

Systemes d'information éco-responsables

Réduire les impacts des TIC sur notre environnement

Faire des choix éco-responsables (sobriété numérique)

« Le numérique s'inquiète enfin de ses impacts sur l'environnement et ne se considère plus uniquement comme faisant partie de la solution mais également faisant partie du problème du changement climatique »

Anne-Cécile Orgerie (CNRS - IRISA)

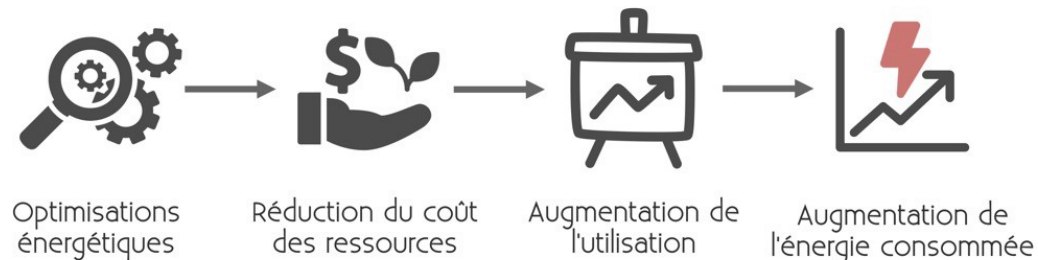


<http://ecoinfo.cnrs.fr>



Impact des TIC sur l'environnement (1/5)

Idée reçue : TIC réduisent émissions de gaz à effet de serre (2% pour réduire 98%)



- « Effets rebonds » de la mise en œuvre
 - consommation énergétique et émissions de gaz à effet de serre
 - épuisement des ressources non renouvelables
 - rejet de substances toxiques
 - accroissement des déchets, ...
 - Impacts de la fabrication et de la fin de vie des appareils
 - production = 3,5 x empreinte carbone liée à son utilisation prof. en France
 - Impacts sociaux de leur fabrication dans les pays émergents
-

La galaxie numérique : bienvenue dans le réel

Que cache le numérique, devenu indispensable et évident à l'usage, mais dont le fonctionnement reste souvent obscur ? Ce qui est certain, c'est qu'il n'a rien d'immatériel et que ses impacts environnementaux sont bien réels ! Ce secteur est responsable aujourd'hui de 4% des émissions mondiales de gaz à effet de serre et la forte augmentation des usages laisse présager un doublement de cette empreinte carbone d'ici 2025.

INTERNET AU NIVEAU MONDIAL

- ▶ 67 millions de serveurs
- ▶ 1,1 milliard d'équipements réseaux (routeurs, box ADSL...)
- ▶ 19 milliards d'objets connectés en 2019
- 48 milliards en 2025 selon les estimations

En 1 heure

- ▶ 8 à 10 milliards de mails échangés (hors spam)
- ▶ 180 millions de recherches Google

LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE GÉNÉRÉES PAR LE NUMÉRIQUE :

