

Impact environnemental du numérique : on en est où ?

Laurent Lefèvre

Inria AVALON – Laboratoire LIP - Ecole Normale Supérieure de Lyon
Membre du GDS Ecoinfo
laurent.lefevre@inria.fr

Cette intervention est faite à titre personnel et ne reflète pas l'avis de mon employeur ni groupe associé.

Des chiffres sont (sans doute) faux !

Le message sur le numérique peut ne pas être que positif 😊

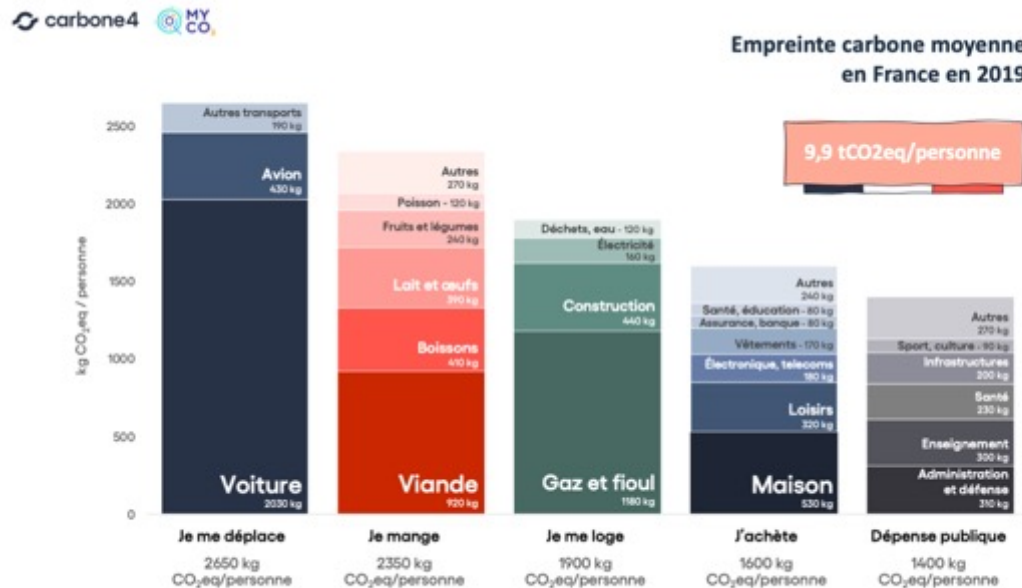
Le numérique : c'est fantastique (mais pas que..)

Solution

- Compensation/Optimisation
- IT4Green
- Recherche
- (In)Formation/Education
- Accès aux soins
- Création artistique

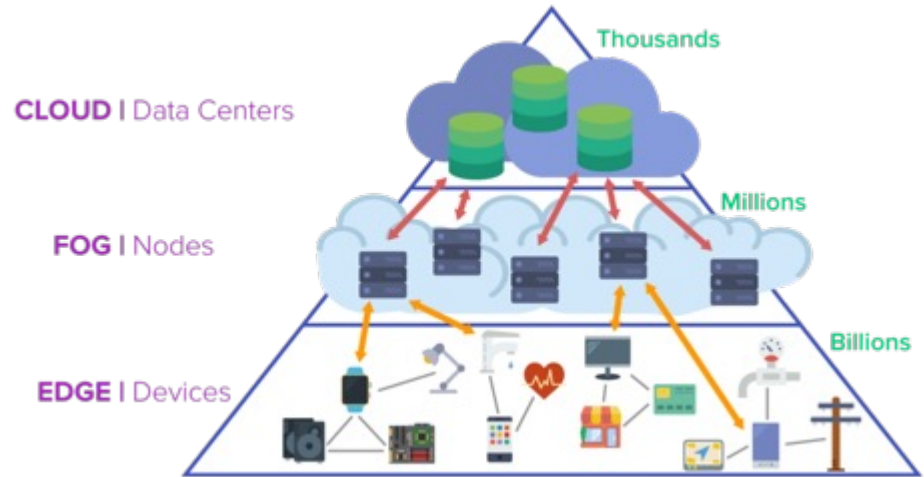
Problème

- Consommation énergétique
- Impacts environnementaux
- Santé
- Facteur d'accélération
- Facteur d'obsolescence
- Effets systémiques
- Effets rebonds

