

Usages, matériels et données : agir pour réduire nos impacts

Fabrique de la Science Ouverte
Décembre 2023

Emmanuelle Frenoux

Emmanuelle.Frenoux@universite-paris-saclay.fr

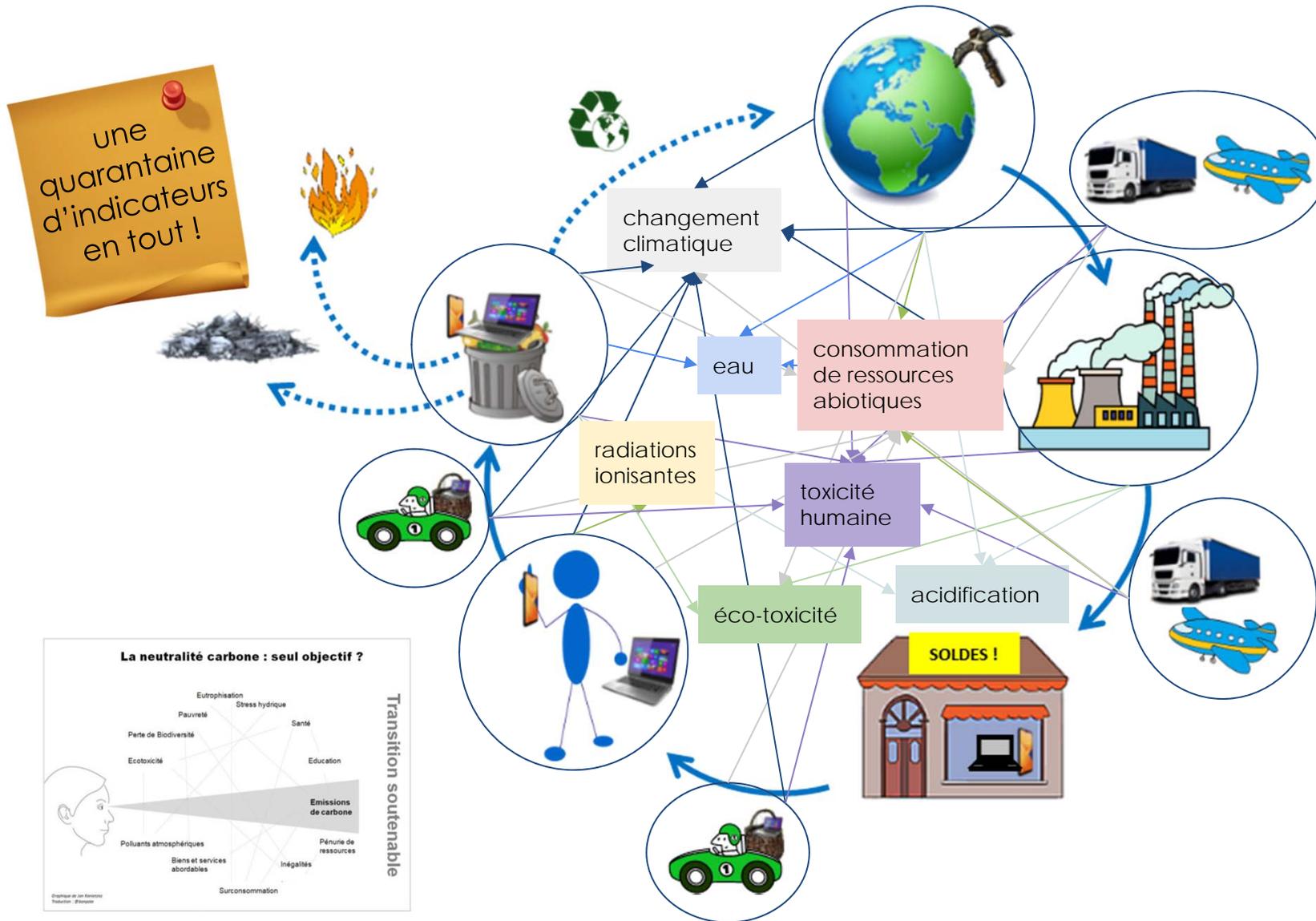


POUR UNE INFORMATIQUE ÉCO-RESPONSABLE

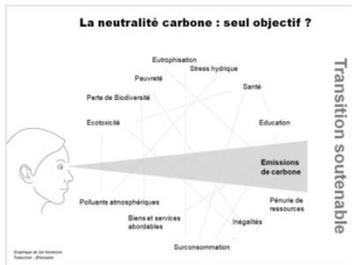


Rappel : les impacts sont multiples...

Impacts directs du numérique



Comment mesurer les impacts directs ?



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)

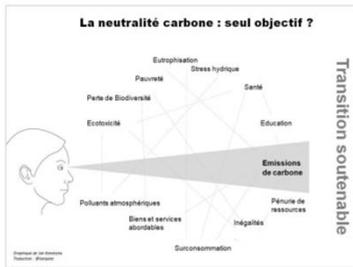
Un exemple de mesure du coût du transit des données :

<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>

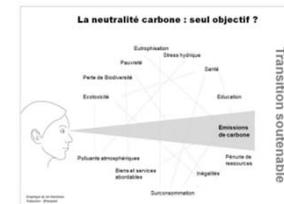
<http://www.ecoindex.fr/>

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

Focus centres de calcul/de données 1/2

- PUE : Power Usage Effectiveness
 - mesure de l'efficacité énergétique (rendement)
 - Développé par le consortium The Green Grid
 - $PUE = \frac{\text{Energie Totale Consommée par le Centre}}{\text{Energie Totale Consommée par les équipements Info}}$
 - 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
- Attention : on ne regarde que l'usage !
- Peut-on retirer la chaleur fatale dissipée "intelligemment" du PUE ?
- Et pour l'énergie issue de panneaux solaires ?



Focus centres de calcul/de données 2/2

- CUE (Carbon Usage Effectiveness)

- $CUE \left[\frac{kgCO_2}{MWh} \right] = \frac{\text{Total des émissions de GES}}{\text{Energie consommée par les équipements informatiques}}$
 - Plus il est proche de 0, moins le centre émet de CO₂

- WUE (Water Usage Effectiveness)

- $WUE \left[\frac{L}{kWh} \right] = \frac{\text{Consommation annuelle en eau du data center}}{\text{Energie consommée par les équipements informatiques}}$
 - Eau servant au refroidissement des machines

Rappel : une simple Analyse du Cycle de Vie nous montre que l'extraction des matières premières et la production cumulent le plus gros des impacts environnementaux

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 ?