47% DUES AUX ÉQUIPEMENTS DES CONSOMMATEURS

53% DUES AUX DATA CENTERS ET AUX INFRASTRUCTURES RÉSEAU

600 kg de matières premières mobilisées pour fabriquer un ordinateur de 2kg

8,9 équipements / personne en 2021 en Europe occidentale contre 5,3 en 2016

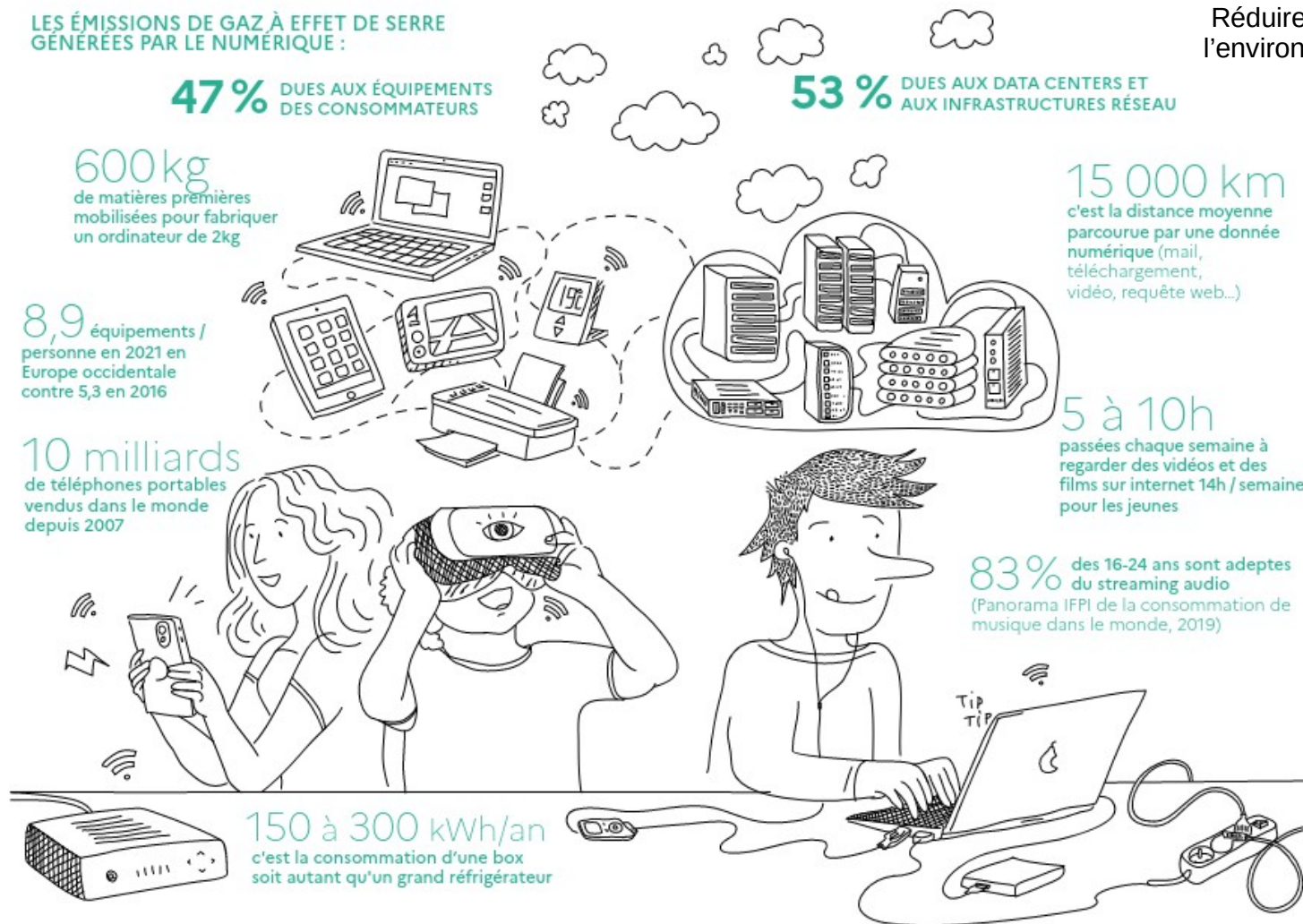
10 milliards de téléphones portables vendus dans le monde depuis 2007

15 000 km c'est la distance moyenne parcourue par une donnée numérique (mail, téléchargement, vidéo, requête web...)

5 à 10h passées chaque semaine à regarder des vidéos et des films sur internet 14h / semaine pour les jeunes

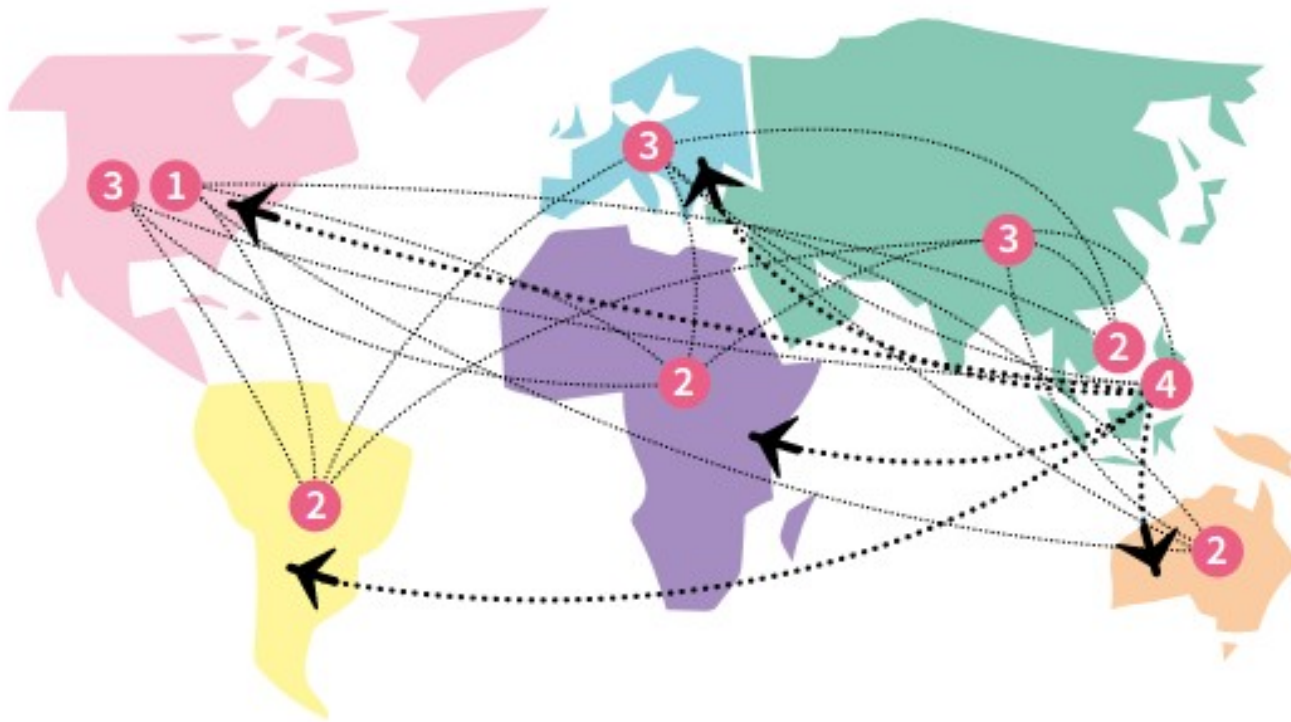
83% des 16-24 ans sont adeptes du streaming audio (Panorama IFPI de la consommation de musique dans le monde, 2019)