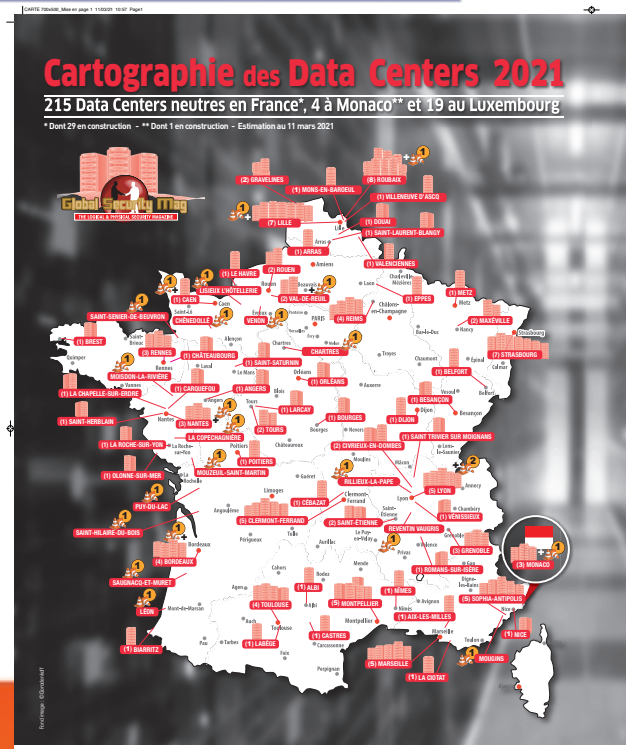
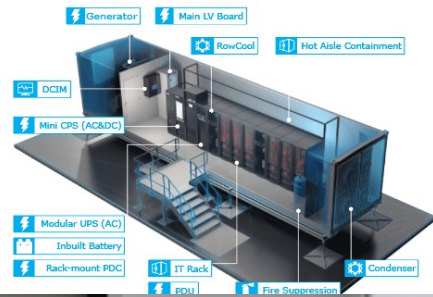
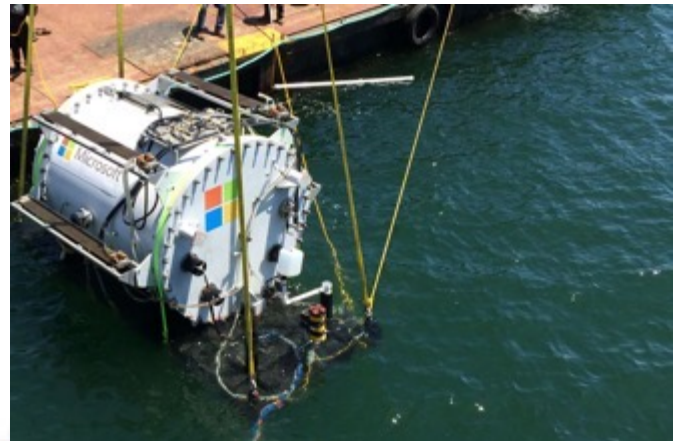


Gaz inclus : CO₂ (hors UTCATF France), CH₄, N₂O, HFC, SF₆, PFC, H₂O (traités de condensation).
Source : MyCO₂ par Carbone 4 d'après le ministère de la Transition écologique, le Haut Conseil pour le Climat et OTEPA.

Empilement numérique forcé par les usages/ hébergeurs/ prédictions : les datacentres !



China Telecom- Inner Mongolia Information Park
 1.2 M serveurs – 3 B\$ - 150 MW
 Kolos Norvège 2019-2020: 70 MW -> 1 GW



5G Empilement télécom

4G

.... 6G

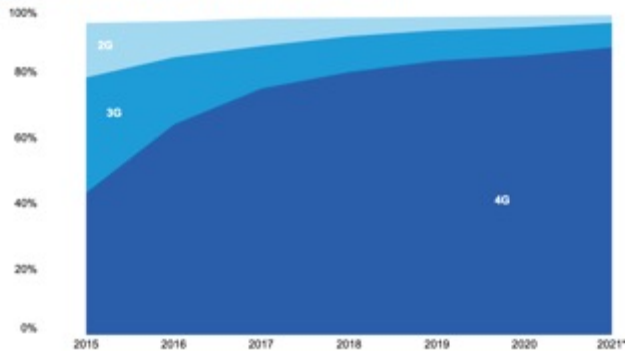
3G

2G

Moteurs d'empilement :

- Meilleure QoS : latence, bande passante
- Plus grande infrastructure
- Plus d'utilisateurs/clients
- Plus de services

Population coverage by type of mobile network, 2015-2021*



ITU - International Telecommunication Union - Measuring digital development - Facts and figures - 2021

Arcep



2G



3G



4G

Empilement des usages

De l'IA partout...?

