

Numérique

Labos 1point5 – Equipe enseignement
Groupe de travail Solutions

Plan

- Panorama
 - Le numérique
 - L'Internet : usage et infrastructure
 - Production des équipements
 - Analyse du Cycle de Vie
 - ACV du Numérique en France
 - Calcul « à la main » des émissions carbone d'un ou une internaute
- Effets directs et effets indirects du déploiement du numérique
- Les Fausses Solutions
- Les Solutions

Panorama



Numérique

- Le numérique regroupe les technologies de l'information et de la communication (TIC)
 - Définition Wikipédia : les techniques de l'informatique, de l'audiovisuel, des multimédias, d'Internet et des télécommunications qui permettent aux utilisateurs de communiquer, d'accéder aux sources d'information, de stocker, de manipuler, de produire et de transmettre l'information sous différentes formes : texte, son, image, vidéo
- Le numérique, c'est donc
 - Les terminaux (smartphones, ordinateurs, TV, objets connectés)
 - Les réseaux (Internet, réseau mobile)
 - Les data centers
 - Les applications, allant du traitement de texte, à l'intelligence artificielle, en passant par les réseaux sociaux ou le streaming vidéo

Pour en savoir plus :

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2666389921001884-mmc1.pdf>



Appareils numériques dans le monde


Selon GreenIT, le numérique en 2019 dans le monde c'est

- 34 milliards d'équipements pour 4,1 milliards d'utilisateurs soit 8 équipements par utilisateur

Périmètre : ordinateurs, moniteurs, smartphones, des millions de kilomètres de câbles en cuivre et en fibre optique, des milliers de centres de données, des milliards de chargeurs de téléphones, etc.

- Équivalent à 223 millions de tonnes, soit
 - 179 millions de voitures de 1,3 tonnes
 - 5 fois le parc automobile français

Ces chiffres sont des estimations !
Les chiffres de vente sont (+ ou -) connus.
Les fins de vie, c'est plus complexe

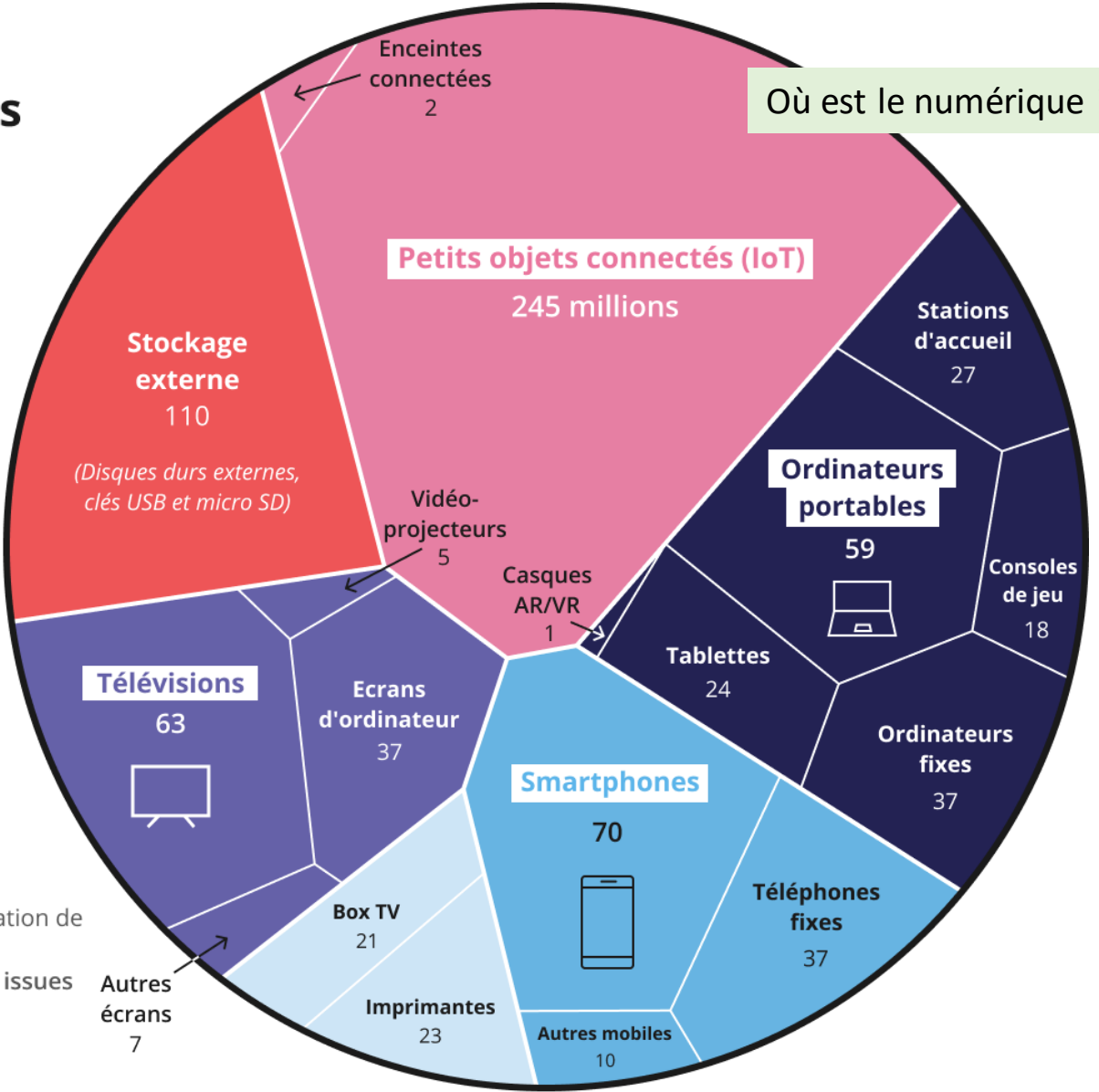


Source : https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/10/2019-10-GREENIT-etude_EENM-rapport-accessible.VF_.pdf



Plus de 800 millions* d'équipements utilisateurs en 2020 en France

Estimation du nombre de terminaux utilisateurs utilisés en France pour des usages personnels et professionnels (en millions)



* Ces données sont des estimations issues de l'inventaire réalisé pour les besoins de la modélisation de l'empreinte environnementale du numérique dans le cadre de la présente étude. Elles sont généralement estimées à partir des éléments disponibles à la date des travaux et peuvent être issues de sources différentes.

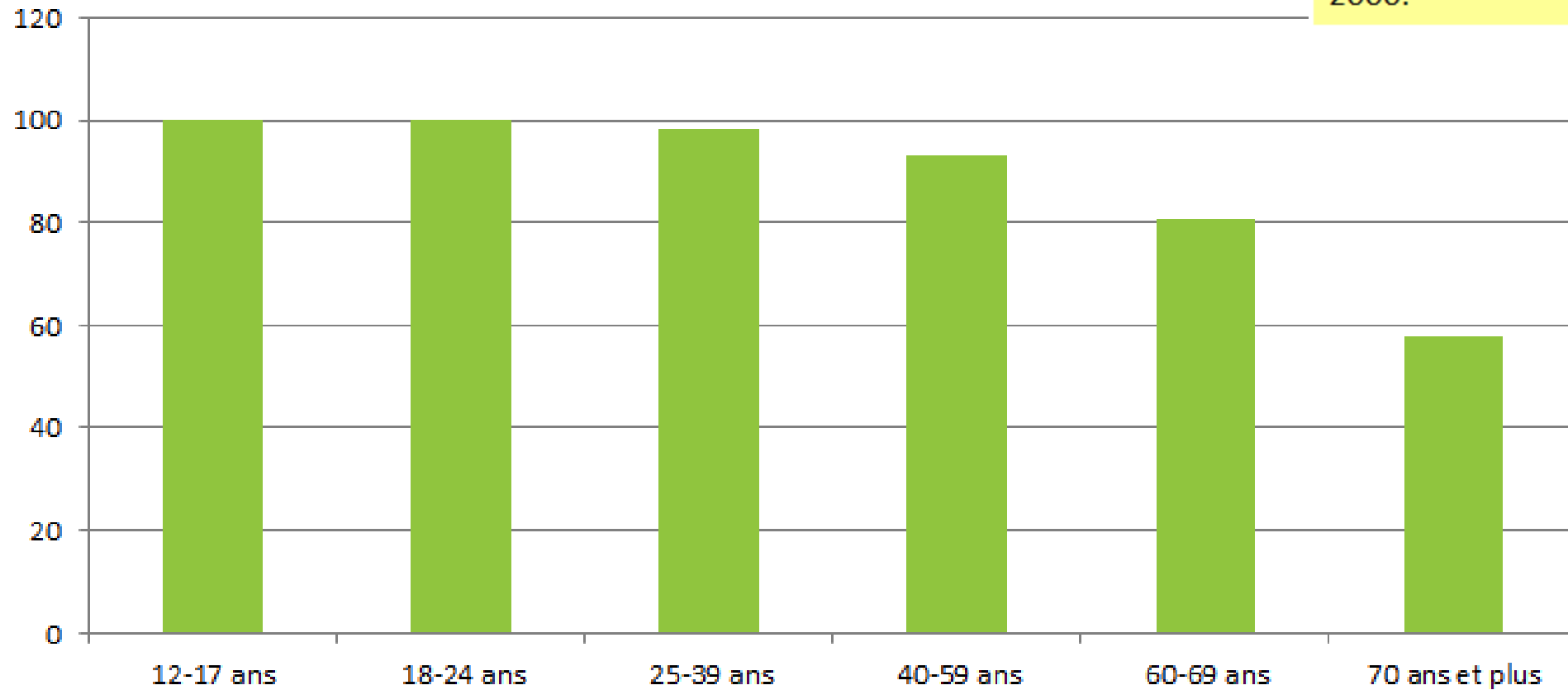
Source : <https://www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-thematiques-transverses/lempreinte-environnementale-du-numerique/etude-ademe-arcep-empreinte-environnemental-numerique-2020-2030-2050.html>

- Stockage externe
- Objets connectés
- Ecrans
- Divers
- Téléphones
- Ordinateurs et consoles



Proportion d'internautes en 2019, par tranches d'âge

86% de la population française a une connexion internet fixe à domicile (29% *via* la fibre), contre 14% en 2000.



Usage

Un Internet pour quel usage ?
Quelles sont les applications dominantes ?



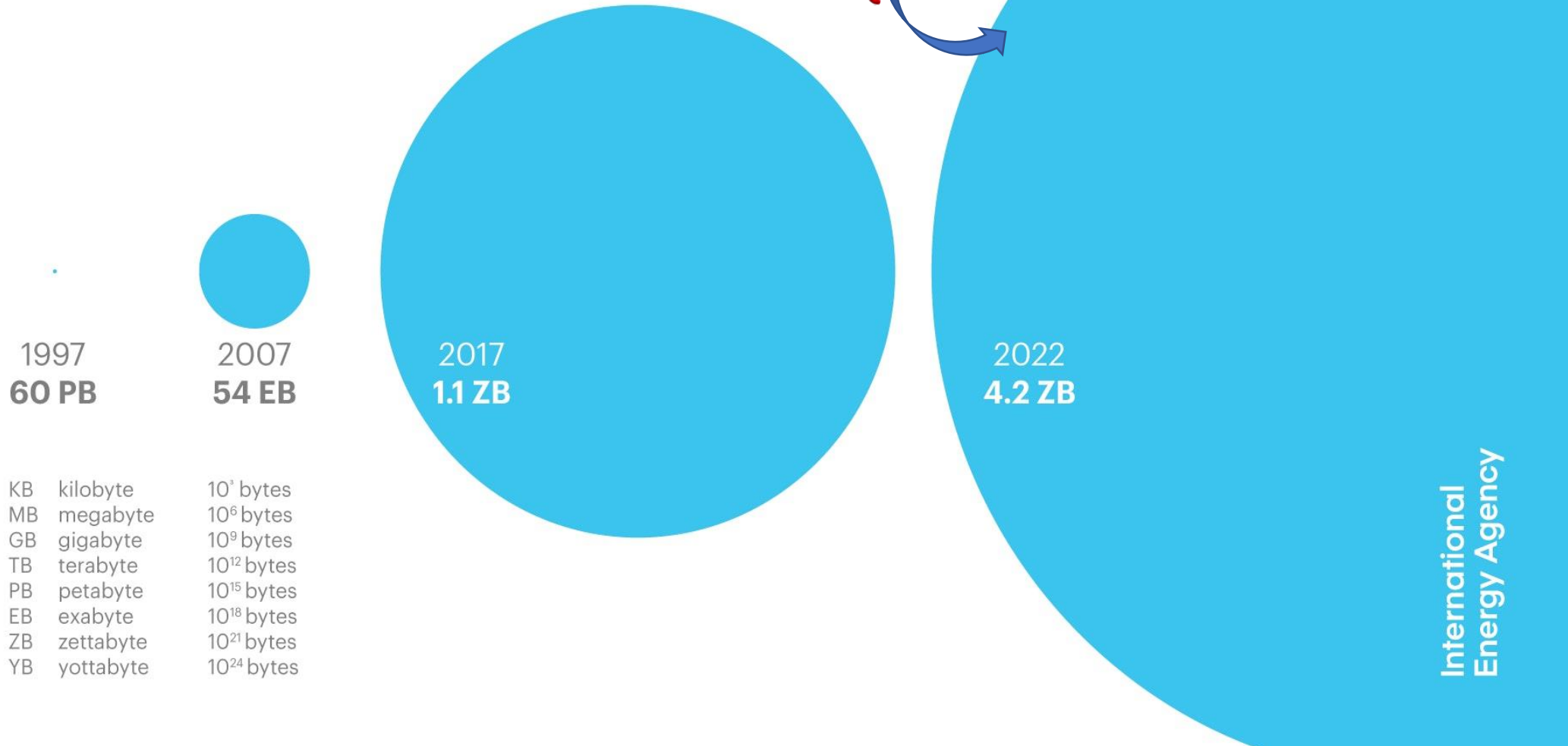
Volume de données annuel sur Internet...

Imaginez en
2030 !