150 à 300 kWh/an c'est la consommation d'une box soit autant qu'un grand réfrigérateur



source : La face cachée du numérique,
Réduire les impacts du numérique sur l'environnement, ADEME, janvier 2021

QUATRE TOURS DU MONDE POUR FABRIQUER UN SMARTPHONE



source : ADEME et France Nature Environnement

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.

Impact des TIC sur l'environnement (2/5)

Consommation électrique et émissions de gaz à effet de serre

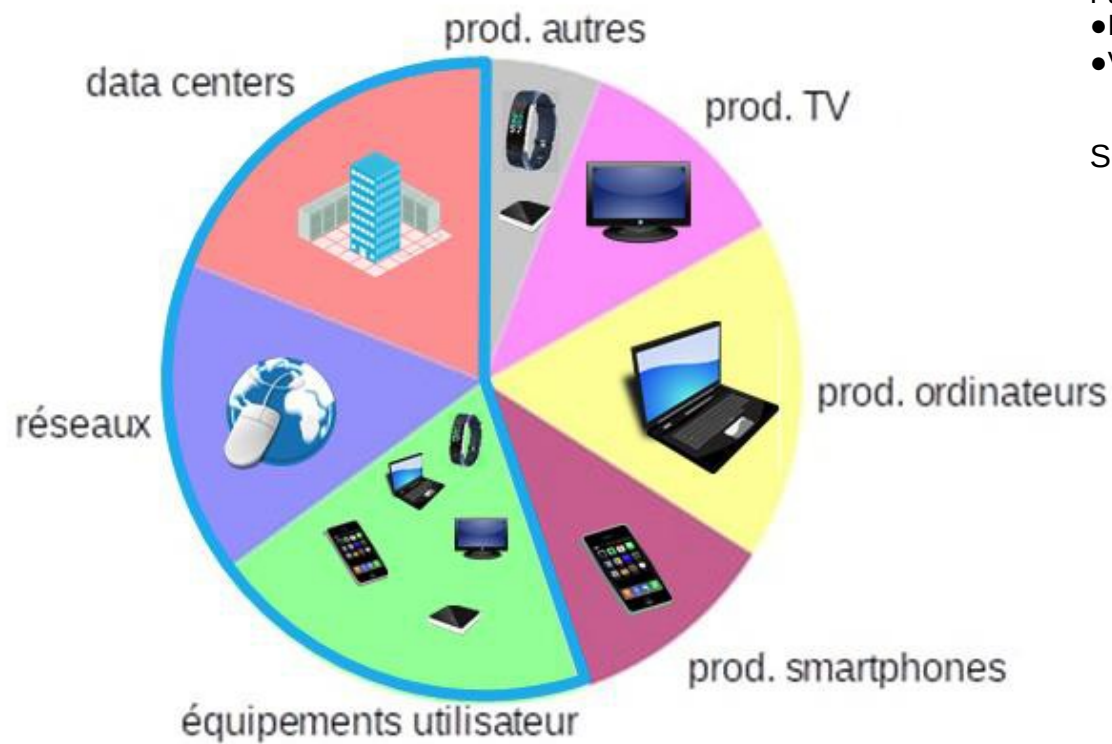
- 13,5% de la facture électrique française
- 5% des émissions françaises des gaz à effet de serre

