# Impact environnemental du numérique : le connaître, l'évaluer, le réduire

#### Emmanuelle Frenoux

Emmanuelle.Frenoux@universite-paris-saclay.fr



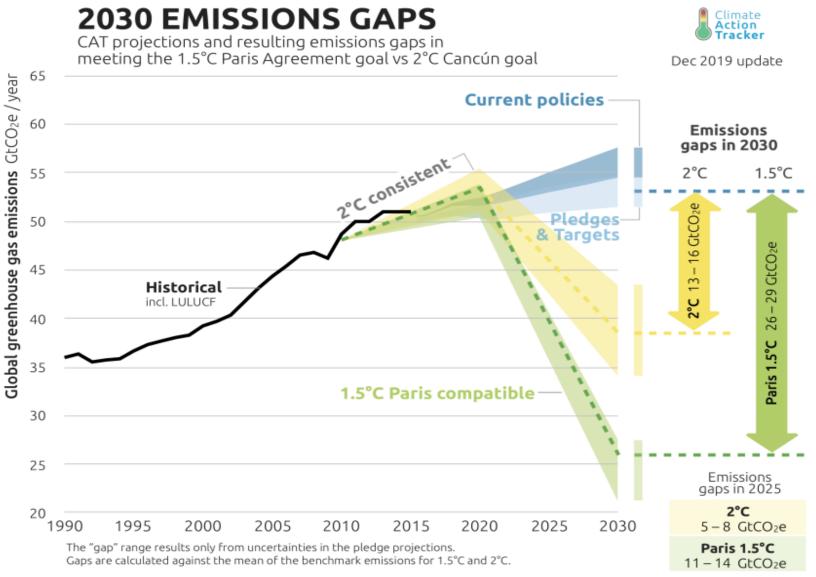


### Quelques éléments de contexte...

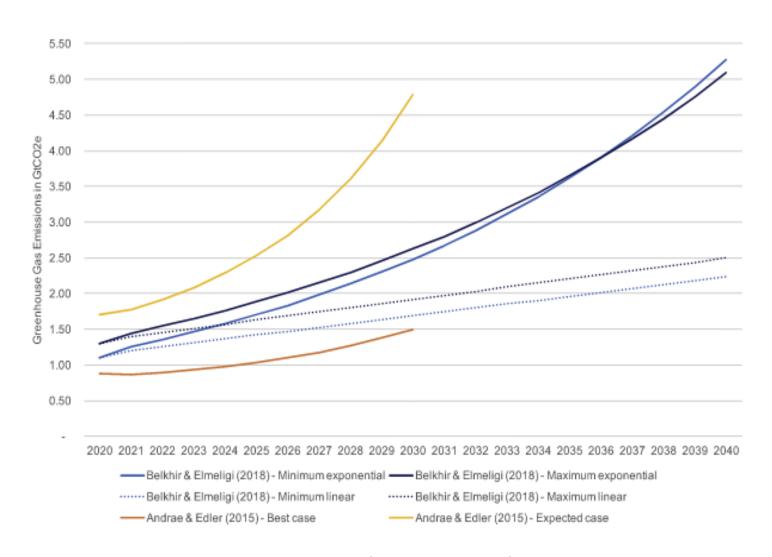


Graeme MacKay/mackaycartoons.net

#### GES et climat, quels objectifs?

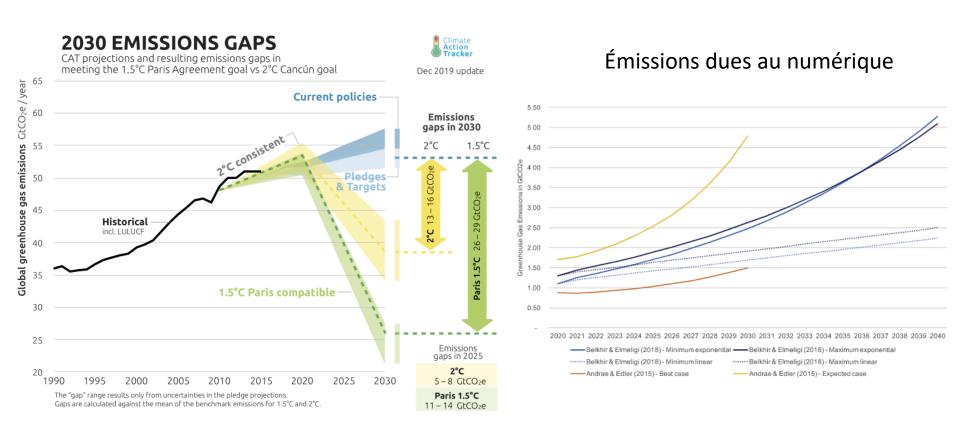


#### Quelles émissions de GES pour le numérique ?

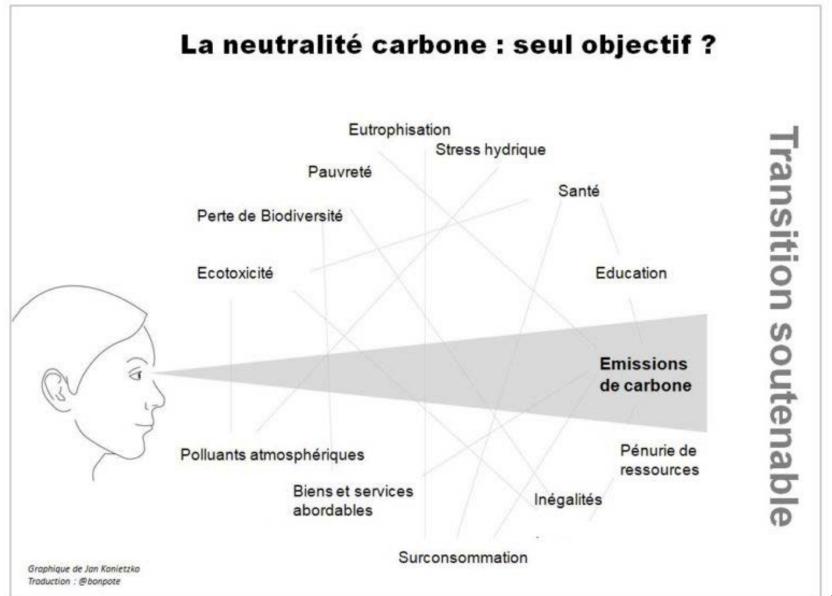


Source: Freitag et al, 2021, «The climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations» <a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8441580/">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8441580/</a>

