

Numérique et urgence environnementale : comprendre les enjeux, savoir agir

Emmanuelle Frenoux, Philippe Ciblat

Emmanuelle.Frenoux@universite-paris-saclay.fr

Philippe.Ciblat@telecom-paris.fr



POUR UNE INFORMATIQUE ÉCO-RESPONSABLE





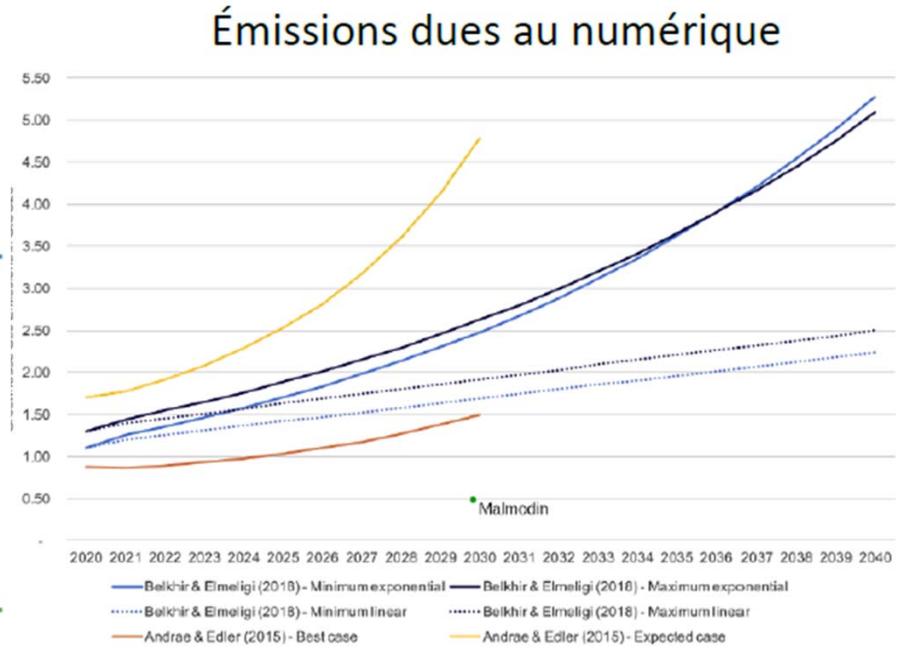
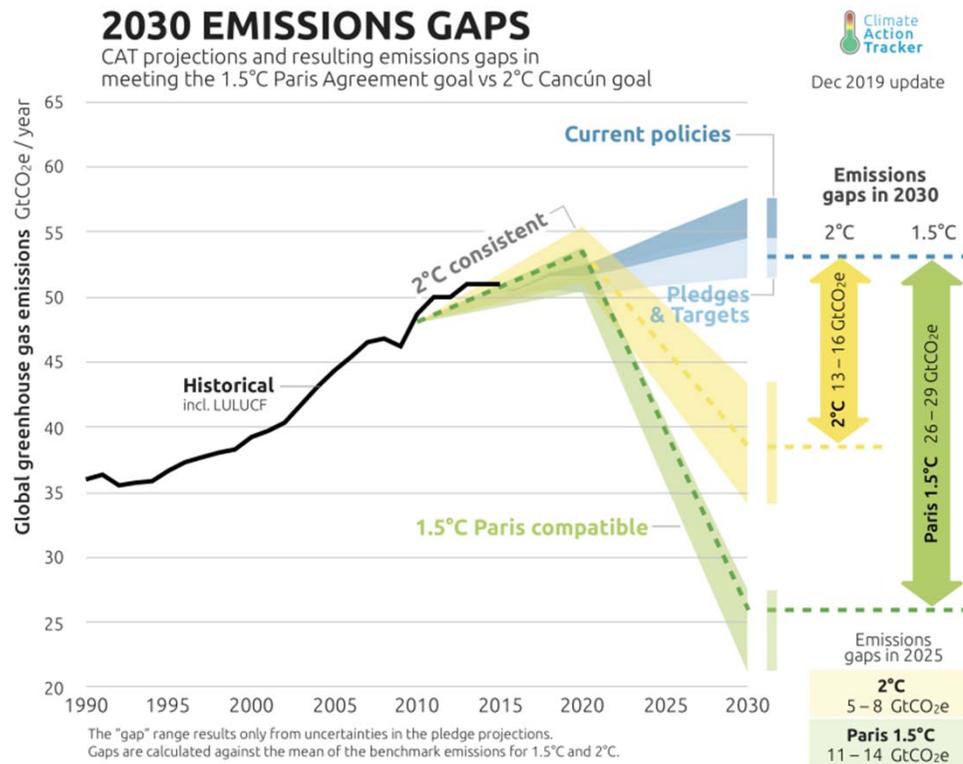
Soutenu par deux instituts du CNRS :

- informatique (INS2I)
- écologie et environnement (INEE)

> 50 ingénieurs et enseignants et/ou chercheurs de l'ESR partout en France

**Agir pour réduire les impacts environnementaux
et sociétaux (négatifs) des TIC**

Objectif GES vs émissions du numérique



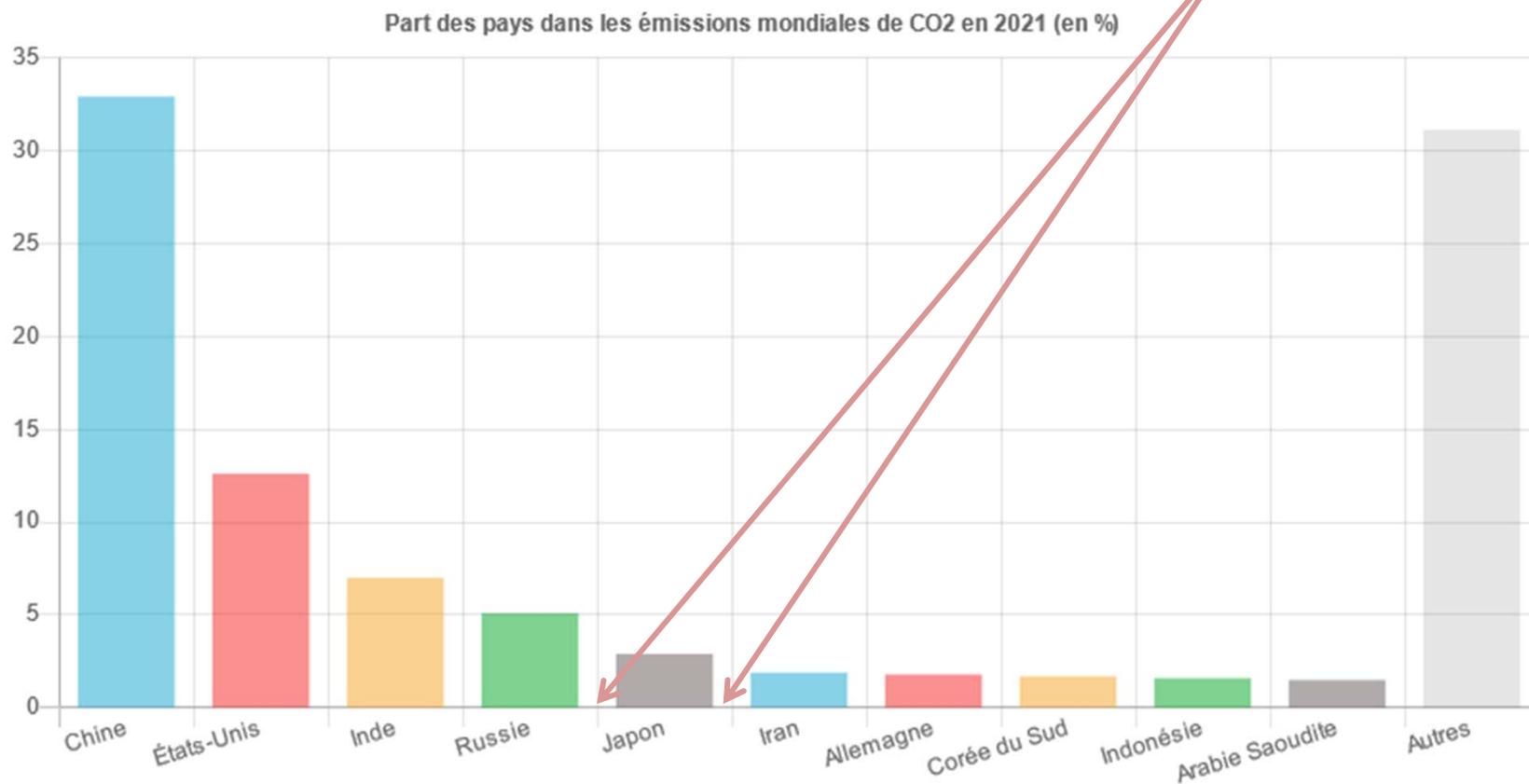
Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S., and Friday, A. (2021). The real climate and transformative impact of ict: A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns*, 2(9) :100340

La tendance à l'augmentation est finalement confirmée aussi par Malmodin *et al* :

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4424264

À quoi correspondent les émissions de GES du numérique ?

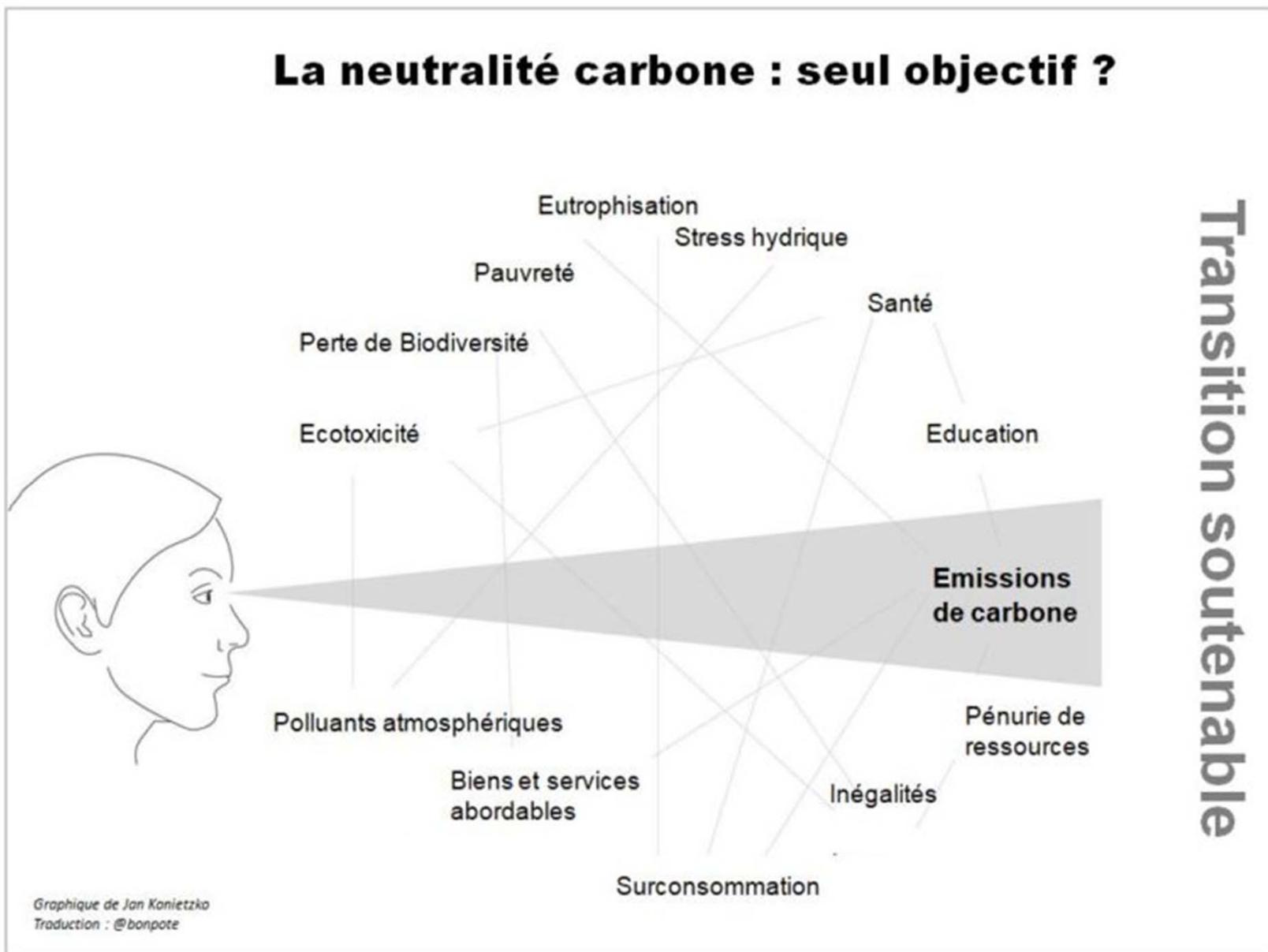
2 à 4% des émissions de GES mondiales



Source : [Commission européenne, calculs Statista \(2021\)](#)