Relativement modeste mais tendance inquiétante

Consommation = +10% par an sur les 10 dernières années

En contradiction avec objectifs du paquet énergie-climat de l'UE

Matériel informatique fabriqué essentiellement en Asie
(kWh : 10 x plus carboné qu'en France)



Facteurs d'émission de la production d'électricité :

- France 0.108 kg/kWh
- Vietnam 0.432 kg/kWh

Source : Ademe, base carbone 2011

Digital energy consumption 2017, source : [Lean ICT Materials] Forecast Model

Impact des TIC sur l'environnement (3/5)

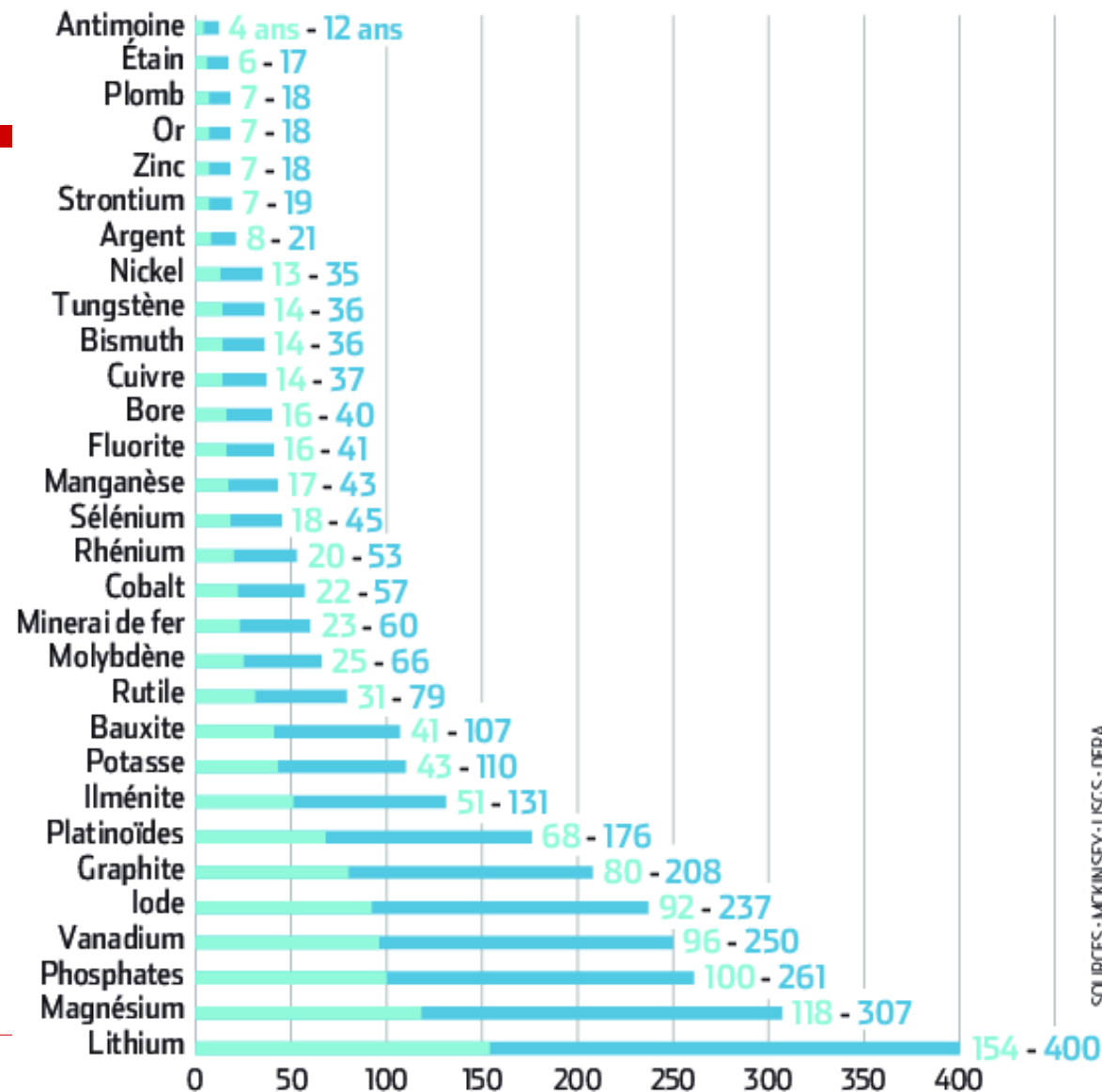
Epuisement des ressources non renouvelables