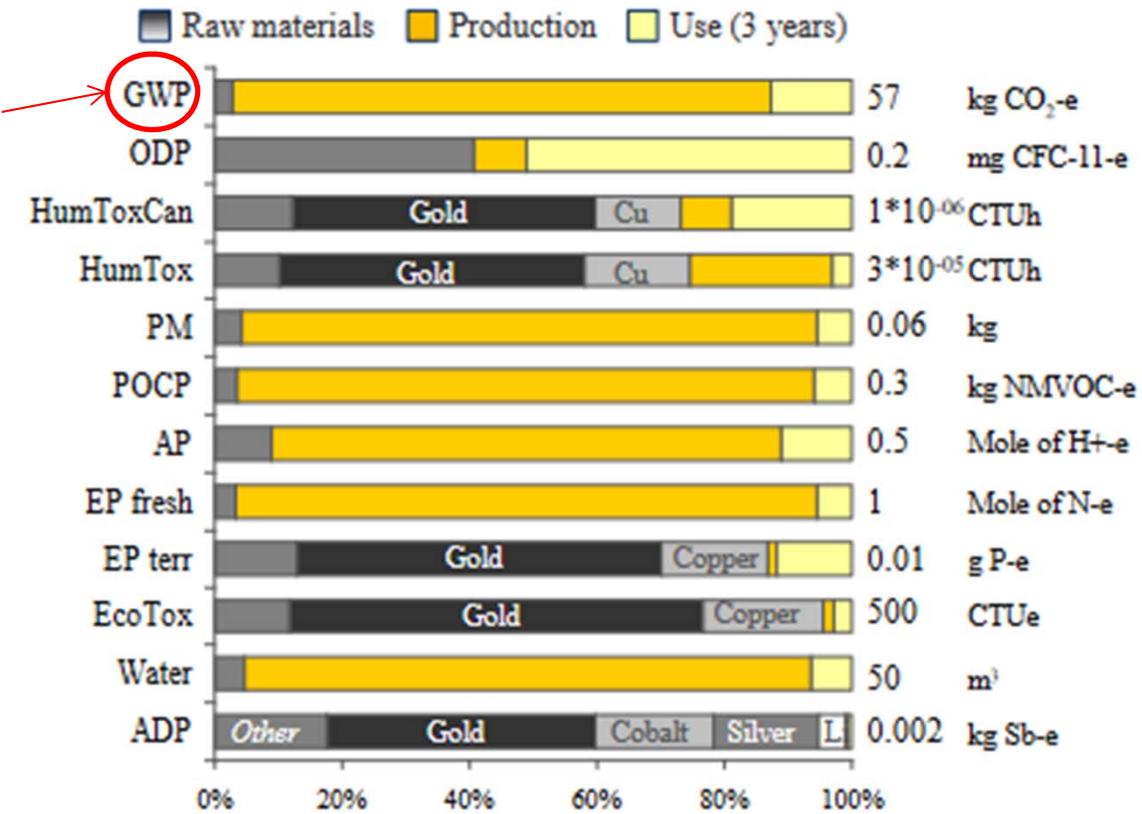
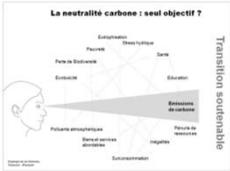
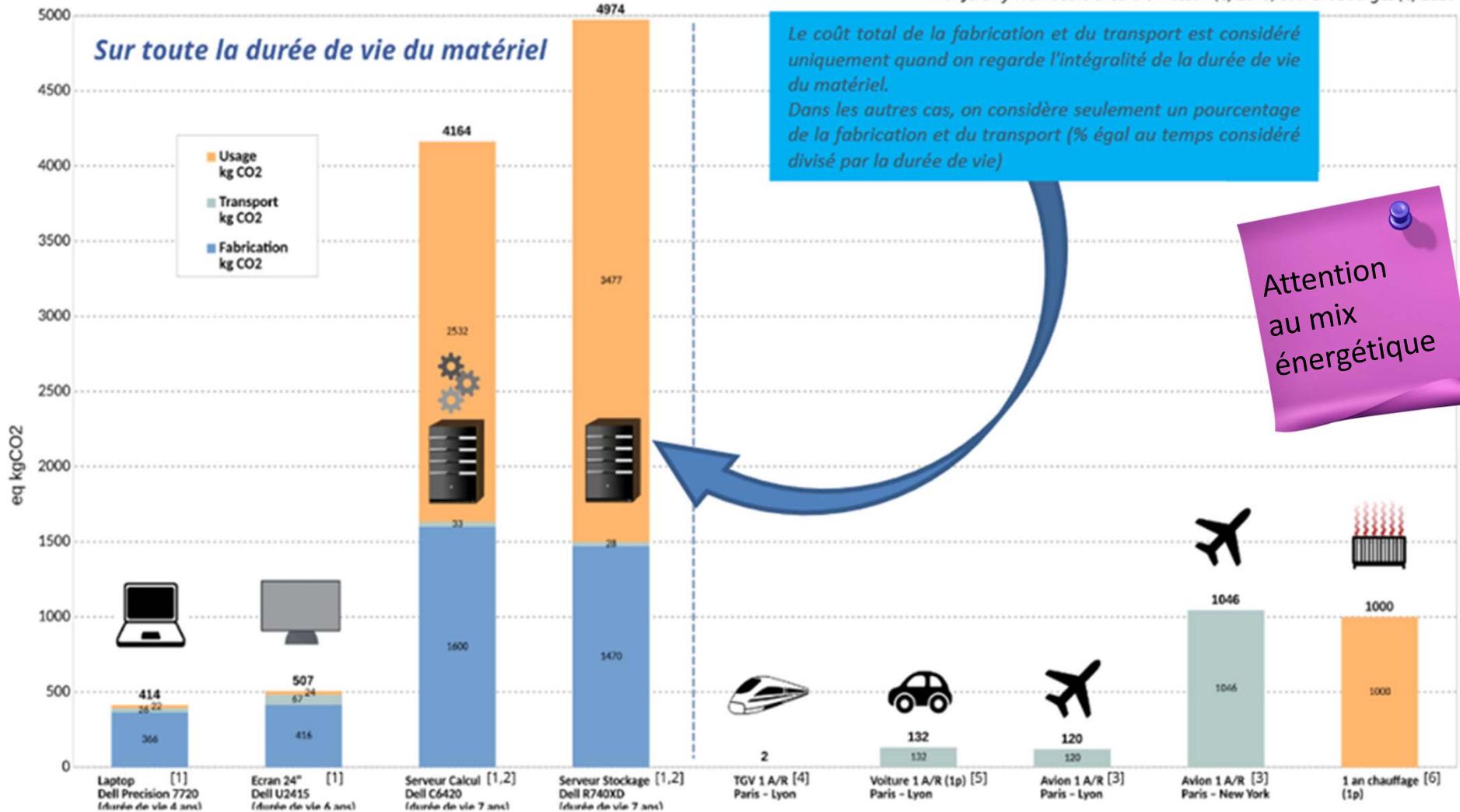


Fig. 4 Total life cycle result for all impact categories for smartphone Z5 with accessories using Ecoinvent database and adopting a 50/50 recycling approach with 19% recycling of gold assumed.



Impact carbone des matériels

Par Jérémy Wambecke & Carole Plasson (C) 2019, Laurent Bourges (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
- Choisir des garanties longues
- Prolonger la durée de vie des matériels (réparer)
- Acheter du matériel raisonné, réparable longtemps ou reconditionné (/!\)
- Prendre en compte les critères d'achat responsable
- Louer (/!\)
- Mutualiser