100 processeurs par voiture autonomes ?

Des milliards d'objets connectés avec services Edge/Cloud

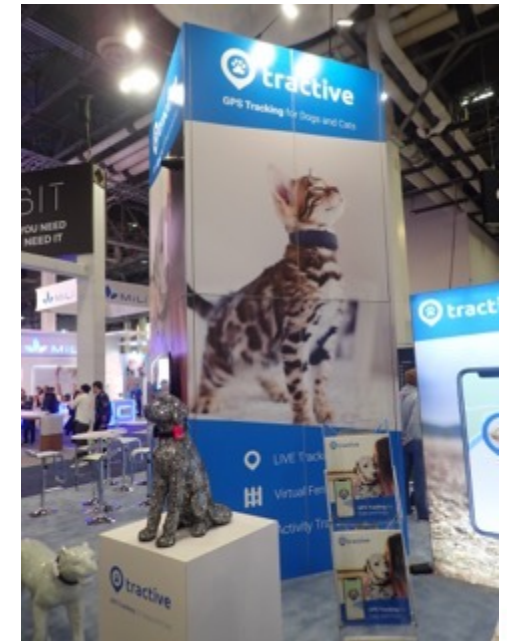
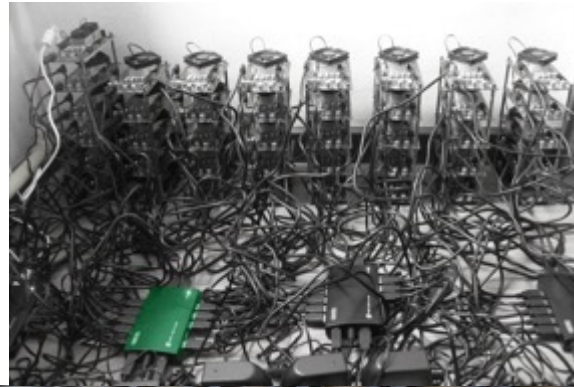
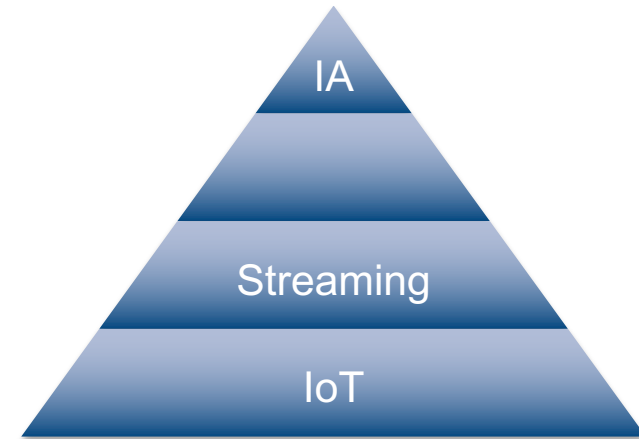
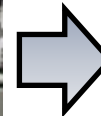
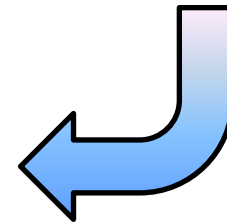


Image du jour (17h03) générée par StableDiffusion –
« Exposé numérique et environnement au GDR IG-RV »