- Nécessite importantes quantités de métaux précieux, terres rares, minerais (terbium, hafnium, argent, or, zinc, coltan, ...)
Gisements connus épuisés au mieux dans 30 ans
 - Sac à dos écolo = poids de matières premières / poids du produit
Puce élec 2g = 2kg de mat. premières + 30kg d'eau (16.000:1)
 - ↑ puces électroniques /an avec ↑ de produits « intelligents »
 - Extraction de + en + polluantes (or en Guyane) : grande quantité de produits chimiques toxiques (mercure, arsenic, ...)
 - Marché noir et conflits armés : guerre civile, esclavage, enfants soldats
-

Durée de vie des réserves rentables (en années d'exploitation)

■ En cas de boom (demande accrue de 10% pendant dix ans)

■ Au rythme actuel de production



SOURCES : MCKINSEY ; USGS ; DERA

Impact des TIC sur l'environnement (4/5)

Pollution par des substances toxiques

- Directive européenne RoHS12 : restreindre (sans interdire) certaines substances (mercure, plomb, cadmium, le chrome hexavalent, ...)
 - Réglementation insuffisante : utilisation de retardateurs de flammes halogénés, additifs du PVC, phtalates, bisphénol A, arsenic, ...
 - US Environmental Protection Agency : 70% des métaux lourds des décharges nord américaines viennent du matériel électronique
 - Infiltration dans le sol, dans les nappes phréatiques puis dans la chaîne alimentaire !
-

Impact des TIC sur l'environnement (5/5)

Déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)

- + forte croissance en France : entre 2% et 3% /an
= 14kg /an à titre personnel et 10kg /an pour activité professionnelle
 - Quantité de DEEE professionnels ↑ + vite que capacité à les retraiter
 - Manque d'infrastructures de traitement des DEEE
→ disparition de cuivre, or, argent, palladium, indium, ...
 - DEEE expédiés illégalement dans pays émergents pour leur reconditionnement
-

Choix du logiciel

- Besoins logiciels (mémoire, puissance processeur, espace disque) et mises à jour conditionnent la durée de vie du matériel
- Saut de versions et outils + légers prolonge la durée de vie
- Durée de vie d'un ordinateur /3 en 25 ans = 3 ans depuis 2005

Recommandations

1. Ne pas mettre systématiquement à jour les logiciels (sauf MAJ sécurité)
 2. Privilégier les logiciels permettant une sélection fonctionnelle
 3. Désactiver les fonctions inutiles pour gagner 5 à 30% de performances
 4. Editeur s'engageant sur une durée de fonctionnement du logiciel pour une configuration technique donnée
 5. Prioriser des logiciels libres et des formats ouverts, assurant une meilleure pérennité et une meilleure interopérabilité
-

Choix du matériel

- En France : 40 millions d'ordinateurs (moitié dans les entreprises)
- ↑ de 10% /an : bien pour réduire la fracture numérique
mais - bien pour environnement
- Fabrication ordinateur = 100 x poids en matières premières
+ 164kg de déchets (dont 24kg toxiques)

Recommandations

1. Choisir du matériel durable, réutiliser, prendre des garanties longues (minimum 5 ans) avec des normes environnementales, humaines et énergétiques
 2. Doubler durée de vie (de 3 à 6 ans) en sautant des versions de logiciels
 3. Fin de vie : vendeur obligé de collecter et de retraiter les DEEE
 4. Privilégier matériel d'occasion reconditionné (label Ordi 2.0)
 5. Mise en veille prolongée ou gestion du parc informatique permettant d'éteindre et d'allumer les ordinateurs à une heure fixe
-

Centre de données (data center)

- Utilisation consomme + énergie que fabrication (23% du SI entreprise)
- Doublement entre 2000 et 2005 ; 1,3 M en France en 2008 ;
1 serveur pour 50 habitants en 2011
- + moitié de l'électricité sert à refroidir les serveurs
- Consommation mondiale en 2011 : environ 300 milliards kWh
autant de gaz à effet de serre que 50 millions de véhicules