#### Et si l'on met les deux côte à côte ?



#### Lorsqu'on parle de GES, on met des œillères...

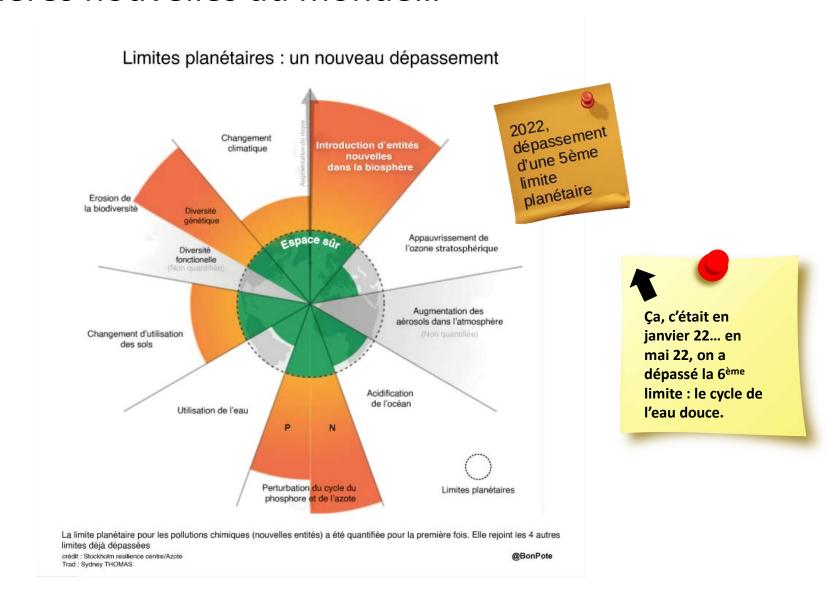


#### Notion de limites planétaires

- Concept proposé en 2009 par une équipe internationale menée par Johan Rockström (Stockholm Resilience Centre) et Will Steffen (Université nationale australienne)
- Seuils que l'humanité ne doit pas dépasser pour
  - ne pas compromettre les conditions favorables dans lesquelles elle a pu se développer
  - pouvoir vivre durablement dans un écosystème sûr
  - éviter les modifications brutales de l'environnement planétaire
- Il y a des interactions entre certaines limites (en dépasser une influe sur les autres)
- Indicateurs régulant la stabilité de la biosphère

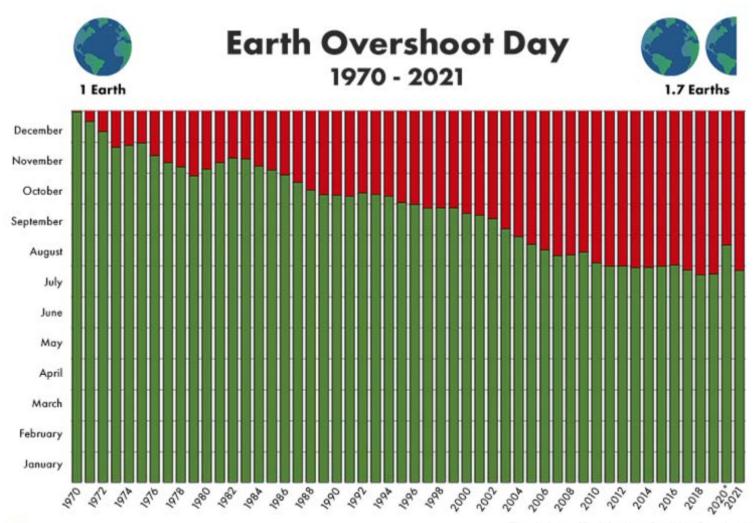
#### Sources:

#### Dernières nouvelles du monde...



#### Sources:

#### Notion de jour du dépassement







"The calculation of Earth Overshoot Day 2020 reflects the initial drop in resource use in the first half of the year due to pandemic-induced lockdowns. All other years assume a constant rate of resource use throughout the year.

Source: National Footprint and Biocapacity Accounts 2021 Edition data.footprintnetwork.org

#### Et par pays, c'est plus parlant...

#### **Country Overshoot Days 2021**

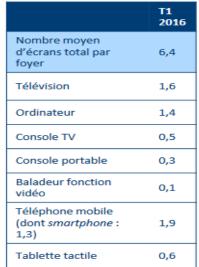
When would Earth Overshoot Day land if the world's population lived like... 2020 : Confinement dû Dec 18 | Indonesia au COVID => le jour du Dec 7 | Ecuador Dec 2 | Nicorogua dépassement a reculé Nov 24 | Egypt, Guatemala Feb 9 | Qatar Nov 20 | Iroq Feb 15 | Luxembourg de 3 semaines. Nov 17 | Cuba + DEC JAN (Le Monde, 5 juin 2020) Nov 2 | Colombia . 404 Mar 7 | United Arab Emirates Mar 14 | Canada, Kuwait, Oct 21 | El Salvador United States of America Mar 22 | Australia Oct 13 | Ghana . Mar 26 | Denmark Oct 5 | Namibia . + Mar 30 | Belgium 2021 Sep 29 | Peru . Apr 5 | Republic of Korea Sep 26 | Gobon + \* Apr 6 | Sweden APR Sep 18 | Viet Nam . \* Apr 10 | Finland, Singapore \* Apr 12 | Norway, Saudi Arabia Sep 16 | Djibouti + \*Apr 16 | Israel Sep 14 | Panama + Apr 17 | Russia Sep 13 | Venezuela\* Sep 11 | Algeria Apr 27 | Ireland, Netherlands FAM April 30 | Slovenia May 5 | Germany
May 6 | Japan INNE \* May 7 | France ATOL May 11 | Switzerland Aug 16 | Costo Rica Aug 15 | Thoiland May 15 | New Zealand Moy 13 | Italy, Portugal May 19 | United Kingdom May 17 | Chile May 22 | Greece May 23 | Montenegro May 25 | Spain Aug 11 | Mexico Aug 8 | Ukraine Jun 7 | China Jul 27 | Brazil Jun 10 | Bahamas Jul 9 | Bolivia Jun 21 | Romania Jul 8 | Paraguay Jul 4 | South Africa Jun 26 | Argentina Jun 30 | Iran Source: National Footprint and Biocapacity Accounts, 2021 Edition Global Footprint Network Advancing the Science of Sustainability data.footprintnetwork.org

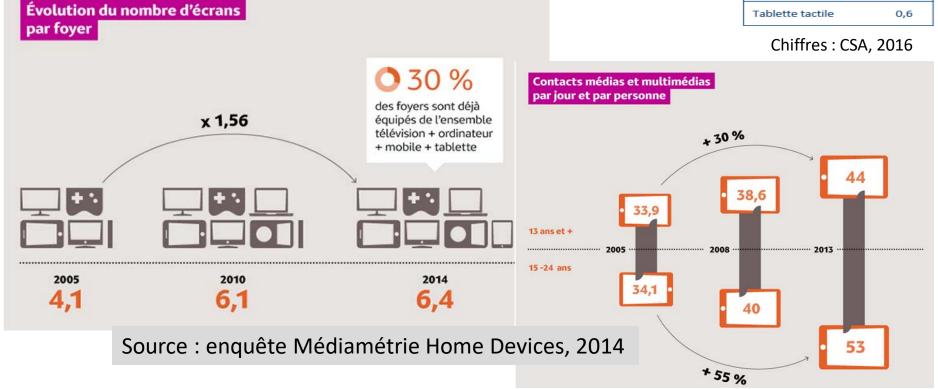
# Comment positionner l'impact environnemental du numérique dans tout ça ?

### Question

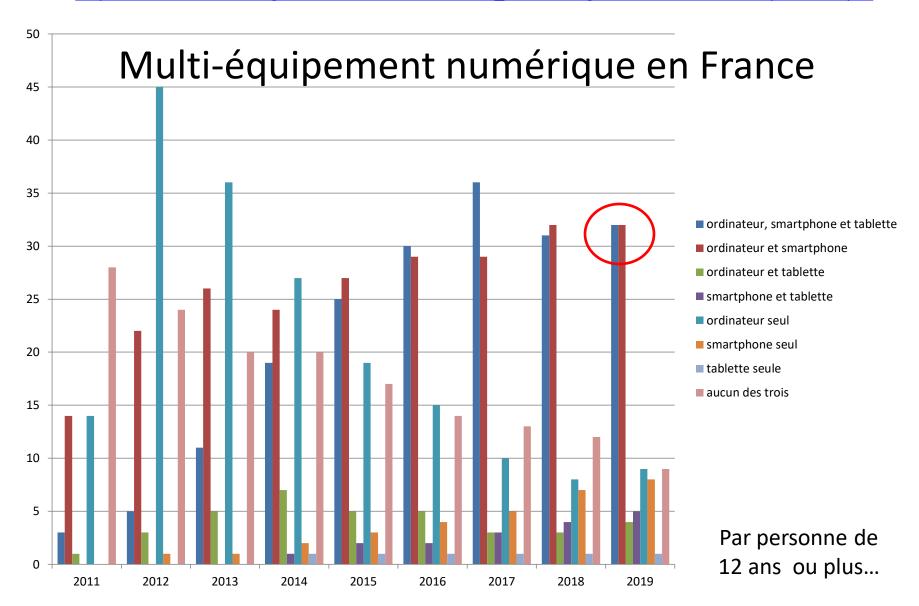
Selon vous, combien y a-t-il d'écrans par foyer en France ?