Source illustration : <https://climate.selectra.com/fr/empreinte-carbone/pays-pollueurs>

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)
- Indicateurs régulant la stabilité de la biosphère
- 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)

Sources :

<https://www.nature.com/articles/461472a>

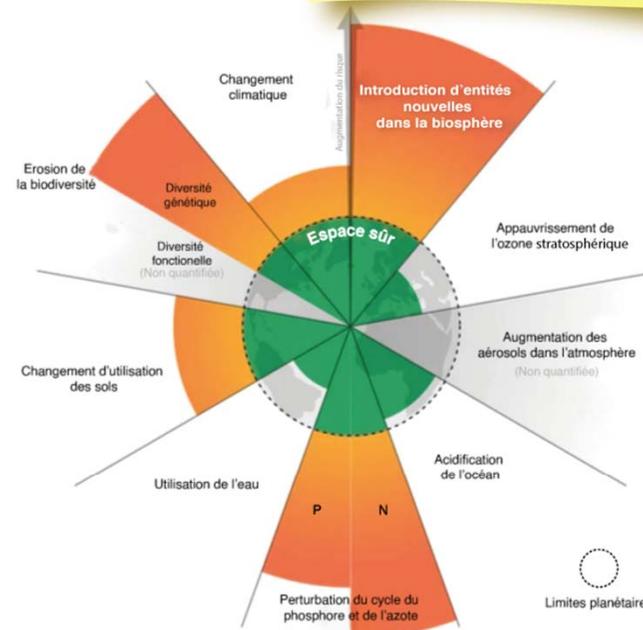
<https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

<https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>

<https://bonpote.com/la-5eme-limite-planetaire-vient-detre-officiellement-franchie-et-tout-le-monde-sen-fout/>

<https://positivr.fr/cycle-de-leau-douce-une-6eme-limite-planetaire-a-ete-franchie/>

Limites planétaires



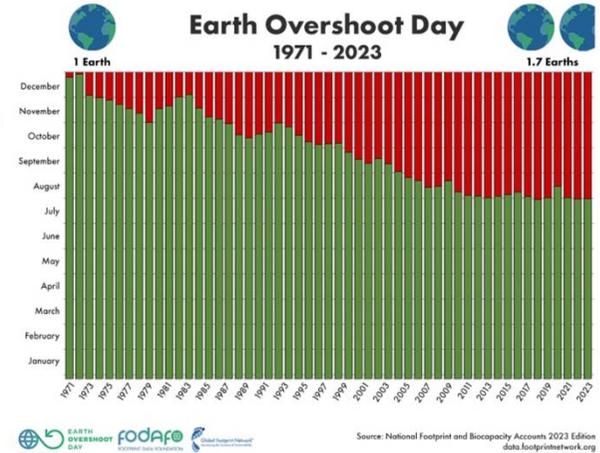
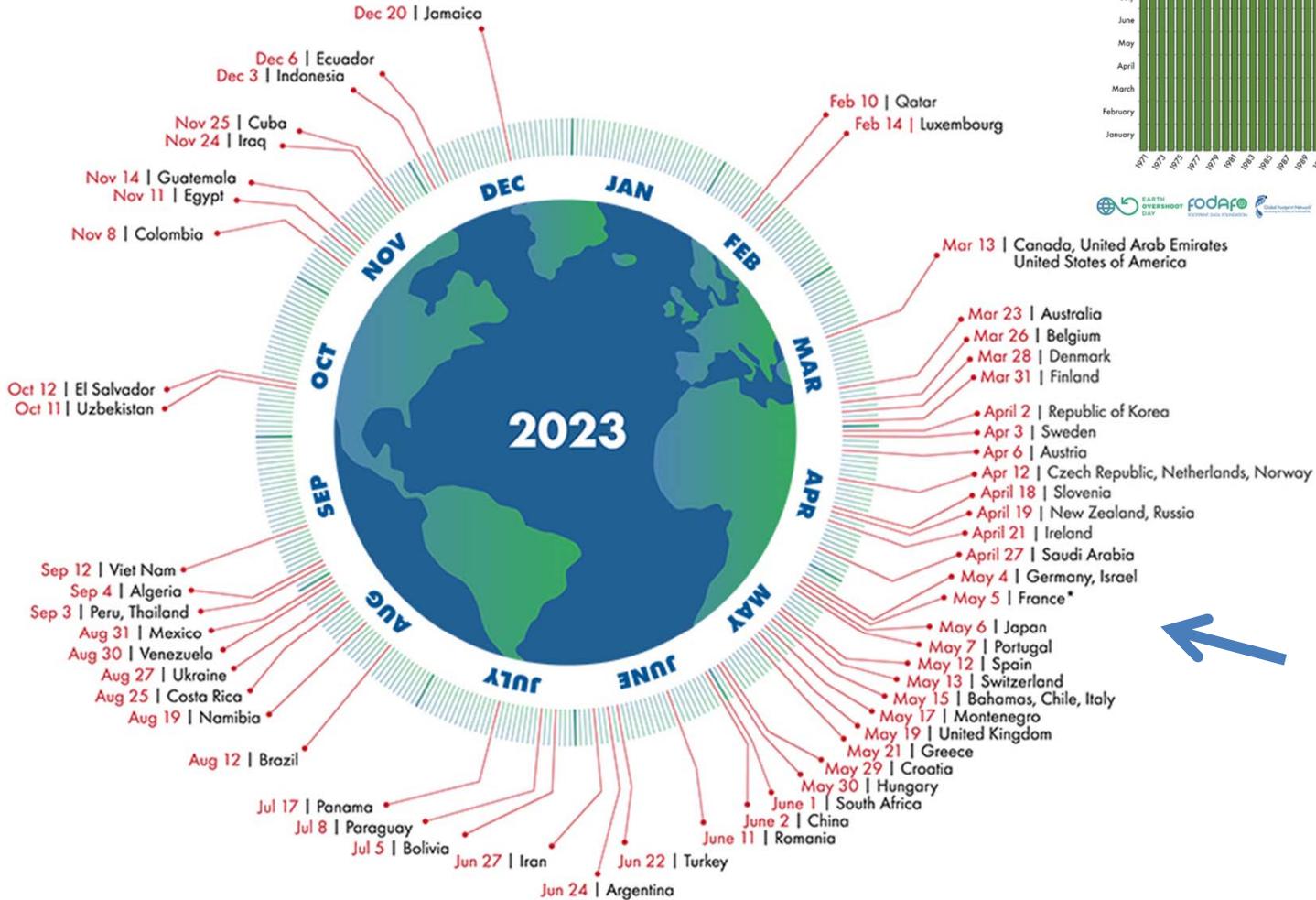
La limite planétaire pour les pollutions chimiques (nouvelles entités) a été quantifiée pour la première fois. Elle rejoint les 4 autres limites déjà dépassées
crédit : Stockholm resilience centre/Azote
Trad : Sydney THOMAS

@BonPote

**Mai 2022 :
dépassement de
la 6^{ème} limite
(consommation
d'eau douce/eau
verte).**

Country Overshoot Days 2023

When would Earth Overshoot Day land if the world's population lived like...



France 2022
et France
2023, même
date



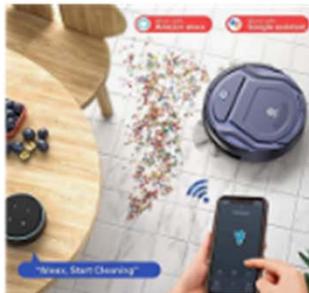
For a full list of countries, visit [overshootday.org/country-overshoot-days](https://www.overshootday.org/country-overshoot-days).
*French Overshoot Day based on nowcasted data. See [overshootday.org/france](https://www.overshootday.org/france).
Source: National Footprint and Biocapacity Accounts, 2022 Edition
data.footprintnetwork.org



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

Qu'est-ce qui fait « officiellement » partie du numérique ?

Big Brother is watching you : le numérique est partout !



amazon.fr prime

Livrer à High-Tech

Toutes Amazon Basics Acheter à nouveau Coupons Prévoyez et Économisez Livraison Gratuite Beauté Idées cadeaux Guide de l'acheteur Chèques-cadeaux

High-Tech Meilleures ventes Téléphonie Photo & Caméscopes TV & Vidéo Audio & HiFi Objets connectés Accessoires High-Tech GPS & Auto Informatique Bons plans Offres recan

Objets connectés à moins de 100€

Smartwatch Drones Réalité virtuelle Systèmes Multiroom Maison connectée Santé connectée

Nos univers connectés

- Montres connectées
- Trackers d'activité
- Drones
- Maison connectée
- Santé et bien-être connecté
- Spot connecté

Nos autres produits connectés

- Caméras d'action
- Réalité virtuelle
- Systèmes audio multi-room
- Jouets connectés
- Écouteurs portables bluetooth
- Écouteurs et écouteurs connectés

19,99 € Prix conseillé: 26,99 €

16,99 € prime

19,99 € prime

14,99 € prime

16,99 € prime



À quel point Big Bro est-il big ?

- en 2016 : 6.4 écrans/foyer (CSA et Médiamétrie)
- en 2019, (baromètre du numérique, ministère de l'économie) :
 - plus de 75% de la population française de 12 ans ou plus a
 - 2 terminaux (smartphone+PC ou ordinateur+tablette ou smartphone+tablette)
 - ou 3 terminaux (smartphone+tablette+PC)
- en 2018 (Shift Project)
 - Un·e américain·e (USA) possédait environ 10 périphériques numériques connectés et a consommé 140 Go de données/mois
 - Un·e indien·ne possédait 1 seul périphérique numérique connecté et a consommé 2Go de données/mois.

