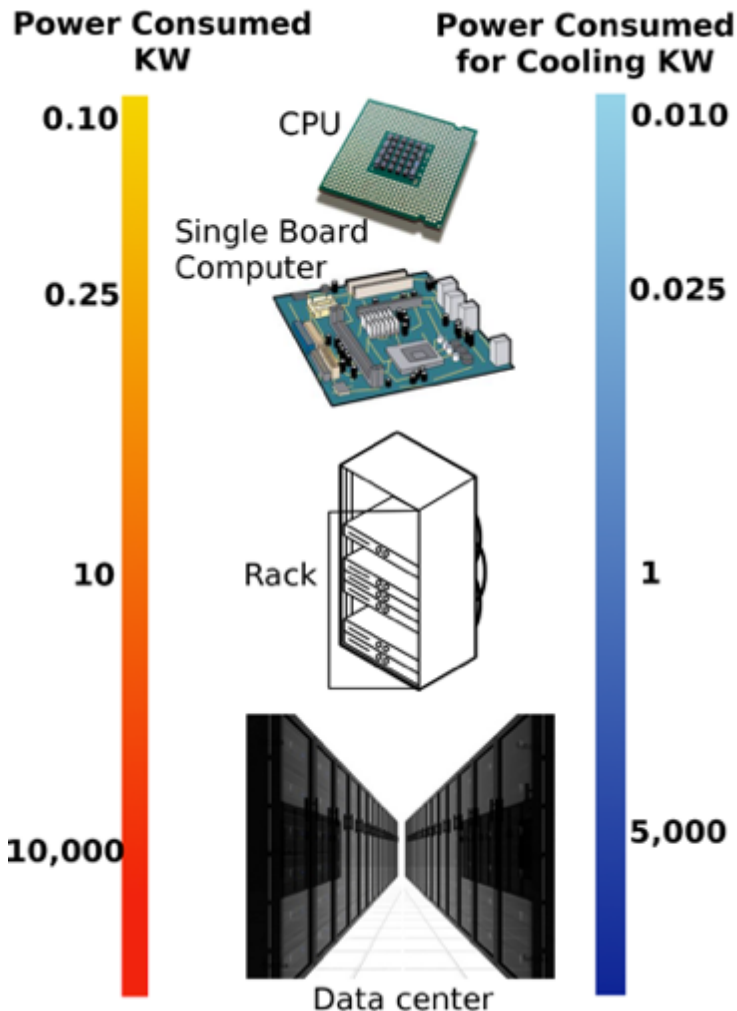
Processeurs basse-consommation
Réduction de l'énergie par opération

Architectures multi-cœurs
Architectures dédiées (FPGA, GPU)

Placement des données
Utilisation du parallélisme
Optimisation des communications

Gestion des points chauds
Réduction des pics de charge
Adaptation dynamique

Des économies possibles à tous niveaux



Processeurs basse-consommation
Réduction de l'énergie par opération

Architectures multi-cœurs
Architectures dédiées (FPGA, GPU)

Placement des données
Utilisation du parallélisme
Optimisation des communications