# Évolution du taux d'équipement des foyers, et des contacts internet





https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions\_services/cge/barometre-numerique-2019.pdf

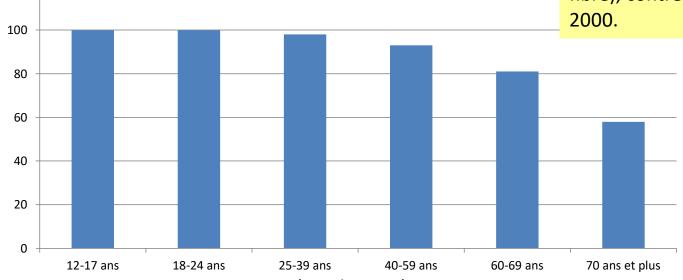


### Proportion d'internautes en 2019

36% de la population française a un abonnement de type VOD, contre 20% en 2016.

### Proportion d'internautes en 2019, par tranche d'âge

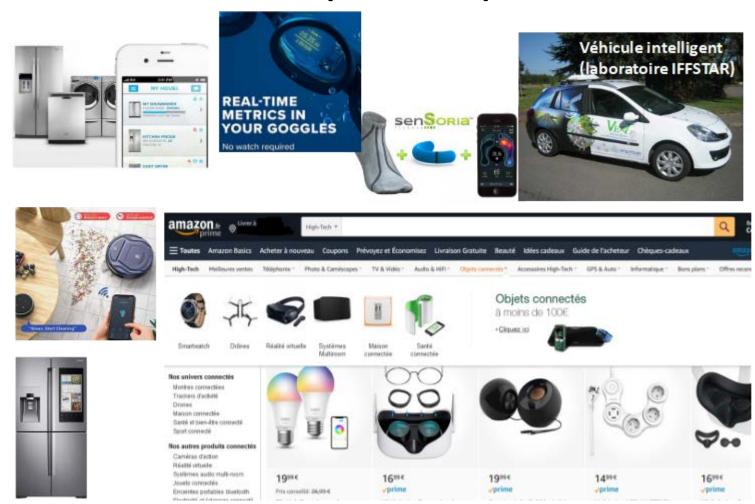
86% de la population 7 française a une connexion internet fixe à domicile (29% *via* la fibre), contre 14% en 2000.



Source : Baromètre du numérique 2019

https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions\_services/cge/barometre-numerique-2019.pdf

# Big Brother is watching you : le numérique est partout!



### Mais pas partout pareil dans le monde

- D'après le Shift Project, en 2018
  - Un américain possédait environ 10 périphériques numériques connectés et a consommé 140 Go de données/mois
  - Un indien possédait 1 seul périphérique numérique connecté et a consommé 2Go de données/mois.

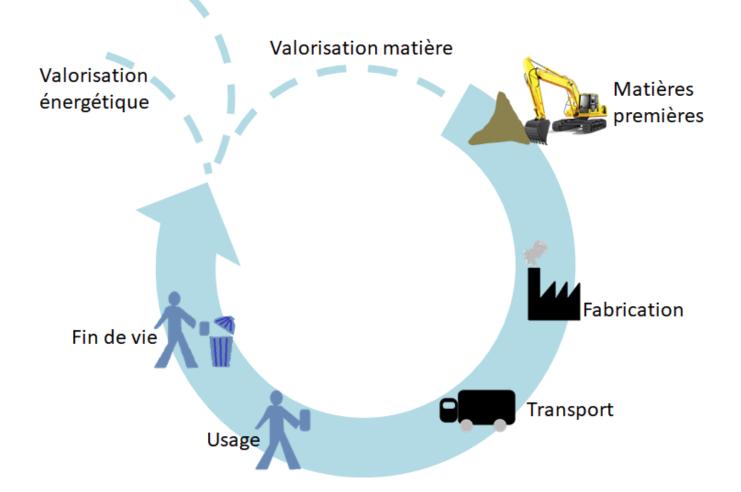
#### Sources:

https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/15625-Connected-Living-Report.pdf

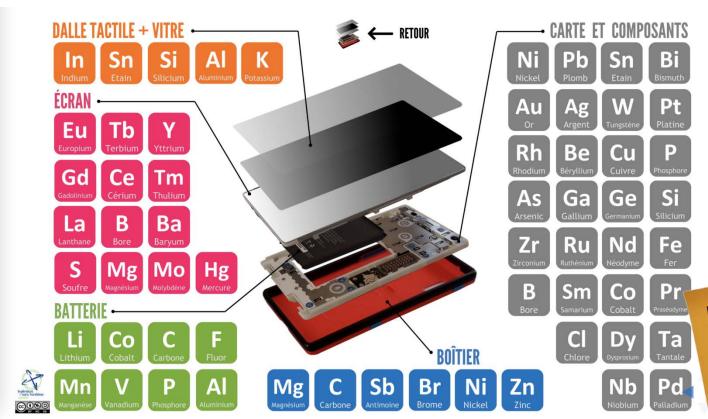
https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions\_services/cge/barometre-numerique-2019.pdf

### Le cycle de vie d'un produit...

Enfouissement



## Les matières premières



sources:

https://www.systext.org/ https://www.systext.org/node/1724 Laurent Lefèvre, EcoInfo, Eido64 2022 métaux, silice,
plastiques
Meilleur, + petit, +
rapide, + fiable:
Gravure des wafers:
10nm, 7nm, 5nm, 3nm
(2022)
Taille des virus
VIH: 90 nm - SARSCoV-2: 50-140 nm

# Métaux rares, une idée des proportions...

- Présents à dose infime dans la nature
  - 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 autonettoyants, ...)
  - 50 tonnes de roche => équivalent de 1kg de gallium (semi-conducteurs, LED, photo-détecteurs, ...)
  - 1200 tonnes de roche => 1kg de lutécium (lanthanide,
     Terre Rare, catalyseur)

# L'industrie électronique consomme chaque année...

- pour l'industrie électronique en général :
  - o 320 tonnes d'or
  - o 7500 tonnes d'argent
  - 22% de la consommation mondiale de mercure
  - 2,5% de la consommation mondiale de plomb
- rien pour les ordinateurs et les téléphones portables
  - 19% de la production globale de métaux rares (palladium)
  - o 23% du cobalt
  - + une quarantaine d'autres métaux

NB : cela ne prend pas en compte les métaux consommés par les infrastructures réseau/électriques