Sources :

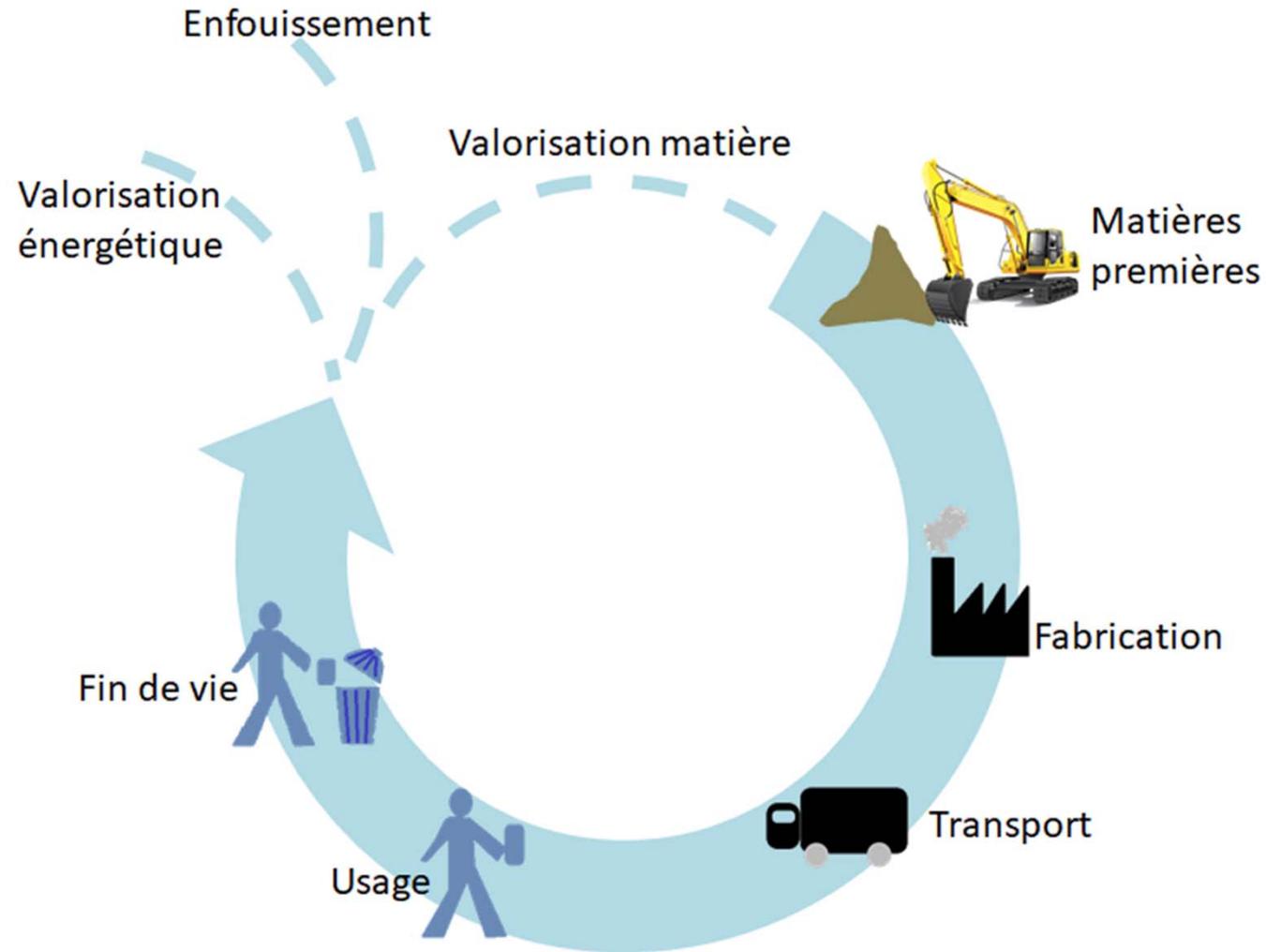
<https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf>

<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

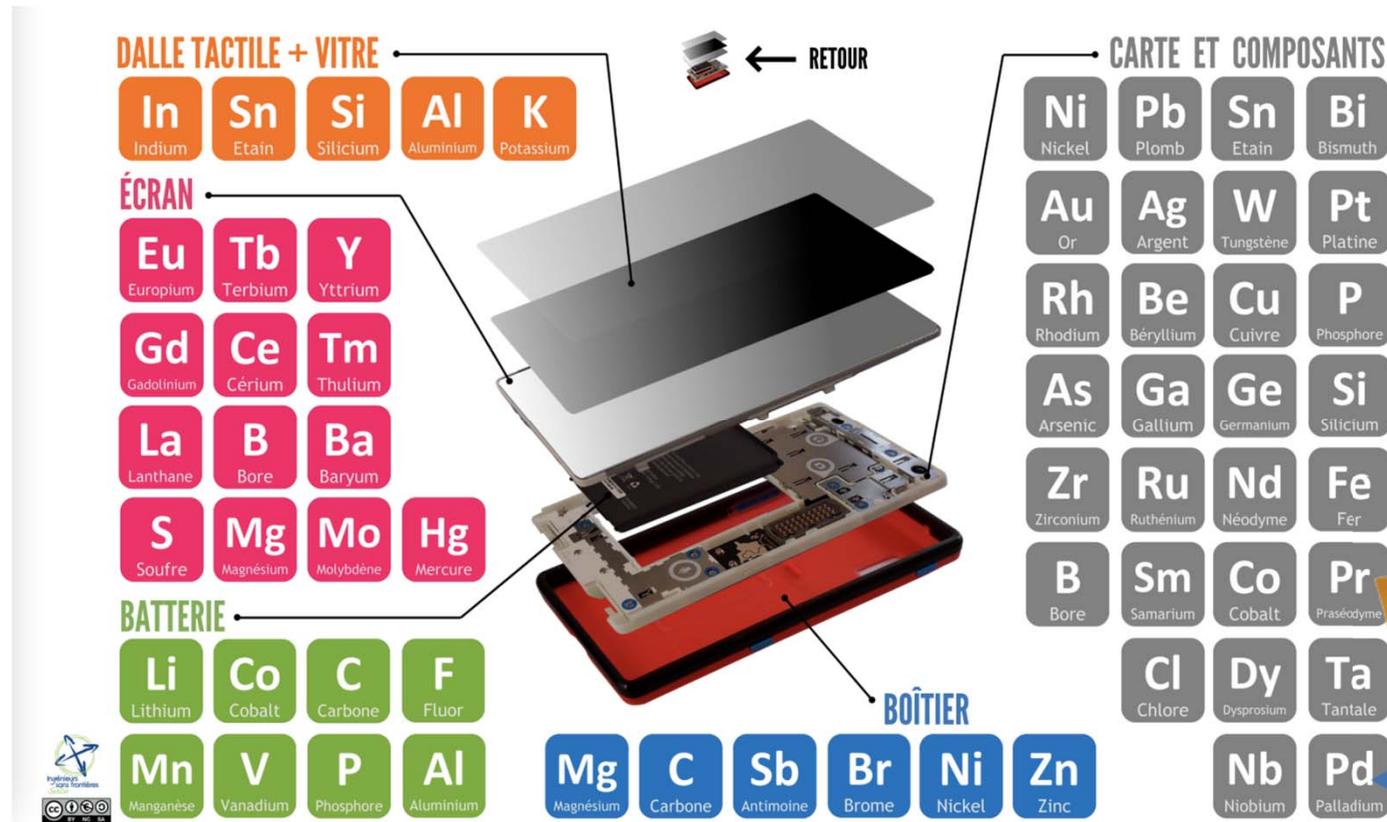


Le cycle de vie d'un produit...



D'après vous, combien de métaux différents dans un smartphone ?

Les matières premières



métaux, silice,
plastiques
Meilleur, + petit, +
rapide, + fiable :
Gravure des wafers :
10nm, 7nm, 5nm, 3nm
(2022)
Taille des virus
VIH: 90 nm - SARS-
CoV-2 : 50-140 nm

sources :

<https://www.systext.org/>

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

Laurent Lefèvre, EcoInfo, Eido64 2022

Impact des matières premières

Conflits armés
(ex : guerre du Kivu)

Droits Humains

Transfert de pollution / de responsabilité environnementale

Conflits sur les usages de l'eau



Lubumbashi, Katanga, RDC, le 23 mai 2016. (JUNIOR KANNAH / AFP)

Déchets toxiques à ciel ouvert

Rejets de produits chimiques

Gestion (loi) de l'environnement

Gaz toxiques et pluies acides

Empoisonnement des nappes phréatiques et des terres



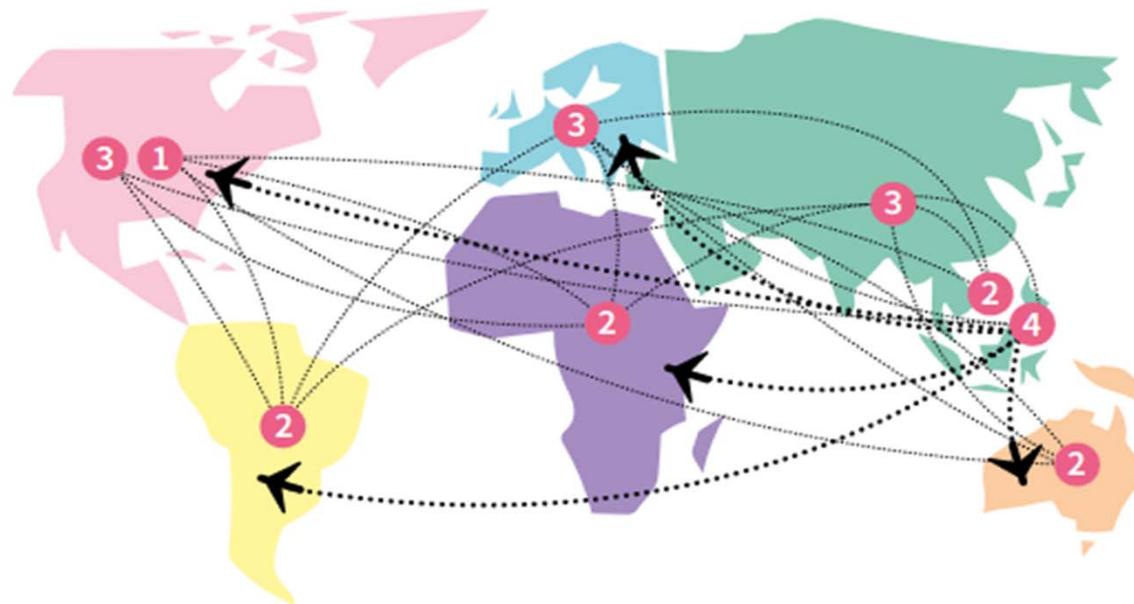
Saumures d'une mine de lithium, désert d'Atacama, Chili. Ivan Alvarado, REUTERS



La lac toxique de Baotou (Chine)
David Gray / Reuters

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

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 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

4. 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 montre que l'extraction des
matières premières a
plus d'impact que le transport

ACV d'un smartphone...

Empreinte carbone de chaque phase du cycle de vie d'un smartphone avec un mix électrique mondial (plus de 80% pour la production hors internet)

Combien de temps garde-t-on un smartphone en France ?

50% de matériaux recyclés ?