Gestion des points chauds
Réduction des pics de charge
Adaptation dynamique

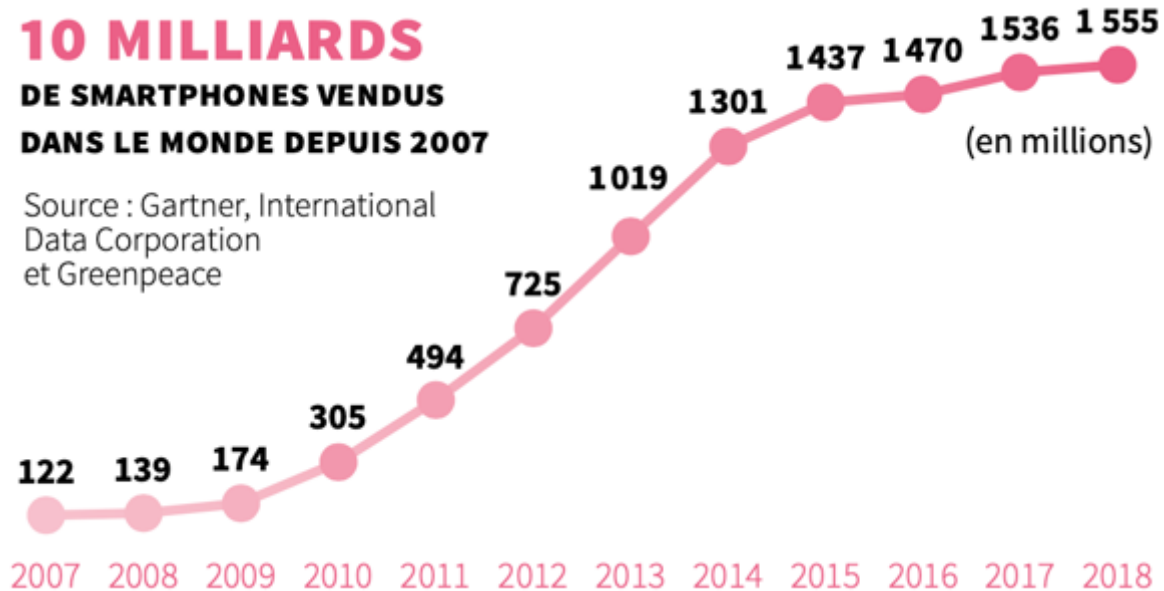
Mais est-ce que réduire la facture électrique des centres de calculs permet réellement de réduire la consommation du numérique ?