Pour assurer cette empreinte, un cycle de vie mondialisé multi-impactant



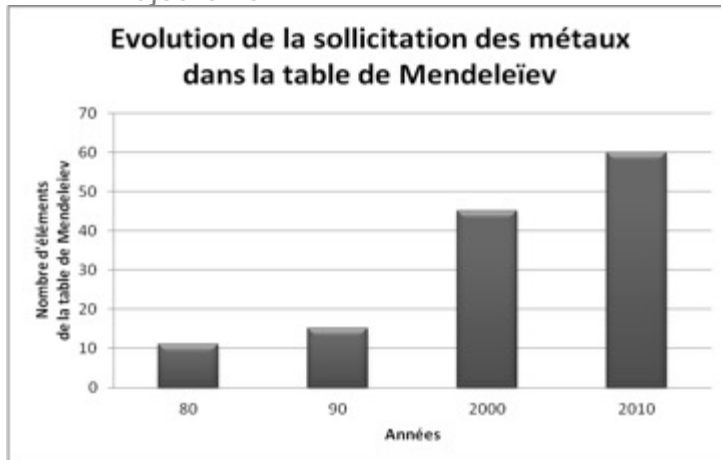
REUTERS/Benoit Tessier



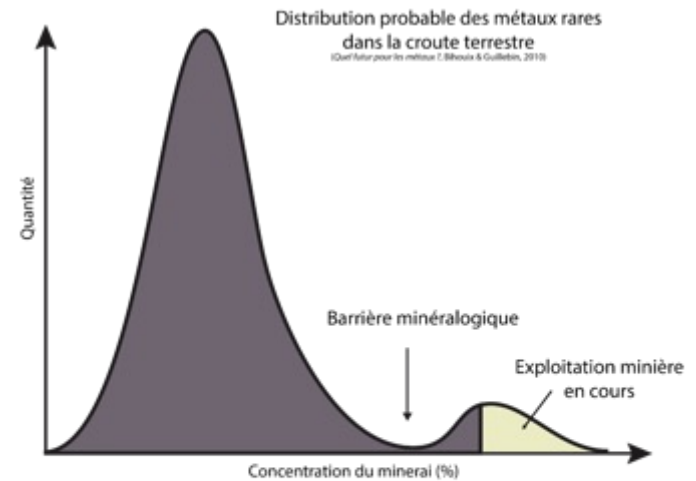
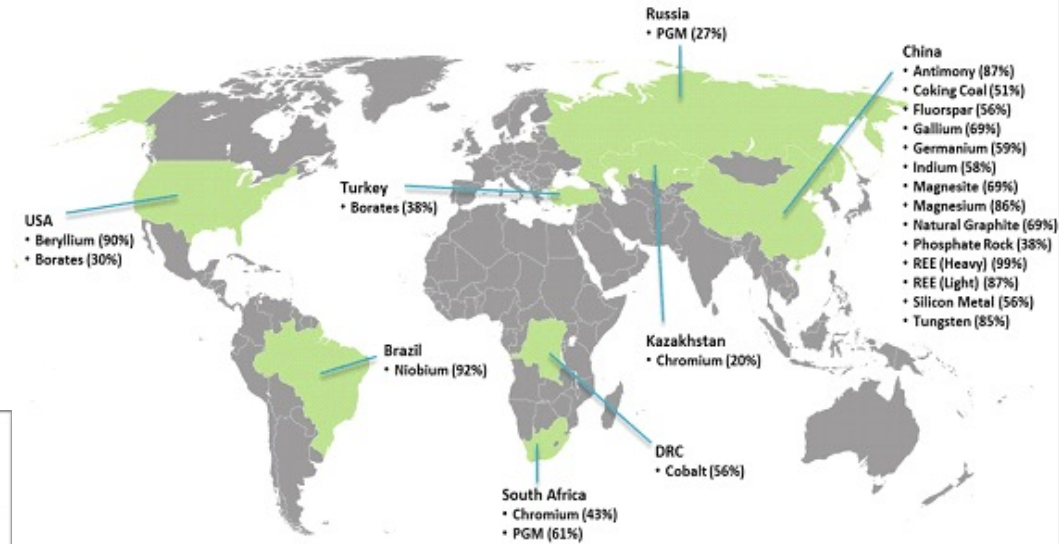
Extraction des ressources

Les métaux

- Jusqu'au Moyen Age, on utilisait 7 métaux
- Jusque dans les années 1980, on utilisait une dizaine de métaux dans les puces des ordinateurs
- Aujourd'hui ¹:



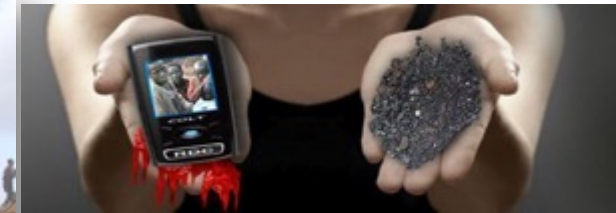
(1) OPECST (2011), Les enjeux des métaux stratégiques : le cas des terres rares, 84p



Extraction des ressources

Conflits générés par l'exploitation minière ¹ : manque de concertation avec les populations locales, manque d'information sur les conséquences environnementales, mauvaise distribution des revenus de la mine, problèmes d'accès à l'eau, ...