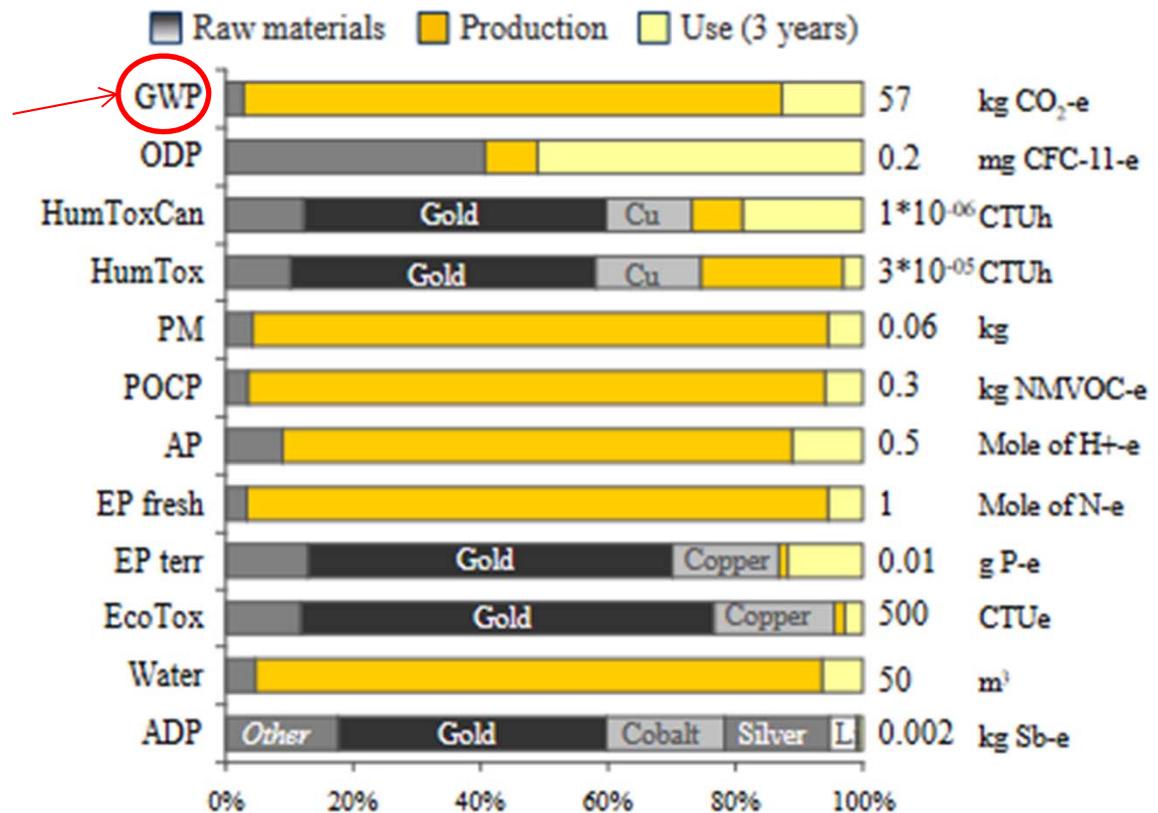


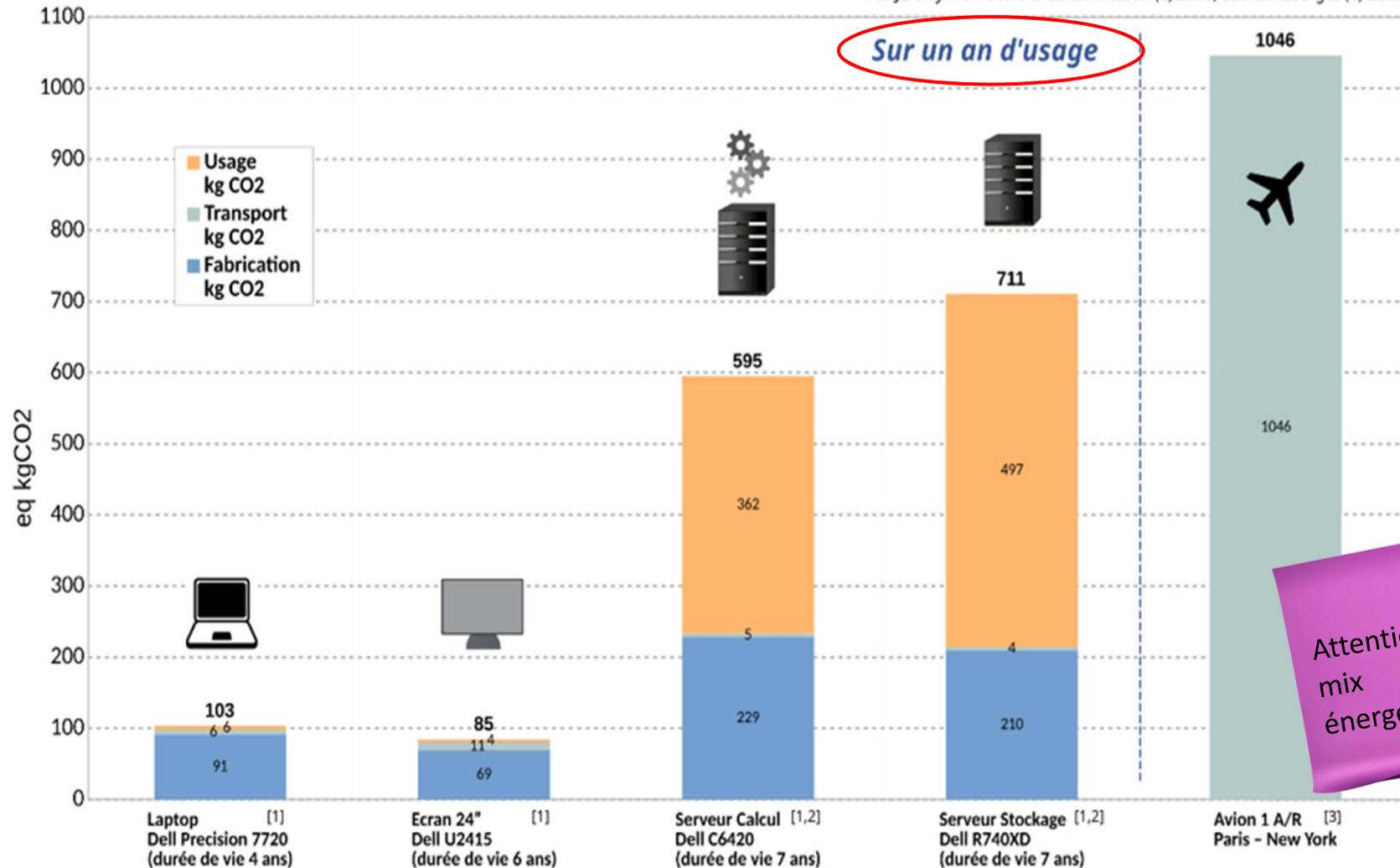
Fig. 4 Total life cycle result for all impact categories for smartphone Z5 with accessories using Ecoinvent database and adopting a 50/50 recycling approach with 19% recycling of gold assumed.

Life Cycle Assessment of a Smartphone , Ercan et al, Conf.ICT for Sustainability 2016.

https://www.researchgate.net/publication/308986891_Life_Cycle_Assessment_of_a_Smartphone

Empreinte carbone des équipements numériques

Par Jérémy Wambecke & Carole Plasson (C) 2019, Laurent Bourgès (C) 2020



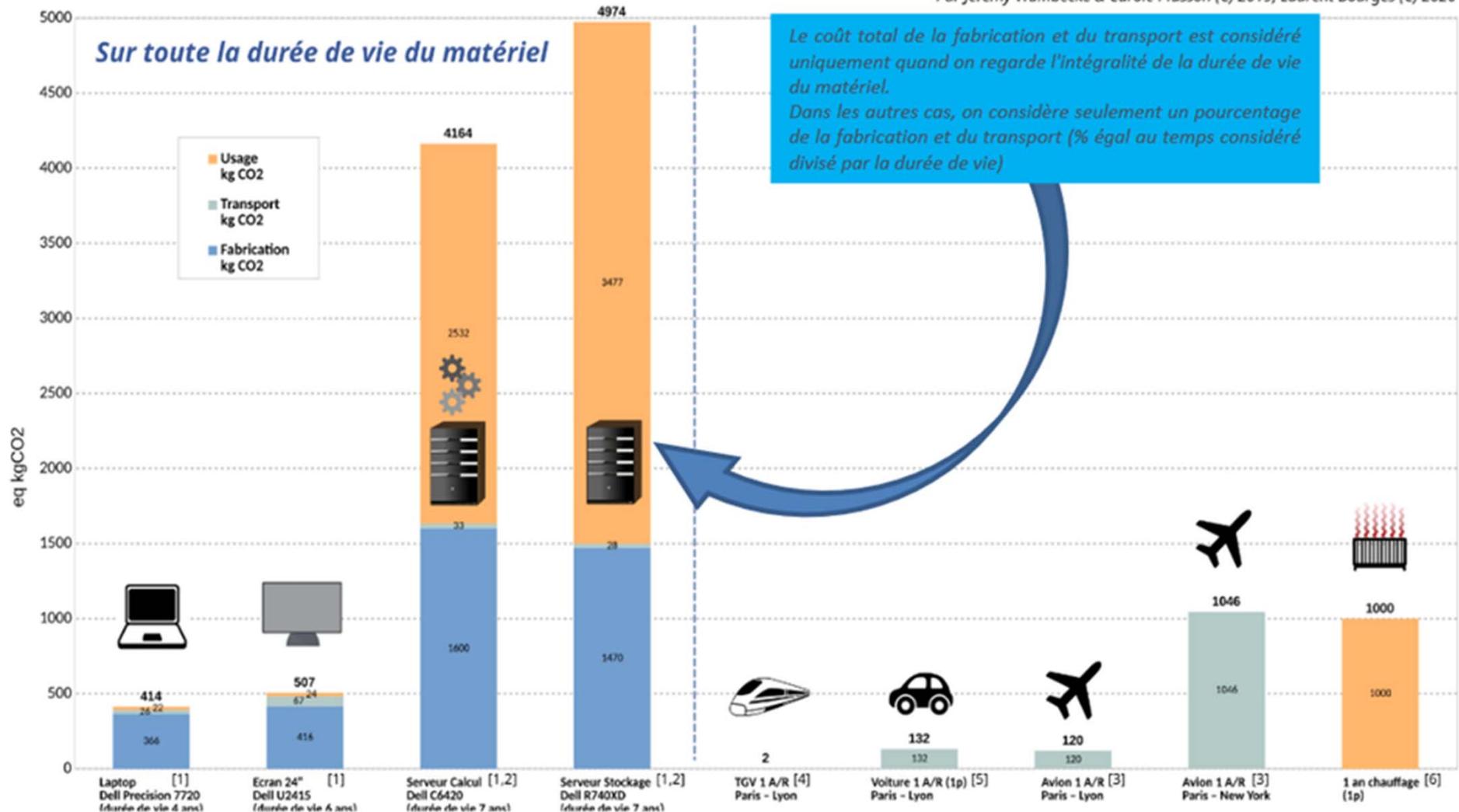
Attention au mix énergétique

[1] 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>)

[3] <https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/>
Facteur d'impact : 0,108 kgCO2e/kWh (FR)

Sur toute la durée de vie du matériel

Par Jérémy Wambecke & Carole Plasson (C) 2019, Laurent Bourgès (C) 2020



[1] 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 nœud = 275W (C6420), 375W (R740XD) (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02549565>)

[3] <https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/>

[4] <https://ressources.data.sncf.com/explore/dataset/emission-co2-tgv/table/>

[5] Trajet de 473km, pour une voiture émettant 0,140 kg CO₂/km

[6] <https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/1281320/ip1445.pdf>

Facteur d'impact : 0,108 kgCO₂/kWh (FR)



Empreinte de la production : acheter moins, et mieux

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



MATINFO
Groupement d'achat de matériel
informatique pour l'enseignement
supérieur et la recherche

**DONS.ENCHERES-
DOMAINE**

Dons des biens mobiliers du
Domaine

Le numérique ça pollue aussi
quand on s'en sert...

En usage, quelques ordres de grandeur (GES)

Quoi	Qu'est ce que cela inclut ? (périmètre)	combien ? (en g eq CO2)
une heure.coeur de calcul	Les serveurs, les équipements de refroidissement et d'alimentation électrique (fabrication, transport et usage)	de l'ordre de 2,5 à 5 g (résultat préliminaire) https://hal.science/hal-02549565v5/document GENCI : moyenne de ~4tCO2e par projet/an (50tCO2e et plus pour les plus gros) https://www.genci.fr/fr/content/bilan-des-campagnes
1 Go stocké pendant 1 an	les serveurs de stockage et les équipements de refroidissement et d'alimentation électrique (fabrication, usage)	de l'ordre de 10 à 30 g https://hal-cnrs.archives-ouvertes.fr/hal-03573790v1
fabrication et transport d'un écran d'un serveur d'un ordinateur portable	Extraction des métaux et des ressources abiotiques, fabrication des composants, assemblage, transport vers le site de vente.	selon la méthodologie : de l'ordre de 150 à 500 kg de l'ordre de 800 à 1800 kg de l'ordre de 140 à 450 kg https://ecoinfo.cnrs.fr/ecodiag-calcul/
1h de visio par personne	Les équipements terminaux des utilisateurs (usage) et tous les équipements intermédiaires : serveurs, réseaux (fabrication, transport et usage).	7 g à 70 g eCO2/h https://labos1point5.org/les-infographies/poster-ecoinfo-method
Consommation électrique pendant 1 an d'un serveur qui tourne presque à vide (calcul ou stockage)	Uniquement la consommation électrique du serveur	Entre 30 et 50% de la consommation maximale du matériel (pleine charge)

Source : Françoise Berthoud, Emmanuelle Frenoux et Gaël Gennebaud pour Labos 1point5

Infrastructures réseau et câbles...