Des objets de plus en plus indispensables

10 MILLIARDS

**DE SMARTPHONES VENDUS
DANS LE MONDE DEPUIS 2007**

Source : Gartner, International
Data Corporation
et Greenpeace

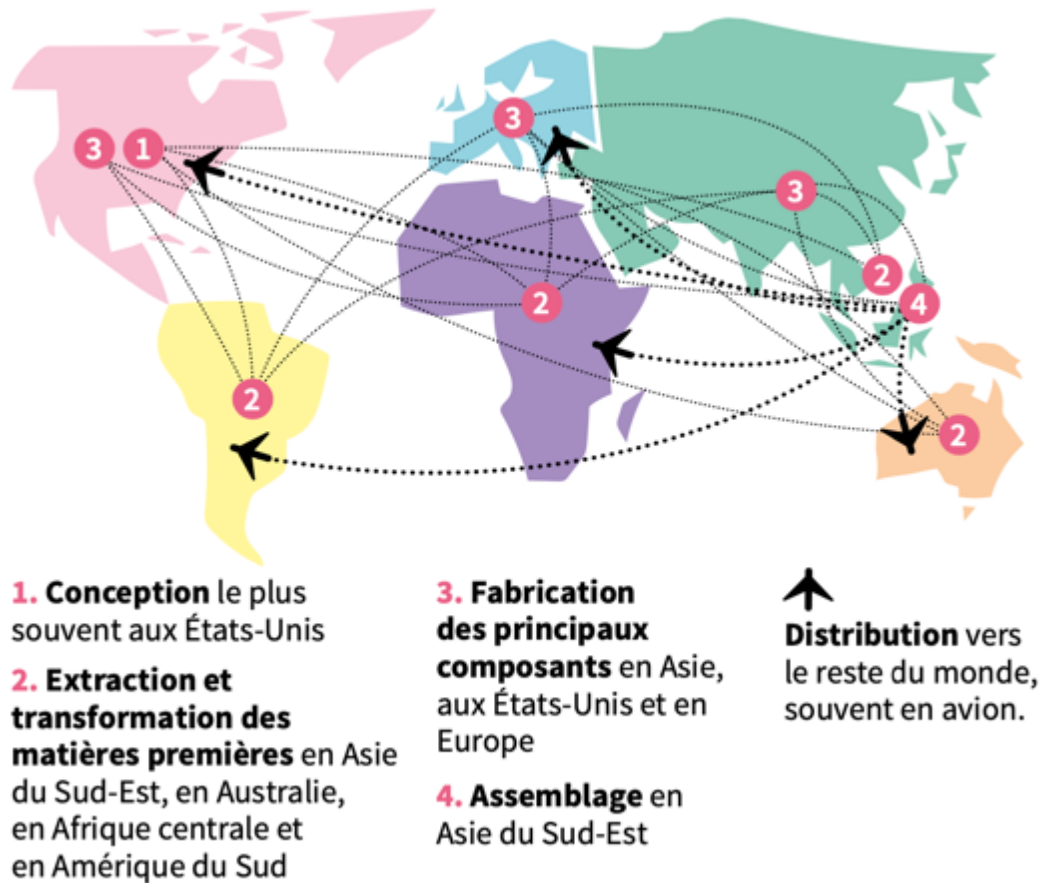


**88 % DES FRANÇAIS
CHANGENT LEUR TÉLÉPHONE
PORTABLE ALORS QU'IL
FONCTIONNE ENCORE...**



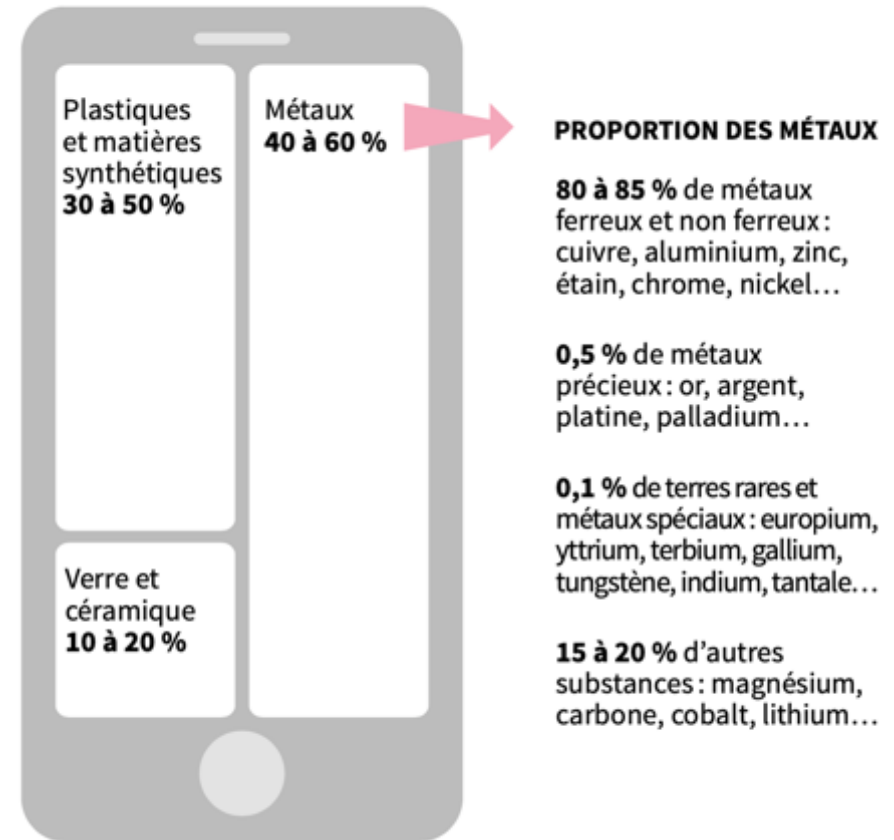
Une fabrication complexe

QUATRE TOURS DU MONDE POUR FABRIQUER UN SMARTPHONE