Global annual internet traffic

Tracking Clean Energy Progress

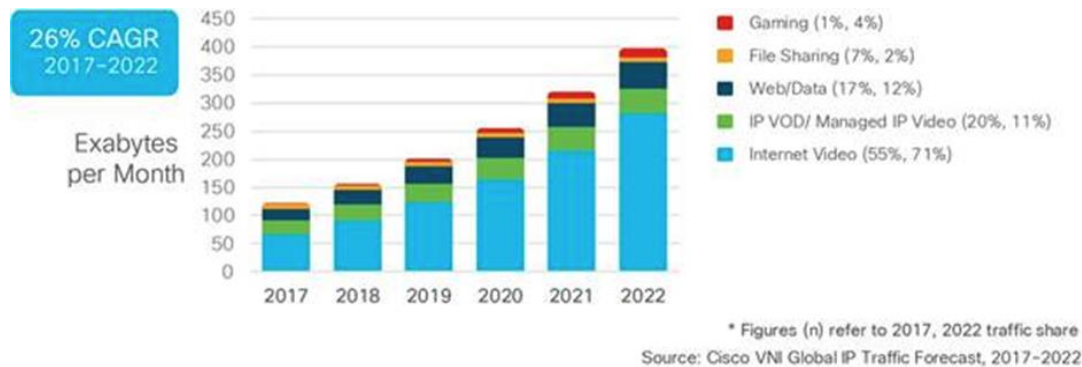
4.2 ZB = 25 milliards de films Spiderman en 8K
(ou 700 milliards en HD)



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

Applications en volume (octets)

- Trafic vidéo domine en volume
- Réseaux sociaux (beaucoup de connexions , faible volume)
- Web = navigation classique



Sources :

[Video traffic dominates - Sandvine "The Global Internet Phenomena Report", September 2019](#)

Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022

GLOBAL APPLICATION CATEGORY TRAFFIC SHARE

Rank	Category	2022 Share	Change	2017 Share	Change
1	VIDEO STREAMING	60.6%	+2.9%	22.2%	-0.1%
2	WEB	13.1%	-3.8%	10.3%	-10.6%
3	GAMING	8.0%	0.2%	4.9%	+2.2%
4	SOCIAL	6.1%	+1.1%	7.6%	+3.8%
5	FILE SHARING	4.2%	+1.4%	30.2%	+8.1%
6	MARKETPLACE	2.6%	-1.9%	1.6%	-0.2%
7	SECURITY AND VPN	1.6%	+0.2%	5.3%	-2.1%
8	MESSAGING	1.6%	-0.1%	8.3%	-0.1%
9	CLOUD	1.4%	+0.01%	9.0%	-0.3%
10	AUDIO STREAMING	0.4%	-0.5%	0.3%	-0.1%

Trafic reçu

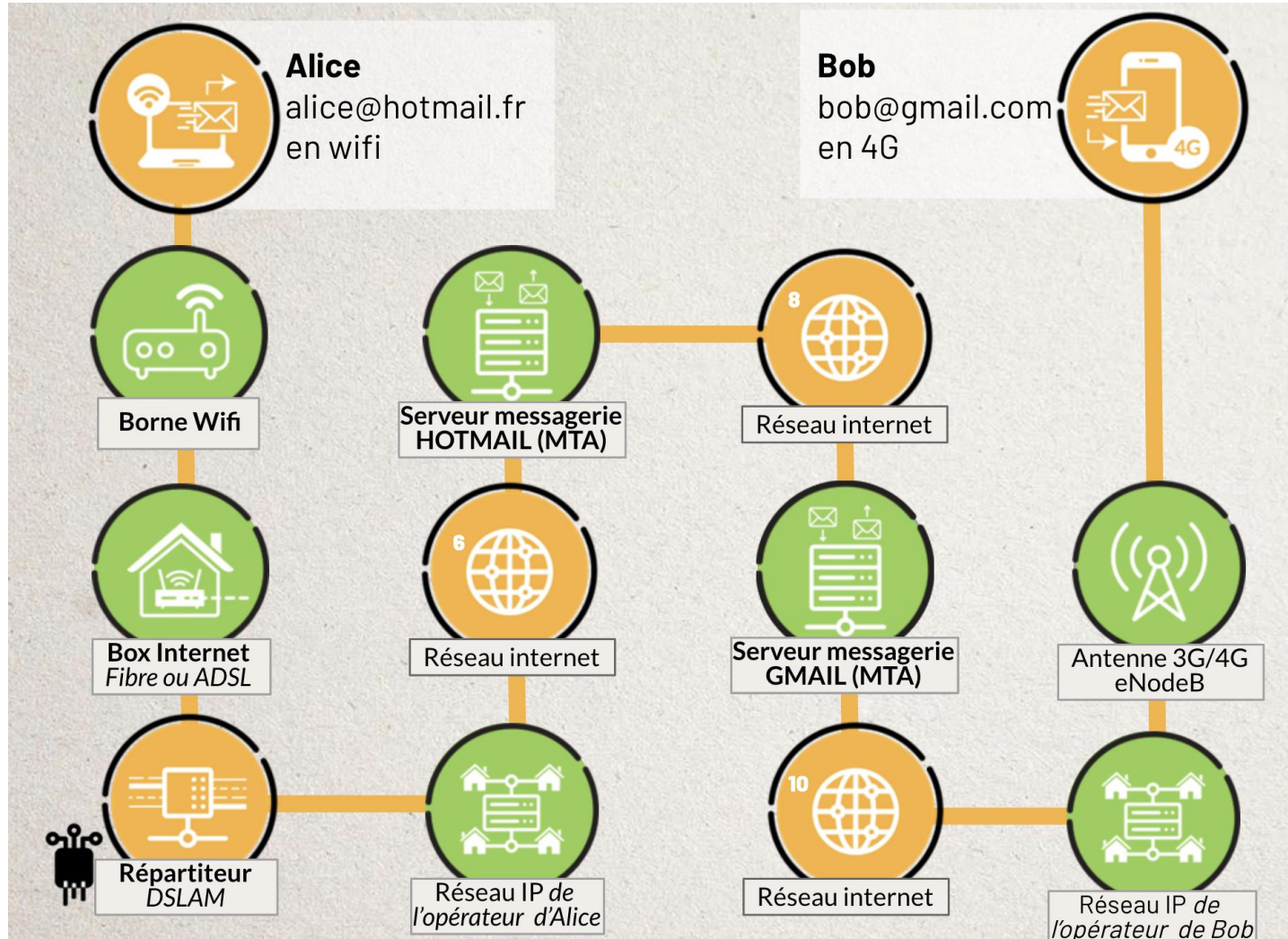
Trafic émis

Notion de service numérique et Cloud

- Vous pouvez utiliser un logiciel qui s'exécute sur votre machine
Ex : Libreoffice pour l'édition d'un texte
- Le plus souvent, nous utilisons des services numériques constitués
 - d'un **logiciel** s'exécutant sur l'appareil
On parle de client = une partie de l'application
Ex : Reconnaissance vocale sur le smartphone
 - d'un **serveur** = autre partie de l'application hébergée dans un Centre Informatique (Data Center - DC) qui traite les données (**Cloud**)
 - d'un **réseau** connectant le client et le serveur



Exemple de service numérique



- Des réseaux d'accès, fixe ou mobile(4G/5G), de Bob et Alice - on parle de Fournisseur d'Accès Internet (FAI)
- Le réseau Internet : des FAIs interconnectant des FAI
- Des serveurs de mail : Hotmail et Gmail dans des Data Center

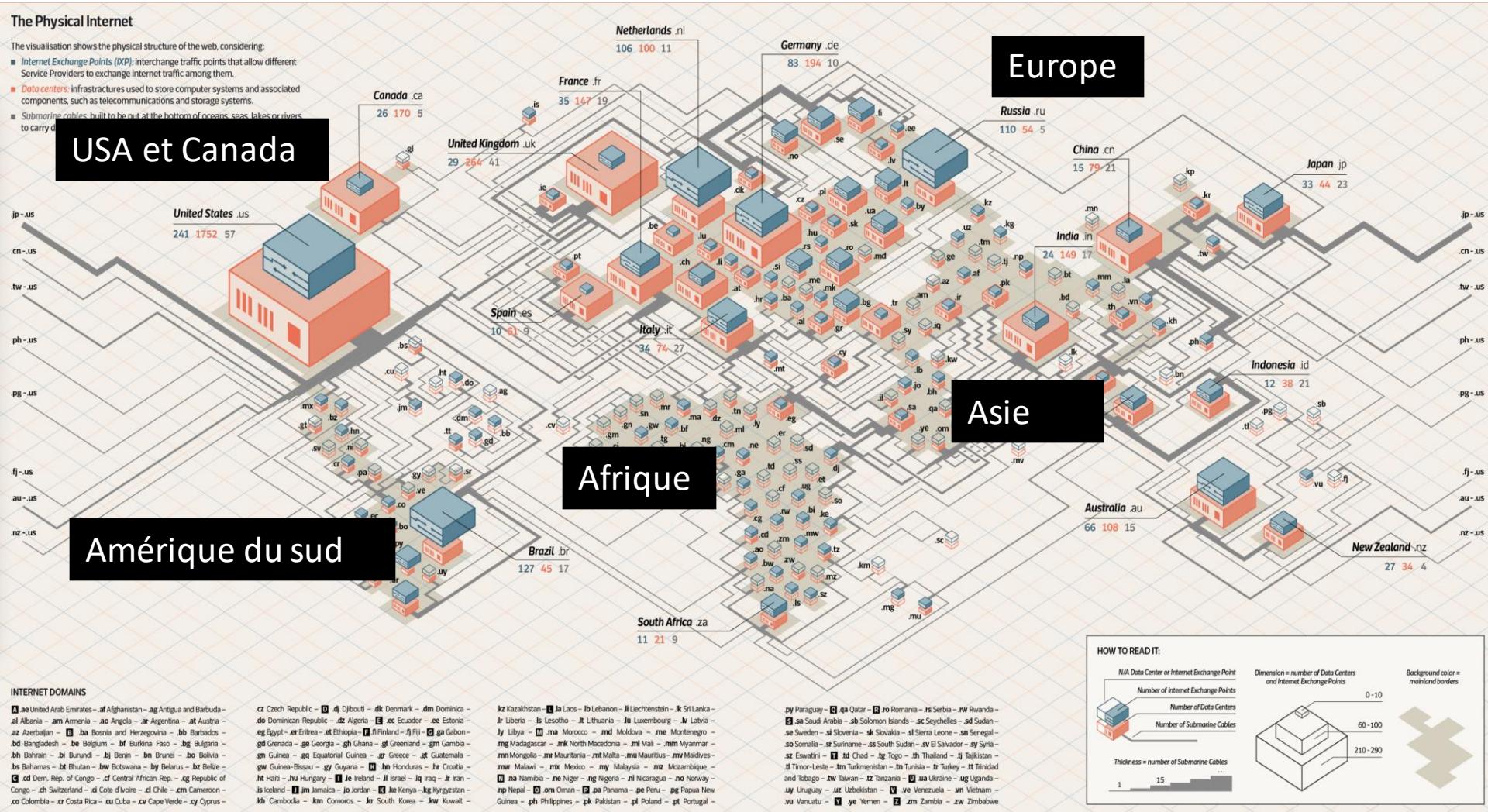
(Source : <https://www.fun-mooc.fr/fr/cours/impacts-environnementaux-du-numerique/>)

Quelle infrastructure physique pour Internet ?

- Les services en ligne semblent virtuels... mais s'appuient sur une forte **matérialité**
 - Des Centres Informatiques - Data Centers
 - Des réseaux d'accès
 - Beaucoup de câbles sur terre et en mer
 - Des Internet Exchange Points (IXP) : point d'échange trafic entre FAIs



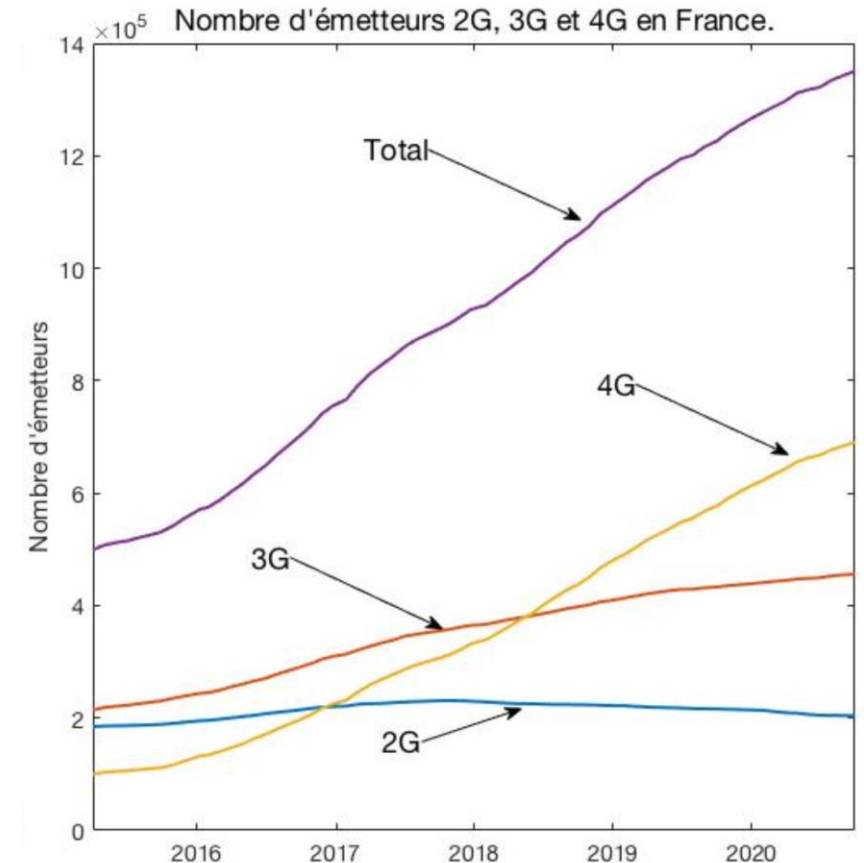
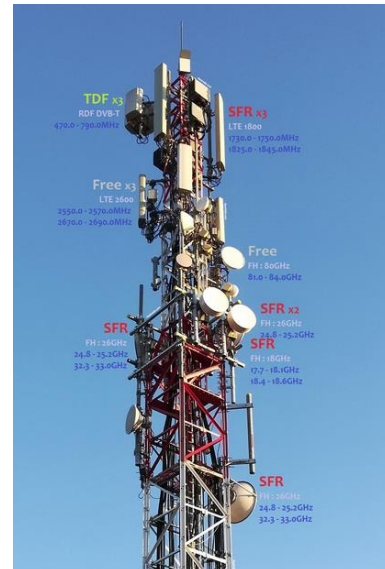
Internet Physique : prédominance des pays les plus riches !



source : <https://densitydesign.github.io/teaching-dd15/course-results/es01/group04/>