#### Lieux de fabrication et d'extraction...

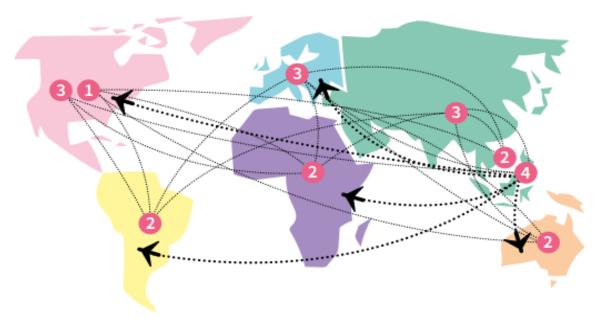
- La majorité des tablettes/smartphones/PC est produite de l'autre côté du globe (30% des imports viennent de Chine, selon les statistiques de l'ambassade de France en Chine); les composants et les matières premières viennent de différents pays...
- Problèmes éthiques, écologiques et de DH :
  - Droits Humains
     <a href="https://www.amnesty.org/fr/latest/campaigns/2016/06/drc-cobalt-child-labour/">https://www.amnesty.org/fr/latest/campaigns/2016/06/drc-cobalt-child-labour/</a>
  - Mise en examen de Samsung en juillet 2019
     <a href="https://www.liberation.fr/depeches/2019/07/03/droits-humains-en-chine-la-filiale-francaise-de-samsung-mise-en-examen 1737705">https://www.liberation.fr/depeches/2019/07/03/droits-humains-en-chine-la-filiale-francaise-de-samsung-mise-en-examen 1737705</a>
  - Gestion de l'environnement/responsabilité environnementale
  - Conflits armés (e.g. guerre du Kivu, au Congo)
  - Transfert de pollution/de responsabilité environnementale

### Une petite question...

D'après vous, quelle distance votre smartphone a-t-il parcouru avant d'arriver dans votre poche ?

## Conception, matières premières, fabrication : mon smartphone, ce pigeon voyageur!

#### QUATRE TOURS DU MONDE POUR FABRIQUER UN SMARTPHONE



- Conception le plus souvent aux États-Unis
- 2. Extraction et transformation des matières premières en Asie du Sud-Est, en Australie, en Afrique centrale et en Amérique du Sud
- 3. Fabrication
  des principaux
  composants en Asie,
  aux États-Unis et en
  Europe
- Assemblage en Asie du Sud-Est

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

Sources : ADEME & France Nature Environnement Selon vous, quel est l'impact principal : l'extraction des matières premières, ou le transport en avion ?

Une simple ACV nous montre que l'extraction des matières premières a beaucoup plus d'impact que le transport!

#### Extraire et traiter les métaux des TIC

- La roche est composée de minerais agrégés où sont incorporés les métaux rares
- Procédés chimiques
- Raffinage :
  - Broyage de la roche
  - Réactifs chimiques (acide sulfurique, acide nitrique, ...)
  - Dissolution (eau, soude, ...)
  - Séparation par solvants
  - Chauffage (jusqu'à plus de 1000° C dans certains cas)
- Pour purifier (rinçage) 1T de terre rare, il faut 200m³ d'eau
   170 000T de terres rares produites en 2018
   un foyer de 2,5 personnes en France en consomme 120m³/an
- Après utilisation, l'eau est chargée en métaux lourds et en acides

#### Et en images...



Une mine d'extraction de métaux rares dans la prise le 6 juillet 2010. — AP/SIPA



Une femme et un enfant cassent de la roche extraite d'une mine de cobalt à Lubumbashi, dans la province du Katanga, en RDC, le 23 mai 2016. (JUNIOR KANNAH / AFP)



Lac toxique de Baotou (Chine) David Gray / Reuters



Mine de chrome, Kazakhstan, crédit photo: businessmir.kz.

#### Conclusion sur les matières premières...

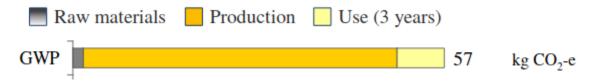
Selon l'organisme Green Cross, l'industrie minière serait la 2ème industrie la plus polluante du monde, derrière le recyclage des batteries au plomb et devant les teintureries, les décharges industrielles, et les tanneries!

Rapport de Green Cross et de Pure Earth (Blacksmith Instute) : <a href="https://greencross.ch/en/news-info-en/environmental-reports/ten-most-dangerous-sources-of-environmental-toxins-2016/">https://greencross.ch/en/news-info-en/environmental-reports/ten-most-dangerous-sources-of-environmental-toxins-2016/</a>

# La production consomme beaucoup d'énergie aussi...

### Impact de la production

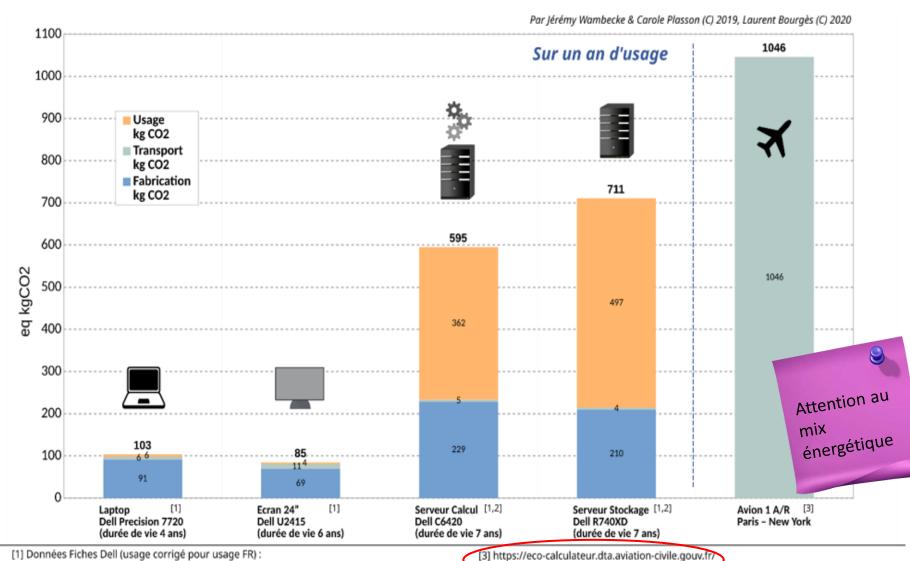
Pour un smartphone, plus de 80% pour la production (hors internet)



Empreinte carbone de chaque phase du cycle de vie d'un smartphone avec un mix électrique mondial

Schéma par Anne-Laure Ligozat (EcoInfo) à partir des données de : Life Cycle Assessment of a Smartphone, Ercan et al, 2016 <a href="https://www.researchgate.net/publication/308986891">https://www.researchgate.net/publication/308986891</a> Life Cycle Assessment of a Smartphone

#### Empreinte carbone des équipements numériques



Facteur d'impact : 0,108 kgCO2e/kWh (FR)

 <sup>[1]</sup> Données Fiches Dell (usage corrigé pour usage FR):

 (https://www.dell.com/learn/us/en/uscorp1/corp-comm/environment\_carbon\_footprint\_products)

 [2] Usage à partir de la consommation moyenne (Berthoud et al. 2020) d'un noeud = 275W (C6420),
 375W (R740XD) (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02549565)

# Empreinte de la production : acheter moins, et mieux

- Prolonger la durée de vie des matériels, acheter moins
- Acheter du matériel raisonné, garanti longtemps, réparable longtemps ou reconditionné (20% imposés par la loi)
- Prendre en compte les critères d'achat responsable
- Louer
- Mutualiser