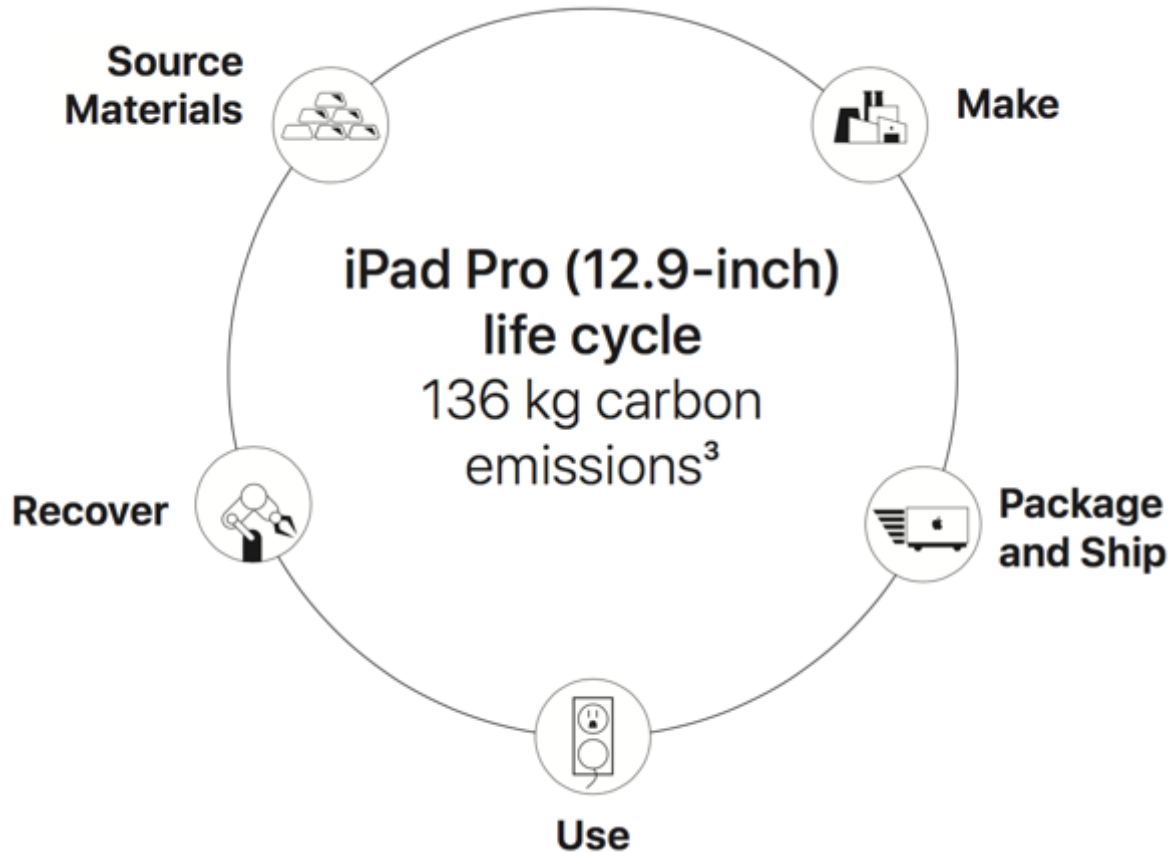
70 MATÉRIAUX POUR FABRIQUER UN SMARTPHONE

RÉPARTITION DU POIDS DES MATÉRIAUX DANS LA COMPOSITION D'UN SMARTPHONE



Source : Oeko-Institut, EcoInfo et Sénat

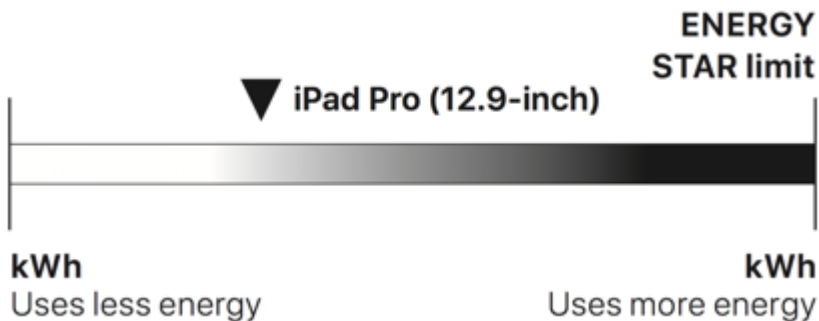
La phase usage : pointe de l'iceberg



iPad Pro (12.9-inch) life cycle carbon emissions

| | |
|-----|------------------------|
| 83% | Production |
| 11% | Transport |
| 6% | Use |
| <1% | End-of-life processing |