Répartition planétaire inégale

USA et Canada

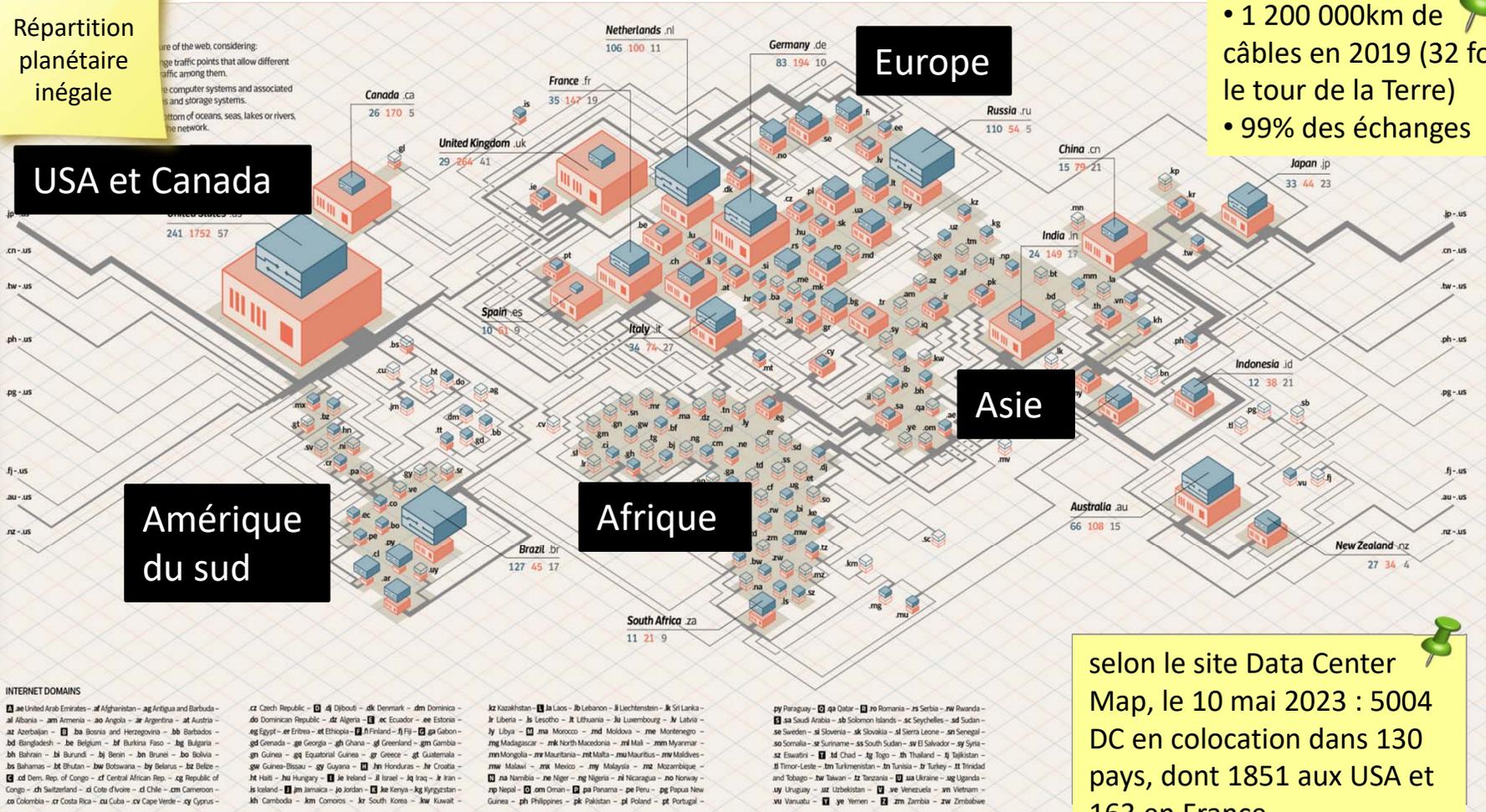
Amérique du sud

Afrique

Asie

Europe

- 1 200 000km de câbles en 2019 (32 fois le tour de la Terre)
- 99% des échanges



selon le site Data Center Map, le 10 mai 2023 : 5004 DC en colocation dans 130 pays, dont 1851 aux USA et 163 en France.

<https://www.datacentermap.com/>

Légende



Points d'échange trafic FAI



Liens sous-marins



Centres de données

source :

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

Centres de données : contexte

- Déploiement continu de gros centres de données
- Déploiement d'autres centres plus modestes (IoT : garantie de faibles latences entre serveurs et objets connectés)
- Faible proportionnalité énergétique (utilisation très variable)
- En 2015, l'institut Uptime considérait qu'aux États-Unis, 30 % des serveurs dans les centres de données étaient comateux (allumés pour rien)
- Lorsque l'usage d'un serveur diminue, sa consommation électrique ne tend pas vers zéro, mais vers 50 % de sa puissance électrique maximale



Stocker ou ne pas stocker les données ?

- Coût et complexité d'acquisition vs coût du stockage
- Partage des données
 - Normalisation et documentation
 - Formater
- Mode de stockage : données chaudes, données froides ?
- Penser aux principes du FAIR (Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable)
<https://www.ccsd.cnrs.fr/principes-fair/>



Bien urbaniser un Centre (calcul/données)

- Une bonne urbanisation diminue la consommation d'énergie
- Optimiser la température de fonctionnement
- Respecter les couloirs chaud et froid
- Améliorer les flux d'air
- Monitorer raisonnablement
- Mesurer sur un tableau électrique dédié
- Calculer son PUE
- Bien dimensionner (puissance, nombre de machines, etc)

Focus données sur le réseau

streaming vidéo
(vidéos en ligne,
télésurveillance, ...)
80% de bande passante
selon le Shift Project

web



Skype, etc...

GLOBAL APPLICATION CATEGORY TRAFFIC SHARE		
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) ↑

Source :

“The Global Internet Phenomena Report”, 2019, Sandvine

https://www.sandvine.com/hubfs/Sandvine_Redesign_2019/Downloads/Internet%20Phenomena/Internet%20Phenomena%20Report%20Q32019%2020190910.pdf



Impact trafic de 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, <https://minimal.aupya.org/>).
- Diminuer la résolution des vidéos pour le visionnage.
- Stopper la pub des sites web.
 - Avec un bloqueur (<https://adblockplus.org/fr/>)
 - En trompant le navigateur (<https://www.greenit.fr/2015/09/15/web-eliminer-definitivement-les-publicites/>)
- En recherche, ce n'est pas le gros de l'impact

Focus visioconférences et webinaires



Quantité de données en visio :

- vidéo 720p (Zoom, Skype, BBB, Jitsi) : 100 ko/s
- audio seule : 5 ko/s

webinaire : similaire au streaming...

Paris-Berlin en avion : 275 ± 27 kg eCO₂ (sans traînées de condensation)
 ou 502 ± 352 kg eCO₂ (avec condensation)
en voiture : 493 ± 296 kg eCO₂ (1 personne/voiture)
en train : 34 ± 20 kg eCO₂
Visio : 7 g à 70 g eCO₂/h (max 1,12 kg eCO₂ pour 16h)
 Données : Labos1point5

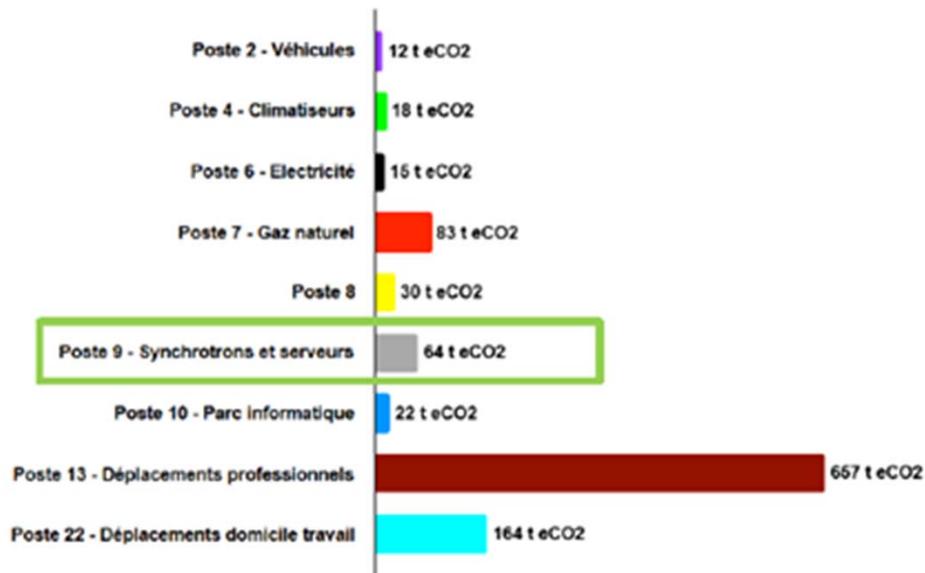
Bonus saturation cognitive

- 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...

Place du calcul dans nos bilans GES

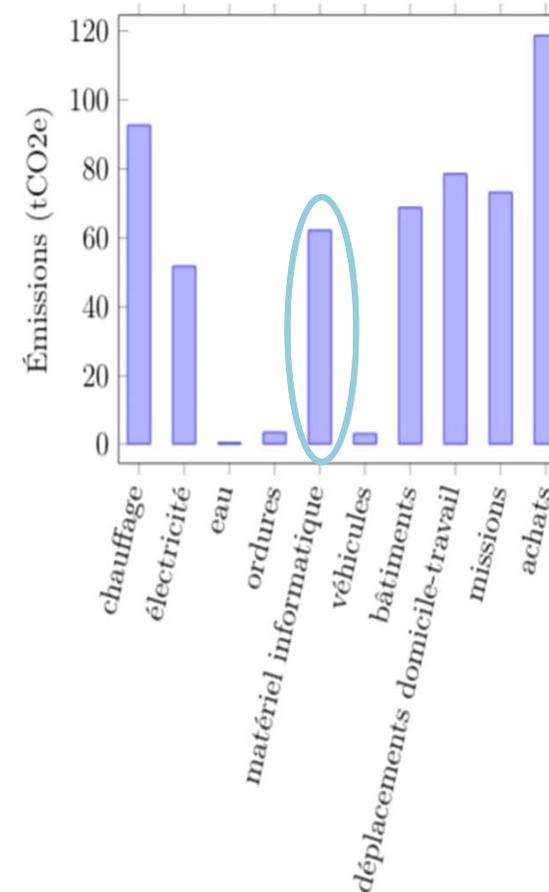
Emissions de GES par poste d'émission



TOTAL : 1065 tonnes eCO₂

ISTERRE, bilan 2017, 250 personnes

https://www.isterre.fr/IMG/pdf/beges_isterre_2017_complet-3.pdf



LIMSI : UPR, 2019
169 personnes, INS2I.