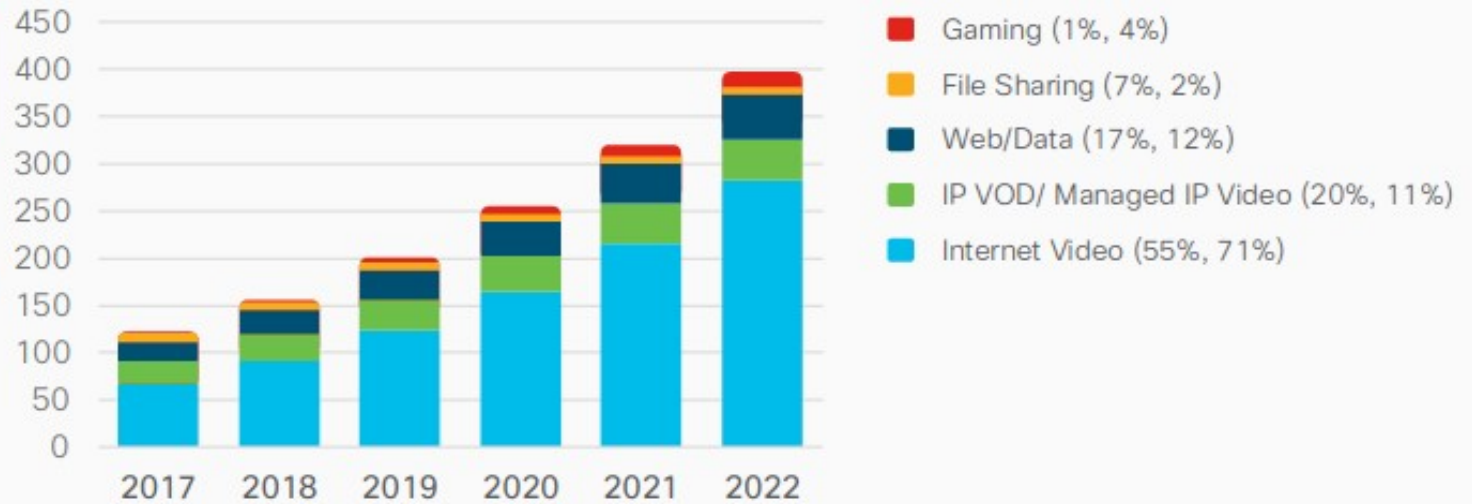
Recommandations

1. Privilégier les économies d'énergie à l'usage
 - éviter streaming et téléchargement (hors ligne, diminuer résolution)
 - désactiver autoplay, bloquer publicités
 - visio : couper la caméra lorsque possible
 - éviter pièces jointes : pointer la source, site de dépôt, transmission physique (clé usb)
2. Ne stocker que ce qui présente un intérêt
 - Disponibilité 24h/24h et 365j/an ? 5 copies des données à maintenir en ligne ?



26% CAGR
2017-2022

Exabytes
per Month



* Figures (n) refer to 2017, 2022 traffic share

Source: Cisco VNI Global IP Traffic Forecast, 2017-2022

Agir sur les données

Respecter les principes FAIR (2014)

Facile à (re)trouver : avec métadonnées uniques et pérennes (archivage sécurisé), indexées (arborescence de mots-clés)

Accessible : pas obligatoirement données ouvertes mais récupérables par leur identifiant, protocole standard de communication

Interopérables : interopérabilité sémantique et syntaxique, métadonnées contextuelles précises, formats respectant les standards internationaux

Réutilisables : utilisation de standards communs, bases de données rassemblant des données claires, vérifiées et bien décrites

- Moyen de valoriser le big data + faciliter le travail collaboratif
 - Ne pas perdre les données dont l'acquisition a un coût non négligeable
 - Outils de dé-duplication (factoriser des séquences de données identiques pour la sauvegarde)
-

Choisir le lg de programmation

- Implémentations comparables de solutions à un ensemble de problèmes
- 13 problèmes de référence solubles par tous les langages testés
- Algorithme donné et directives de mise en œuvre spécifiques

Table 2. Languages sorted by paradigm

| Paradigm | Languages |
|-----------------|--|
| Functional | Erlang, F#, Haskell, Lisp, Ocaml, Perl, Racket, Ruby, Rust; |
| Imperative | Ada, C, C++, F#, Fortran, Go, Ocaml, Pascal, Rust; |
| Object-Oriented | Ada, C++, C#, Chapel, Dart , F#, Java, JavaScript, Ocaml, Perl, PHP, Python, Racket, Rust, Smalltalk, Swift, TypeScript; |
| Scripting | Dart, Hack, JavaScript, JRuby, Lua, Perl, PHP, Python, Ruby, TypeScript; |