Pour 3 ans d'utilisation



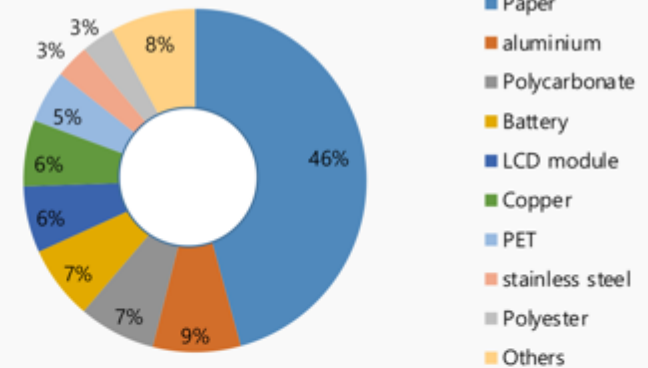
Beaucoup d'autres impacts

Product Features



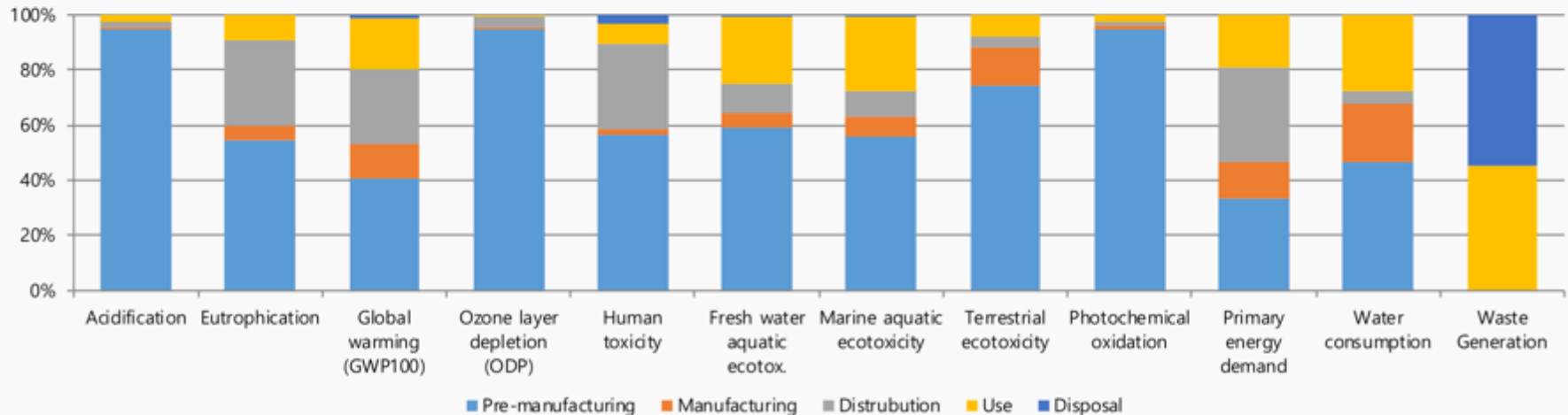
| | |
|------------|--|
| Model name | SM-N950U (Galaxy Note8) |
| Processor | Qualcomm 2.35GHz, 1.9GHz Octa-Core 64bit |
| Dimension | 162.5 x 74.8 x 8.6 mm |
| Display | 6.3" 2960 x 1440, 16M In-Cell Touch LCD |
| Battery | Li-Ion 3300 mAh |
| Camera | 12 MP / 5MP |
| Wt.(g) | 186.34g |

Material Use



Characterized Environment Impact

[Source : Life Cycle Assessment for Mobile Products, Samsung, 2018.]