Le Réseau Mobile en France

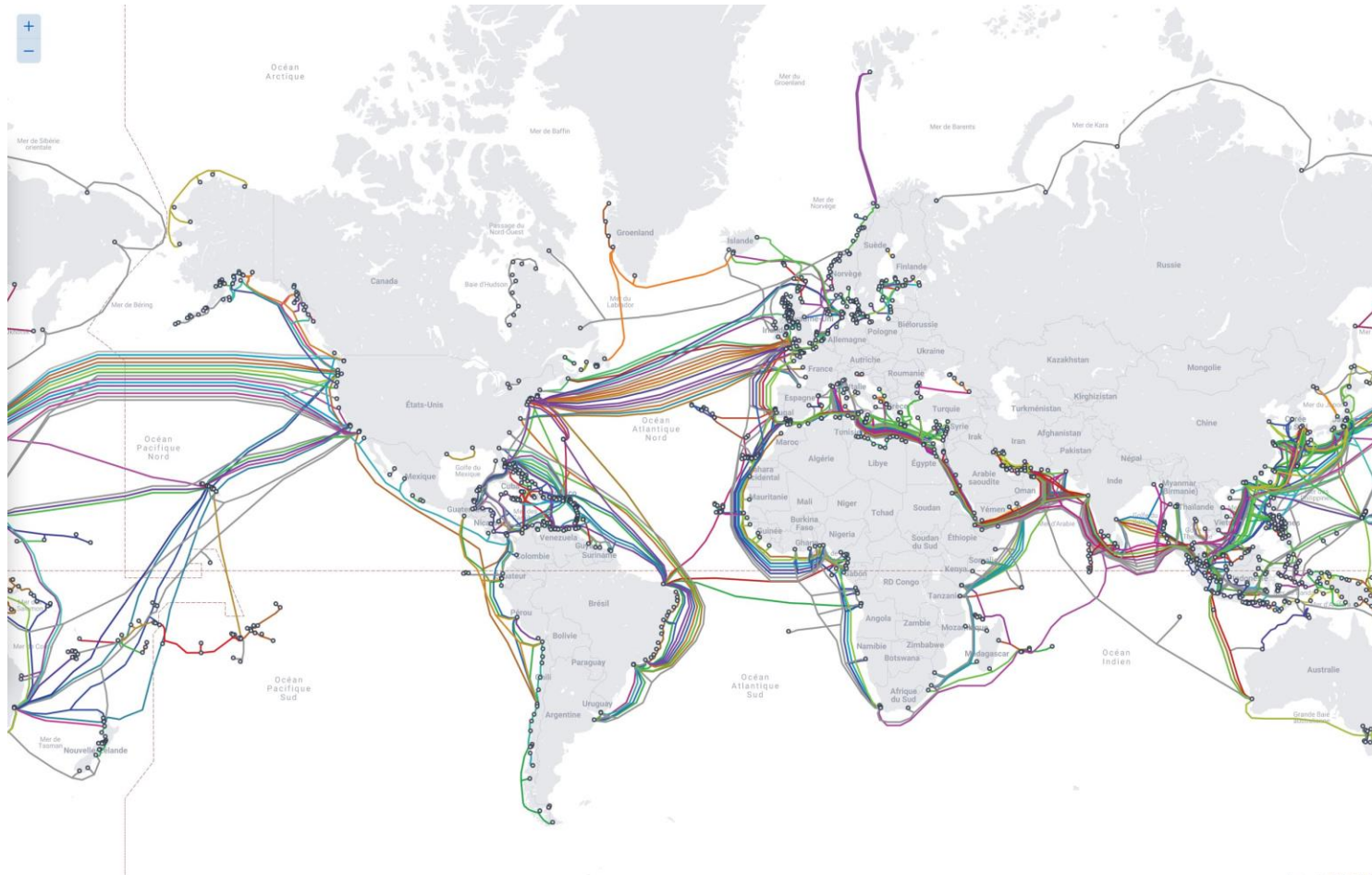
- Une antenne = plusieurs émetteurs
- En 2020, 85 532 antennes et 223 480 émetteurs
- Effet "empilement" : nous ajoutons de nouveaux types de technologie, mais nous ne désactivons pas les précédents
- Arrêt de la 2G : obsolescence de petits matériels et de certains téléphones



source : M. Coupechoux <https://marceaucoupechoux.wp.imt.fr/files/2020/12/Tribune-Reporterre.pdf>
Source image d'antenne : <https://us.nextwab.com/photos/voir-image-3879-legende-antenne-relais-tdf-sfr-free-et-orange-pylone-autostable-tv-radio-fh-4g.html>

Les câbles sous-marins

- Nombre de câbles : début 2023, environ **552 câbles** sous-marins
- 1,4 million de kms (le périmètre de notre planète est de 40 000km)
- Le plus long mesure **20 000 km** : Asia America Gateway

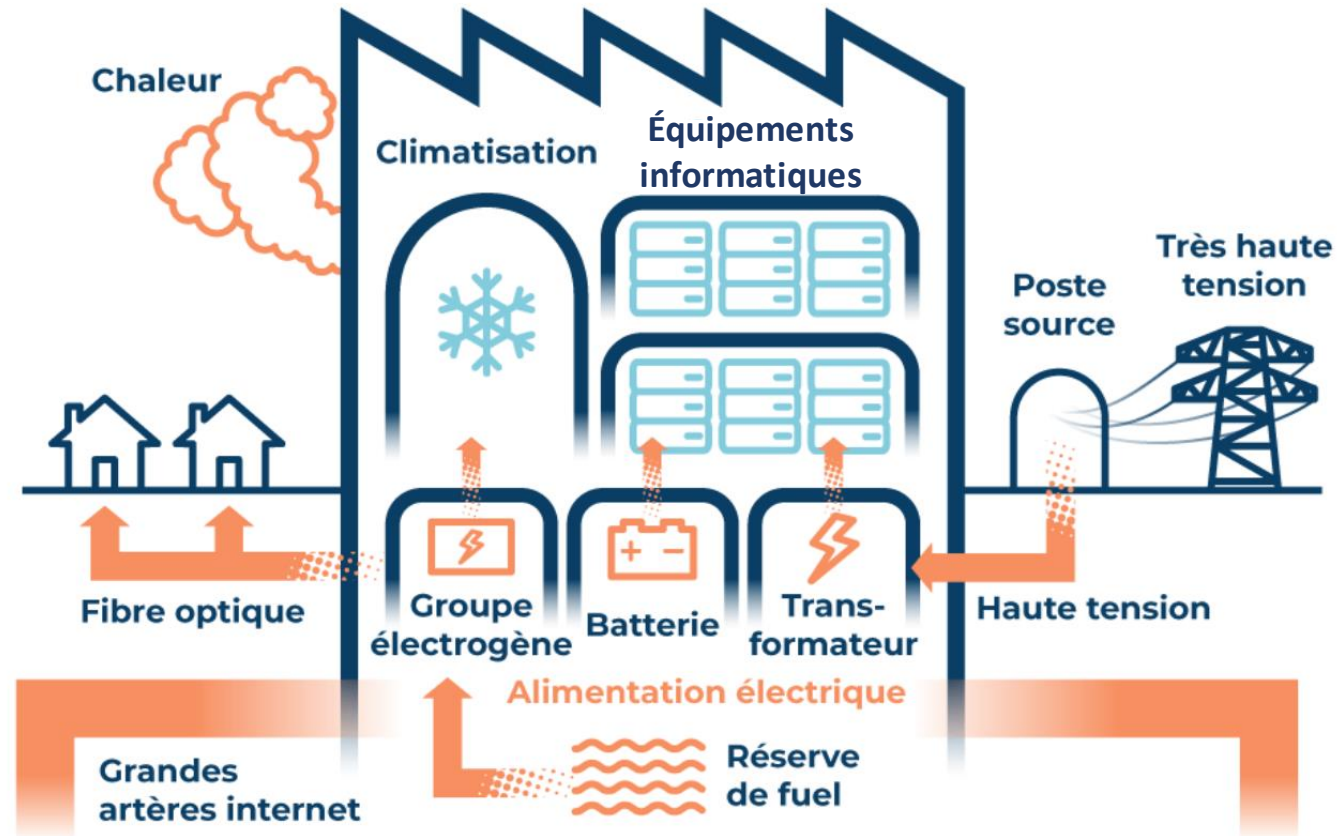


Les câbles sous-marins sont des ressources stratégiques... y toucher sans autorisation est un casus belli

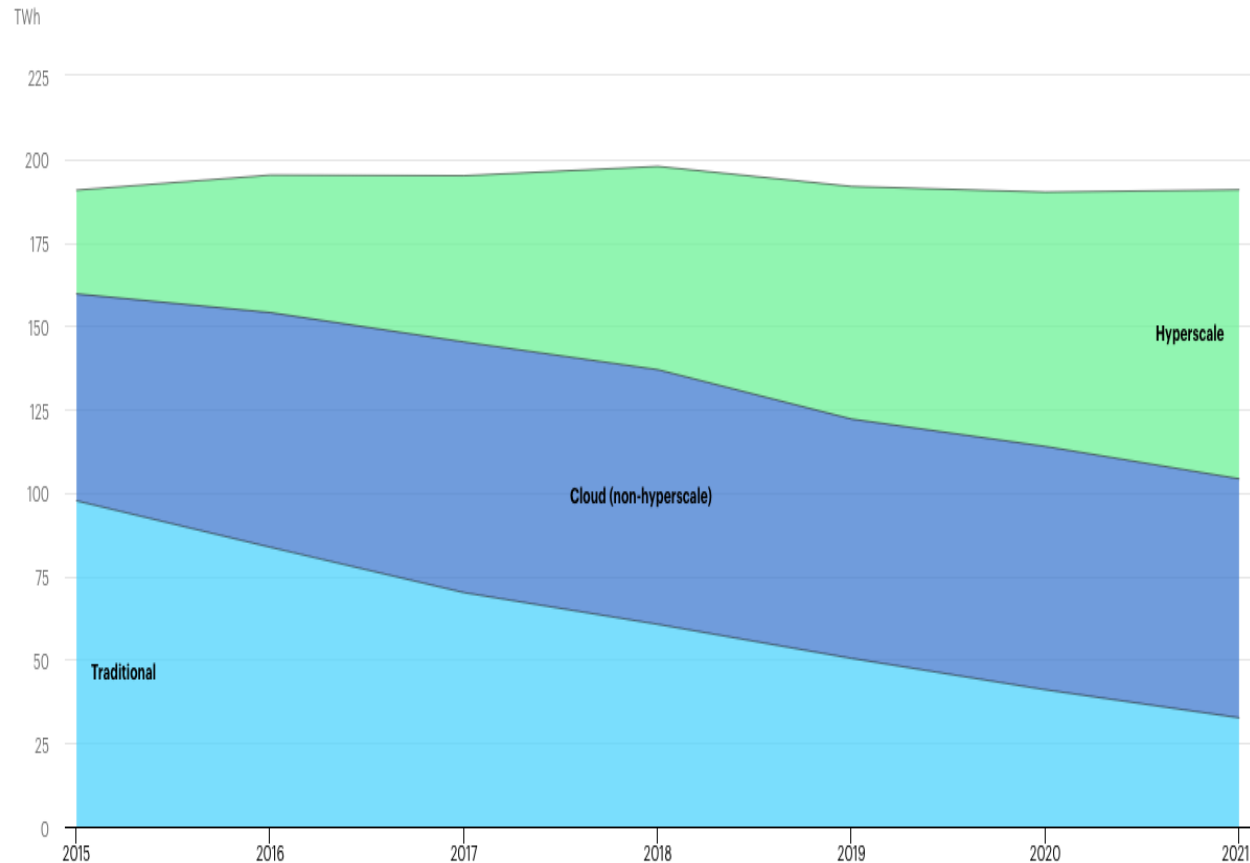
Source :

<https://www2.telegeography.com/submarine-cable-faqs-frequently-asked-questions>

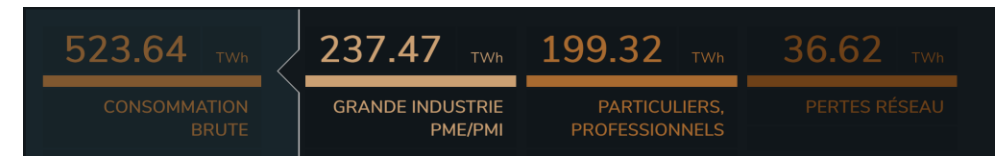
Un Data Center, ce n'est pas que des serveurs



Consommation électrique des DC



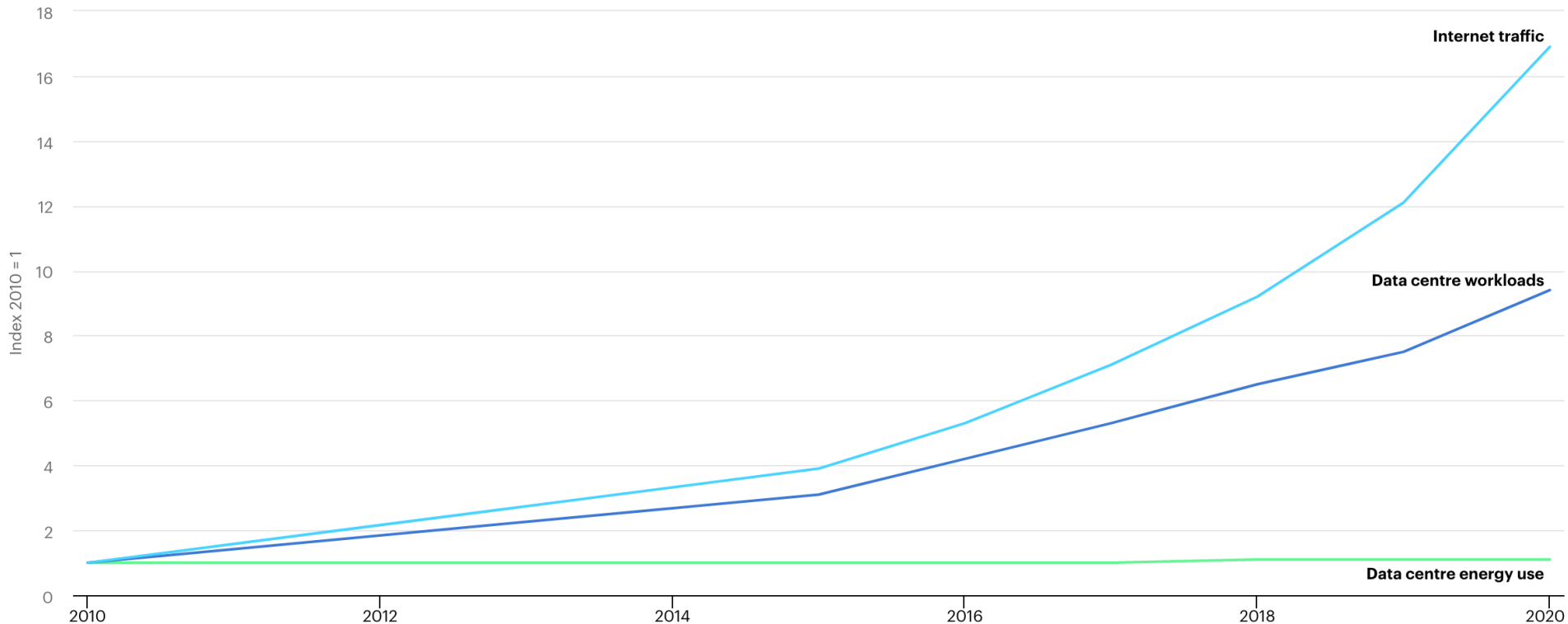
- dominance claire des hyperscales....
- consommation totale **constante** sur 10 ans !
- Correspond à 50% de la consommation française en 2019 (chiffres RTE)




- **Hyperscale** ≈ les GAFAM
- Cloud (hors GAFAM).
Ex : OVH en France
- Traditionnel : DC entreprises privées, administration, etc.