Place du calcul dans nos bilans GES

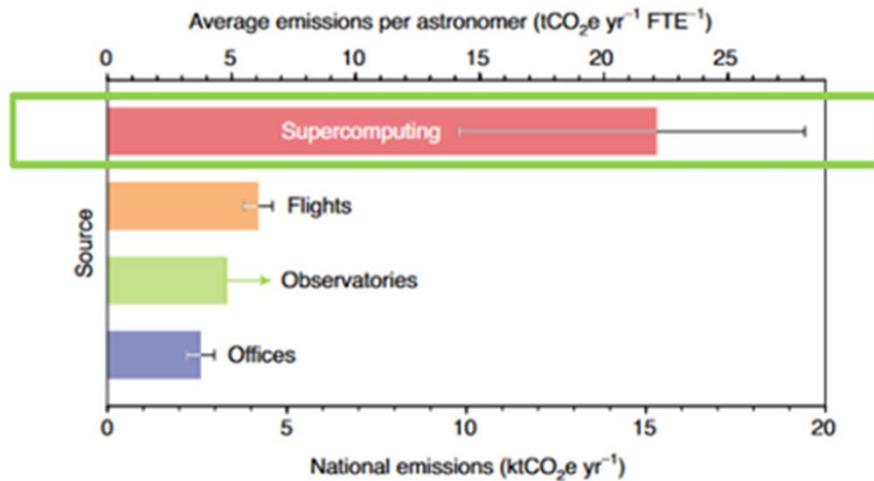
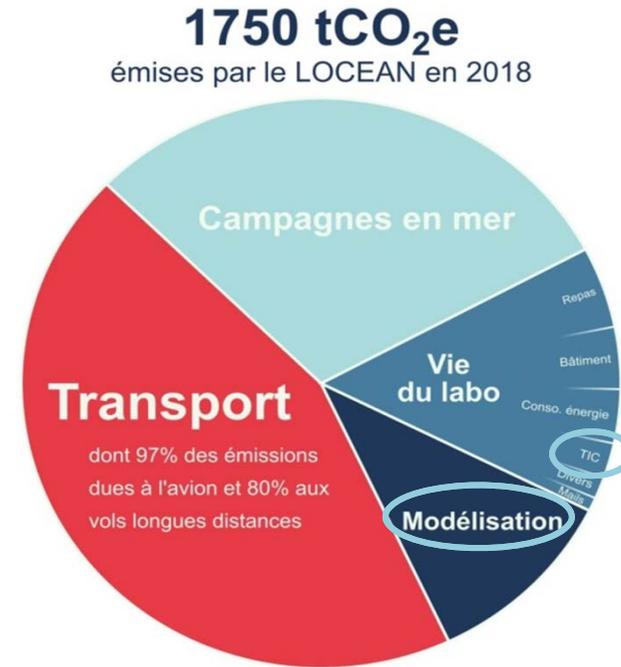


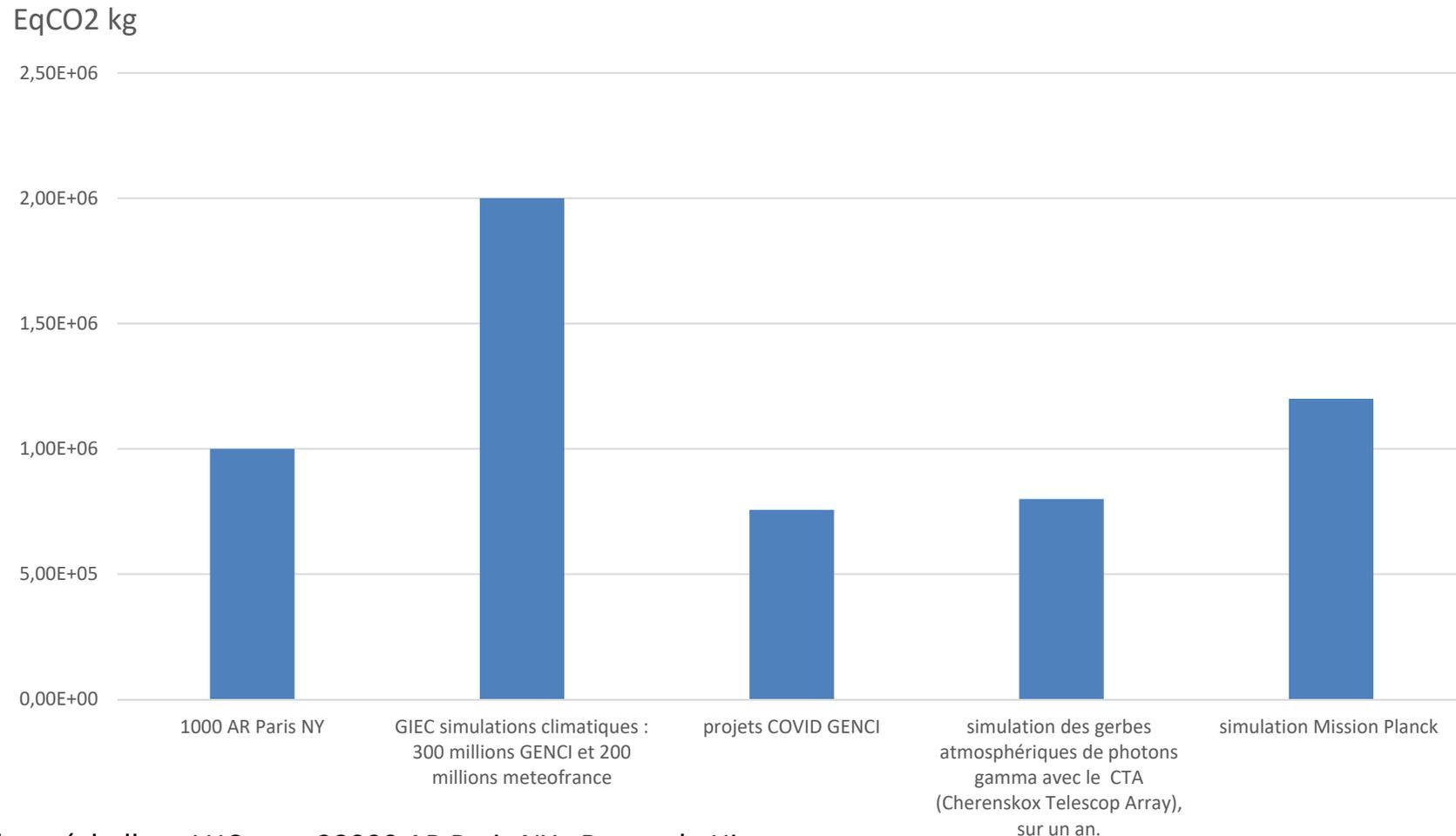
Fig. 2 | Breakdown of the four sources of Australian astronomers' emissions considered in this work. Error bars provide an estimate of our uncertainties, but should not be interpreted as formal confidence intervals. The value for observatories is a lower limit. 'Per astronomer' refers to the 691.7 FTEs including PhD students, postdocs and senior researchers. Values are summarized in the 'Summary of emissions' section. Figure produced using matplotlib⁴⁵.

Stevens, A.R.H., Bellstedt, S., Elahi, P.J. *et al.* The imperative to reduce carbon emissions in astronomy. *Nat Astron* 4, 843–851 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41550-020-1169-1>



LOCEAN : UMR, 2019
187 personnes, INSU.

Calcul à l'échelle d'un pays...



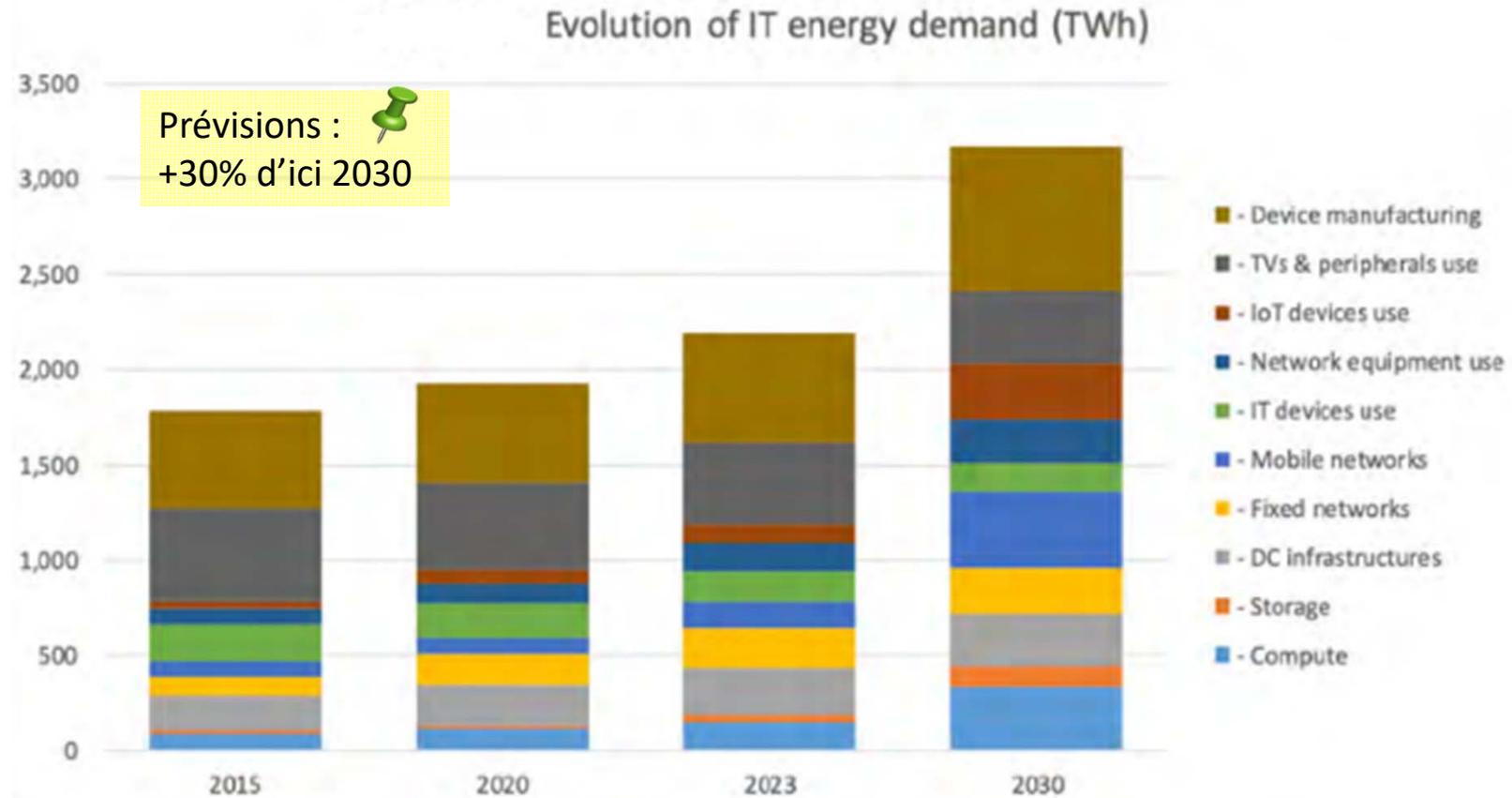
+ hors échelles : LHC avec 28000 AR Paris NY : Boson de Higgs :

4 expériences LHC (Grand collisionneur de hadrons) qui enregistrent les particules issues des collisions entre proton

Total approximatif heures de calcul sur 1 an = 7Md heures de calcul = 28 000 tonnes EqCO2

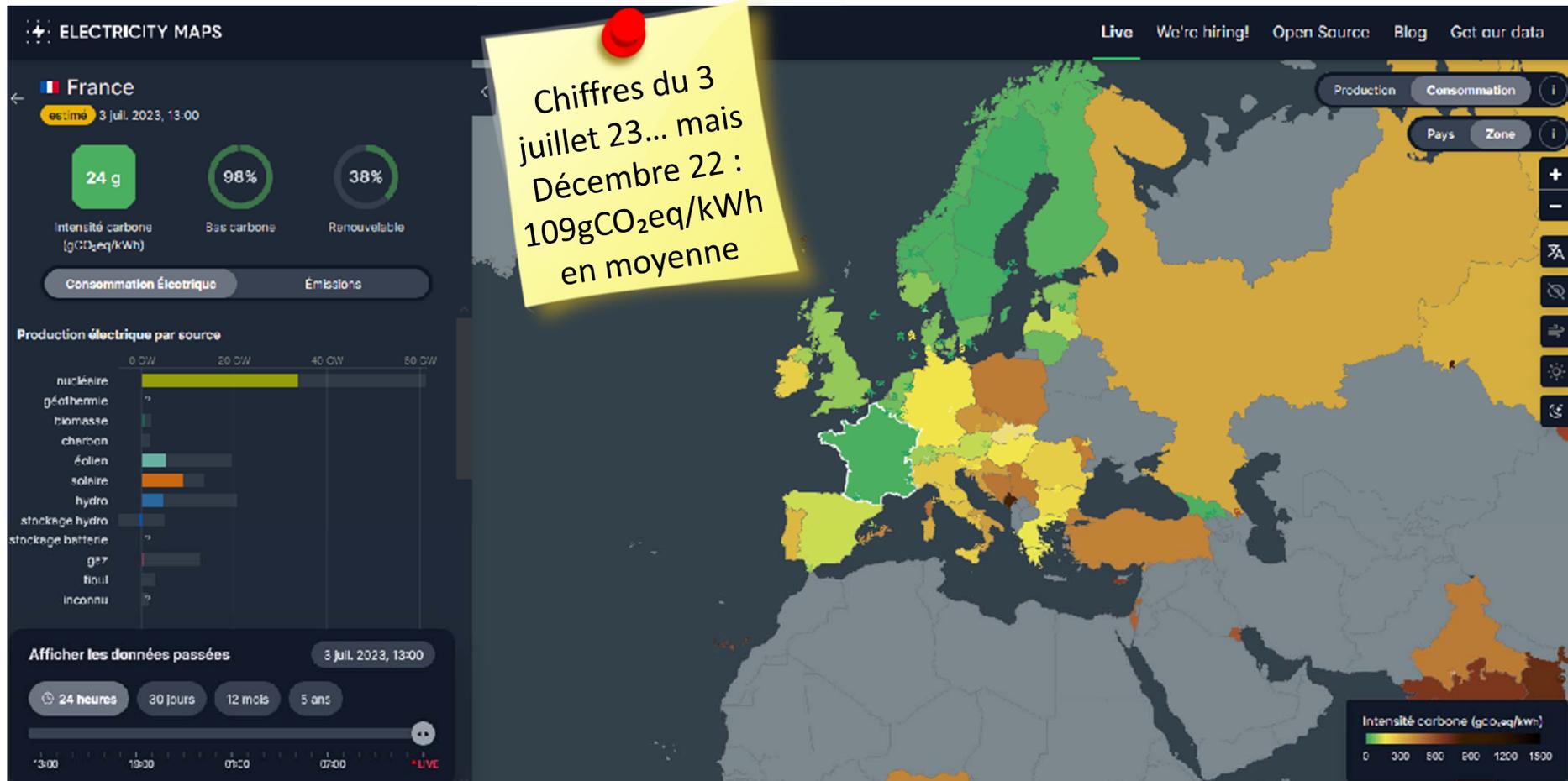
*Sources : Données GENCI et estimations après enquêtes non officielles (Planck et LHC)
Estimation faite en utilisant le facteur de conversion 1 heure de calcul = 0.004 kg EqCO2*