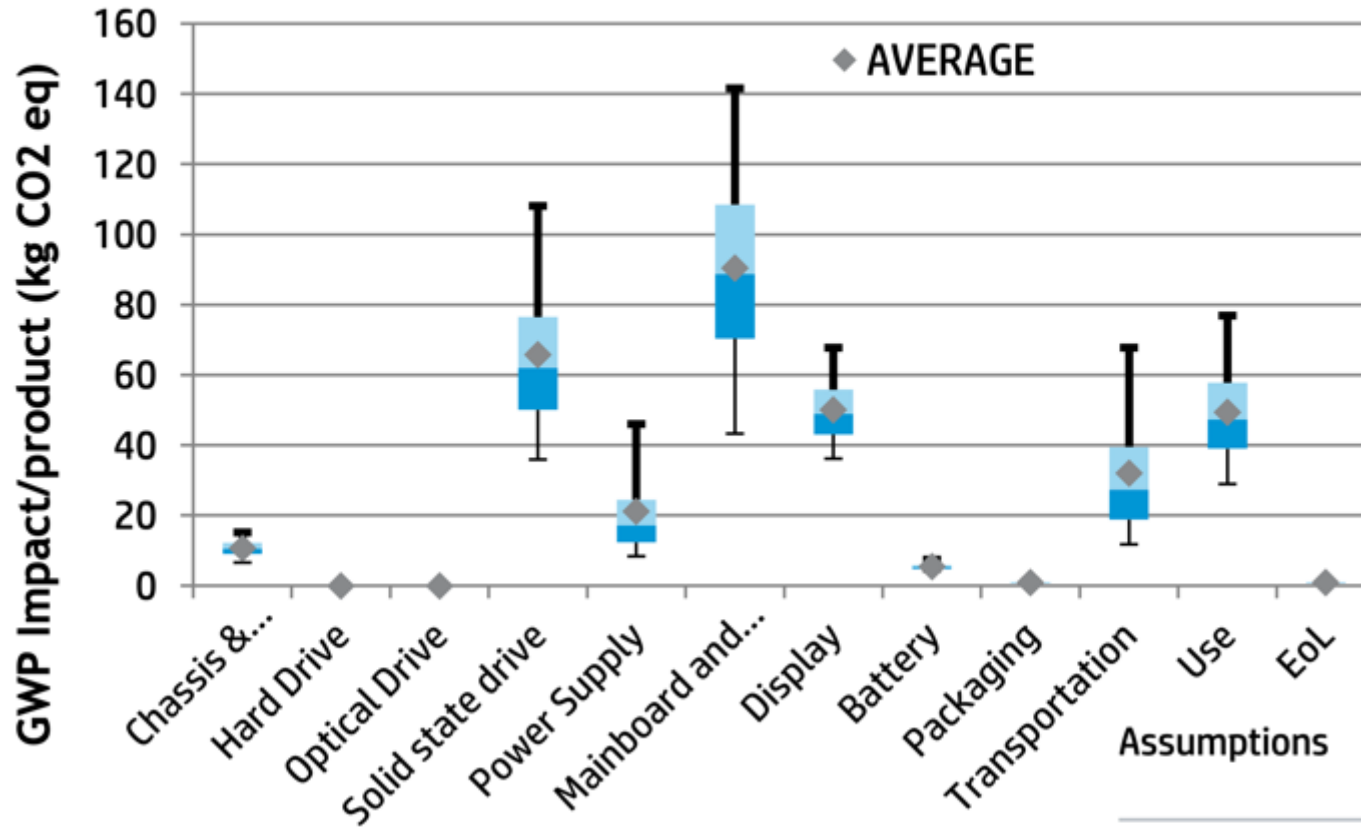


| | |
|------------------------------|--|
| Standard | ISO 14040:2006 and 14044:2006 |
| Database | Ecoinvent 2.2 |
| Method for impact assessment | Life cycle impact assessment classification and characterization factors according to CML 2001 as provided in the SimaPro 7.1.5 LCA tool |
| LCA software | SimaPro 7.1.5 |

| | |
|-------------------|---|
| Pre-manufacturing | Parts and materials constituting the products and its transportation (from supplier to Samsung factory) |
| Manufacturing | Product assembly by Samsung Electronics (Data collection period : 3 months ahead of assessment) |
| Distribution | From China or Vietnam to United States |
| Usage | 2 years use |
| Disposal | Waste treatment of parts and material |

Des marges d'incertitudes

GHG emissions [kg CO2 eq]



[Source: Product carbon footprint HP mt44, HP, 2018]

Assumptions

| | |
|--------------------------------|-----------|
| Lifetime of product | 4 years |
| Use location | Worldwide |
| Use energy demand (Yearly TEC) | 23.4 kWh |
| Product weight | 1.8 kg |
| Screen size | 14 inches |
| Final manufacturing location | China |