Travail des enfants dans les mines, métaux de sang...



Consoglobe

Congo/Numbi/Coltan - Radio-Canada/Frédéric Lacelle

- (1) <http://www.miningfacts.org/Collectivites/L-exploitation-miniére-cause-t-elle-des-conflits-sociaux/>
- (2) <http://www.cairn.info/revue-ecologie-et-politique1-2007-1-page-83.htm>

La difficile question des réserves

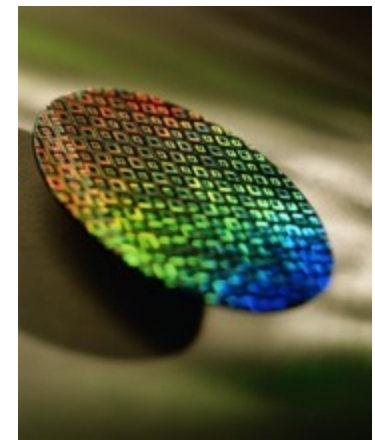
Pour les **métaux porteurs**, les estimations correspondent à **la durée de vie** avant épuisement des **réserves actuelles** pour la consommation actuelle ou avec accroissement fixé.

		Ag	Cu	In	Ga	Ge	Li	Ta	REE	Al
TIC	Usage	Contacts	Cables	Ecrans	Leds	Wifi, FO	Batteries	LCD, Cond	LCD, aimants	Tranistor, élect, refr. CPU
	% Prod	21%	42%	>50%	40%	15%	20%	66%	20%	
	Réserves (ans)	15-30	40	10-15	10-15	10-15	Grandes	150	Grandes	50
	Substitution	Faible	Faible	Mat Orga.	Faible	Si	Ni, Zn, Cd, Pb	Faible	Faible	Oui

Mais réserves augmentent avec la demande et l'efficacité d'extraction !
(cas du Cu) -> problème volume à déplacer