Table 4. Normalized global results for Energy, Time, and Memory

| Total | | | | | |
|----------------|--------|----------------|-------|----------------|-------|
| | Energy | | Time | | Mb |
| (c) C | 1.00 | (c) C | 1.00 | (c) Pascal | 1.00 |
| (c) Rust | 1.03 | (c) Rust | 1.04 | (c) Go | 1.05 |
| (c) C++ | 1.34 | (c) C++ | 1.56 | (c) C | 1.17 |
| (c) Ada | 1.70 | (c) Ada | 1.85 | (c) Fortran | 1.24 |
| (v) Java | 1.98 | (v) Java | 1.89 | (c) C++ | 1.34 |
| (c) Pascal | 2.14 | (c) Chapel | 2.14 | (c) Ada | 1.47 |
| (c) Chapel | 2.18 | (c) Go | 2.83 | (c) Rust | 1.54 |
| (v) Lisp | 2.27 | (c) Pascal | 3.02 | (v) Lisp | 1.92 |
| (c) Ocaml | 2.40 | (c) Ocaml | 3.09 | (c) Haskell | 2.45 |
| (c) Fortran | 2.52 | (v) C# | 3.14 | (i) PHP | 2.57 |
| (c) Swift | 2.79 | (v) Lisp | 3.40 | (c) Swift | 2.71 |
| (c) Haskell | 3.10 | (c) Haskell | 3.55 | (i) Python | 2.80 |
| (v) C# | 3.14 | (c) Swift | 4.20 | (c) Ocaml | 2.82 |
| (c) Go | 3.23 | (c) Fortran | 4.20 | (v) C# | 2.85 |
| (i) Dart | 3.83 | (v) F# | 6.30 | (i) Hack | 3.34 |
| (v) F# | 4.13 | (i) JavaScript | 6.52 | (v) Racket | 3.52 |
| (i) JavaScript | 4.45 | (i) Dart | 6.67 | (i) Ruby | 3.97 |
| (v) Racket | 7.91 | (v) Racket | 11.27 | (c) Chapel | 4.00 |
| (i) TypeScript | 21.50 | (i) Hack | 26.99 | (v) F# | 4.25 |
| (i) Hack | 24.02 | (i) PHP | 27.64 | (i) JavaScript | 4.59 |
| (i) PHP | 29.30 | (v) Erlang | 36.71 | (i) TypeScript | 4.69 |
| (v) Erlang | 42.23 | (i) Jruby | 43.44 | (v) Java | 6.01 |
| (i) Lua | 45.98 | (i) TypeScript | 46.20 | (i) Perl | 6.62 |
| (i) Jruby | 46.54 | (i) Ruby | 59.34 | (i) Lua | 6.72 |
| (i) Ruby | 69.91 | (i) Perl | 65.79 | (v) Erlang | 7.20 |
| (i) Python | 75.88 | (i) Python | 71.90 | (i) Dart | 8.64 |
| (i) Perl | 79.58 | (i) Lua | 82.91 | (i) Jruby | 19.84 |

Table 5. Pareto optimal sets for different combination of objectives.

| Time & Memory | Energy & Time | Energy & Memory | Energy & Time & Memory |
|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| C • Pascal • Go | C | C • Pascal | C • Pascal • Go |
| Rust • C++ • Fortran | Rust | Rust • C++ • Fortran • Go | Rust • C++ • Fortran |
| Ada | C++ | Ada | Ada |
| Java • Chapel • Lisp • Ocaml | Ada | Java • Chapel • Lisp | Java • Chapel • Lisp • Ocaml |
| Haskell • C# | Java | OCaml • Swift • Haskell | Swift • Haskell • C# |
| Swift • PHP | Pascal • Chapel | C# • PHP | Dart • F# • Racket • Hack • PHP |
| F# • Racket • Hack • Python | Lisp • Ocaml • Go | Dart • F# • Racket • Hack • Python | JavaScript • Ruby • Python |
| JavaScript • Ruby | Fortran • Haskell • C# | JavaScript • Ruby | TypeScript • Erlang |
| Dart • TypeScript • Erlang | Swift | TypeScript | Lua • JRuby • Perl |
| JRuby • Perl | Dart • F# | Erlang • Lua • Perl | |
| Lua | JavaScript | JRuby | |
| | Racket | | |
| | TypeScript • Hack | | |
| | PHP | | |
| | Erlang | | |
| | Lua • JRuby | | |
| | Ruby | | |

Lg de programmation les + verts

- Langages compilés/interprétés/machines virtuelles
 - * Lg compilés + rapides et + éco-énergétiques
 - Pour expressions régulières : 3 des 5 lg les + éco-énergétiques interprétés
 - * Lg interprétés + lents
 - * Lg compilés - d'espace mémoire
 - * Lg interprétés + de mémoire
 - Programmation impérative est la meilleure : - d'énergie et - de mémoire
 - Consommation d'énergie : temps de fonctionnement x puissance
 - Lg + rapide pas toujours + économe en énergie
-