Nombreux impacts du numérique

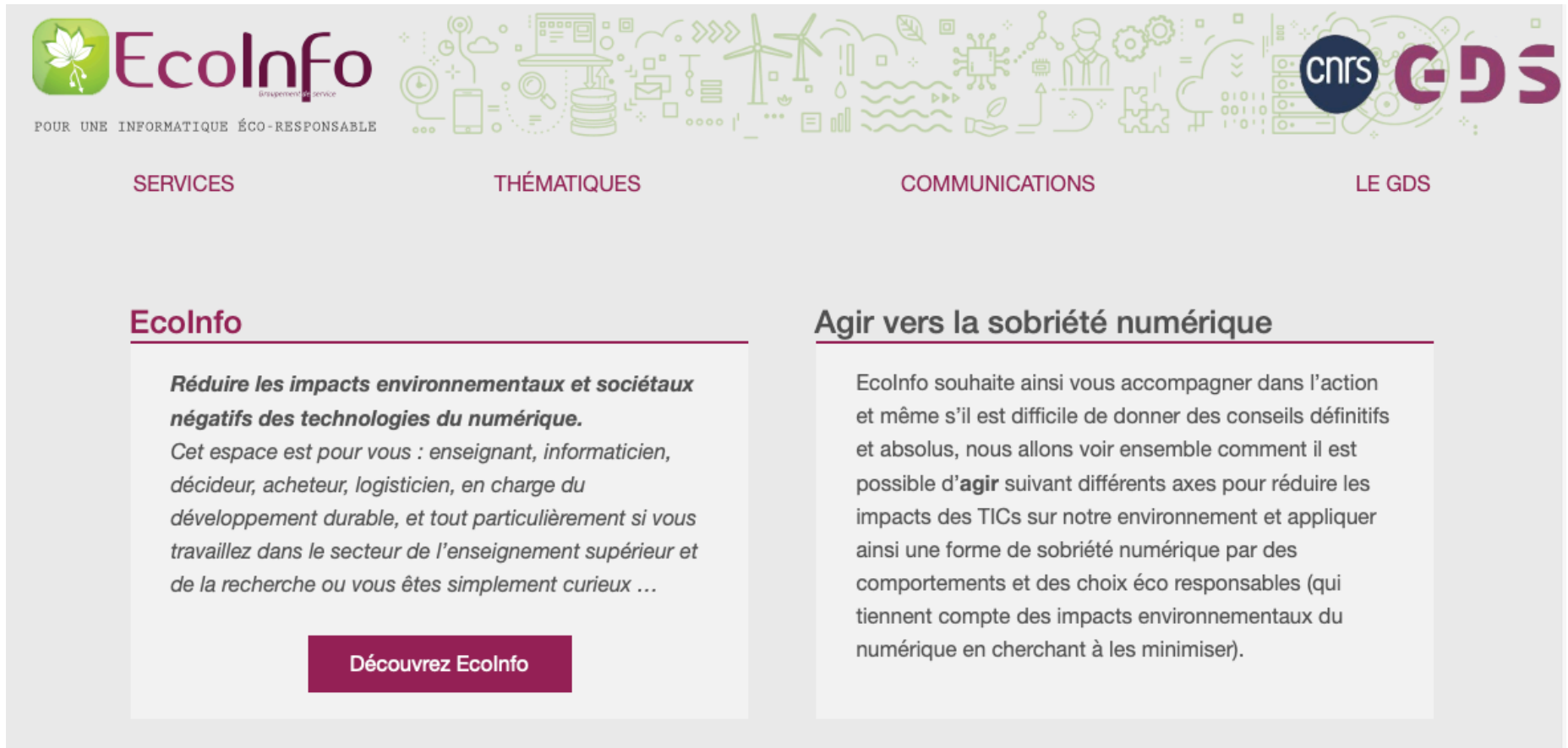
Des effets directs à chaque étape du cycle de vie

- Extraction : pollution, destruction d'éco-systèmes, conflits armés, épuisement des ressources
- Transport
- Utilisation : mix électrique
- Déchets : collecte insuffisante, recyclage limité

Des effets indirects plus ou moins positifs

- Optimisations dans les autres secteurs
- Obsolescence
- Effets rebond
- Interdépendance liée au numérique
- Fracture numérique, santé (addictions, etc.)

<http://ecoinfo.cnrs.fr>



EcolInfo
POUR UNE INFORMATIQUE ÉCO-RESPONSABLE

cnrs GDS

SERVICES THÉMATIQUES COMMUNICATIONS LE GDS

EcolInfo

Réduire les impacts environnementaux et sociétaux négatifs des technologies du numérique.
Cet espace est pour vous : enseignant, informaticien, décideur, acheteur, logisticien, en charge du développement durable, et tout particulièrement si vous travaillez dans le secteur de l'enseignement supérieur et de la recherche ou vous êtes simplement curieux ...

[Découvrez EcolInfo](#)

Agir vers la sobriété numérique

EcolInfo souhaite ainsi vous accompagner dans l'action et même s'il est difficile de donner des conseils définitifs et absolus, nous allons voir ensemble comment il est possible d'**agir** suivant différents axes pour réduire les impacts des TICs sur notre environnement et appliquer ainsi une forme de sobriété numérique par des comportements et des choix éco responsables (qui tiennent compte des impacts environnementaux du numérique en cherchant à les minimiser).