D'après DREZET, 2012 et VIDAL, 2016

Fabrication

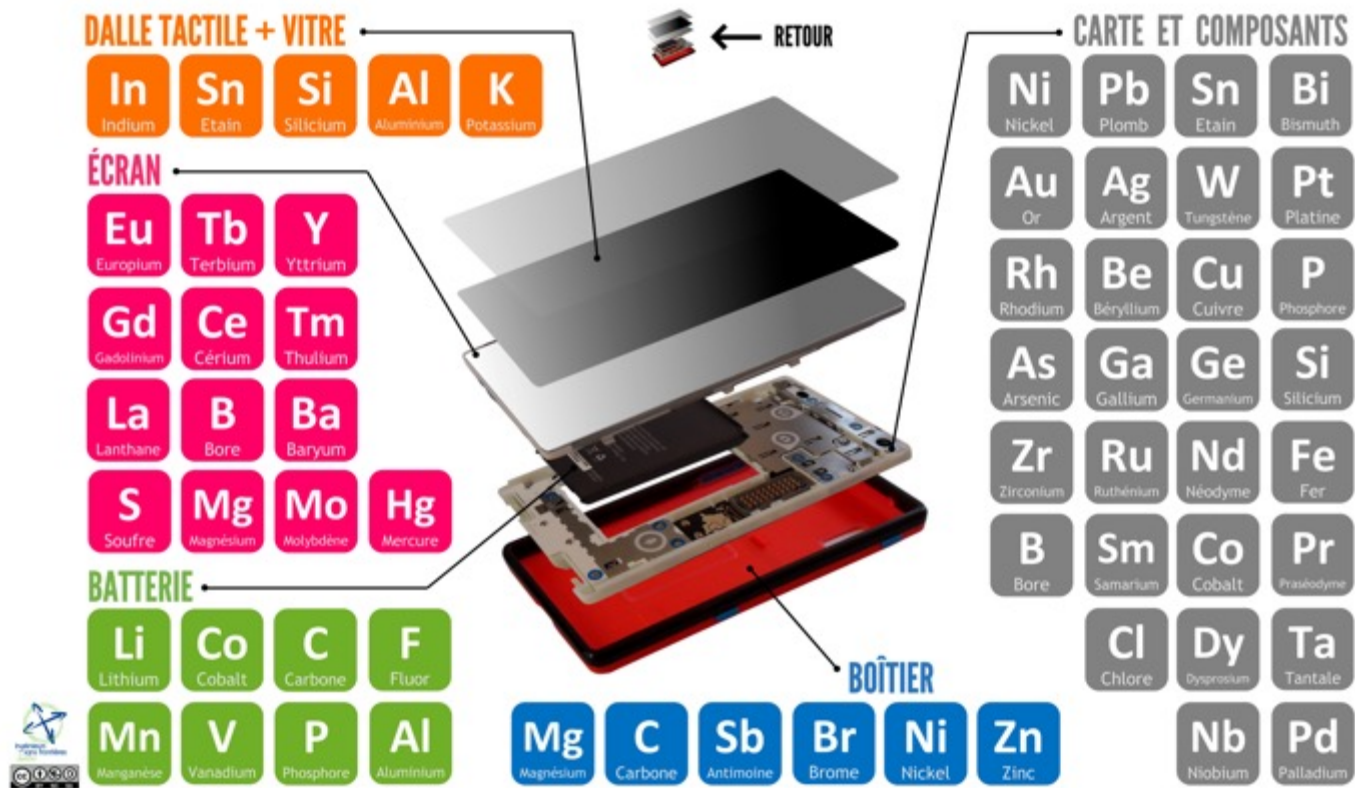


Des métaux, silice, plastiques

Meilleur, plus petit, plus rapide, plus fiable :

Gravure des wafers : 10nm, 7nm, 5nm, 3nm (2022)

(Taille du virus VIH: 90 nm - SARS-CoV-2 : 50-140 nm)



Source : Ingénieurs sans frontières

Usage : consommation électrique / GES

Environ 10% de la consommation électrique mondiale

Environ 3.5% des GES – en hausse de 6% par an

6% de croissance /an : Cela signifie un doublement tous les 12 ans

Source : Shift project - Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G – 30 Mars 2021

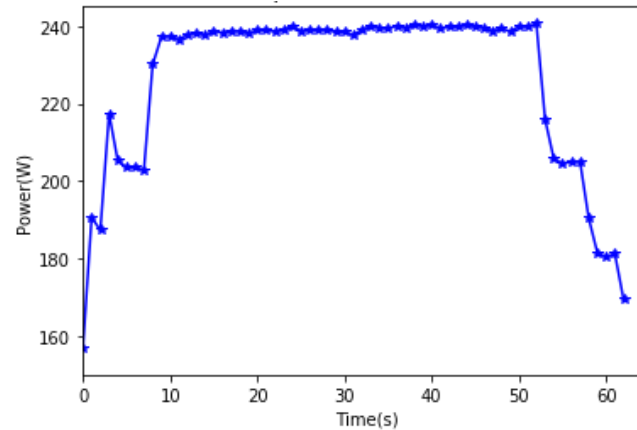
En France : (Rapport Arcep Mars 2023)

- 2,5 % de l'empreinte carbone nationale
- Perspective : +40% à l'horizon 2040 (6.7% en France)
- Terminaux (65 à 92%), Datacenters (4 - 20%) Réseaux (4 à 13%).

Comprendre l'usage : mesurer



Mesurer finement en usage (puissance et énergie)

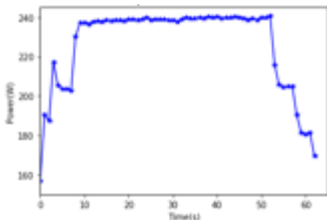


Sondes logicielles et matérielles

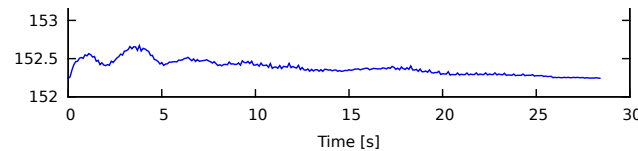
Comprendre l'usage : mesurer de bout en bout