**DONS.ENCHERES-
DOMAINE**

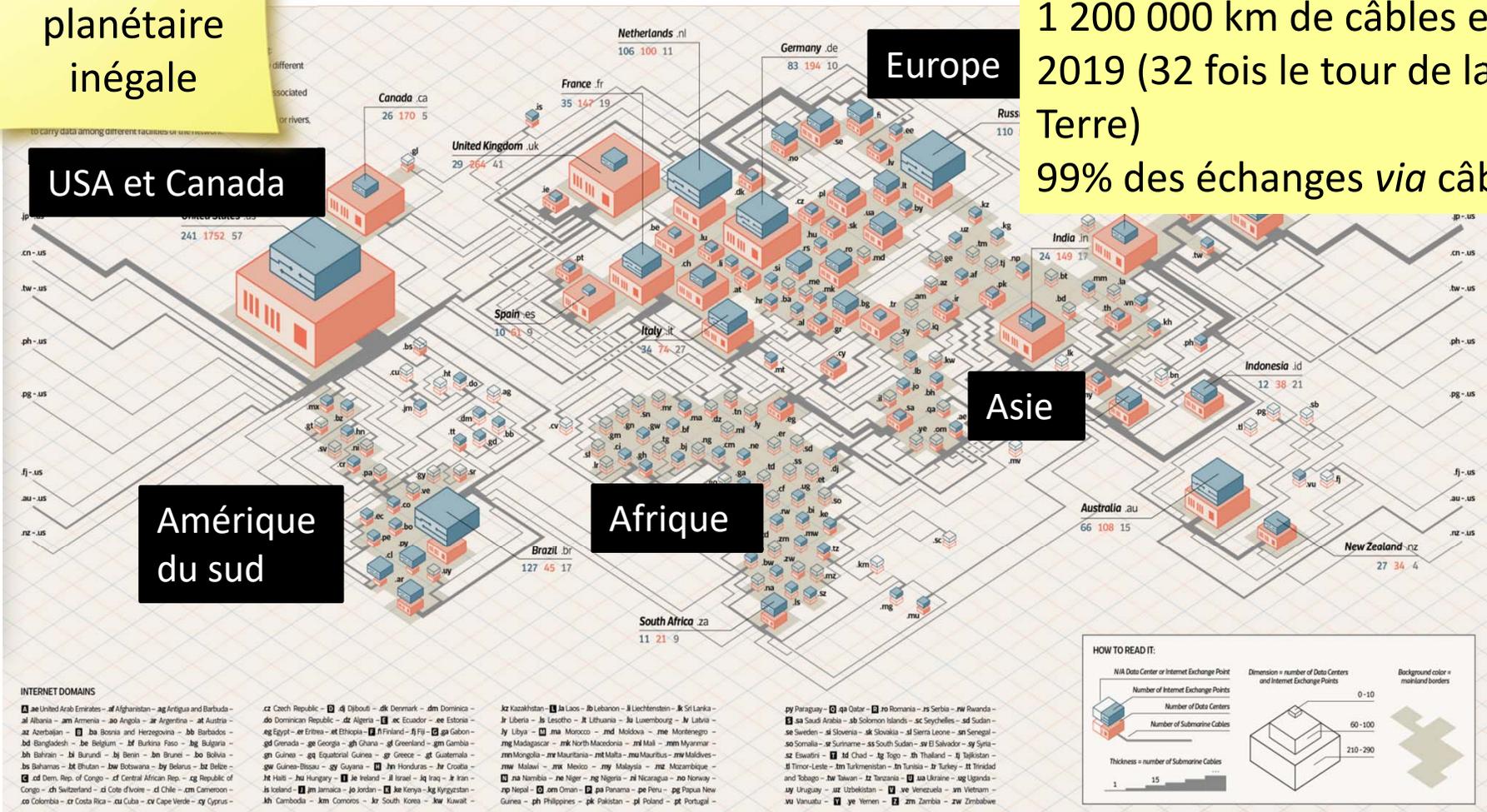
Dons des biens mobiliers du
Domaine

Au-delà du matériel, les
infrastructures...

Infrastructures réseau et câbles...

Répartition planétaire inégale

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



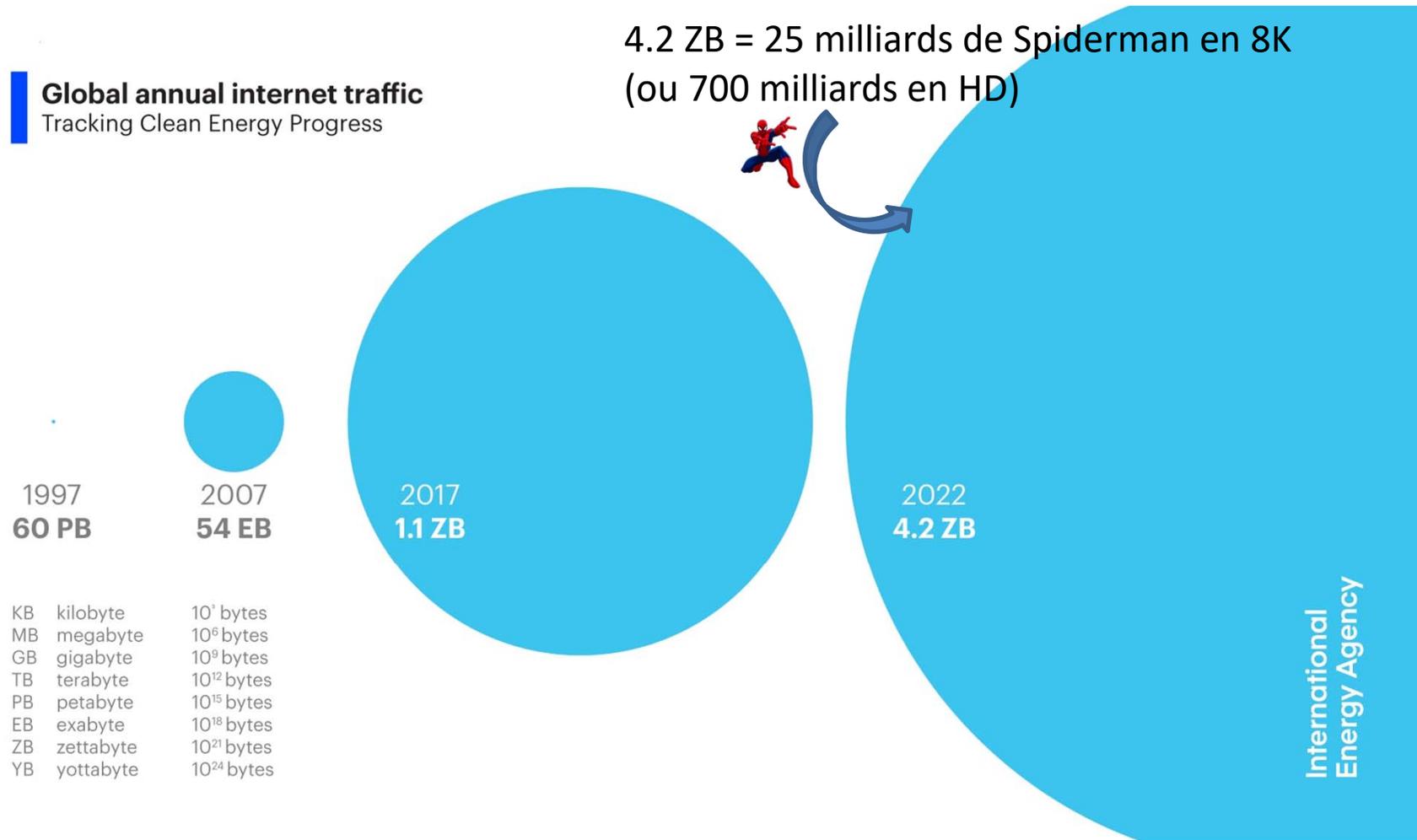
Légende

- Liens sous-marins
- Points d'échange trafic FAI
- Centres de données

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

Et à propos de données...
quels volumes sur le réseau ?

Volume de données annuel, chronologie...



Il y a quoi, dans tous ces octets ??

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



Bonnes pratiques Streaming

- Limiter le 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/>, <https://ublockorigin.com/fr>)
 - En trompant le navigateur (<https://www.greenit.fr/2015/09/15/web-eliminer-definitivement-les-publicites/>)

Focus visioconférences et webinaires

Données échangées d'une minute de visioconférence sur mobile
 Greenspector - Visioconférences - Avril 2021
 Plus cette valeur est basse, meilleure est l'



Quantité de données en visio :

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

webinaire : similaire au streaming...