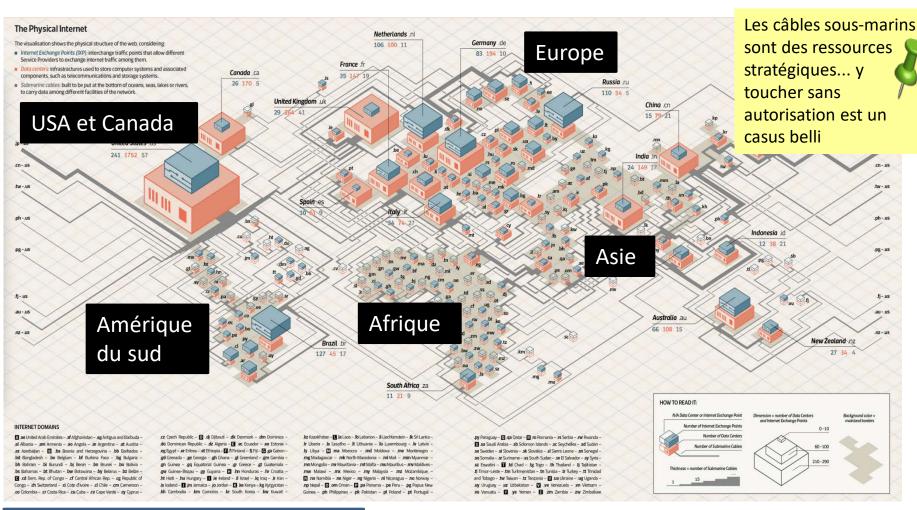


#### DONS.ENCHERES-DOMAINE

Dons des biens mobiliers du Domaine

# Au-delà du matériel, les infrastructures...

### Infrastructures réseau et câbles...





#### source:

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

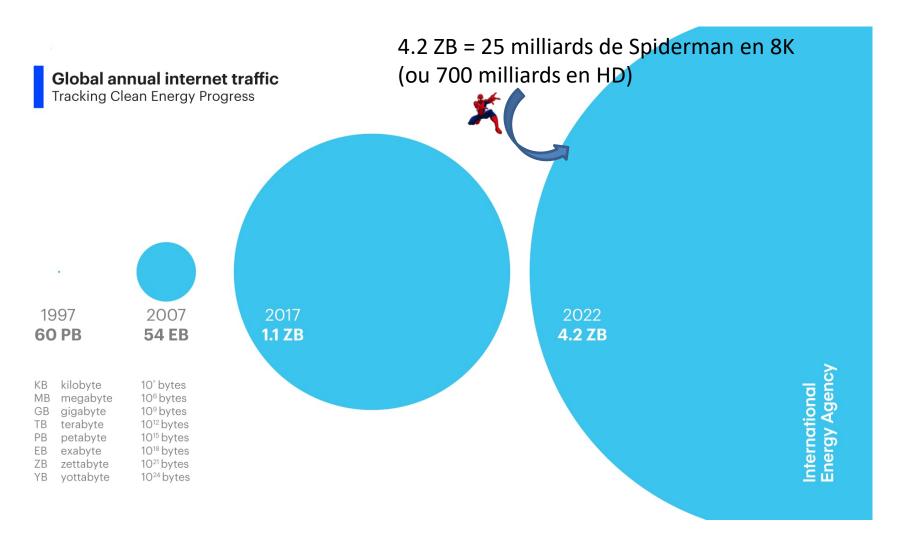
#### Combien de Data Centers?

- En 2019, selon le site <a href="https://www.datacentermap.com/">https://www.datacentermap.com/</a>:
   4 438 centres dans le monde, répartis dans 122 pays
- Au 5 janvier 2022 : 4877 DC en tout, 1825 aux USA, 160 en France

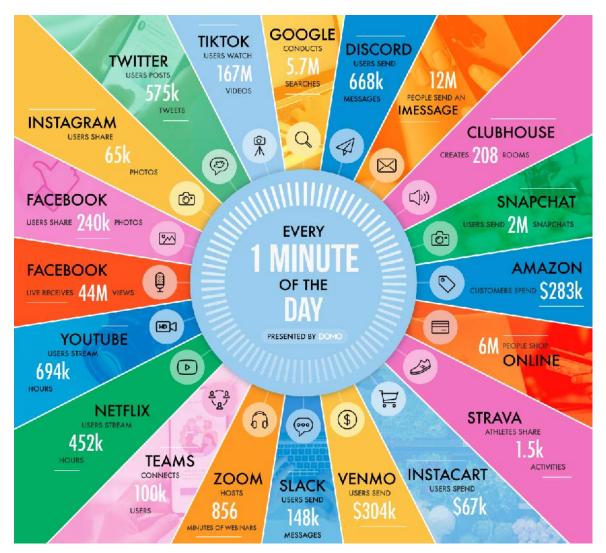


# Et à propos de données... quel volume ?

#### Volume de données annuel, chronologie...

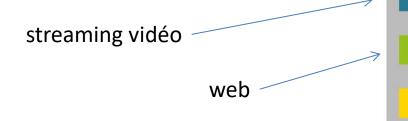


# Que se passe-t-il sur Internet en une minute ?





## Il y a quoi, dans tous ces octets??



Skype, etc... -----

#### GLOBAL APPLICATION CATEGORY TRAFFIC SHARE

- VIDEO STREAMING
  - 60.6%(+2.9) \$\rightarrow\$ 22.2%(-0.1) \$\dagger\$
- WEB
  - 13.1%(-3.8) 🛡 10.3%(-10.6) 🎓
- GAMING
  - 8.0%(0.2) 4.9%(+2.2) 1
- SOCIAL
  - 6.1%(+1.1) 7.6%(+3.8)
- FILE SHARING
- 4.2%(+1.4) 🛡 30.2%(+8.1) 👚
- MARKETPLACE
  - 2.6%(-1.9) 🛡 1.6%(-0.2) 👚
- SECURITY AND VPN
  - 1.6%(+0.2) 🗣 5.3%(-2.1) 👚
- MESSAGING
  - 1.6%(-0.1) 🕹 8.3%(-0.1) 👚
- CLOUD
  - 1.4%(+0.01) 🛡 9.0%(-0.3) 👚
- AUDIO STREAMING
- 0.4%(-0.5) 🗣 0.3%(-0.1) 👚

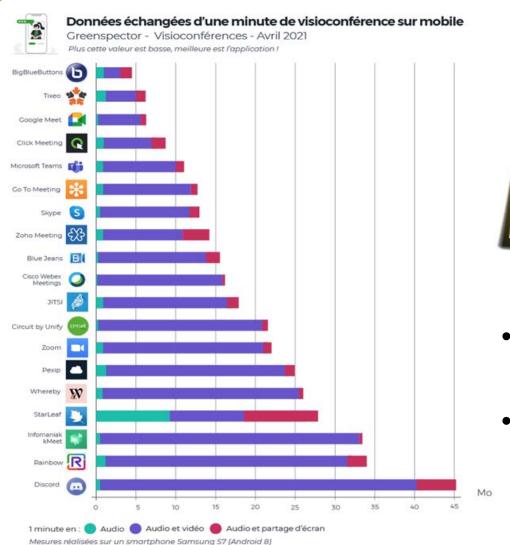
#### Source:

"The Global Internet Phenomena Report", 2019, Sandvine

## Impact des données, quelques bonnes pratiques

- Limiter le visionnage et l'écoute en streaming.
  - Désactiver l'auto-play et tout ce qui procède de la captation d'attention (un plugin possible : Minimal, <a href="https://minimal.aupya.org/">https://minimal.aupya.org/</a>).
- Diminuer la résolution des vidéos pour le visionnage.
- Stopper la pub des sites web.
  - Avec un bloqueur (<a href="https://adblockplus.org/fr/">https://adblockplus.org/fr/</a>)
  - En trompant le navigateur (<a href="https://www.greenit.fr/2015/09/15/web-eliminer-definitivement-les-publicites/">https://www.greenit.fr/2015/09/15/web-eliminer-definitivement-les-publicites/</a>)
- Télécharger avec modération