IEA. Licence: CC BY 4.0


Traffic DC multiplié par 10 depuis 2010



Interprétation

- Gain d'efficacité énergétique compense hausse trafic 

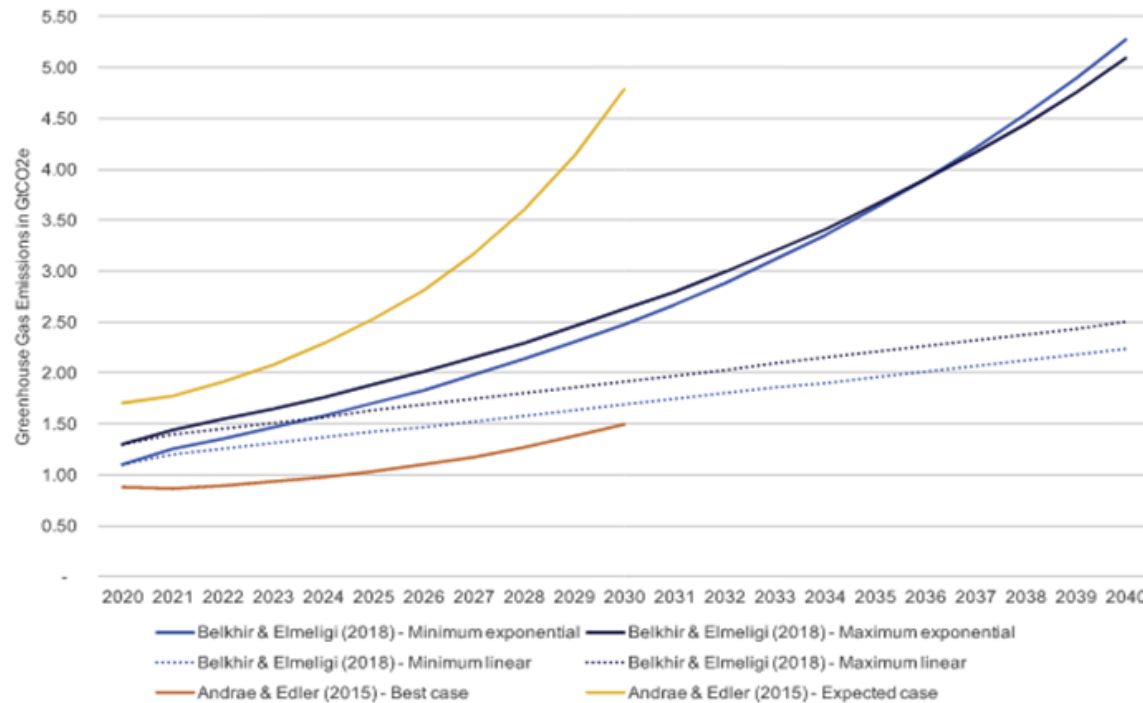
ou

- Gain d'efficacité absorbé par hausse trafic 

Effet rebond 

source : <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-trends-in-internet-traffic-data-centres-workloads-and-data-centre-energy-use-2010-2020>

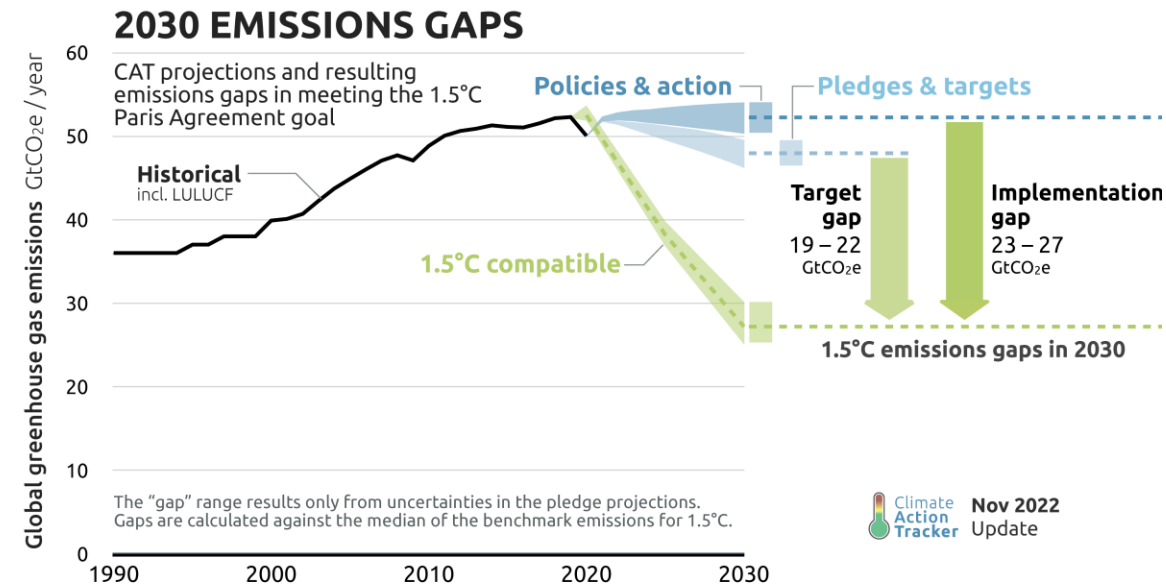
Empreinte mondiale du numérique



The real climate and transformative impact of ICT: a critique of estimates, trends and regulations [Freitag 2021]

Les modèles indiquent une hausse de l’empreinte CO₂ du numérique ...

source : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666389921001884>



...alors que le monde doit diviser ses émissions par deux d’ici 2030!

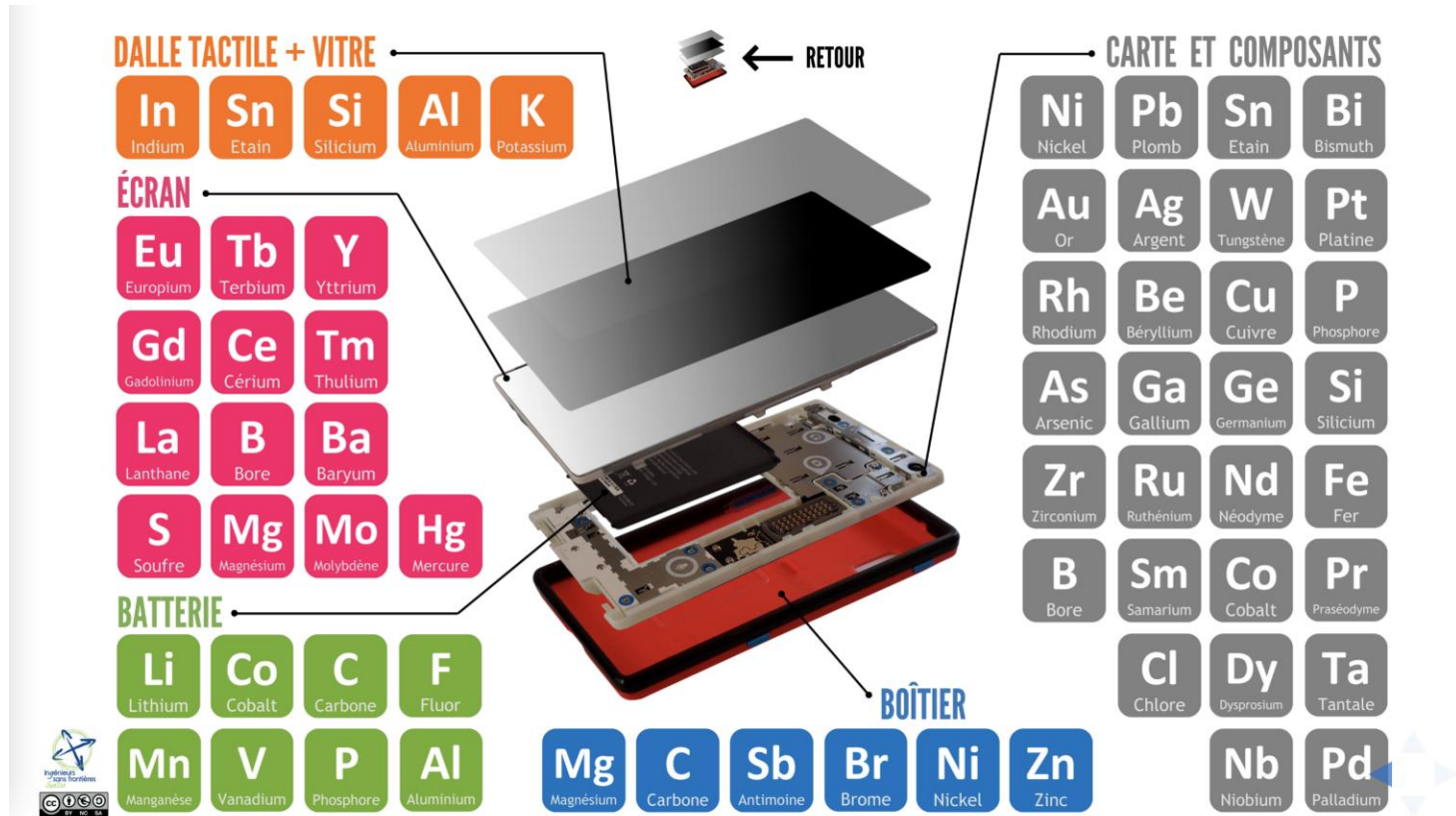
source : <https://climateactiontracker.org/global/cat-emissions-gaps/>

Comment produire ces
équipements ? Les minerais



Les minerais et métaux

Des équipements électroniques très consommateurs en minerais et métaux.



source : <https://www.systext.org/>
<https://www.systext.org/node/1724>

Production des minerais et métaux

Les minerais et métaux sont toujours en faible teneur dans les gisements

Métal	Teneur moyenne dans la croûte terrestre (ct)	Teneur moyenne dans les gisements exploités
Fer (Fe)	5 % (2 ^{ème} élément le plus abondant de la ct)	30 à 66 %
Aluminium (Al)	8 % (élément le plus abondant de la ct)	25 à 30 % ¹⁴
Plomb	16 g/t	1 à 12 %
Nickel (Ni)	75 g/t	1 à 3 %
Tungstène (W)	1.5 g/t	0.3 à 2 %
Cuivre (Cu)	55 g/t	0.3 à 2 %
Uranium (U)	3 à 4 g/t	0.1 à 0.3 %
Lithium (Li)	20 g/t	0.05 à 0.15 % (dans les sels)
Argent (Ag)	0.075 g/t	Quelques dizaines à quelques centaines de g/t
Platine (Pt)	0.005 g/t	0.0003 % à 0.0015 % (jusqu'à 15 g/t)
Or (Au)	0.005 g/t	0.0001 % (1 g/t)

Tableau 1 : Teneurs moyennes des gisements exploités dans le monde pour certains métaux ; d'après L'Élémentarium (lelementarium.fr)

Production des minerais métaux

Sphère = quantité **totale** de cuivre produite par cette mine

Impact social et environnemental : qui veut extraire des terres rares?

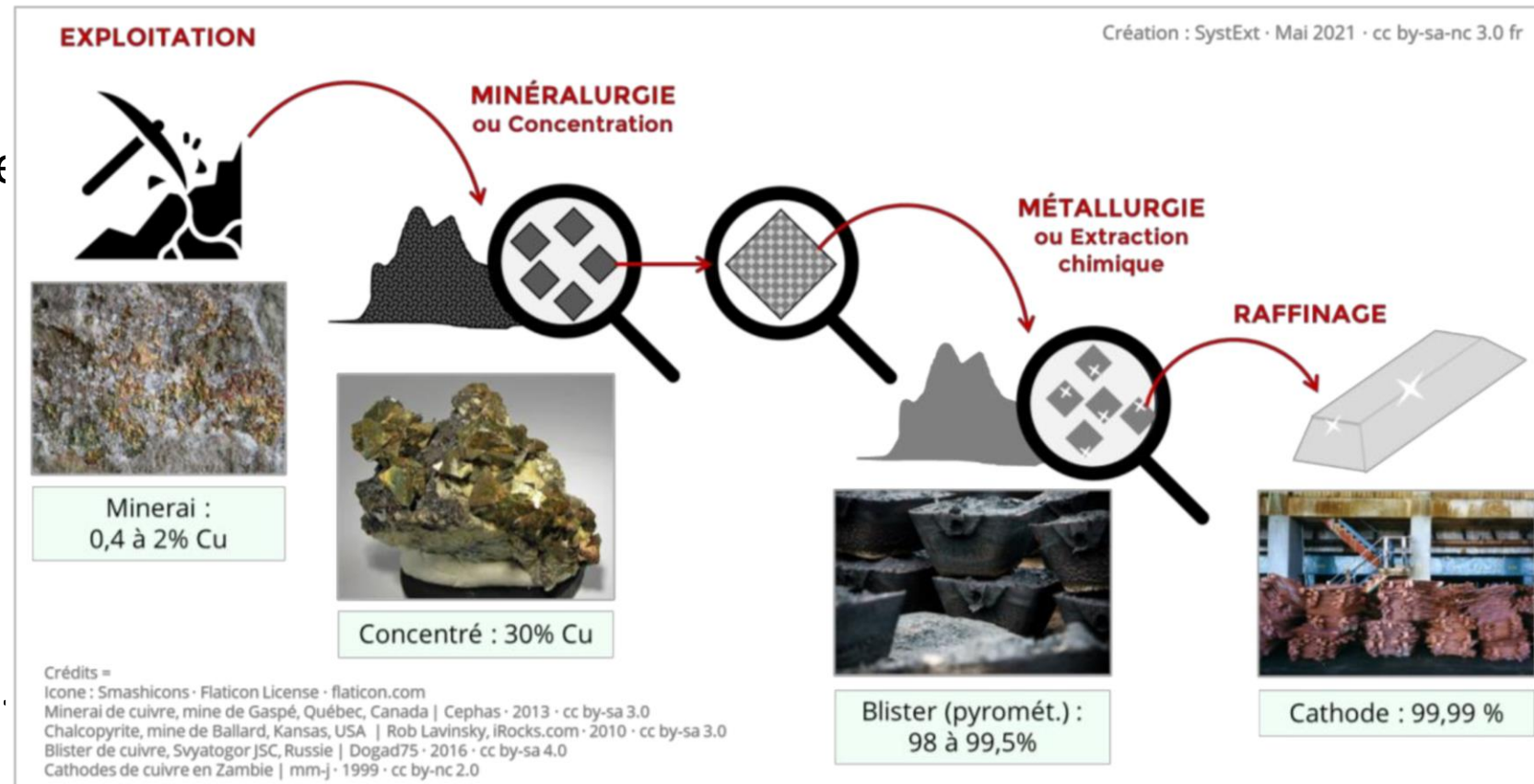


- 8,5 tonnes de roche → 1kg de vanadium (catalyseur, batteries à flux, moteurs de dispositifs médicaux, ...)
- 16 tonnes de roche → 1kg de cérium (lanthanide, Terre Rare, pierre à briquet, filtres à particules, fours auto-nettoyants, ...)
- 50 tonnes de roche → 1kg de gallium (semi-conducteurs, LED, photo-détecteurs, ...)
- 1200 tonnes de roche → 1kg de lutécium (lanthanide, Terre Rare, catalyseur)