ANF 2023 Impacts environnementaux du numérique : les 8R

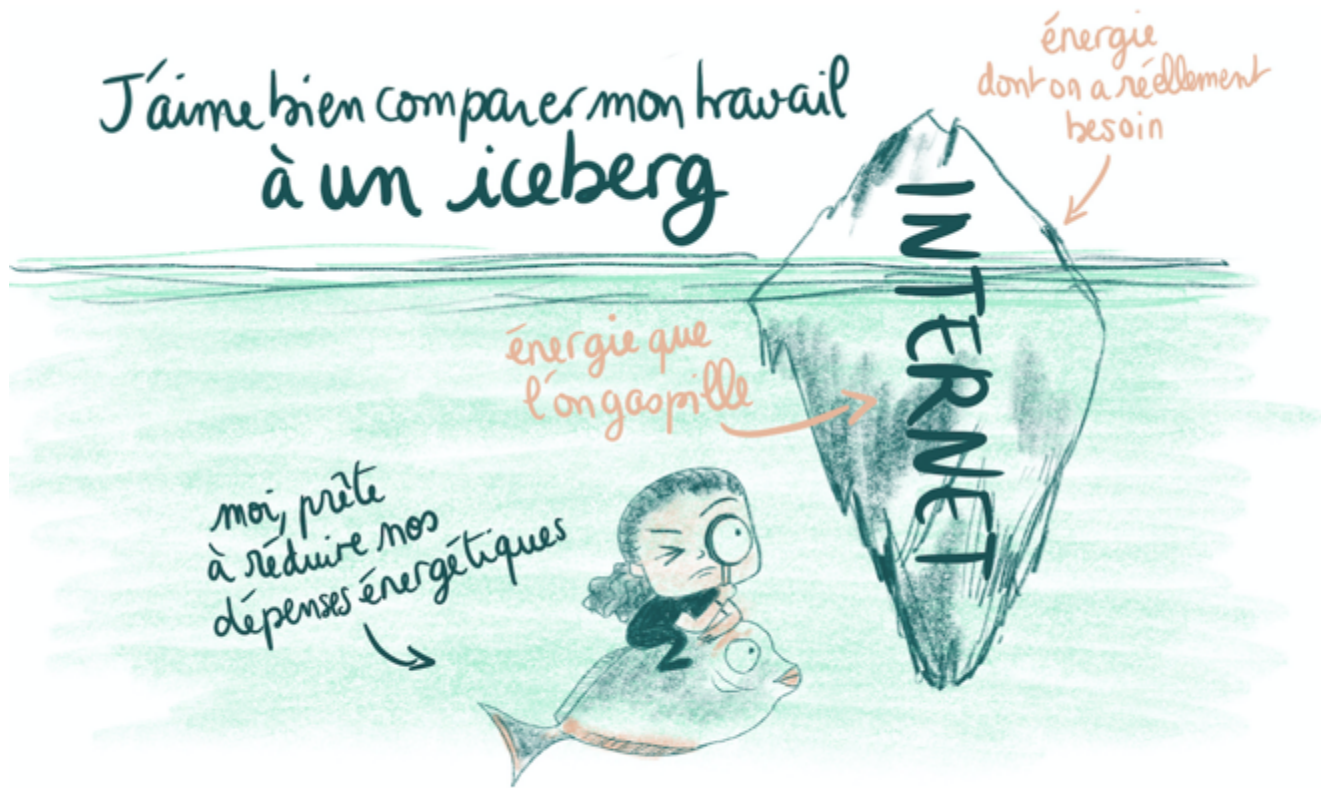
Publié: 04/05/2023

Impacts environnementaux du numérique : les 8R (Ressentir – Réfléchir – Réduire – Refuser – Réparer – Ré-utiliser – Recycler – Ralentir) Du 20 au 24 novembre 2023 à La Rochelle Le GDS EcolInfo vous propose une nouvelle Action Nationale...

RECHERCHER

Rechercher...





© Léa Castor / INS2I

<http://people.irisa.fr/Anne-Cecile.Orgerie>