#### Focus visioconférences et webinaires



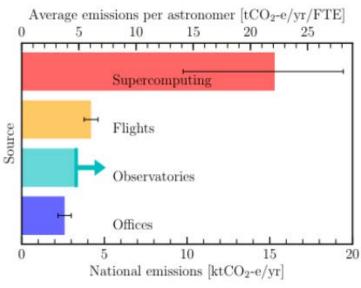


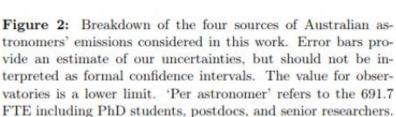
Bonus saturation cognitive

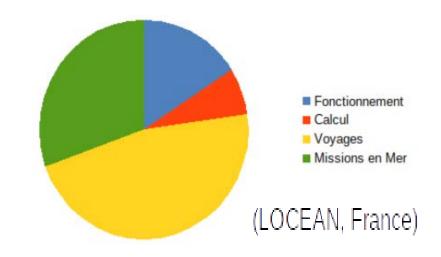
- En visio, désactiver la vidéo après s'être dit bonjour.
- Pour un webinaire : télécharger la vidéo pour la regarder ensuite hors connexion.

## Les TIC, c'est aussi du code!

#### Y compris du calcul scientifique







#### Exemple dans des publications en TAL

Entraîner un modèle de réseaux de neurones profond « à l'état de l'art » pour faire de la traduction, peut monter jusqu'à l'impact de la durée de vie de 5 voitures!

Les durées d'entrainement
peuvent aller de quelques jours à
plusieurs semaines.

Il faut choisir judicieusement son modèle.

Consumption	CO <sub>2</sub> e (lbs)
Air travel, 1 passenger, NY↔SF	1984
Human life, avg, 1 year	11,023
American life, avg, 1 year	36,156
Car, avg incl. fuel, 1 lifetime	126,000
Training one model (GPU)	
NLP pipeline (parsing, SRL)	39
w/ tuning & experimentation	78,468
Transformer (big)	192
w/ neural architecture search	626,155

Table 1: Estimated CO<sub>2</sub> emissions from training common NLP models, compared to familiar consumption.<sup>1</sup>

Source: Strubell *et al.*, Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP, 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2019.

# Exemple similaire dans des publications en traitement d'images

- Les réseaux de neurones convolutionnels (CNN), très utilisés depuis quelques années en traitement d'images car très précis ne sont pas moins énergivores.
- Li *et al* en ont proposé une évaluation très détaillée, en fonction des étapes et des outils utilisés.

Source: Da LI *et al*, Evaluating the energy efficiency of deep convolutional neural networks on CPUs and GPUs, IEEE BDCloud-SocialCom-SustainCom 2016.

## Réduire l'impact du code



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

#### Par exemple:

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

#### Réduire l'impact du calcul scientifique

- Minimiser le nombre d'expériences
  - préparation
  - réutilisation de modèles, mise en commun de calculs
- Minimiser leur impact
  - choix du centre de calcul : location, efficacité énergétique

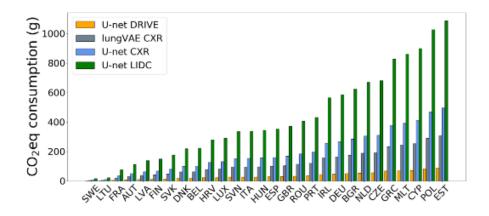


Figure 4. Estimated carbon emissions (gCO<sub>2</sub>eq) of training our models (see Appendix B) in different EU-28 countries. The calculations are based on the average carbon intensities from 2016 (see Figure 8 in Appendix).

## Fin de vie petit EEE deviendra grand DEEE

- Depuis août 2018, selon l'ADEME, il y a 7 catégories de DEEE
  - Équipements d'échange thermique
  - Écrans, moniteurs et équipements comprenant des écrans d'une surface supérieure à 100 cm²
  - Lampes
  - Gros équipements
  - Petits équipements
  - Petits équipements informatiques et de télécommunications
  - Panneaux photovoltaïques

On inclut aussi les VAE depuis quelques mois

## Évolution de la quantité de DEEE dans le monde

Petit cours de conversion...

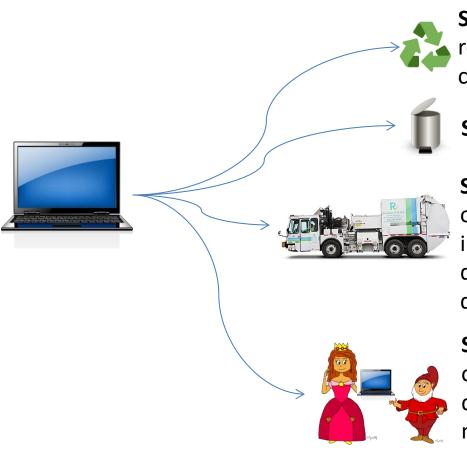
44.7 millions de tonnes

= 4500 tours Eiffel



Source: Global E-wasteMonitor 2020, Forti, Baldé, Ruediger Kuehr, Garam Bel http://ewastemonitor.info/

## Que se passe-t-il pour ces déchets?



**Scenario 1 :** passage par une filière de recyclage officielle agréée (points de collecte, etc...)

Scenario 2 : poubelle « tout venant »

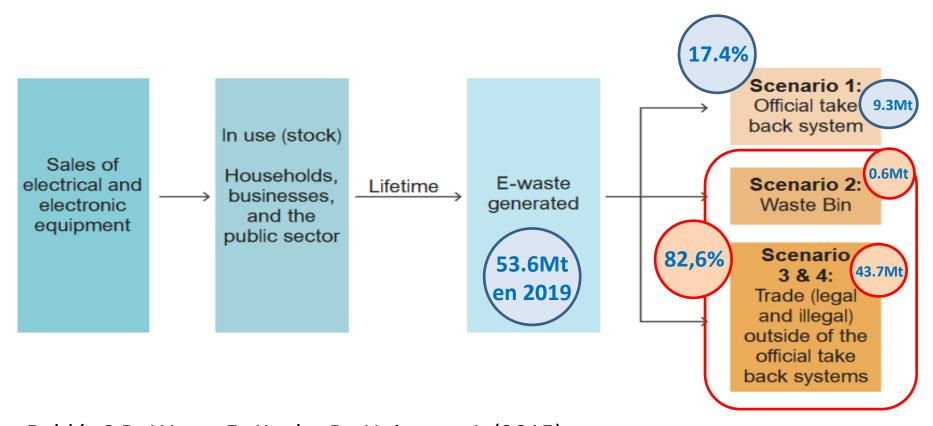
**Scenario 3 :** collecte hors de la filière officielle, dans un pays ayant une infrastructure de gestion des e-déchets développée (risque de non dépollution et d'export, pas de traçage)

**Scenario 4 :** collecte hors de la filière officielle, sans infrastructure de gestion des e-déchets (acheteurs au poids, don, marché seconde main, démantèlement, décharge sauvage, incinération)

#### Question...

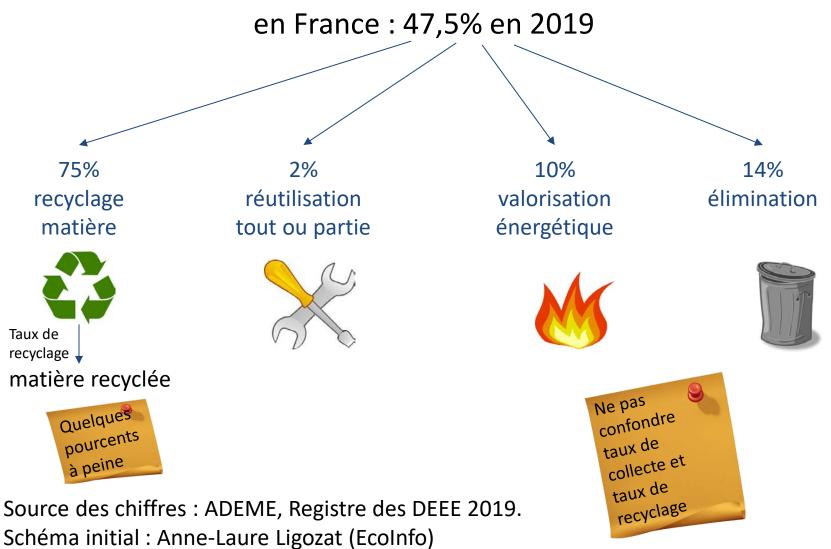
D'après-vous, quelle est la proportion des DEEE qui finit dans une filière de recyclage adaptée ?