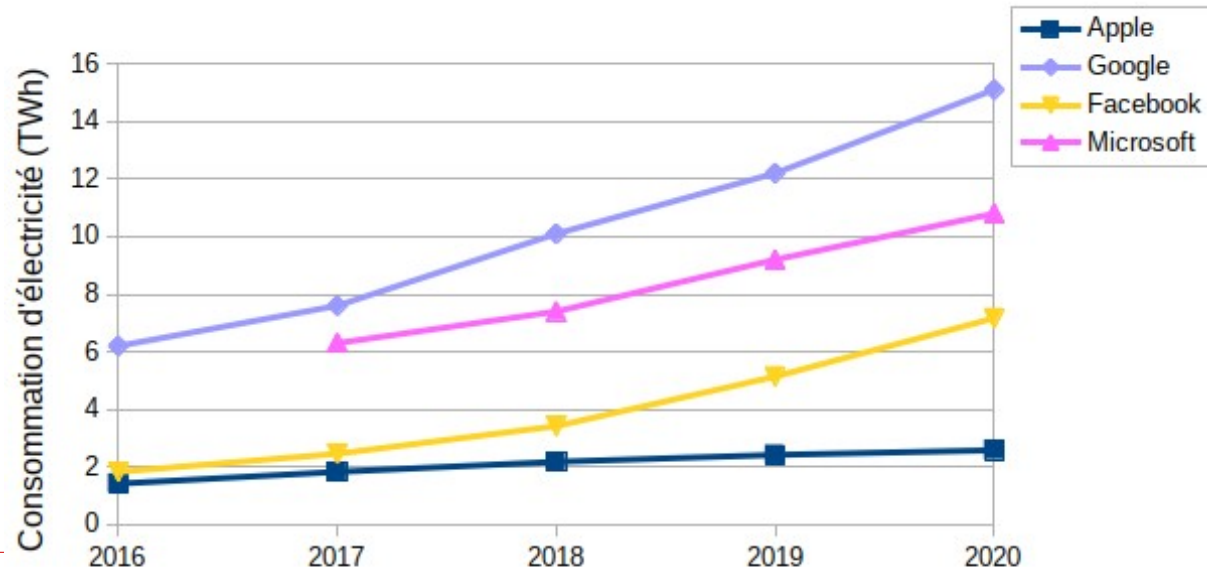
Neutralité carbone des entreprises du num ?

Consommation d'électricité ↑ et empreinte carbone ne ↓ pas

Neutralité devrait être compatible avec l'Accord de Paris

Neutralité = financer des projets de compensation (plantation d'arbres, remplacement par énergie renouvelable, ...)

Neutralité ≠ réduction



Loi REEN Réduire l'Empreinte Environnementale du Numérique

Publiée au JO du 16/11/2021

1. Enseigner la sobriété numérique de la primaire au supérieur
2. Orienter les pratiques commerciales
 - interdictions liées à l'obsolescence programmée
 - allonger les durées de garanties et mises à jour
3. Favoriser l'essor du reconditionné / réemploi (pièces détachées)
4. Numérique « vert » : obligations pour entreprises du numérique
6. Création observatoire des impacts environnementaux du numérique

Sanctions ?

Complexité pour des recommandations

- Estimation difficile des coûts environnementaux des actions num. (mail, visio, dépôt de fichier dans un cloud, ...)
 - Remise en cause d'une croissance infinie dans un monde à ressources finies
 - Réfléchir aux impacts directs et indirects de nos usages du num
 - Refuser de produire ou conserver des données inutiles
 - Ouvrir ses données, ouvrir son code
 - Refuser de remplacer trop tôt, l'obsolescence programmée
 - Favoriser le réemploi de matériel
 - Recycler en utilisant les filières officielles
 - Choisir constructeurs engagés dans une démarche éco-responsable
-

Ataraxie du numérique

De quoi voulons-nous avoir besoin ?

Selon Epicure : naturel/nécessaire

- Téléphoner à ses amis ou avoir de la 5G ?
- Partager des photos avec sa famille ou disposer de 1 To ?
- Faire du sport ou porter des objets connectés ?
- Regarder *Le Bon, la Brute et le Truand* ou regarder des films en 4K ?
- Écouter *Les Doors* ou avoir accès à de la musique illimitée ?

Outils plus simples, moins invasifs, moins performants, que l'on contrôle au moins autant qu'ils nous contrôlent !

Références

- Didier Mallarino, « Agir vers la sobriété numérique », 03/2021, Eco-Info
 - Anne-Cécile Orgerie, « L'informatique verte ... moins branchée ? », 02/2022, Eco-Info
 - Francis Vivat et Anne-Laure Ligozat, « Mesurer et réduire les impacts du numérique », Eco-Info
 - <http://ecoinfo.cnrs.fr>
 - R. Pereira et al., Energy Efficiency across Programming Languages, SLE'17
 - S. Crozat, Vers une ataraxie numérique, Forum de l'Ingénierie Durable 2020
-