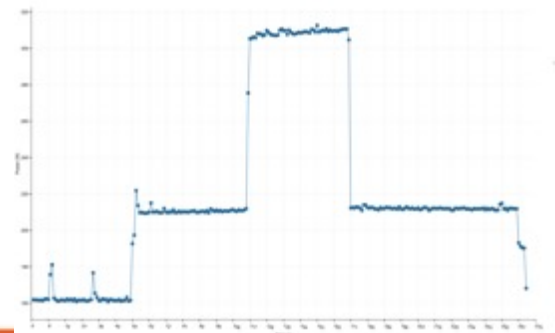
Mesurer finement en usage (puissance et énergie)



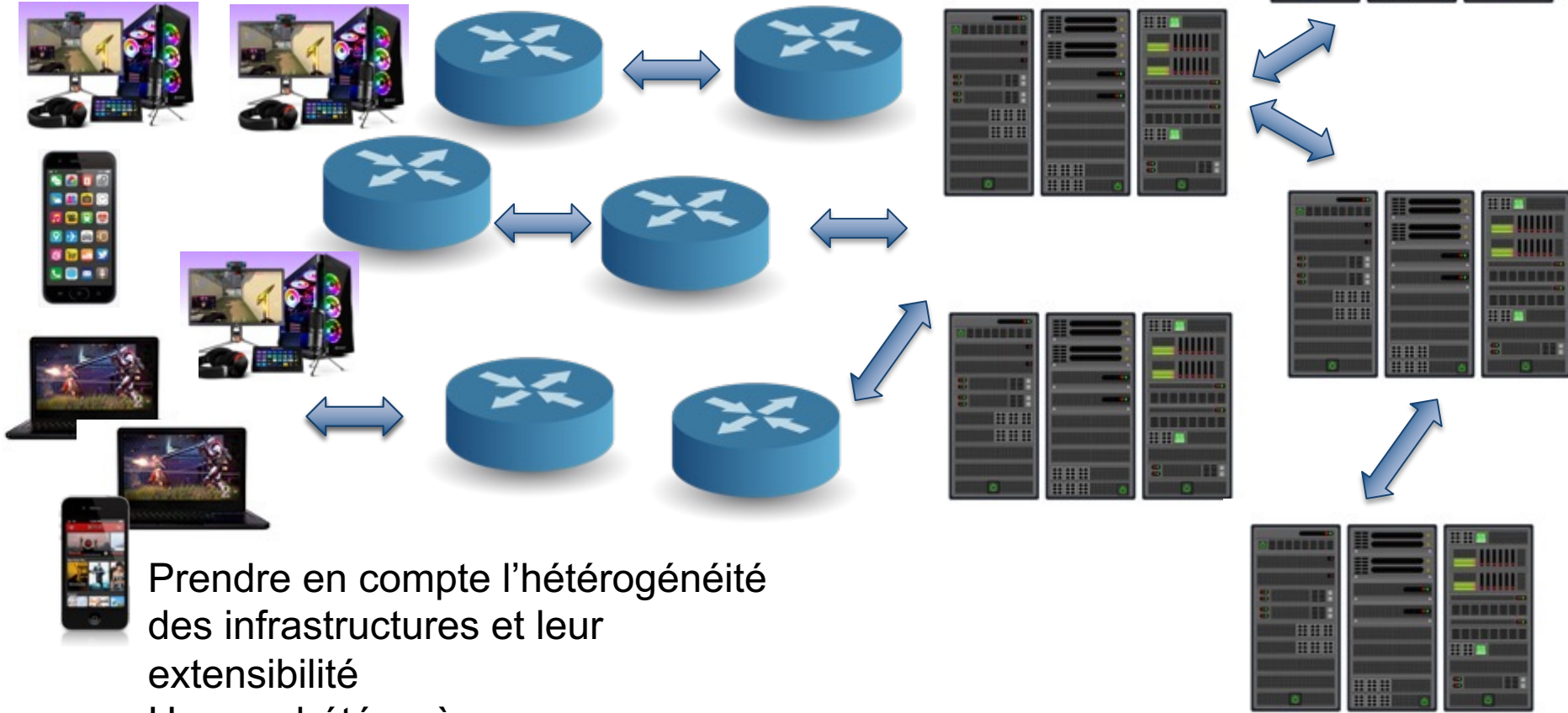
Mesurer de bout en bout (multi équipements, propriétaires)