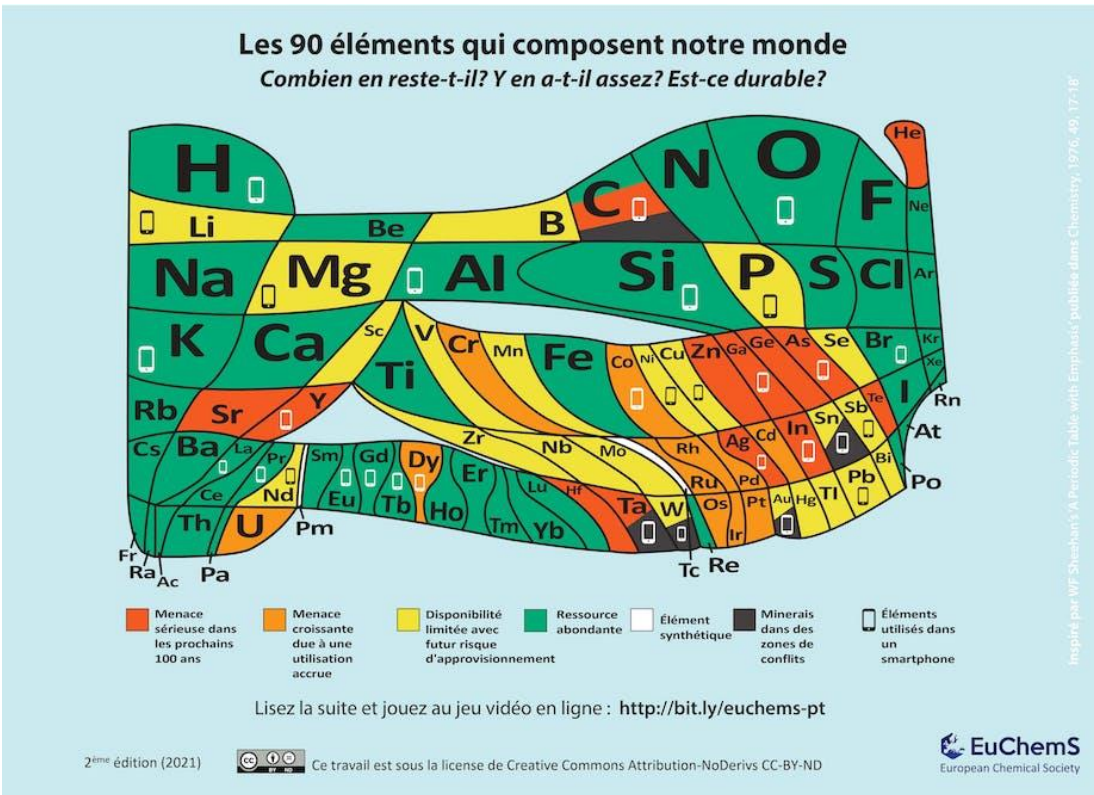
Figure 9 : Mine de cuivre de Palabora, Afrique du Sud ; (à gauche) Représentation imagée de la quantité de cuivre métal produite jusqu'à environ 2007 (© Dillon Marsh · Mise à disposition par le photographe · dillonmarsh.com) ; à droite : Vue satellitaire de la mine et mise en évidence de l'emprise en surface des déchets miniers et des installations minières (© Google 2021) | Création : SystExt · Septembre 2021

Des procédés de raffinage très polluants

- Chaque phase demande beaucoup **d'énergie, d'eau et substances chimiques** (cyanure de sodium, acides, bases, xanthates, etc.)
- Exemples
 - **une mine moyenne d'or** consomme par an autant d'**eau** que **80 000 habitants** en France
 - Mine **charbon** → 10 000 hab.
 - Mine phosphate → 420 000 hab.



Les minerais sont des ressources stratégiques



Accueil du portail > Industrie > Le Gouvernement dévoile sa stratégie pour sécuriser l'approvisionnement en métaux critiques

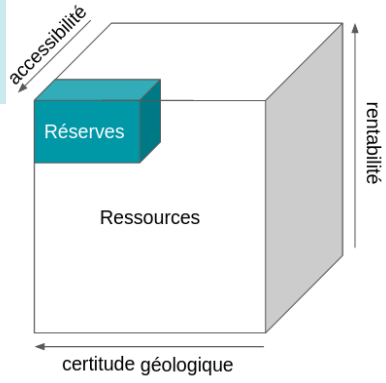
Le Gouvernement dévoile sa stratégie pour sécuriser l'approvisionnement en métaux critiques

11/01/2022

La remise, lundi 10 janvier, du rapport Varin sur la sécurisation de l'approvisionnement de l'industrie en matières premières minérales, s'est doublée du lancement d'un appel à projets national. L'objectif, renforcer la résilience du tissu industriel sur les chaînes d'approvisionnement en métaux et développer les initiatives territoriales.



Estimation sur les réserves (exploitées)
Ressources totales : difficultés techniques, coût énergétiques



Monopole de la Chine et de la Russie sur certains métaux

(source : <https://theconversation.com/le-tableau-periodique-des-chimistes-se-confronte-aux-limites-du-systeme-terre-182526>)

De la production des minerais à la production des équipements

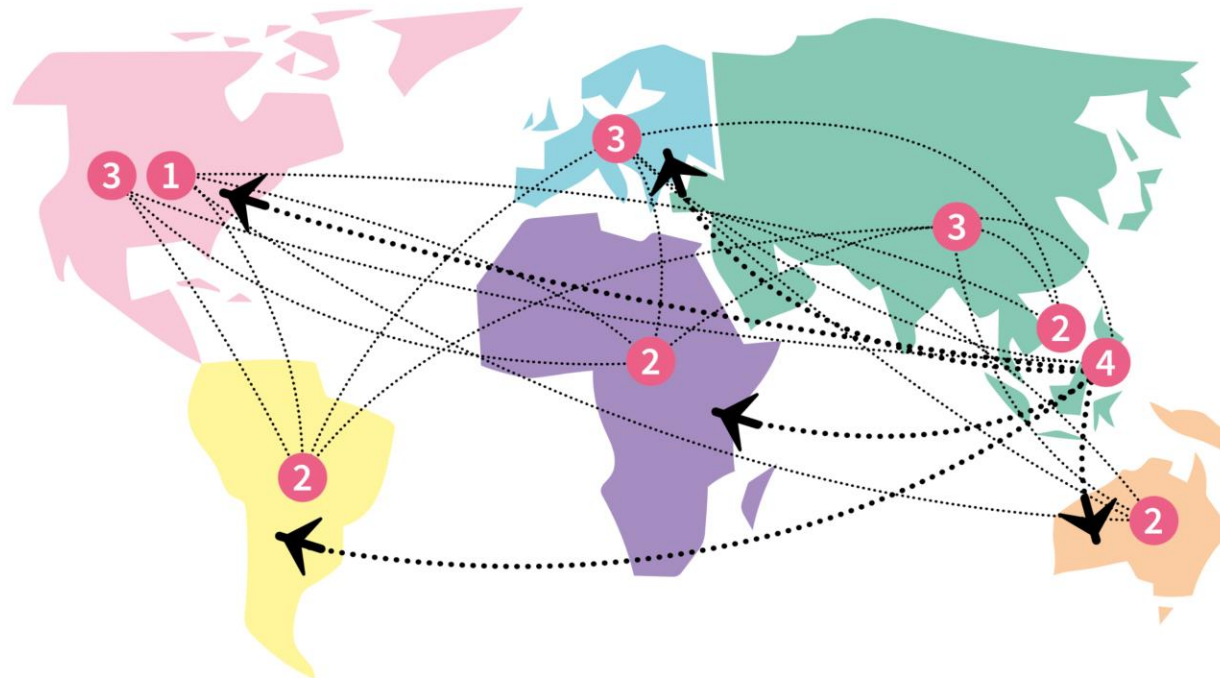
- La production des **semi-conducteurs** (le cœur des équipements électroniques) est aussi très consommatrice de ressources
- Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), le plus gros fabricant de semi-conducteurs mondial consomme **49 000 m³** d'eau par jour!

source : <https://gauthierroussilhe.com/articles/eau-et-puces-electroniques-l-avenir-climatique-et-industriel-de-taiwan>



Il y a également le transport à chaque étape

QUATRE TOURS DU MONDE POUR FABRIQUER UN SMARTPHONE



1. Conception le plus souvent aux États-Unis

2. Extraction et transformation des matières premières en Asie

3. Fabrication des principaux composants en Asie, aux États-Unis et en Europe

4. Distribution vers le reste du monde, souvent en avion.



Pour quantifier l'impact du numérique il nous faut une méthode d'analyse globale

- Il nous faut une méthode d'analyse globale des : flux de matières, flux énergétiques, flux des déchets...
- De la mine à la fin de vie, en passant par le magasin et notre poche, il faut une méthode pour évaluer les impacts environnementaux.

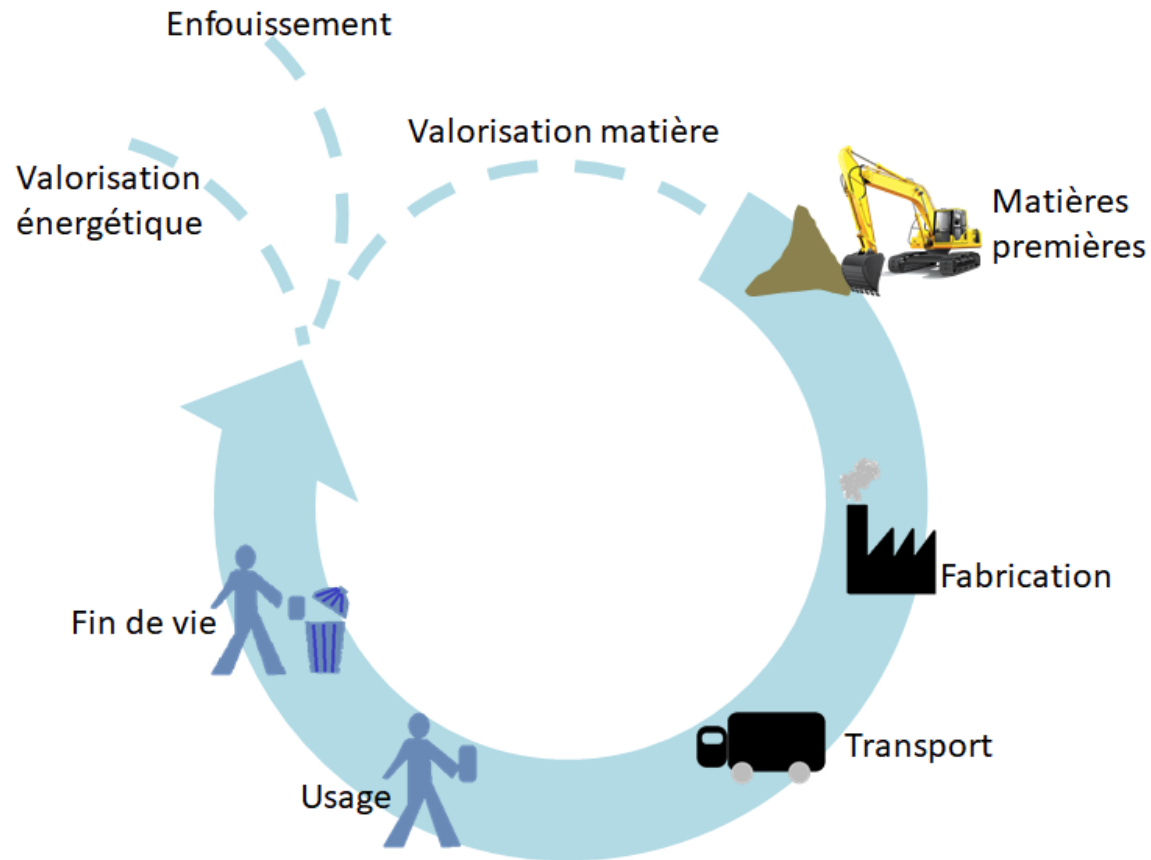
→ **l'Analyse de Cycle de Vie (ACV)**



Analyse de Cycle de Vie (ACV)



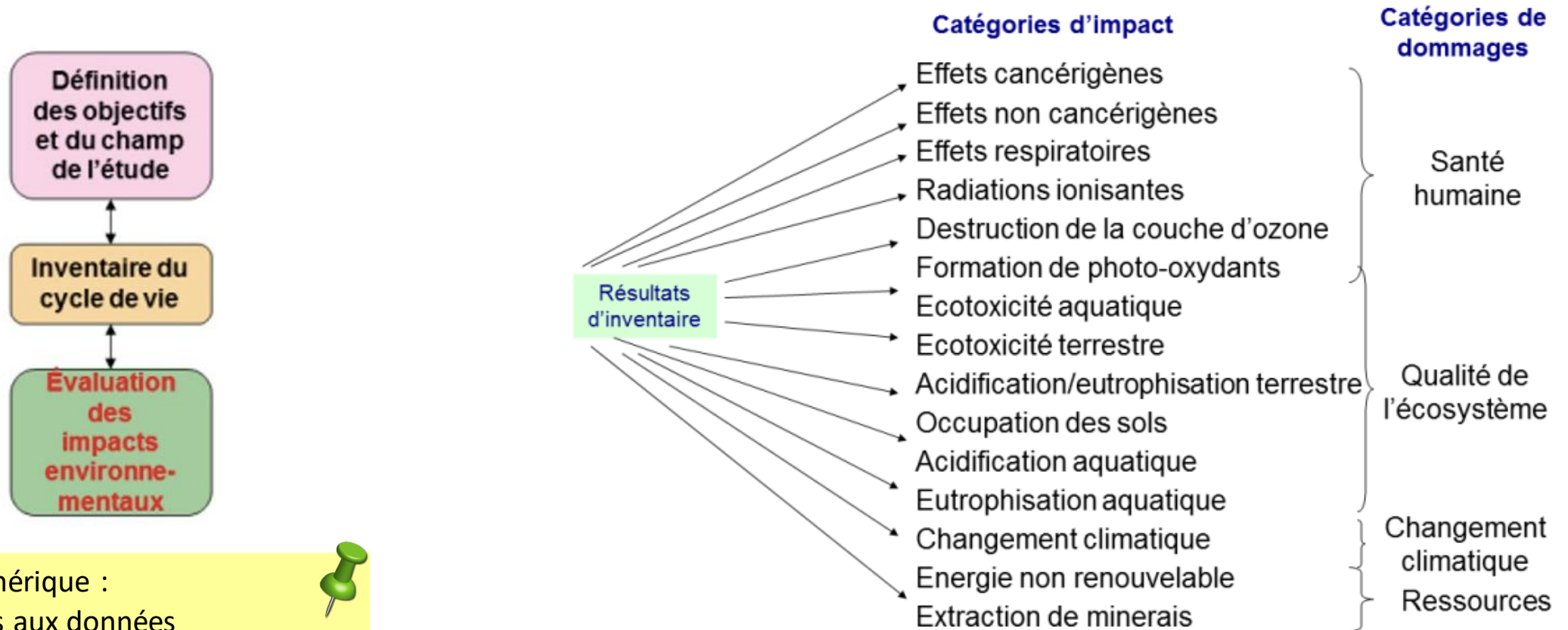
Principes de l'Analyse du Cycle de Vie



- Méthode apparue dans les années 1970 et plus généralement utilisée depuis les années 1990
- Méthode d'évaluation normalisée (ISO 14040 et 14044)
- Bilan environnemental multicritères et multi-étapes
- Considère un système sur l'ensemble de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières à la fin de vie.