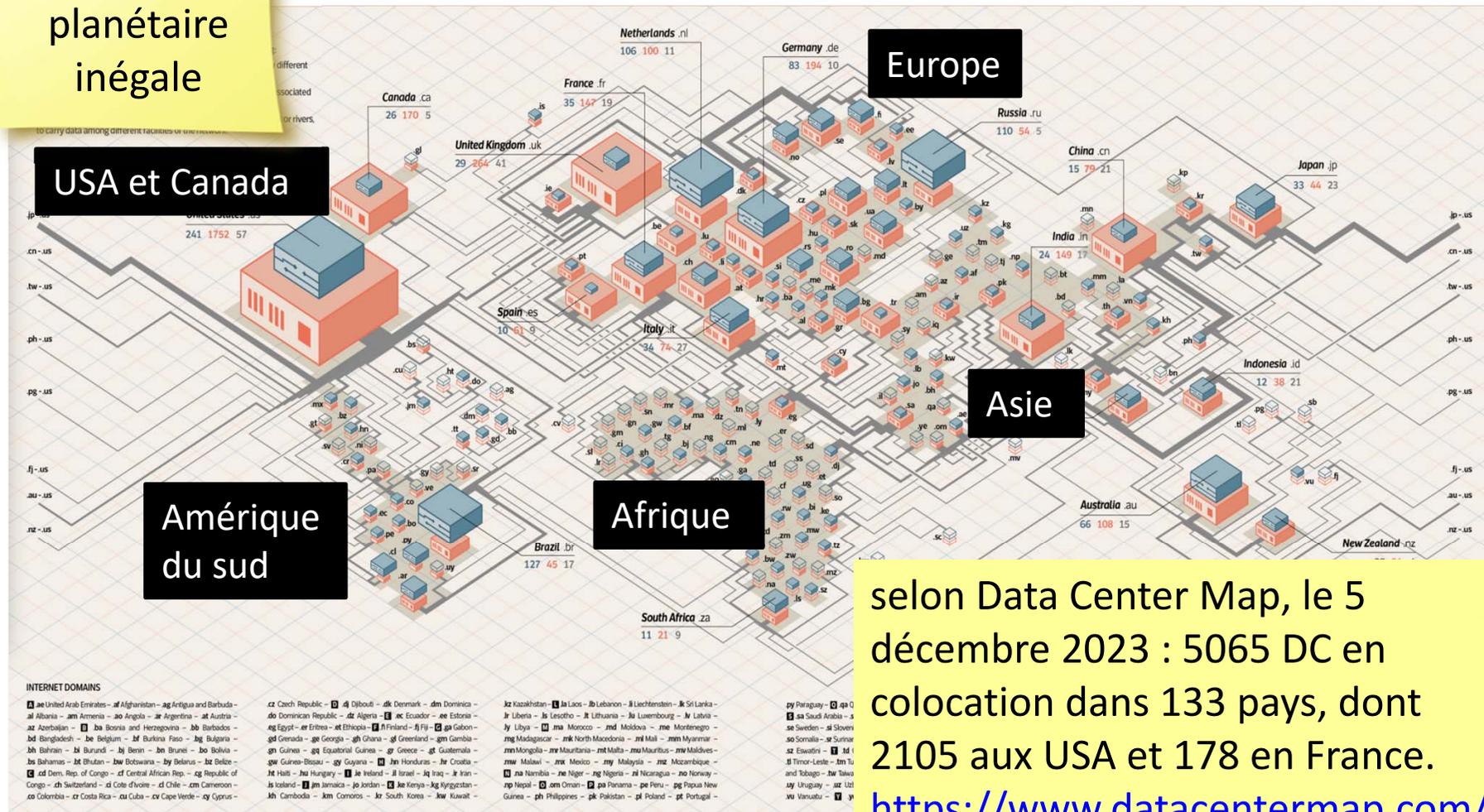
Paris-Berlin
en avion : 275 ± 27 kg eCO2 (sans traînées de condensation)
 ou 502 ± 352 kg eCO2 (avec)
en voiture : 493 ± 296 kg eCO2 (1 personne/voiture)
en train : 34 ± 20 kg eCO2
Visio : 7 g à 70 g eCO2/h (max 1,12 kg eCO2 pour 16h)
 Données : Labos1point5

Bonus saturation cognitive et CO2

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

Centres de Données

Répartition planétaire inégale



selon Data Center Map, le 5 décembre 2023 : 5065 DC en colocation dans 133 pays, dont 2105 aux USA et 178 en France.
<https://www.datacentermap.com/>

Légende

- Points d'échange trafic FAI
- Centres de données
- Liens sous-marins

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)
- En 2015, l'institut Uptime considérait qu'aux États-Unis, 30 % des serveurs dans les centres de données étaient comateux (allumés pour rien)
- Faible proportionnalité énergétique (utilisation très variable)
- Lorsque l'usage d'un serveur diminue, sa consommation électrique ne tend pas vers zéro, mais vers 50 % de sa puissance électrique maximale

Source : <https://interstices.info/le-vrai-cout-energetique-du-numerique/>
<https://uptimeinstitute.com/>

Que stockons-nous pour nos recherches ?

- Données textuelles (formats variés)
- Images (de textes anciens, médicales, photos satellites, etc.)
 - 1 examen IRM (80 images 256x256) : 10 MégaOctets
 - Projet SKA (Square Kilometer Array) : 1 ExaOctets par jour
- Vidéos
 - 1h de vidéo 4K (3840 x 2160 pixels) : une vingtaine de GigaOctets
- etc.

1 kilooctet (ko)	= 10 ³ octets
1 mégaoctet (Mo)	= 10 ⁶ octets
1 gigaoctet (Go)	= 10 ⁹ octets
1 téraoctet (To)	= 10 ¹² octets
1 pétaoctet (Po)	= 10 ¹⁵ octets
1 exaoctet (Eo)	= 10 ¹⁸ octets
1 zettaoctet (Zo)	= 10 ²¹ octets
1 yottaoctet (Yo)	= 10 ²⁴ octets
1 ronnaoctet (Ro)	= 10 ²⁷ octets
1 quettaoctet (Qo)	= 10 ³⁰ octets

➤ archivage, expés, mise à disposition, etc. : les usages sont multiples

Quelques ordres de grandeur

Quoi	Qu'est ce que cela inclut ? (périmètre)	combien ? (en g eq CO2)
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/
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 6 à 30 g https://hal-cnrs.archives-ouvertes.fr/hal-03573790v1
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
une heure.coeur de calcul	Les serveurs, les équipements de refroidissement et d'alimentation électrique (fabrication, transport et usage)	de l'ordre de 1,5g - 4g (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
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, Gaël Guennebaud, cours Numérique et Environnement, Formation Continue Labos 1point5, 2023



Stocker ou ne pas stocker les données ?

- Coût et complexité d'acquisition vs coût du stockage
 - Nb : on parle coût environnemental, mais parfois, d'autres contraintes interviennent
- Mode de stockage
 - données chaudes
 - données froides
- Éviter les silos



Quel format pour les données ?

- Penser aux principes du FAIR (Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable)
<https://www.ccsd.cnrs.fr/principes-fair/>
- Partage des données
 - normalisation et documentation
 - formater
 - utiliser des standards (partage, réutilisabilité)
 - incitation à travailler avec du texte (format particulièrement facile à pérenniser à moindre coût environnemental)
- Attention aux choix de formats et de langages (poids des fichiers, interopérabilité)
- Importance des métadonnées notamment dans la gestion des collections (découvrabilité, réutilisabilité)



En conclusion, pour les données

- une application intelligente des principes FAIR et de la science ouverte va dans le sens d'une activité de moindre impact environnemental

Dans nos labos, le travail sur les données ne représente qu'une partie des émissions liées aux activités de recherche...