## Taux de collecte des déchets électroniques dans le monde



Baldé, C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J. (2015), The global e-waste monitor – 2014, United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany. Dernière mise à jour : 2020

#### Pour les DEEE collectés en France



54

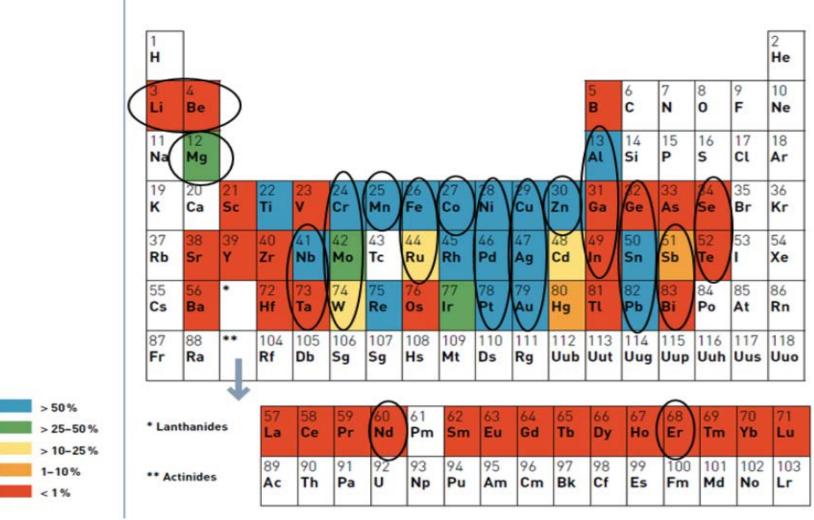
## DEEE, exportation, trafic, en images



décharge d'Agbogbloshie, Accra, Ghana

# Après la collecte, le recyclage... quel taux ?

#### Taux de recyclage des métaux des TIC



Source: Recycling Rates of Metals, A Status Report. United Nation Environment Program <a href="https://www.resourcepanel.org/file/381/download?token=he\_rldvr">https://www.resourcepanel.org/file/381/download?token=he\_rldvr</a>

## Pourquoi les chiffres sont-ils si bas ?

- Alliages
- Quantités infinitésimales inséparables (dispersion)
- Superposition et entrelacement de matériaux
- Ce n'est pas rentable financièrement (coût du recyclage supérieur à celui de la matière première)
- les métaux rares sont utilisés sous forme d'alliages
  - dés-allier les alliages de métaux rare nécessite
    - Haute température
    - Sel de montagne
  - dés-allier les aimants aux terres rares nécessite
    - Beaucoup de produits chimiques
    - Techniques longues et coûteuses

=> Bilan environnemental douteux...



Transition énergétique : attention aux métaux stratégiques ! Alain Liger Metals for a low-carbon society, O. Vidal et al, 2013

A. Liger: <a href="https://studylibfr.com/doc/2510789/transition-%C3%A9nerg%C3%A9tique---attention--m%C3%A9taux-strat%C3%A9giques-8">https://studylibfr.com/doc/2510789/transition-%C3%A9nerg%C3%A9tique---attention--m%C3%A9taux-strat%C3%A9giques-8</a>
O. Vidal: <a href="https://www.researchgate.net/publication/258514690">https://www.researchgate.net/publication/258514690</a> Metals for a low-carbon society

#### Fin de vie : quelques bonnes pratiques

- Le meilleur DEEE est celui qu'on ne produit pas
  - Prolonger la durée de vie au delà de 5 ans : acheter des extensions de mémoire, réparer
  - Favoriser le réemploi
- Lorsque le matériel est hors d'usage, s'adresser à des filières ou associations spécialisées et agréées

# Fin de vie : déjouer l'obsolescence liée au logiciel

- Installer des systèmes compétitifs sur de « vieilles » machines
  - ex : Emmabuntüs, <a href="https://emmabuntus.org/">https://emmabuntus.org/</a>
- Utiliser des logiciels libres
  - https://reporterre.net/Contre-l-obsolescence-informatique
- S'affranchir des GAFAM
  - Commown propose des Fairphones dégafamisés depuis 2018 (<a href="https://commown.coop/nos-offres/fairphone-3/">https://commown.coop/nos-offres/fairphone-3/</a>); sous /e/OS pour les Fairphones 3 et 3+ (<a href="https://e.foundation/fr/">https://e.foundation/fr/</a>)
  - https://iode.tech/ (dégafamisé et reconditionné)

# Quand on parle impact environnemental, il y a différents types d'impacts

## Impacts indirects ou induits

type	périmètre	effet		exemples
1 <sup>er</sup> ordre <b>direct</b>	technologies elles-mêmes	impacts du cycle de vie		énergie grise / consommation électrique d'un ordinateur
2 <sup>ème</sup> ordre indirect	applications	optimisation	substitution	smart-*/ dématérialisation
		obsolescence	induction	bureautique / imprimante → 7 papier
3 <sup>ème</sup> ordre <b>structurel</b>	sous-partie de	rebono	l direct	km covoiturés sont moins chers 7 km
	l'économie	rebond	indirect	covoiturage → économies → 7 km avion
	économie	croissance é	conomique	🔰 générale des coûts / création économ.
		accélération		mondialisation des échanges / financiarisation de l'économie
	société	transformation sociétale		télétravail → éloignement du logement

source: Jacques Combaz (EcoInfo)

## Effet rebond/paradoxe de Jevons

Augmentation de consommation liée à la réduction des limites à l'utilisation d'une technologie.

Exemples : covoiturage, télétravail, gain

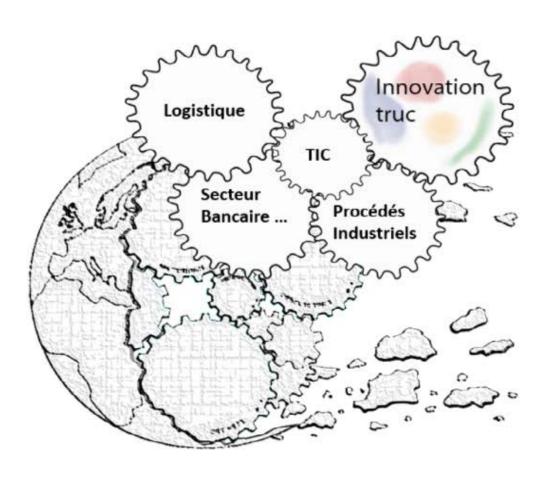
d'efficacité...





En clair : ce n'est pas parce que ça impacte deux fois moins qu'on peut en fabriquer/utiliser deux fois plus !