ACV : de l'inventaire des flux au calcul d'impact ... *via* des modèles physico-chimiques



Dans le cas du numérique :

- difficultés d'accès aux données
- difficultés de définition du périmètre
- difficulté d'évaluation de l'impact des DEEE



L'ACV, un outil pour les entreprises et les pouvoirs publics

- Identification/information enjeux environnementaux
- Éco-conception et analyse amont/aval (réduction d'impact)
- Aide à la décision (choix de conception)
- Comparaison de solutions (en évitant les reports de pollution)
- Développement d'écolabels
- Crédibilisation de la performance environnementale
- Développement de politiques environnementales



Importance du champ d'étude et du périmètre

- ACV Attributionnelle : quelle part des impacts environnementaux totaux peut-on attribuer à un système donné ?
 - Matière première
 - Consommation en phase d'usage (usage moyen)
 - Impact du traitement des déchets (on ne sait pas bien le faire pour le numérique)
 - Pas de lien cause-conséquence
 - Traduit un degré de responsabilité
- ACV Conséquentielle : comment les impacts environnementaux seront-ils affectés par ce système ?
 - Si l'on augmente la demande
 - Si l'on modifie le cycle de vie
 - Très difficile à mettre en œuvre --> la majorité des ACV sont attributionnelles



NB : la notion de périmètre a une grande importance




Limites et avantages de l'approche ACV vis-à-vis du numérique

- Avantages de l'ACV

- Permet de faire émerger la notion d'énergie grise : l'énergie liée à la phase de production
 - Pour beaucoup d'équipements numériques, l'énergie grise domine sur la phase d'usage
 - Ex typique des smartphones avec 80% d'énergie grise
- Permet de mettre l'accent sur les impacts hors GES
 - e.g. extraction des minerais ou ressources en eau

iPhone 13
life cycle carbon emissions



81%	Production
2%	Transport
16%	Use
<1%	End-of-life processing


- Inconvénients de l'ACV

- De nombreuses informations ne sont pas connues
 - Fragmentation des chaînes de production et d'approvisionnement
 - Secrets économiques
 - Nombreuses incertitudes sur la fin de vie - voir partie DEEE
- Les variations de périmètres créent de grandes différences dans l'évaluation des impacts

https://www.apple.com/environment/pdf/products/iphone/iPhone_13_PER_Sept2021.pdf



Sony Mobile Z5 = 57 kg CO₂e pour 3 ans de vie (hors réseau)

En moyenne, en France, on change de smartphone tous les 2 ans 

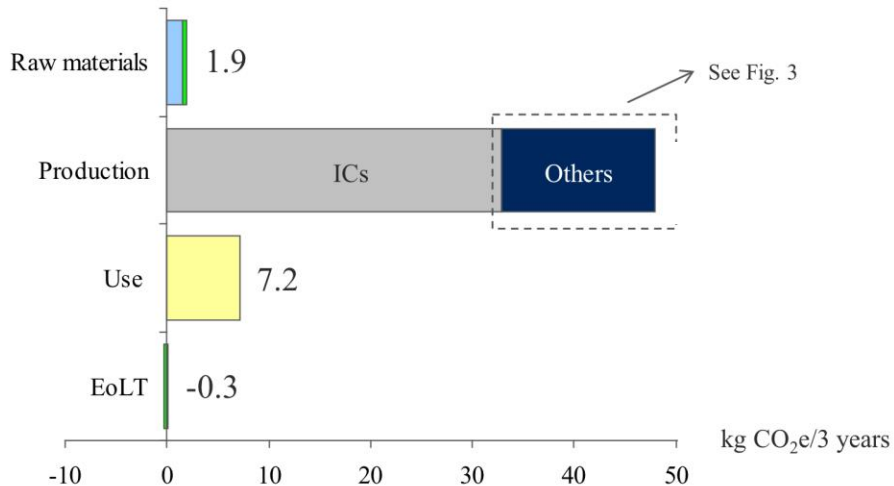
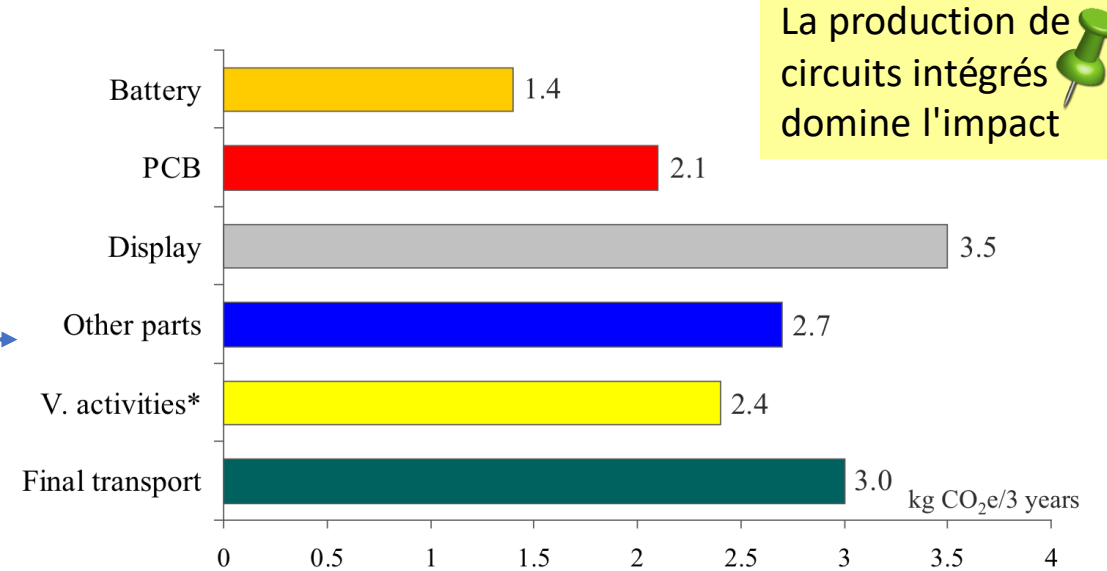




Fig.2 GWP for smartphone Z5 during its life time (3 years), including accessories but excluding network usage



La production de circuits intégrés domine l'impact 

*vendor activities include final assembly and vender supporting activities

Fig. 3 Total GWP results for all production processes but IC for Z5

Bonne nouvelle : lorsqu'on achète du reconditionné, on le garde autant que du neuf ! 

<https://www.greenit.fr/2021/10/01/portables-neufs-et-reconditionnes-ont-la-meme-duree-de-vie/>

ACV du numérique en France



Méthodologie

- Une ACV complète suivant la norme ISO 14040 : 2006
- 3 tiers :
 - 1. Terminaux utilisateur final et IoT
 - 2. Réseaux
 - 3. Data centers
- Unité fonctionnelle :

Utiliser les équipements et systèmes basés en France liés aux équipements et infrastructures numériques sur un an



EVALUATION DE L'IMPACT
ENVIRONNEMENTAL DU NUMERIQUE EN
FRANCE ET ANALYSE PROSPECTIVE

Evaluation environnementale des équipements et infrastructures
numériques en France Synthèse du 2^{ème} volet de l'étude

19 janvier 2022



Empreinte carbone

- Total : 16,9 Mt eq. CO2 soit 253 kg/habitant
- Equivalent à :
 - émissions CO2 de **12 344 994 voitures**
 - consommation électrique de **8 282 000 foyers**
- **10% de la consommation électrique française (usage)**
- **2,5% de l'empreinte carbone de la France (usage et production)**



Calcul « à la main » des émissions carbone d'un ou une Internaute



Unité Fonctionnelle et Périmètre

- Objectif : évaluer l'impact des usages qu'a un usager ou une usagère du numérique sur une année
- Prendre en compte :
 - le matériel (terminaux)
 - les infrastructures (réseau, centres de données/calcul)
 - les accès réseau
 - le trafic de données
 - l'énergie consommée pour chaque élément



Scénario « Internaute type »

- Équipements
 - Ordinateur portable + smartphone
 - Télévision
 - Box Internet
- Trafic à partir du rapport ARCEP+ADEME
 - Consommation moyenne fixe : 220 Go/mois
 - Consommation données mobile : 5,0 Go/mois

https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapports/fichiers_joints/283458-volet%202.pdf

https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/barometre-numerique-2019.pdf



Phase de production des équipements

- Utilisation des coûts de l'outil ecodiag + Shift Project pour TV
- Coût de production réparti sur le nombre d'années d'utilisation :

Equipement	Kg CO2 total	Durée de vie	Coût annuel
Smartphone	63	2	31,5
Ordinateur port.	260	3	86,67
Télévision	442	5	88,2



Utilisation (phase d'usage)

- Modèle 1-byte du shift project avec mise à jour avec données Ademe+ARCEP et Andrae, A. S. (2020). *New perspectives on internet electricity use in 2030. Eng. Appl. Sci. Lett., 3(2), 19-31.*
- Le modèle estime :
 - Coût (KWh) par minute d'utilisation portable ou smartphone
 - Coût (KWh) par octet dans le réseau
 - Coût (KWh) par octet dans le Data center

Ordinateur Portable	3,2E-04 KWh/minute
Smartphone	1,1E-04 KWh/minute
Réseau d'accès	3,42E-11 KWh/octet
Réseau mobile	23,7E-11 KWh/octet
Data Center	1,57E-11 KWh/octet



Résultats

- la traduction des kWh en CO2 dépend du mix énergétique du pays.
France \approx 80 gCO2e/kWh
source : <https://www.rte-france.com/eco2mix>

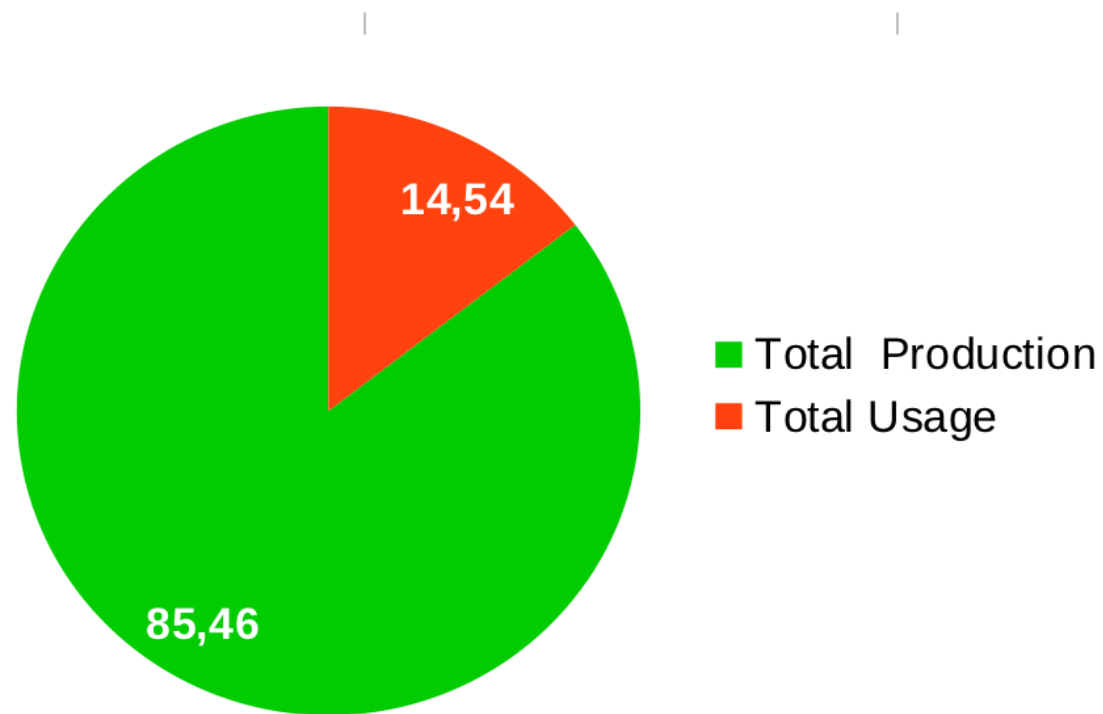
Mobile 6GO/mois	Kg CO2e par an
1byte	2,02
Production mobile	31,50

Fixe 220 GO/mois	Kg CO2e par an
Usage ordi+réseau+DC (1byte)	12,20
Prod. ordinateur	86,67
Usage Box	6,56
Prod. TV	88,2
Usage TV	14,32



En émissions de CO2, la production domine l'utilisation

- Production domine utilisation : 85% versus 15%
- Coût total Mobile + Box = 241 Kg eCO2 par an

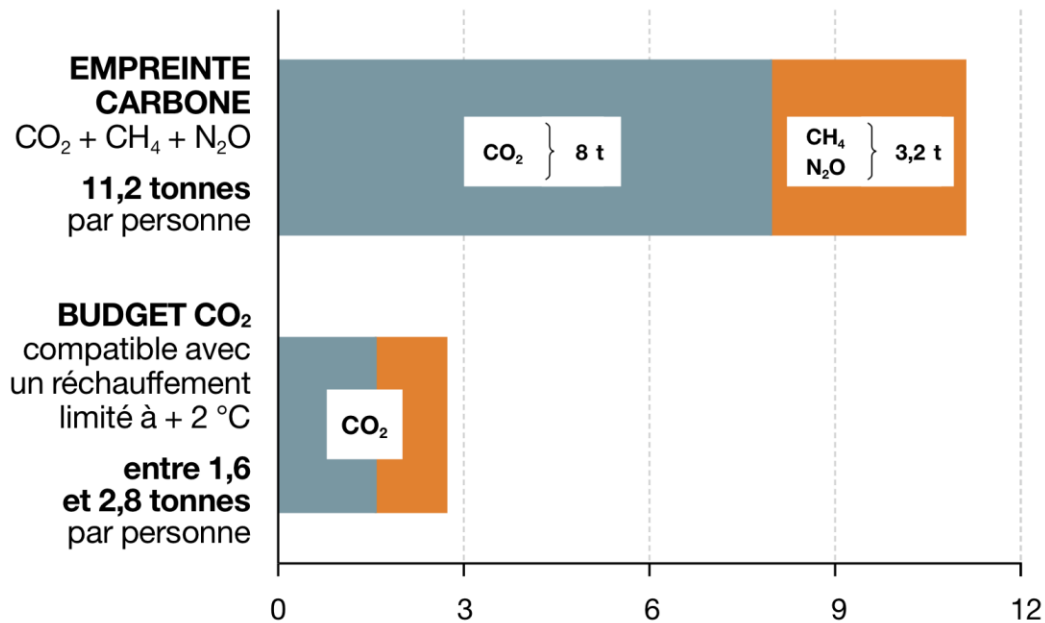


Remarques :

- Augmenter la durée de vie est la mesure qui a le plus d'impact (acheter d'occasion va dans le même sens)
- Les émissions de CO2 dépendent du mix énergétique du pays.
- La France a une électricité largement décarbonée par le nucléaire
- Si on est en 4G/5G, le coût total est :
réseau accès + réseau fixe + DC
==> faites du Wifi et non de la 4G/5G car coût accès mobile similaire au coût accès fixe !



Quel pourcentage de l'empreinte carbone d'un·e français·e le numérique représente-t-il ?