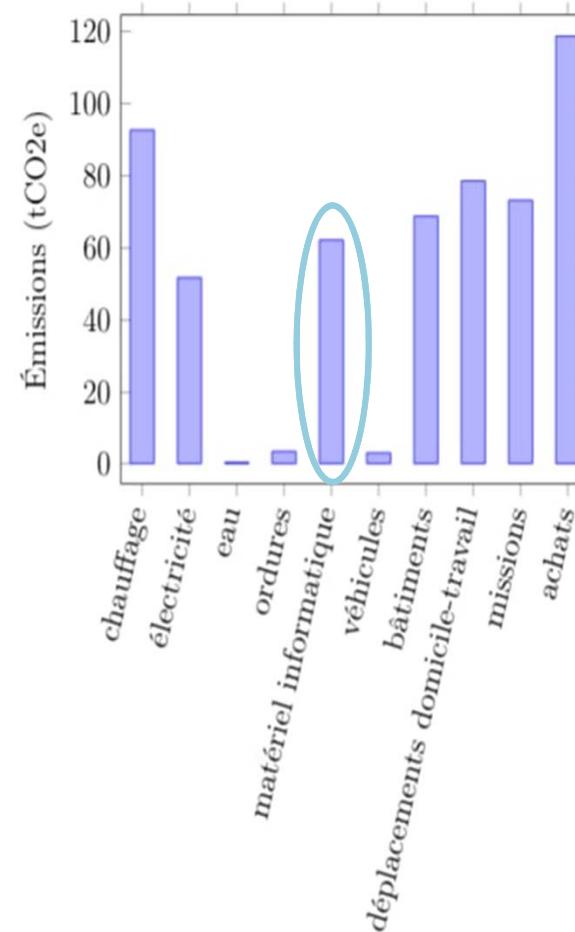
Qui elles-mêmes ne représentent qu'une partie du total de nos émissions.

Les TIC, c'est aussi du code et du calcul...

Le calcul et les TIC à l'échelle d'un labo

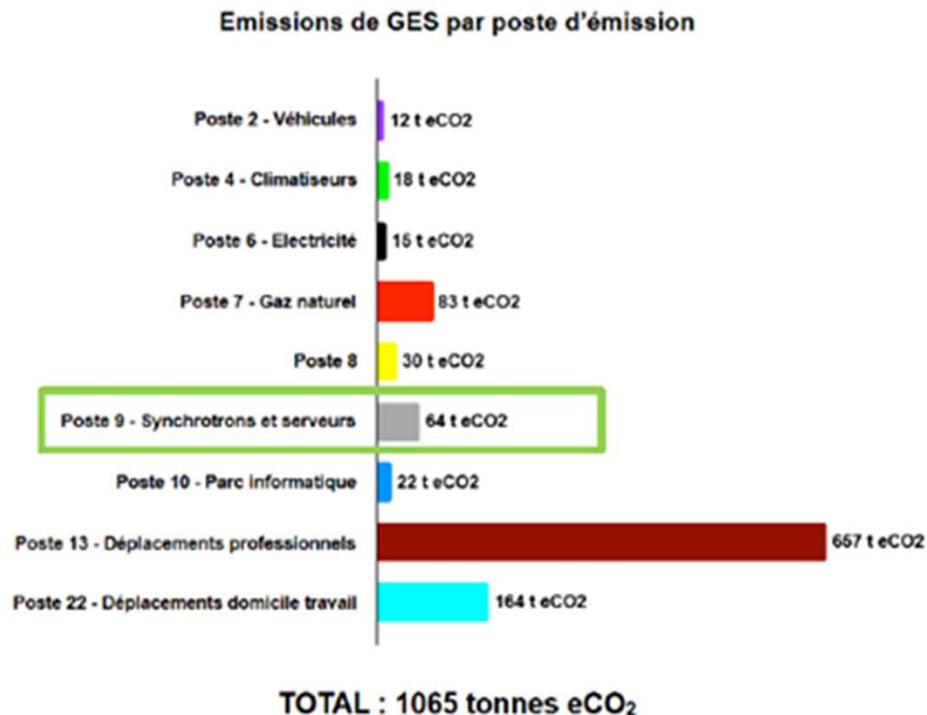


LOCEAN : UMR, 2019
187 personnes, INSU.



LIMSI : UPR, 2019
169 personnes, INS2I.

Le calcul et les TIC à l'échelle d'un labo



ISTERRE, bilan 2017, 250 personnes

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

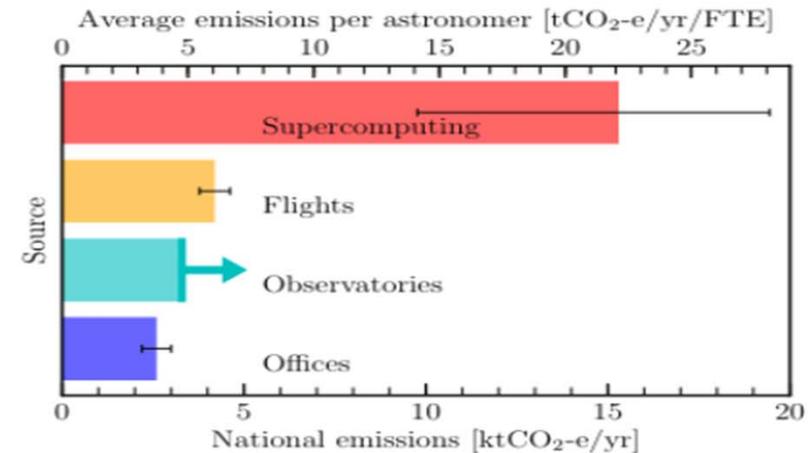
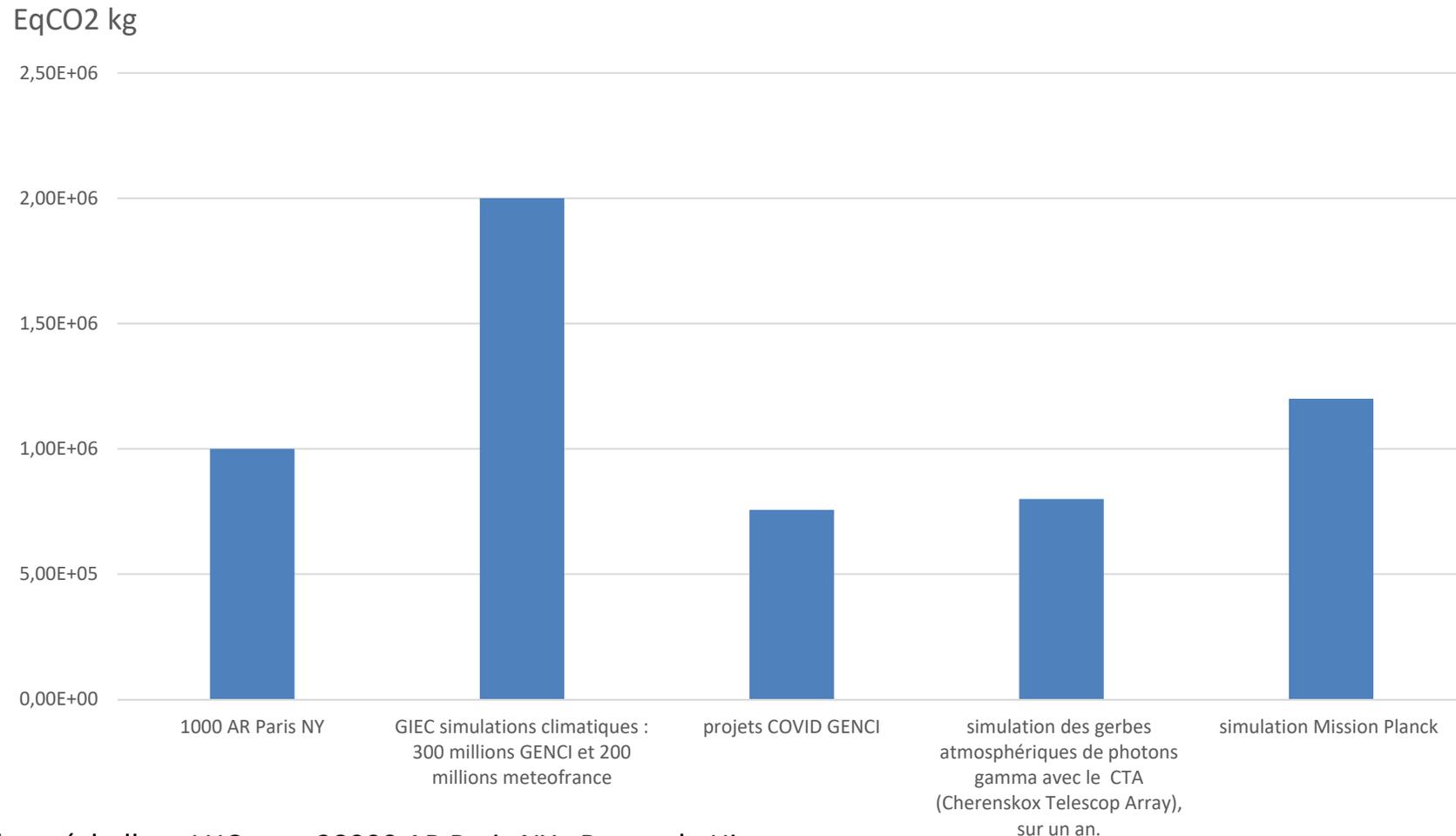