Situer la consommation du calcul...



Schneider - Digital Economy and Climate Impact, 2021

Énergie propre ?



Source : <https://app.electricitymaps.com/zone/FR>
(intensité carbone : 24gCO₂eq/kWh le 3 juillet 2023)



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

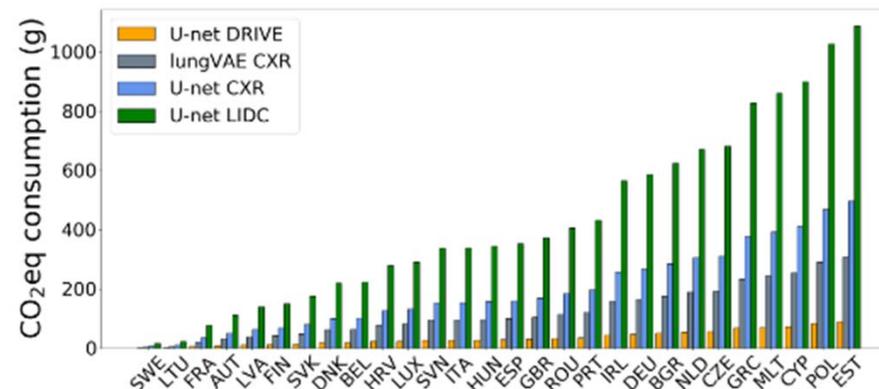


Figure 4. Estimated carbon emissions (gCO₂eq) of training our models (see [Appendix B](#)) in different EU-28 countries. The calculations are based on the average carbon intensities from 2016 (see [Figure 8](#) in Appendix).



Choisir son supercalculateur :
toi aussi, t'es dans le Top500 ?

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/>

Fin de vie : petit EEE deviendra grand DEEE

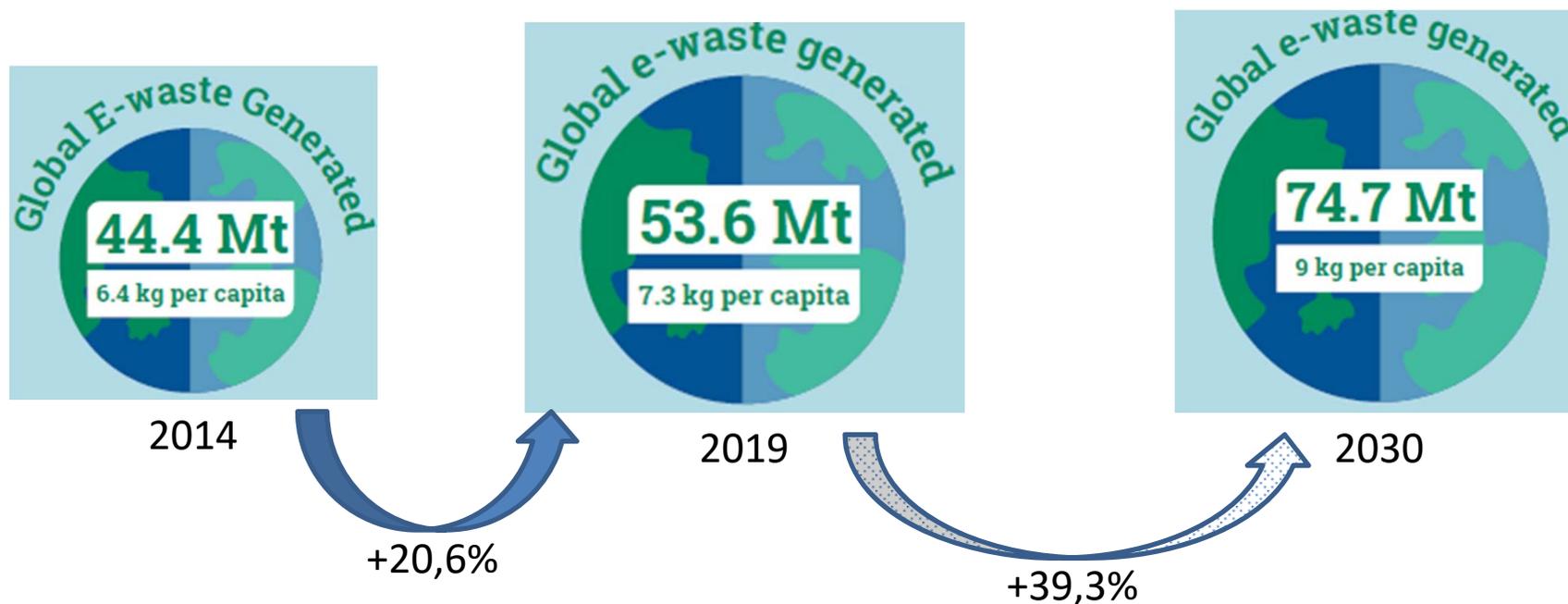
- Depuis août 2018, selon l'ADEME, il y a 7 catégories de DEEE
 - Équipements d'échange thermique
 - Écrans, moniteurs et équipements comprenant des écrans d'une surface supérieure à 100 cm²
 - Lampes
 - Gros équipements
 - Petits équipements
 - Petits équipements informatiques et de télécommunications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

On inclut aussi les VAE depuis quelques mois



Évolution de la quantité de DEEE dans le monde

Petit cours de conversion...
44.4 millions de tonnes
= 4500 tours Eiffel



Source : [Global E-wasteMonitor 2020](http://ewastemonitor.info/), Forti, Baldé, Ruediger Kuehr, Garam Bel
<http://ewastemonitor.info/>

DEEE collectés en France

en France : 47,5% en 2019

75%
recyclage
matière



Taux de
recyclage

matière recyclée

Quelques
pourcents
à peine

2%
réutilisation
tout ou partie



10%
valorisation
énergétique



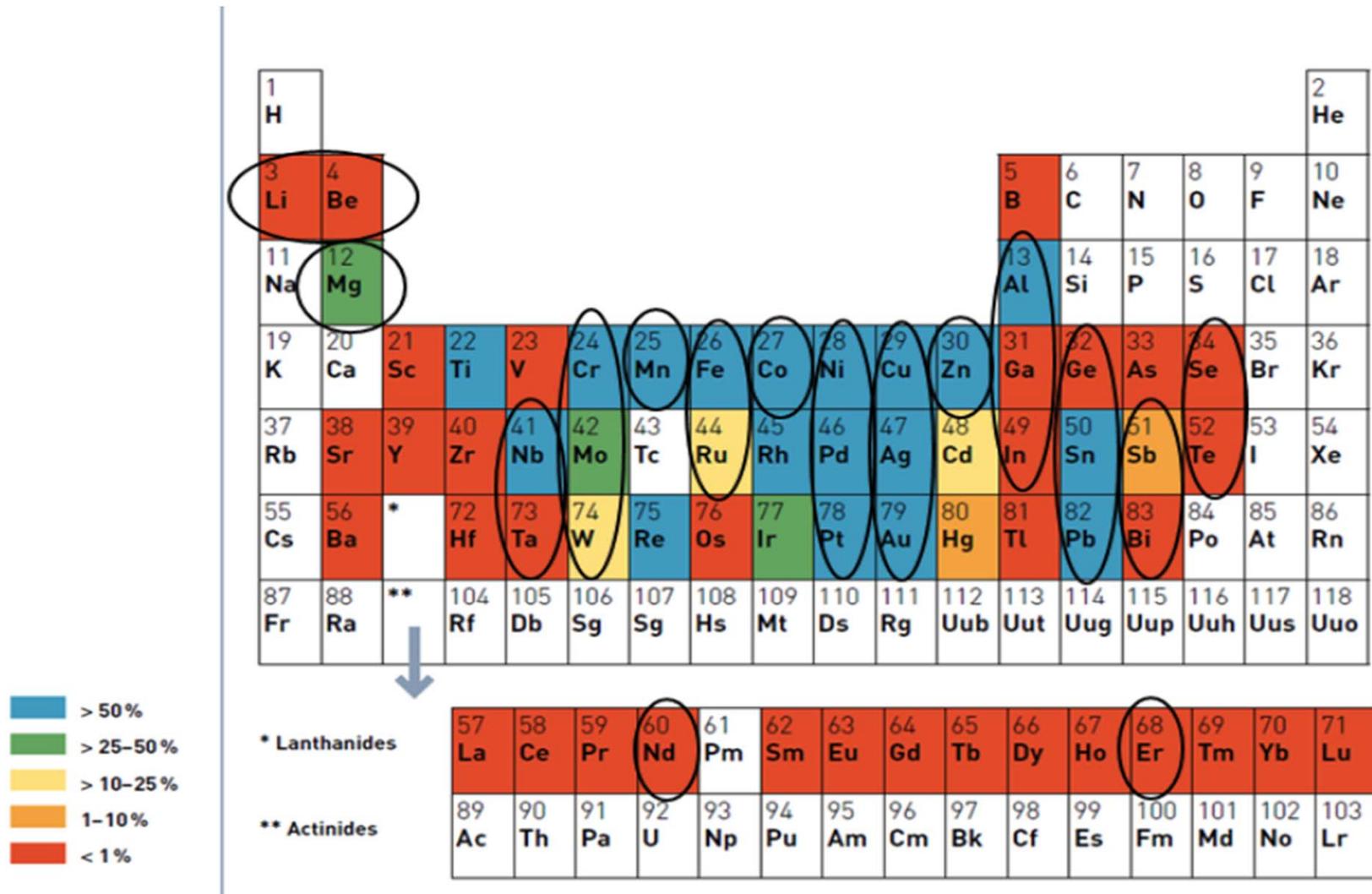
14%
élimination



Ne pas
confondre
taux de
collecte et
taux de
recyclage

Source des chiffres : ADEME, Registre des DEEE 2019.
Schéma initial : Anne-Laure Ligozat (EcoInfo)