Empreinte	% du numérique
2018	2,16%
Accord de Paris	10,98%

Champ : France métropolitaine + Drom (périmètre Kyoto).
Sources : GIEC ; Citepa ; AIE ; FAO ; Douanes ; Eurostat ; Insee.
Traitements : SDES, 2019

Effets directs et effets indirects du déploiement du numérique



Plus généralement, les effets directs et indirects

Effets directs

- Relatif à l'extraction, la production, l'utilisation du transport, la fin de vie d'un produit.
- Souvent modélisés par ACV

Effets indirects

- Impact et opportunités créés par l'utilisation et l'application des TICs
- Peut être positif ou négatif

Taxonomie des effets

Taxonomy described in this paper		
Effect	Scope	GPS System Example
Embodied energy	Direct	Energy to produce a GPS system
Operational energy		Energy to operate a GPS system
Disposal energy		Energy to dispose of a GPS system at end-of-life

Environmental Research Letters

TOPICAL REVIEW

Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology

Nathaniel C Horner¹, Arman Shehabi² and Inês L Azevedo¹

¹ Department of Engineering and Public Policy, Carnegie Mellon University, 5000 Forbes Avenue, Pittsburgh, PA 15213, USA

² Lawrence Berkeley National Laboratory, 1 Cyclotron Road MS 90R2002, Berkeley, CA 94720, USA

Indirects		
Efficiency	Indirect: Single-service	More efficient traffic flow due to GPS-enhanced routing
Substitution		Replacement of paper-based maps
Direct rebound		More travel due to lower cost of traffic congestion
Indirect rebound	Indirect: Complementary services	Energy consumed during time saved by more efficient travel
Economy-wide rebound (Structural change)	Indirect: Economy-wide	GPS enables autonomous vehicles and causes growth of intelligent transportation system manufacturing
Systemic Transformation	Indirect: Society-wide	Autonomous vehicles alter patterns in where people choose to live and work

Effet rebond

- Wikipédia
 - « l'augmentation de consommation liée à la réduction des limites à l'utilisation d'une technologie, ces limites pouvant être monétaires, temporelles, sociales, physiques, liées à l'effort, au danger, à l'organisation... »
 - « Il en découle le corollaire suivant : **les économies d'énergie** ou de ressources initialement prévues par l'utilisation d'une nouvelle technologie **sont partiellement ou complètement compensées** à la suite d'une adaptation du comportement de la société »



Exemple du télétravail

- Moins trajets domicile-travail **Efficacité**
- Plus d'autres trajets **Effet Rebond Indirect**
- Maison plus grande, étalement urbain **Effet Systémique**
- Economies ré-injectées dans d'autres secteurs **Effet Rebond Indirect**

- Questions
 - Quel effet va dominer?
 - Quel pourcentage des personnes qui télé-travaillent va acheter une maison plus grande ?

- Ces questions ne sont pas purement techniques!



Effets directs et indirects : ce qu'il faut garder en tête

- L'effet rebond n'est pas systématiquement négatif
 - Balle en mousse ou balle de golf ?
- Difficile d'évaluer l'impact économie et société
 - "Computable General Equilibrium (CGE)" : ensemble d'équations pour modéliser producteurs et consommateurs
- Problème : il faudrait savoir **avant** de déployer la technologie, étant donné les impacts environnementaux liés à la production



Les fausses solutions



Les fausses solutions : toutes seules... attention !

- D'apparentes « vraies » solutions sont des « fausses » solutions si
 - Elles ne permettent pas, **à elles-seules**, de réduire l'impact environnemental du numérique
 - Voire « pire » contribuent à son **aggravation**, notamment sous l'impulsion de « l'effet rebond ».
- Etude de plusieurs fausses solutions ci-après
 - L'efficacité énergétique
 - Le recyclage
 - La numérisation de tous les secteurs de l'économie



Fausse solution n° 1 : améliorer l'efficacité énergétique

Dans le secteur du numérique, l'efficacité énergétique par appareil est contrebalancée par un usage plus intensif

=> augmentation globale de la facture environnementale

- **Exemple 1 : les batteries des smartphones**

La capacité des batteries est doublée tous les dix ans, mais leur fréquence de recharge reste identique à cause de l'augmentation des usages et de l'augmentation de la taille des écrans.



Nokia 3310
Année de
commercialisation
2000
Batterie: 900 mAh



Samsung Galaxy S21+ 5G –
Phantom
Année de
commercialisation
2021
Batterie : 4000 mAh



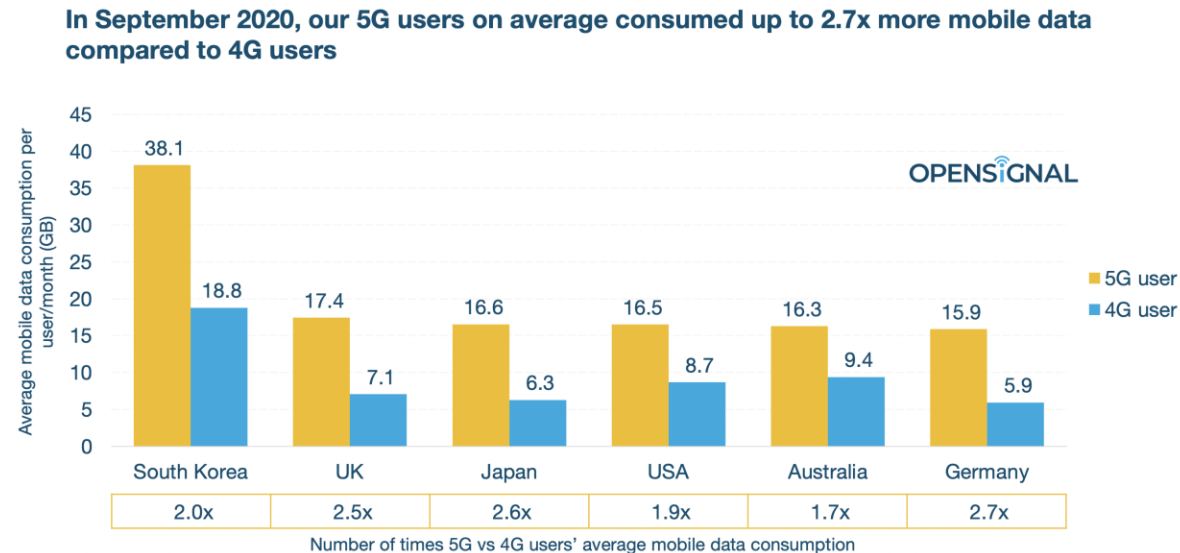
(Aller plus loin :

<https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/5096/isbn9789526044309.pdf?sequence=1>
https://vbn.aau.dk/ws/files/316444499/PhD_Thesis_GianPaoloPerrucci.pdf)

Fausse solution n° 1 : améliorer l'efficacité énergétique

- **Exemple 2 : la 5G**

- 5G offre une meilleure efficacité : moins de Joules (énergie) par octet
... mais débit plus élevé (plus d'octets) donc annihilation des gains d'efficacité (China Telecom reporte une conso électrique x 4 en 5G*) --> **effet rebond**
- 5G demande beaucoup plus de stations de base (1 Gb/s sur 150m) car fréquence plus élevée (des bandes de fréquences plus larges sont disponibles) --> **effet rebond sur la production**
- Les utilisateurs apprécient et consomment plus de données --> **effet rebond des usages**



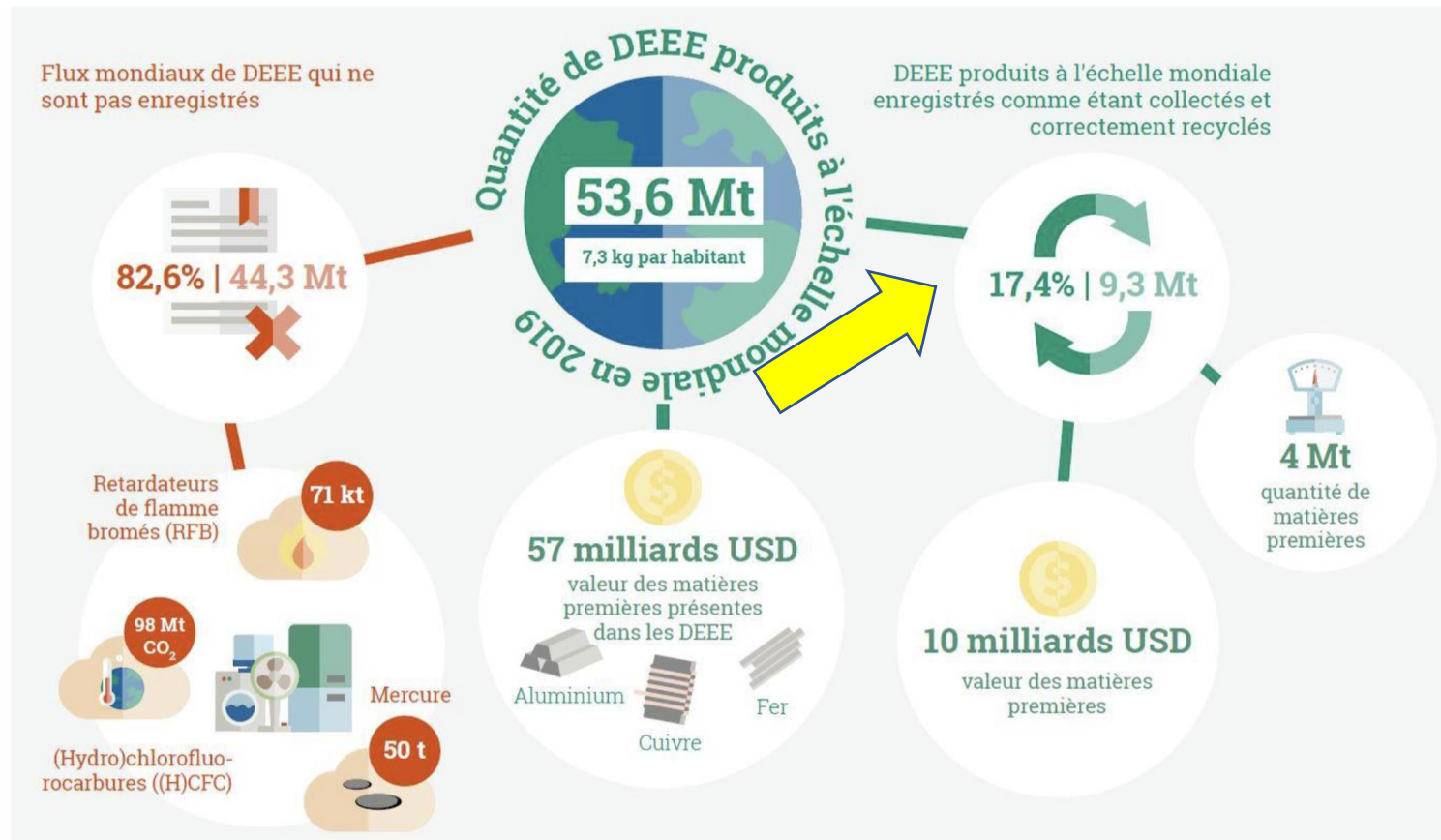
*: Marceau Coupechoux, 5G: un ogre énergétique en puissance ?, Reporterre, 26 nov. 2020.

Fausse solution n°2 : le recyclage

- Plus il y a d'équipements électriques et électroniques (EEE), plus il y a de déchets d'équipements électriques et électroniques à traiter (DEEE).
- Conduit à la mise en place d'une filière de traitement dont l'existence repose sur la production croissante de déchets...
- Exemple de DEEE : l'électroménager, les ordinateurs, les smartphones ou les appareils photo, mais aussi les VAE, les ampoules, les lampes, les climatisations et les réfrigérateurs.



Le recyclage dans le monde, quelles réalités ?



Le recyclage en France

Attention : collecter n'est pas recycler !



hors filière

- Tiroirs
- Déchets ménagers
- Ferraille
- Encombrants
- Ferraille broyée
- ...
- Exports (il)légaux

filières de valorisation



DEEE



2 fois mieux que dans le monde, mais moins de 50% !

sources :
• registre DEEE, Ademe, données 2019



valorisation énergétique



4,64%

reconditionnement / réutilisation (part./totale)



0,9%

35,4



taux de recyclage ?

matière recyclée

Recyclage Matière
→ fractions



élimination contrôlée

pas de valorisation

Taux de collecte proche des 50% en France, mais proche des 20% à l'échelle mondiale

Dans le meilleur des cas : 20 métaux



- Umicore est la "meilleure usine" de retraitement au monde
- Elle recycle... 20 métaux

Reminder : plus de 60 métaux dans un smartphone !

Fausse solution n°3 : numériser tous les secteurs économiques

- Le numérique est une aide précieuse dans de nombreux secteurs
 - Smart grids (réseaux électriques intelligents) pour gestion du mix énergétique (renouvelable, non renouvelable)
 - Simulations numériques pour le climat
- Peut-on généraliser ?

Est-ce que la numérisation peut réduire les émissions de GES mondiale?



L'avis des industriels

Supporting Organisations

GeSI and member companies: Bell Canada, British Telecommunications Plc, Cisco Systems, Deutsche Telekom AG, Ericsson, France Telecom, Hewlett-Packard, Intel, Microsoft, Nokia, Nokia Siemens Networks, Sun Microsystems, T-Mobile, Telefónica S.A., Telenor, Verizon, Vodafone Plc.
Additional support: Dell, LG.

Steering Committee

Deutsche Telekom AG
Luis Neves, Chair of GeSI
The Climate Group
Emily Farnworth
Chair of Steering Committee
British Telecommunications Plc
Chris Tuppen
Cisco Systems
Juan Carlos Castilla-Rubio
Intel
Robert Wright
LG
Alexander Grossmann
Nokia Siemens Networks
Juha-Erkki Mantyniemi
T-Mobile
Allison Murray
Vodafone Plc
Joaquim Croca

Project Director

Molly Webb, The Climate Group

Independent Analysis

McKinsey & Company

- En 2015, GeSI, une organisation représentant l'industrie des TIC sur les questions environnementales, a publié un rapport pour estimer les émissions évitées grâce à la numérisation.
- Ils estiment que les émissions mondiales pourraient être réduites de 20% (12 GtCO₂e) d'ici 2030
... grâce aux smart-cities, smart agriculture, smart...

source : <https://smarter2030.gesi.org/>



L'avis des industriels

Supporting Organisations

GeSI and member companies: Bell Canada, British Telecommunications Plc, Cisco Systems, Deutsche Telekom AG, Ericsson, France Telecom, Hewlett-Packard, Intel, Microsoft, Nokia, Nokia Siemens Networks, Sun Microsystems, T-Mobile, Telefónica S.A., Telenor, Verizon, Vodafone Plc. Additional support: Dell, LG.