Figure 2: Breakdown of the four sources of Australian astronomers' emissions considered in this work. Error bars provide an estimate of our uncertainties, but should not be interpreted as formal confidence intervals. The value for observatories is a lower limit. 'Per astronomer' refers to the 691.7 FTE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

Le calcul à l'échelle d'un pays...



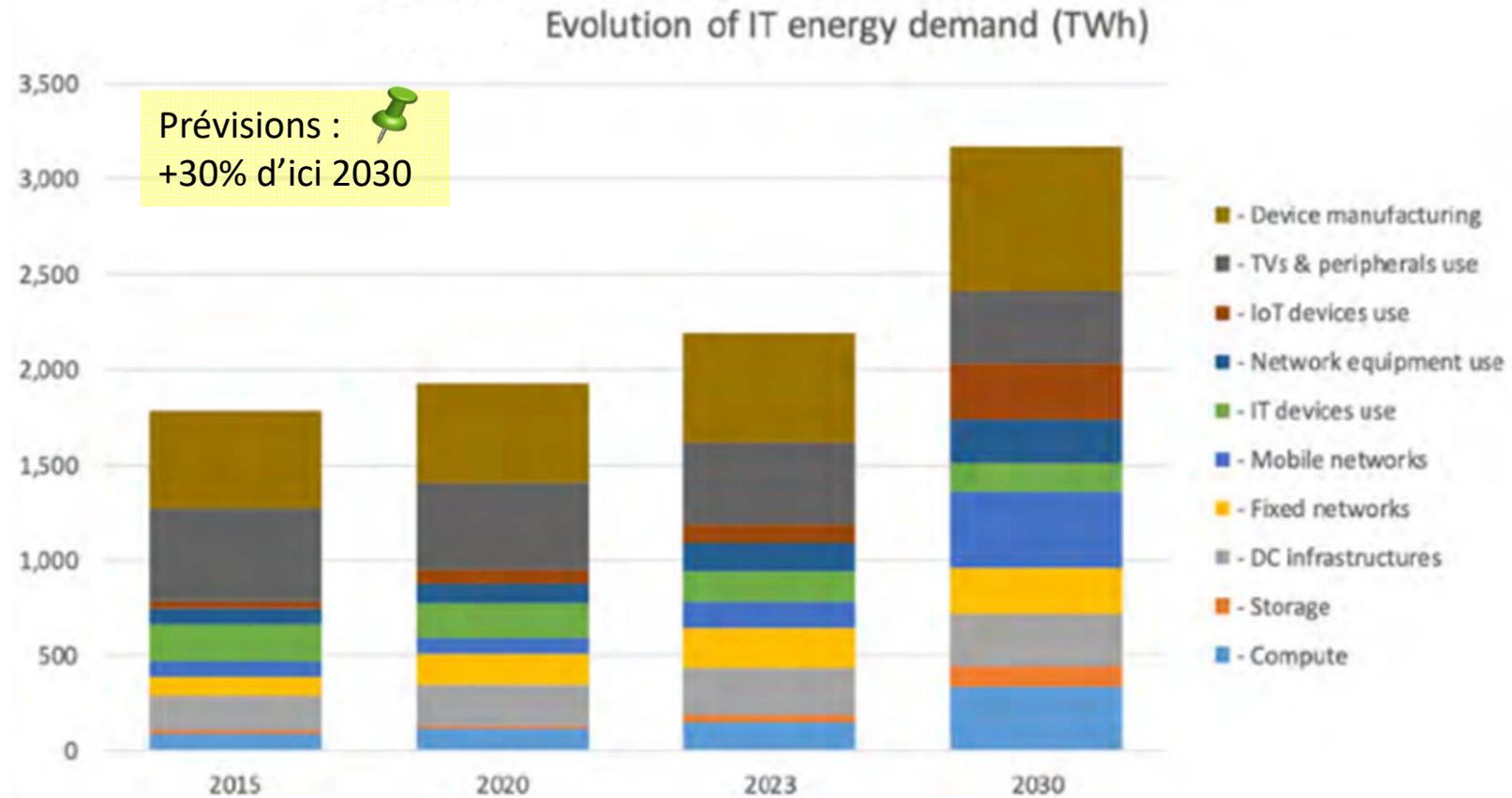
+ hors échelles, LHC avec 28000 AR Paris NY : Boson de Higgs :

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

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



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 : localisation, efficacité énergétique

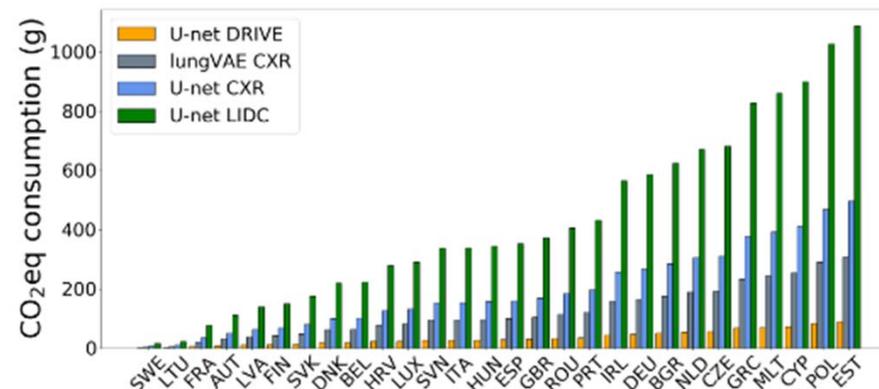


Figure 4. Estimated carbon emissions (gCO₂eq) of training our models (see [Appendix B](#)) in different EU-28 countries. The calculations are based on the average carbon intensities from 2016 (see [Figure 8](#) in Appendix).

Impact du code et du calcul :
to be continued...