Taux de recyclage des métaux des TIC



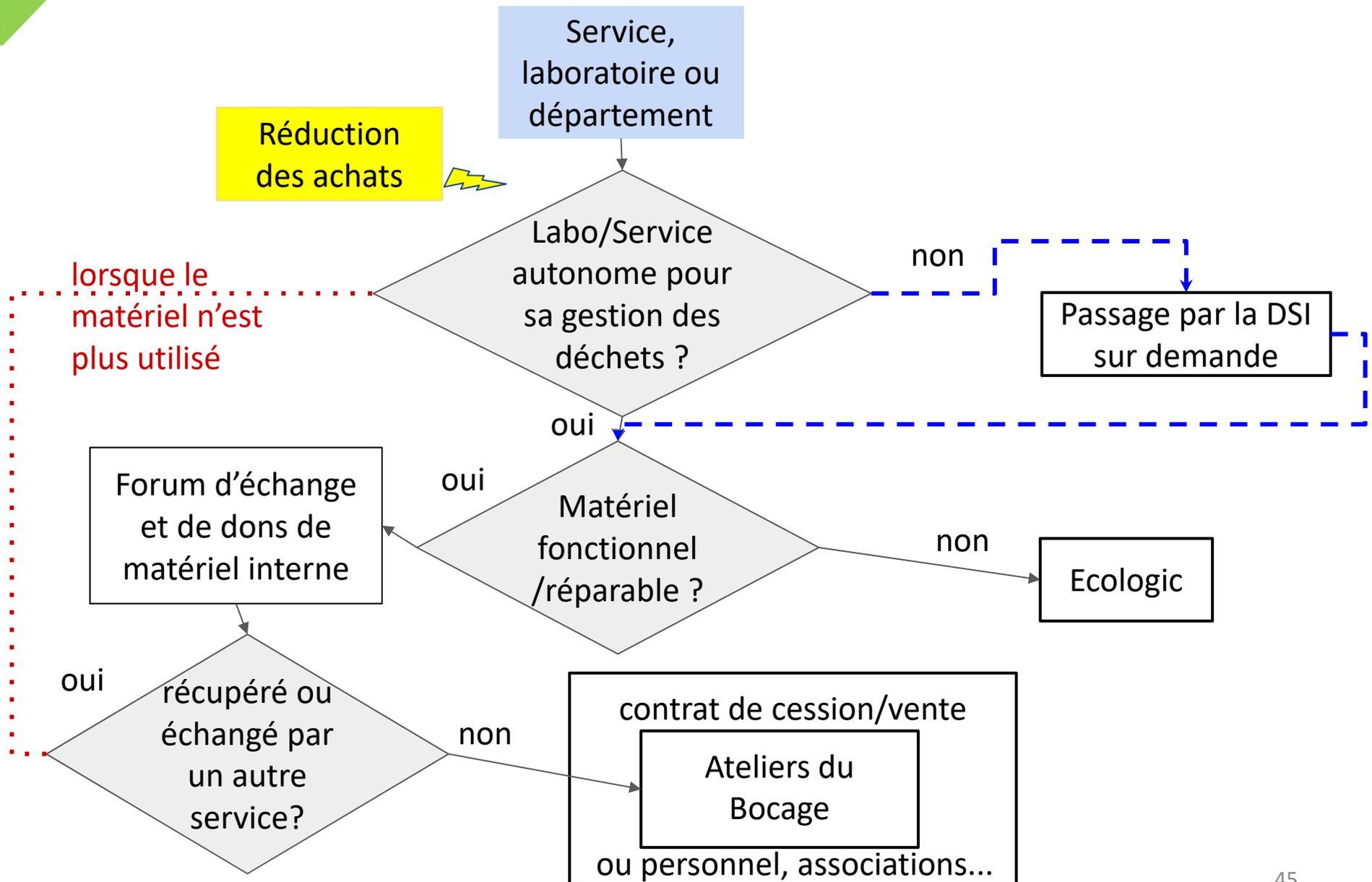
Source : [Recycling Rates of Metals, A Status Report. United Nation Environment Program](https://www.resourcepanel.org/file/381/download?token=he_rldvr)
https://www.resourcepanel.org/file/381/download?token=he_rldvr



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
 - Éviter l'obsolescence indirecte
- Lorsque le matériel est hors d'usage, s'adresser à des filières ou associations spécialisées et agréées

Comment gérer les équipements ?



Impacts indirects ou induits

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

Et des impacts difficiles à quantifier...

- problèmes de droits humains sur les sites d'extraction et de traitement de déchets
 - conditions de travail et travail des enfants
 - conflits armés pour la possession des mines (eg. guerre du Kivu, en RDC, pour le Coltan)
 - conflits d'accès à l'eau (extraction métaux, fabrication puces)
- santé humaine liée à l'usage excessif (selon âge) des écrans
 - Neuro-développement chez l'enfant (cognitif, attention, comportement)
 - troubles musculo-squelettiques
 - troubles du sommeil
- et tout le reste...
 - surveillance généralisée
 - concentration de pouvoir
 - résilience (de notre société vis-à-vis de sa dépendance au numérique)
 - souveraineté
 - tension sur les métaux entre ENR, numérique, mobilité, ...

Effet rebond...

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

Exemples : covoiturage, télétravail, gain d'efficacité...

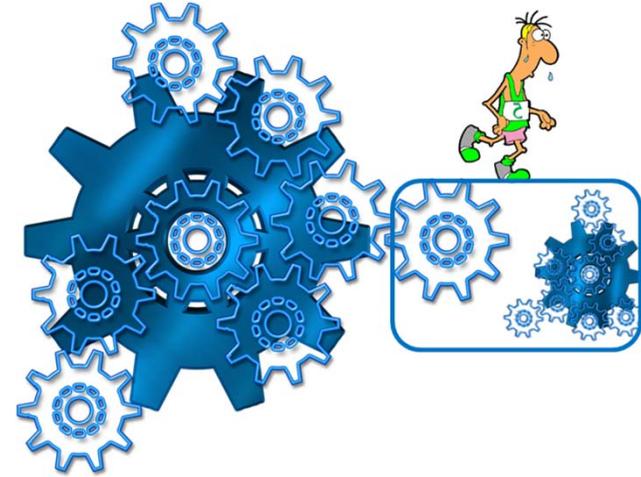


En clair : ce n'est pas parce que ça a 2 fois moins d'impact qu'on peut en fabriquer/utiliser 2 fois plus !

Effet d'accélération...

L'usage du numérique

- **Accroît le niveau d'interdépendance**
 - ajoute de la complexité
 - réduit les capacités de résilience
 - augmente les besoins en numérique
 - empile les technologies (e.g. 2G-3G-4G-5G)
 - accroît l'obsolescence directe et indirecte
- **Une technologie au service de l'optimisation et de l'accélération**
 - des flux de marchandises, de personnes,
 - des flux financiers (trading haute fréquence, économie des données)
 - des procédés de production et donc de la production de biens
 - de la consommation, *via* les mécanismes de captation de l'attention, notamment le suivi et la collecte des données



Comment mesurer ?

Outils de mesure 1/3

L'impact environnemental d'un appareil ou d'un service numérique peut être mesuré de plusieurs façons

- Analyse du Cycle de Vie
 - Attributionnelle (quelle part des impacts ?)
 - pas de lien cause-conséquence
 - traduit le « degré de responsabilité »
 - comptabilité
 - Conséquentielle (quelle conséquence sur les impacts ?)
 - si l'on augmente la demande
 - si l'on modifie le cycle de vie
- Bilan Carbone/GES
- Coût carbone
- Étude d'impact
- Multi Regional Input Output analysis (MRIO)

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

Outils de mesure 2/3

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 :

- 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>

<https://software.intel.com/content/www/us/en/develop/articles/intel-power-gadget.html>.

<https://gitlab.inria.fr/guenneba/mac-power-meter/-/tree/master>.

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

Outils de mesure 3/3

Outils de mesure en ligne : mesure d'impact d'une page web (diagnostic)

- 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

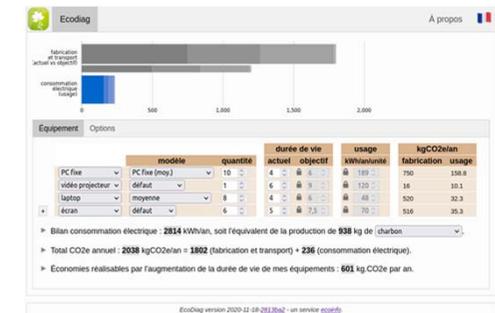
<https://www.labos1point5.org/ges-1point5>

➤ On peut aussi faire auditer son centre de calcul

<https://github.com/carbonalyser/Carbonalyser>

<http://www.ecoindex.fr/>

<http://www.ecometer.org/>



Focus centres de calcul/de données

- PUE : Power Usage Effectiveness
 - mesure de l'efficacité énergétique (rendement)
 - Développé par le consortium The Green Grid
 - $$PUE = \frac{\text{Energie Totale Consommée par le Centre}}{\text{Energie Totale Consommée par les équipements Info}}$$
- Attention : on ne regarde plus que l'usage !
- Peut-on retirer la chaleur fatale dissipée "intelligemment" du PUE ?
- Et pour l'énergie issue de panneaux solaires ?
- Valeur idéale : 1 (impact du refroidissement négligeable)
 - MAIS : la valeur ne présume en rien de l'efficacité et de la pertinence des usages informatiques effectués dans les centres

OK, on bifurque... comment faire ?

Concrètement, au LISN...

R
E
C
H
E
R
C
H
E

Action Transverse Recherche Responsable

Impacts
environnementaux
du numérique

Éthique de l'IA

Science Ouverte

D
D
R
S

Engagement et Responsabilité

Commission
Développement
Durable

Cellule Égalité-
Parité

Commission
Doctorants

Actions de la Commission DD du LISN

Labo pilote expérimentation Labos 1point5, soutenu et co-financé par le CNRS, INRAE, l'ADEME et INRIA

SENSIBILISATION

- fresque du climat
- exposition LISN 2030
- exposition La recherche d'aujourd'hui pour les énergies de demain
- atelier SEnS (INRIA)
- atelier prospective

QUESTIONNAIRES

- positionnement vis-à-vis du changement climatique et du rôle de la recherche
- transports domicile-travail
- propositions de mesures bas carbone

SÉMINAIRES

- présentation du bilan GES
- expérimentation Labos 1point5

PROPOSITIONS DE MESURES BAS CARBONE

- présentation en AG
- questionnaire d'adhésion

BILAN GES
et groupe de travail

Certain(e)s
réfléchissent
à leurs
thématiques

Suite de l'expérimentation : prise de mesures pour limiter les émissions et évaluation de l'impact des mesures
But : faire baisser les émissions du laboratoire

Plusieurs
d'entre nous
ont engagé
des réflexions
sur leurs
recherches...

Propositions mises au vote du Conseil de laboratoire

- Achats informatiques (garantie, réparation, mutualisation)
- Achats d'alimentation (favoriser les aliments de moindre impact)
- Énergie (évaluer et réduire la consommation d'énergie, optimiser le chauffage)
- Missions (modes de transport, quotas carbone)



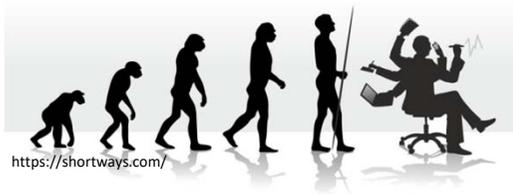
Recherche et climat,
quelle équation ?

La recherche en numérique pour le climat ?

- Modélisation, simulation et analyse du climat *via* les calculateurs
- Analyse des sols (images satellites)
- Optimisation de schémas électriques (smart grids, champs d'éoliennes)
- And so on...



Ne pas oublier : faire le bilan bénéfices/impacts quand on veut bifurquer (doit-on arrêter certains courants ? Quels choix veux-je faire ?)



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
- Réfléchir collectivement à nos sujets et objets de recherche

Sobriété Numérique, les clés pour agir. Frédéric Bordage, Ed. Buchet-Chastel, 2019.

L'impératif de la sobriété numérique, l'enjeu des modes de vie. Fabrice Flipo, Ed. Matériologiques, 2020.

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 éco-responsable , 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
<http://www.ademe.fr/face-cachee-numerique>
- Publication de carbone 4 sur la part que chacun peut prendre au changement
<https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Publication-Carbone-4-Faire-sa-part-pouvoir-responsabilite-climat.pdf>
- 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.
- Guides et publications du GDS EcoInfo :
<https://ecoinfo.cnrs.fr/>