Steering Committee

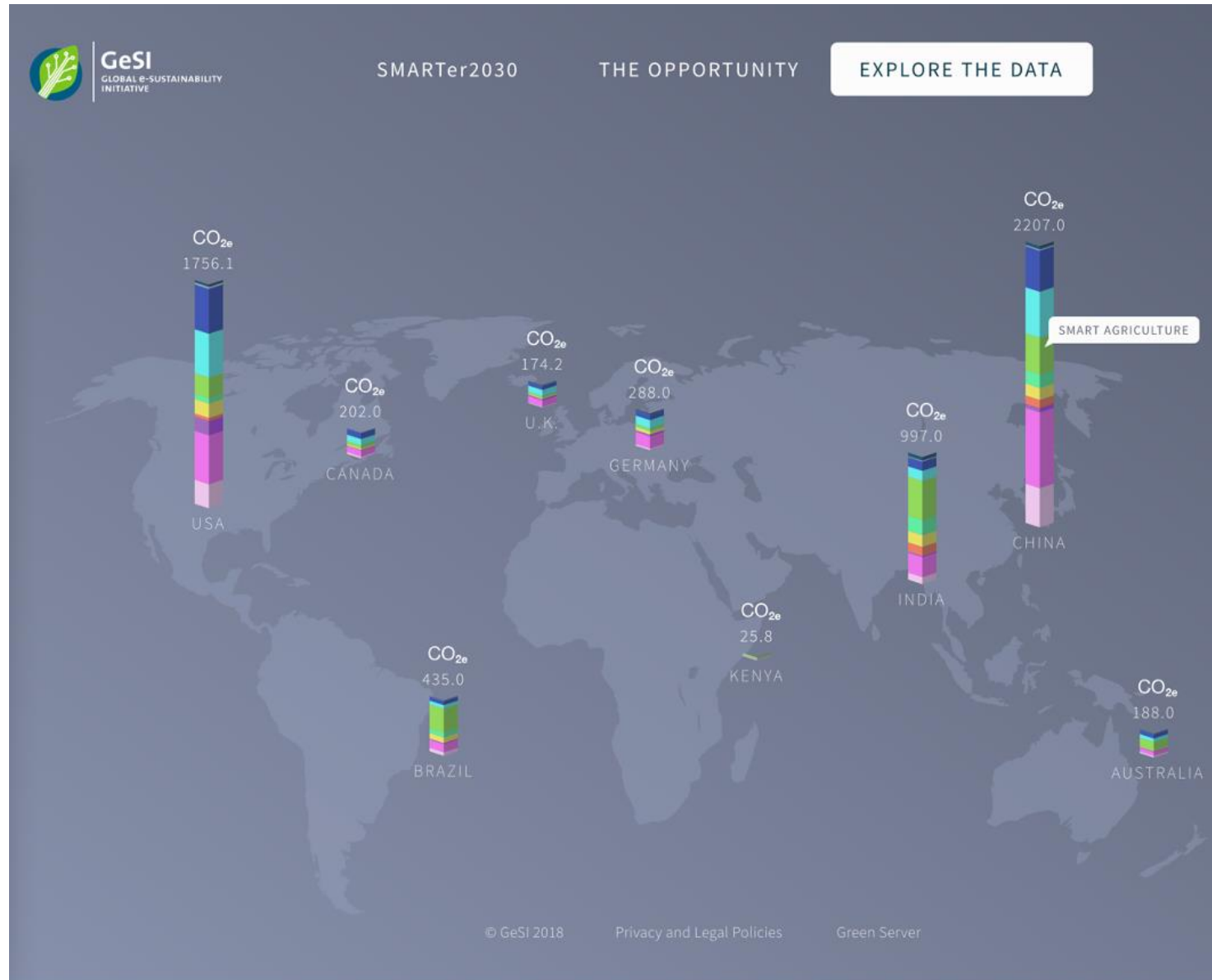
Deutsche Telekom AG
Luis Neves, Chair of GeSI
The Climate Group
Emily Farnworth
Chair of Steering Committee
British Telecommunications Plc
Chris Tuppen
Cisco Systems
Juan Carlos Castilla-Rubio
Intel
Robert Wright
LG
Alexander Grossmann
Nokia Siemens Networks
Juha-Erkki Mantyniemi
T-Mobile
Allison Murray
Vodafone Plc
Joaquim Croca

Project Director

Molly Webb, The Climate Group

Independent Analysis

McKinsey & Company



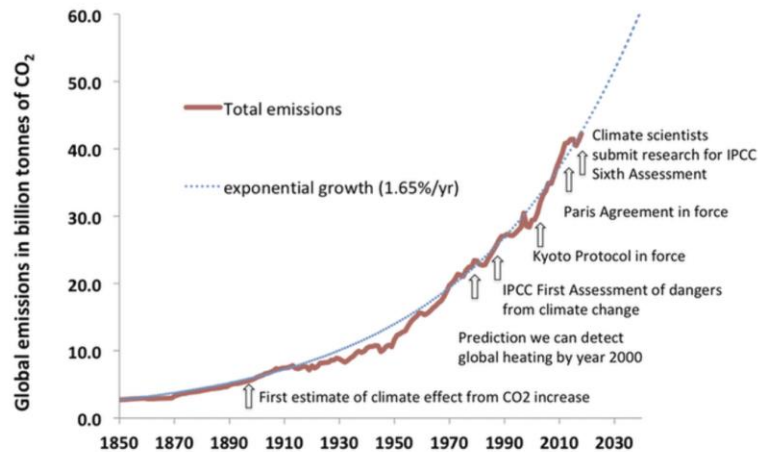
source : <https://smarter2030.gesi.org/>

L'avis des experts

Eric Vidalenc (ADEME)

Le GeSi avait déjà prévu en 2008
20% de réduction pour 2020

POLITIQUES DE LA TRANSITION
ERIC VIDALENC
POUR UNE
ÉCOLOGIE
NUMÉRIQUE



Or on a eu :

Gauthier Roussilhe

- Rapport se concentre sur les effets d'**efficacité** et de **substitution** dans plusieurs secteurs (énergie, industrie, transport, agriculture, etc)
- Estime à la marge les effets **rebond directs** sans les intégrer dans le résultat final.
- Hypothèses d'efficacité trop optimistes avec des taux d'adoption non prouvés.

Pourquoi est-ce complexe?

Exemple de la voiture autonome

Effets positifs

- Meilleure **inclusion** des personnes âgées ou handicapées
- **Réduction consommation** de carburant en coordonnant la et la vitesse
- Dynamiser le marché de l'**autopartage** au détriment de la possession de voitures particulières, en réduisant le parc automobile global et l'énergie grise (production)

Effets négatifs

- Meilleure inclusion des personnes âgées ou handicapées signifie qu'elles utiliseront des véhicules autonomes **au lieu des transports en commun**,
- Les voitures autonomes induisent un nombre substantiel de **trajets à vide**
- **Contourne le problème du parking** qui limite le nombre de voitures.

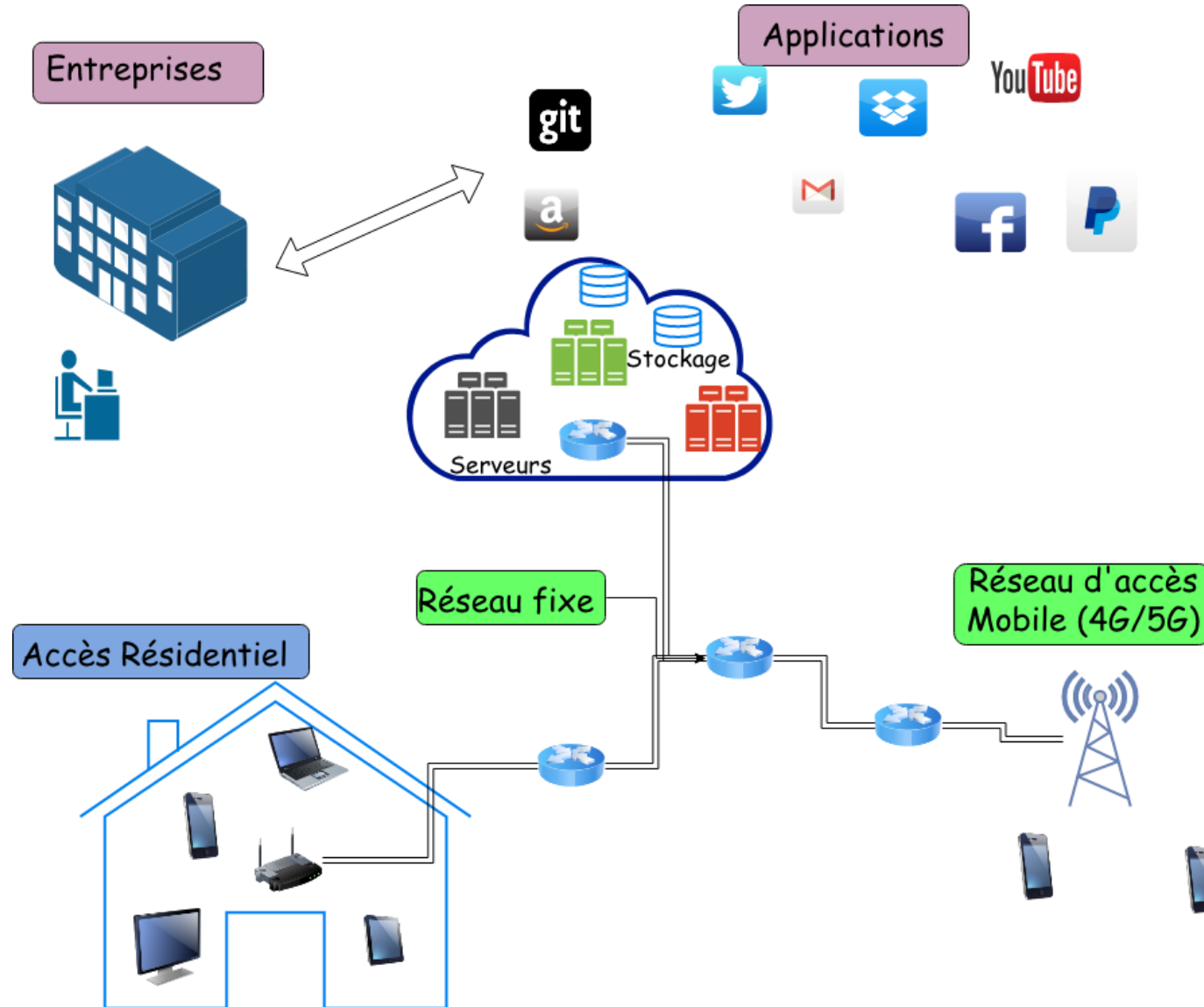
Ex : Comme Chase [13] le dit ostensiblement : "Je programme le [véhicule entièrement autonome] pour qu'il revienne à 9h30, mais je ne me précipite pas parce que la voiture va faire le tour du quartier jusqu'à mon arrivée!"

Digital Rebound – Why Digitalization Will Not Redeem Us Our Environmental Sins

Solutions



Où agir?



Terminaux

- Achat matériel
 - Fabrication a une empreinte environnementale importante
 - Prendre soin de son matériel et le garder le plus longtemps possible
 - Pistes d'action
 - Acheter moins
 - Extension de garantie
 - Acheter du reconditionné
 - Backmarket (<https://www.backmarket.fr/>)
 - <https://iode.tech/> (reconditionné et dégafamisé)
 - Nos mobiles, neufs ou reconditionnés, nous les gardons aussi longtemps !
<https://www.greenit.fr/2021/10/01/portables-neufs-et-reconditionnes-ont-la-meme-duree-de-vie/>
 - Louer : <https://commown.fr/>
 - Choisir des matériels adaptés à ses besoins, ayant un écolabel (liste des Ecolabels ici : <https://agirpoulatransition.ademe.fr/particuliers/labels-environnementaux>) ou reconditionnés)
- Fin de « vie »
 - Penser au réemploi en priorité
 - Lorsque le matériel est hors d'usage, s'adresser à des filières ou associations spécialisées et agréées
 - Ecologic et Ecosystem = 2 éco-organismes agréés pour la collecte des DEEE numériques (recyclage uniquement, pas de réemploi)
 - Réutilisation plutôt que recyclage

Et l'éthique ?

Choisir des fabricants faisant preuve de plus d'éthique, qui fabriquent plus près et dans le respect des droits humains :

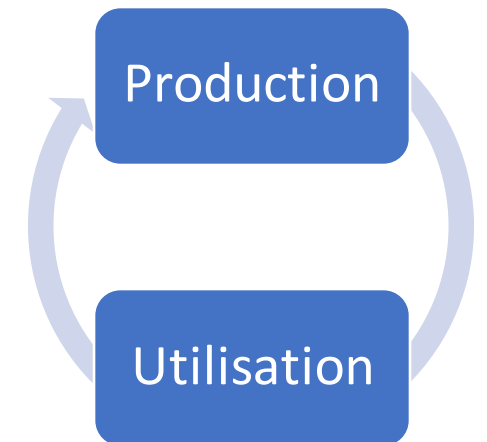
- Fairphone (<https://www.fairphone.com/fr/>)
- Classement des fabricants GreenPeace :
<http://www.greenpeace.org/international/en/campaigns/detox/electronics/how-the-companies-line-up/>
- Choisir d'acheter du matériel raisonné : garanti longtemps, réparable longtemps, matières premières traçables, adapté aux besoins :
 - Why <https://whyopencomputing.ch/>
 - Framework <https://frame.work/fr/en>

EcoLogic

ecosystem
recycler c'est protéger

Réseaux et Data Centers

- Réseau
 - Accès fixe (FTTH, ADSL) versus accès mobile (4G, 5G)
 - Ordinateur → Data Center : réseau fixe
 - Smartphone → Data Center : réseau mobile + réseau fixe
 - Privilégier accès Wifi sur accès mobile 4G/5G
- Datacenter
 - Plus de données = plus de serveurs et de disques dans les DC
 - Plus de haute définition (4K,8K) = plus de serveurs et de disques
 - Notre **utilisation entraine la production** de matériel pour les data centers.
 - Limiter le plus possible les usages demandant des volumes importants de données (vidéo en streaming, jeux en ligne, etc..)



Eco-conception logicielle

- Avant : maîtriser le **nombre de fonctionnalités**, réutiliser des **briques logicielles libres**, planifier la gestion du logiciel...
- Pendant : analyser son code, mesurer les performances...
- Après : **choisir hébergement mutualisé**, labellisé CoC, local, privilégier mutualisation...



Je code : les bonnes pratiques en écoconception de service numérique à destination des développeurs de logiciels



L'empreinte du numérique : responsabilité individuelle ou collective ?

- Les solutions précédentes, pour les particuliers et pour les entreprises relèvent de l'action « individuelle »
- Réduire la consommation du numérique passe aussi par des choix collectifs
 - Le business model est actuel est celui de l'économie de l'attention
 - PDG de Netflix : « Notre plus grand ennemi est le sommeil »
 - Utilisation des biais cognitifs par les applications de réseaux sociaux (toujours connecté)
 - Le business model actuel est aussi celui de la donnée personnelle collectée avec peu ou pas de consentement



L'empreinte du numérique : responsabilité individuelle ou collective ?

- La collecte des données personnelles pour un service gratuit est-elle inéluctable ?
e.g. Framasoft
- Une connectivité permanente ?
e.g. Low tech magazine : un compromis disponibilité/énergie

rent power sources.

On the other hand, an availability of 90% of the time, which roughly equals one month a year, is relatively easy to achieve with off-grid solar. Increasing that availability further, however, leads to rapidly increasing (embodied) energy requirements all the while diminishing absolute gains in uptime. The logic behind this becomes palpable if one looks at an expression common in

'This is a solar-powered website, which means it sometimes goes offline': a design inquiry into degrowth and ICT

Roel Roscam Abbing
roel.roskam-abbings@mau.se
School of Arts and Communication (K3), Malmö Universitet
Malmö, Sweden