#### Effet d'accélération



#### 1 - ajoute

- De la dépendance
- De la complexité

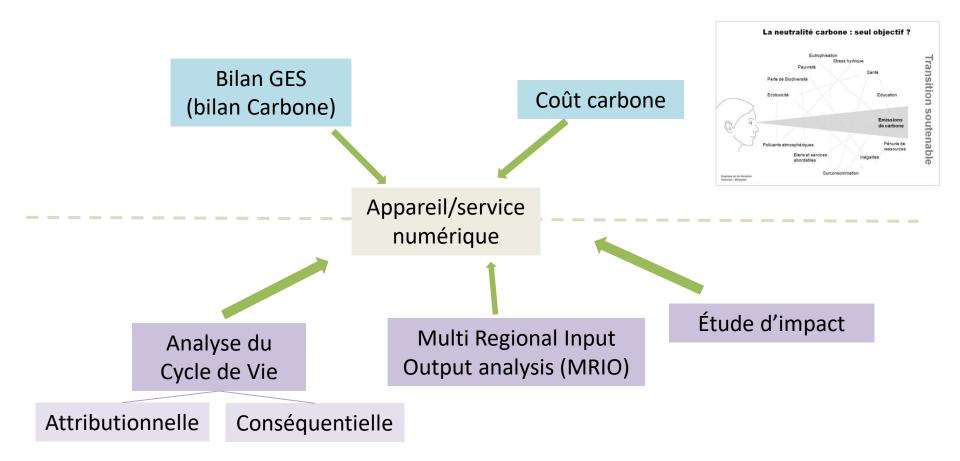
#### 2 - accélération

- Des flux (de marchandises, de personnes, financiers)
- Des procédés de production
- De l'obsolescence directe (équipements numériques euxmême)
- De l'obsolescence indirecte

#### Source:

Concrètement, comment mesurer ?

## Mesurer l'impact environnemental d'un appareil ou d'un service numérique



https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-laction/dossier/lanalyse-cycle-vie/quest-lacv https://consequential-lca.org/clca/why-and-when/

https://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/?L-etude-d-impact-sur-l-environnement-cadre-general

#### Outils de mesure

#### Outils de mesure de puissance :

- PDU (Protocol Data Unit ou Unité de données de protocole),
   wattmètre, ampèremètre
- paramètres de ces outils : fréquence, échantillonnage, précision, multi-prises, actionnables à distance, ...

#### Outils logiciels de mesure de consommation du logiciel :

- Power API
- Intel Power Gadget
- Mac Power Meter (comparaison logiciel/wattmètre)

#### Un exemple de mesure du coût du transit des données :

https://ecoinfo.cnrs.fr/wp-content/uploads/2020/12/Rapport-revise-1Go-VF02-2021.pdf

#### Outils de mesure

#### Outils de mesure en ligne pour l'impact d'une page web

- Carbonalyser : extension du navigateur calculant le carbone émis pendant un temps d'utilisation du navigateur
- Ecometer : analyse l'impact environnemental d'un site
- Ecoindex : analyse l'impact environnemental d'un site
   Attention, certains outils sont critiqués pour leur imprécision.

Évaluer son matériel : Ecodiag

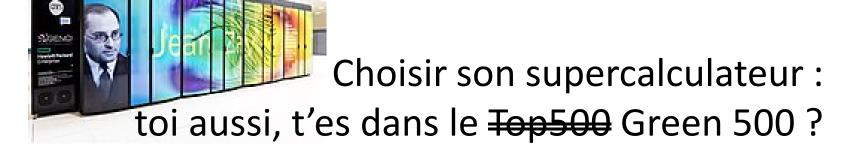
https://ecoinfo.cnrs.fr/ecodiag-calcul/

Effectuer le bilan GES du labo : GES1point5

https://www.labos1point5.org/ges-1point5



> On peut aussi faire auditer son centre de calcul

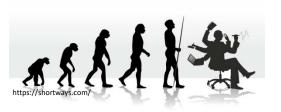


TOP500: projet d'évaluation des 500 plus gros supercalculateurs en termes de performances sur des benchmarks d'analyse numérique.

Depuis 2007 : Green 500 évalue l'efficacité énergétique.

https://top500.org/

https://www.top500.org/lists/green500/



#### Vers la sobriété numérique...

- Ralentir, diminuer nos usages
- Mutualiser
- Avoir un usage raisonné du numérique et des services en ligne
- Débrancher/éteindre (ordinateurs, serveurs, smartphones, ...)
- Mettre les Low Techs à la mode

# Pour aller plus loin... quelques reportages sur le sujet

La tragédie électronique, Arte (2014)

http://download.pro.arte.tv/uploads/tragedie-electronique.pdf https://boutique.arte.tv/detail/tragedie\_electronique

 Déchets électroniques, le grand détournement, France 5 (2019)

https://www.youtube.com/watch?v=uZI99xZDVkg

- Conf TEDxLille de Guillaume Pitron sur les métaux rares <a href="https://www.youtube.com/watch?v=LVWUDLBYb-Q&feature=youtu.be">https://www.youtube.com/watch?v=LVWUDLBYb-Q&feature=youtu.be</a>
- La Face Cachée des vertes, Arte (2020)
   <a href="https://www.arte.tv/fr/videos/084757-000-A/la-face-cachee-des-energies-vertes/">https://www.arte.tv/fr/videos/084757-000-A/la-face-cachee-des-energies-vertes/</a>

# Bibliographie et WEBographie pour aller plus loin...

- Impacts écologiques des technologies de l'Information et de la Communication, Groupe ÉcoInfo, Ed. edp sciences, coll. QuinteSciences, 2012.
- Peut-on croire aux TIC vertes ? F. Flipo et al., Ed. Presses des Mines, Coll. Développement durable, 2012.
- Site groupe ÉcoInfo CNRS : <a href="http://ecoinfo.cnrs.fr">http://ecoinfo.cnrs.fr</a>
- Les dessous du GreenWeb
   https://positivr.fr/dessous-green-web-professeur-feuillage-commown/
- Sobriété Numérique, les clés pour agir. Frédéric Bordage, Ed. Buchet-Chastel, 2019.

# Bibliographie et WEBographie pour aller plus loin...

- L'impératif de la sobriété numérique, l'enjeu des modes de vie. Fabrice Flipo, Ed. Matériologiques, 2020.
- Référentiel de connaissances pour un numérique écoresponsable, EcoInfo,
  - https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02954188/document
- La Guerre des Métaux Rares, Guillaume Pitron, Ed. Les Liens qui Libèrent, 2019.
- L'Âge des low tech. Vers une civilisation techniquement soutenable. Philippe Bihouix, Ed. Seuil, 2014.
- Recyclage, Le Grand Enfumage, Flore Berlingen, Ed. Rue de l'Échiquier, 2020.

# Bibliographie et WEBographie pour aller plus loin...

- Guide pratique de l'ADEME, La face cachée du numérique <a href="http://www.ademe.fr/face-cachee-numerique">http://www.ademe.fr/face-cachee-numerique</a>
- Publication de carbone 4 sur la part que chacun peut prendre au changement <a href="https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Publication-Carbone-4-Faire-sa-part-pouvoir-responsabilite-climat.pdf">https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Publication-Carbone-4-Faire-sa-part-pouvoir-responsabilite-climat.pdf</a>
- Notre empreinte cachée, Babette Porcelijn, Ed. Seuil, collection Anthropocène, 2018.
- L'entraide, l'autre loi de la jungle, Pablo Servigne et Gauthier Chapelle, Ed. Les Liens qui Libèrent, 2017.