Restez pour la présentation de Romain ;-)



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/>

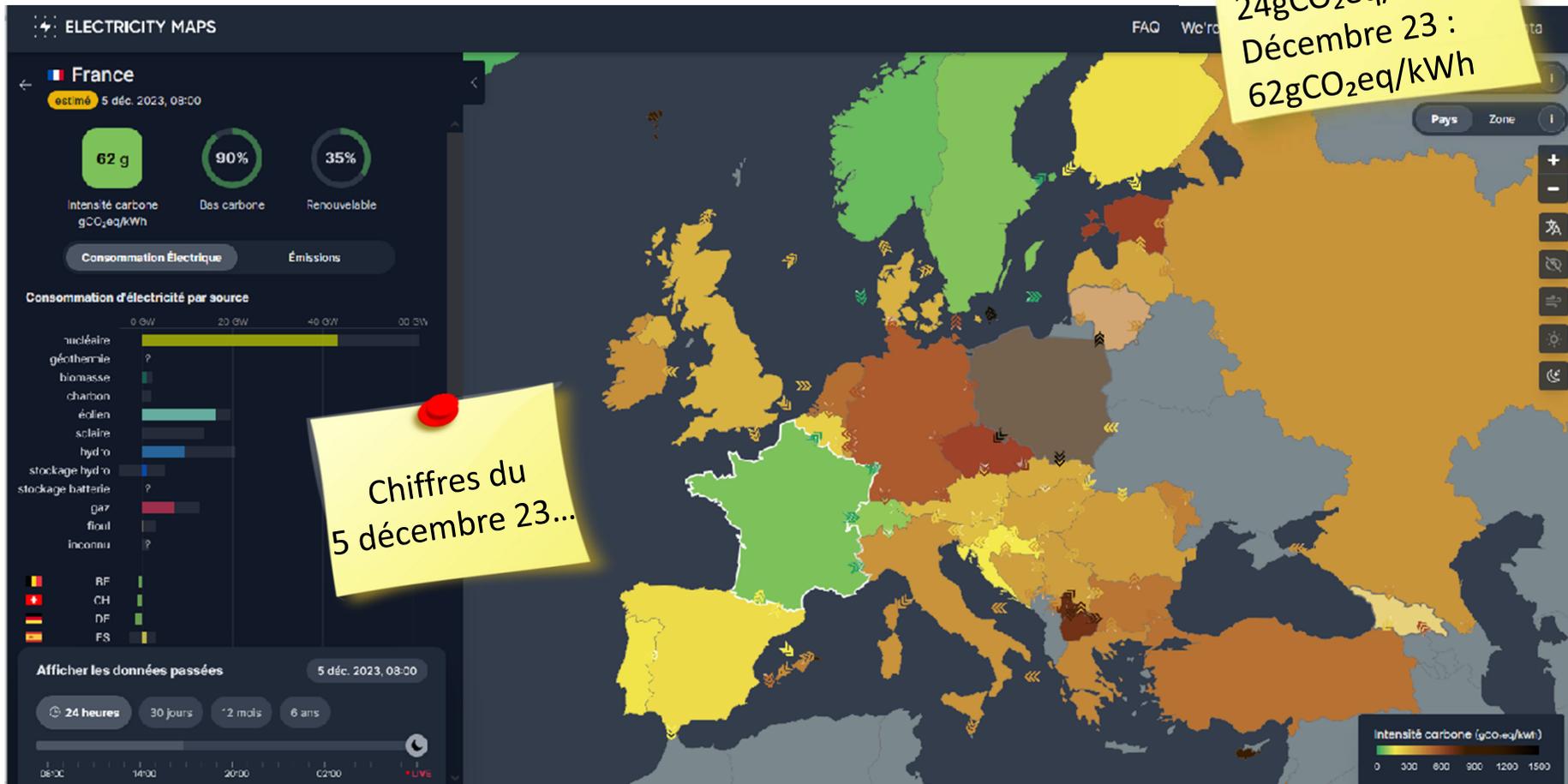


Bien urbaniser son centre

- Organisation allées chaudes/froides (cloisonner, y compris dans les racks, pour éviter la recirculation)
- Préférer les grands racks
- Séparer les cheminements des fluides
- Mesurer et archiver les consommations électriques
- Calculer les indices d'efficacité pertinents
- Récupérer la chaleur fatale, si possible
- Se poser la question de la source d'énergie

Énergie propre ?

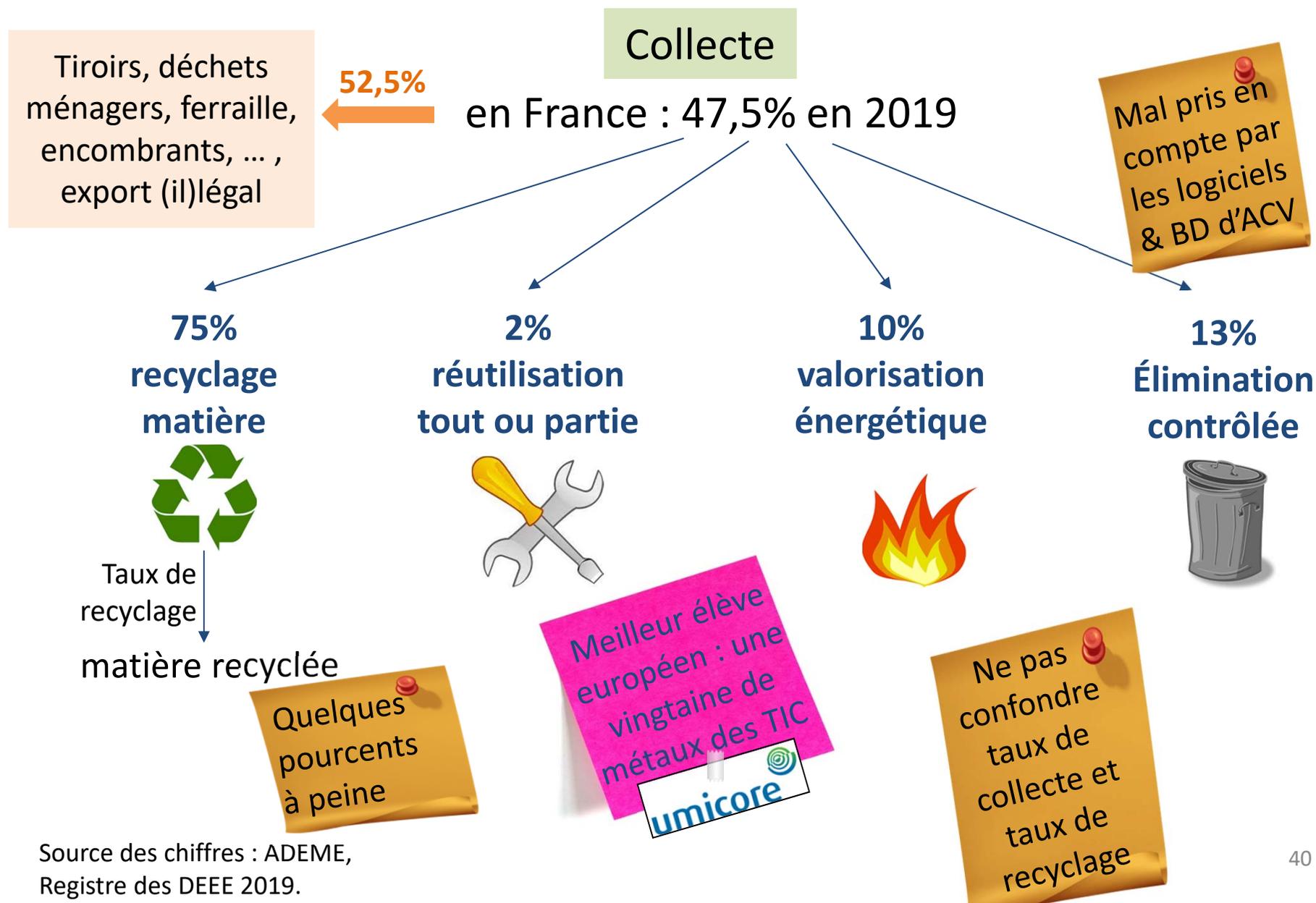
Décembre 22 :
109gCO₂eq/kWh
Juillet 23 :
24gCO₂eq/kWh
Décembre 23 :
62gCO₂eq/kWh



Source : <https://app.electricitymaps.com/zone/FR>

Fin de vie :
petit EEE deviendra grand DEEE

En fin de vie, il y a un impact aussi...



Source des chiffres : ADEME,
Registre des DEEE 2019.

Export illégal des DEEE et pollution



Pollution des sols, des eaux, de l'air, risques pour la santé humaine, droits de l'enfant, etc.



Images : FranceTVinfo,
reportage au Ghana

Bonus... ou pas...

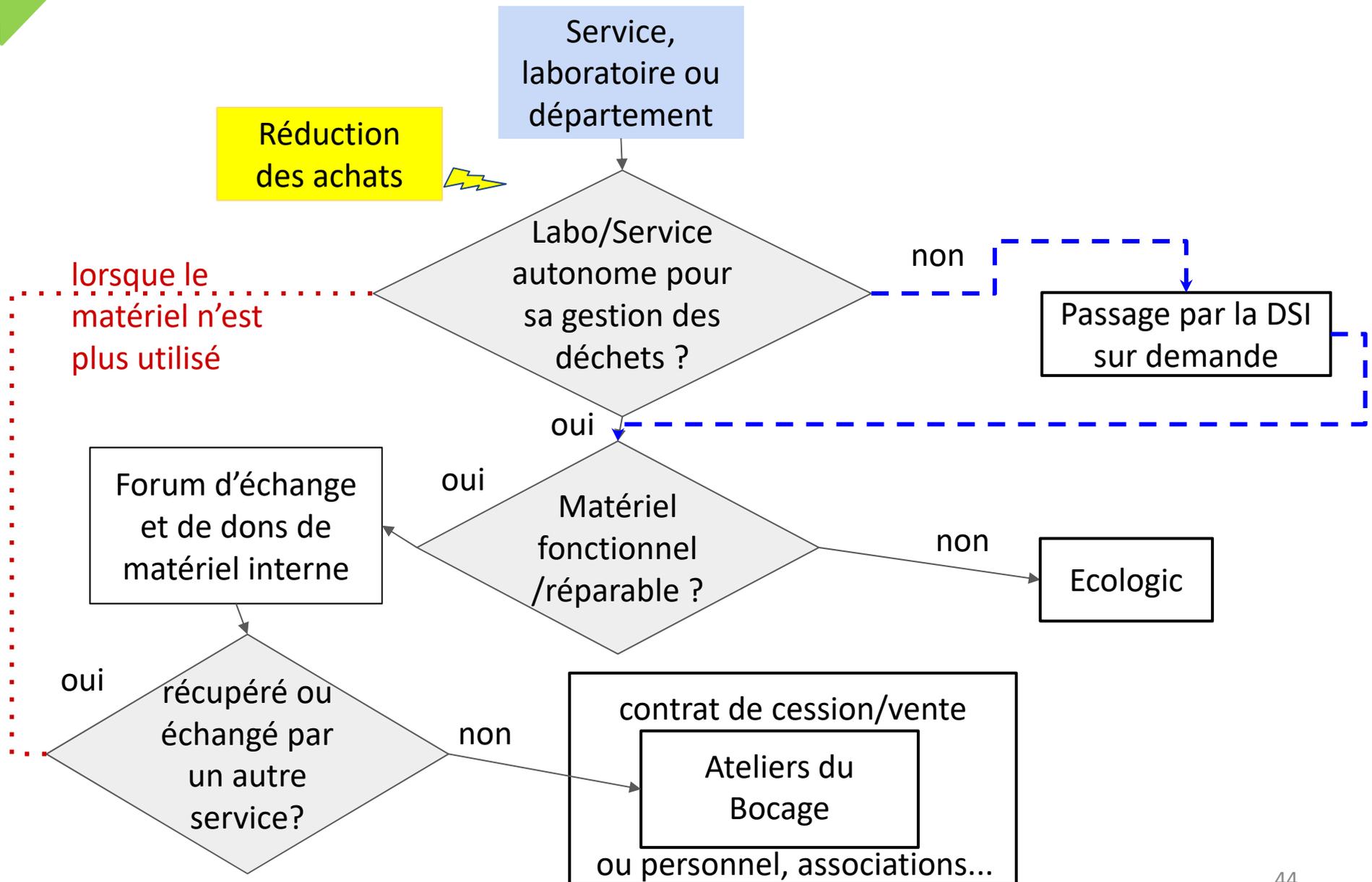
On a très peu de données concernant les impacts environnementaux des DEEE !



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 :
remettre à niveau, réparer
 - contourner l'obsolescence programmée
 - favoriser le réemploi
- Lorsque le matériel est hors d'usage, s'adresser à des filières ou associations spécialisées et agréées

Comment gérer les équipements ?



Nous n'avons parlé que des impacts directs, il y a également des impacts indirects ou induits

Effets directs, effets indirects ?

Type	Périmètre	Effet	Exemples
Effets directs	équipements eux-mêmes	impacts des phases du cycle de vie (extraction, fabrication, transports, usage, traitement déchets)	énergie grise / consommation d'énergie en usage / pollution des eaux lors de l'extraction des métaux
Effets indirects	 effets sectoriels	effets générés par l'utilisation du numérique (optimisation, substitution, induction)	achat de matériel supplémentaire / dématérialisation
	 effets sectoriels	effets générés par les gains d'efficacité grâce au numérique (effets rebond directs et indirects, obsolescence)	Augmentation de consommation énergétique des 500 calculateurs les plus rapides malgré les gains d'efficacité. Obsolescence des équipements ménagers, obésiciels, etc.
	effets systémiques	obsolescence systémique, accélération des flux (logistiques, financiers, de personnes, ..)	obsolescence en cascade (logiciels, connectique, systèmes, pièces, équipements...) accélération de l'économie (trading haute fréquence,...)
	 effets systémiques	transformations sociétales/effets sociaux	télétravail et déménagements, mondialisation ++

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 énergies renouvelables, numérique, mobilité, ...

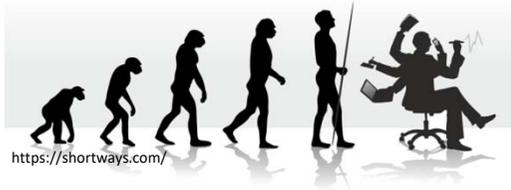
En conclusion...

Les enjeux sont importants

- Disproportion Nord/Sud (activités des pays du nord incompatibles avec la préservation d'une planète vivable)
- Deux voies
 - adaptation des fonctionnements existants (ajustement à la situation climatique)
 - mitigation (réduction des émissions de GES, réduction de l'activité)
- Scénarii de l'ADEME : importance du techno-solutionnisme en Europe/dans les pays du Nord
<https://www.ademe.fr/les-futurs-en-transition/les-scenarios/>
- Problème systémique → pas de solution simple, consensuelle et implémentable en largeur.

Les petits gestes sont-ils vraiment utiles ?

- toute réduction est bonne à prendre
- pour faire bouger le système, il faut s'y attaquer à de multiples niveaux
- les améliorations ne se mesurent pas qu'en tonnes de CO2 épargnées
- nous devons montrer l'exemple



Vers la sobriété numérique...

- Ralentir
- Réduire nos usages et nos achats
- Mutualiser
- Avoir un usage raisonné
- Débrancher/éteindre (ordinateurs, serveurs, smartphones, ...)
- Mettre les Low Techs à la mode
- Faire attention au Green Washing
- Bifurquer ? (faire le bilan bénéfices/impacts)

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.

<https://ecoinfo.cnrs.fr>