Matériels et logiciels partagés



Comprendre l'usage : mesurer et estimer

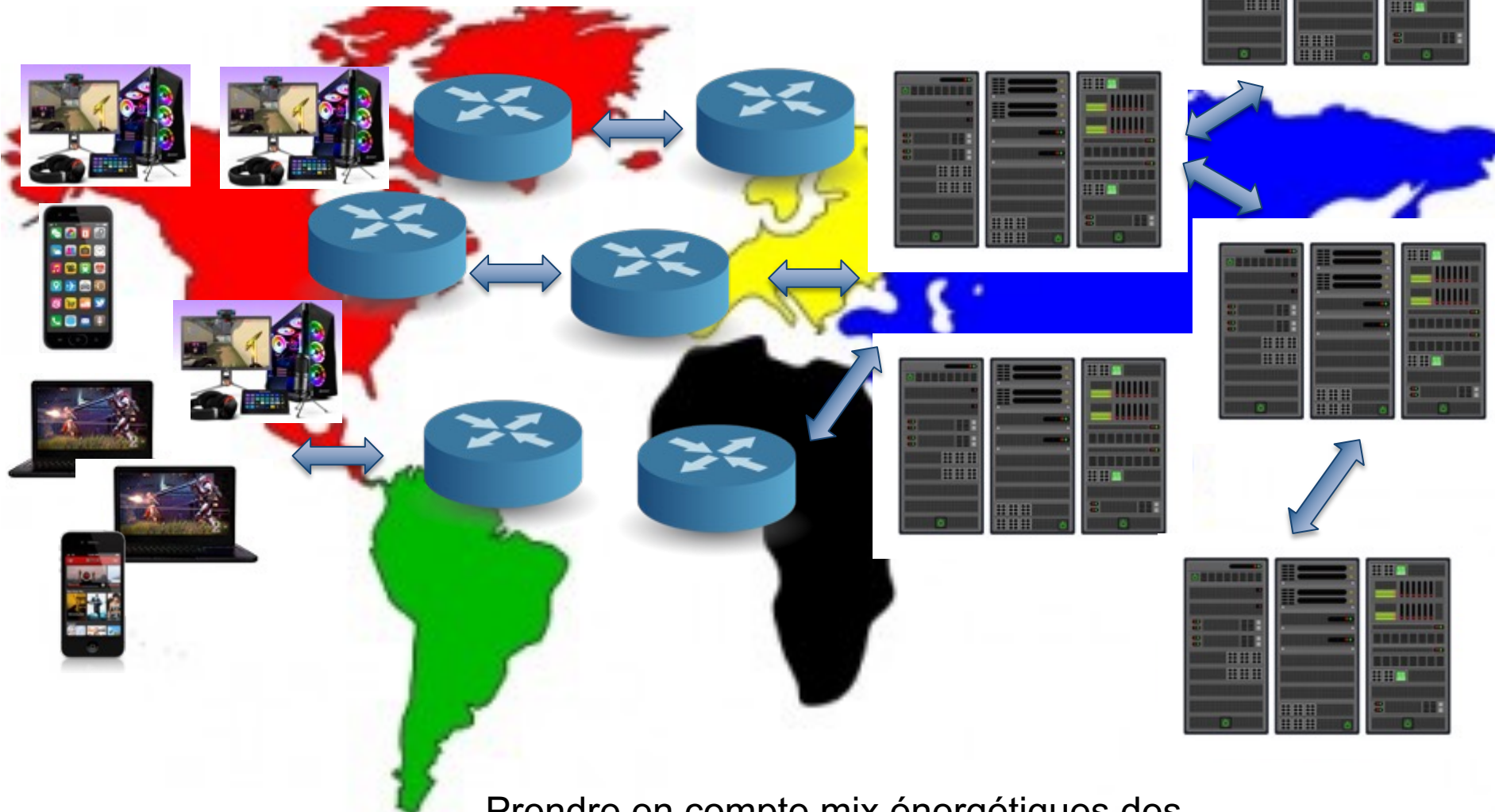


Prendre en compte l'hétérogénéité
des infrastructures et leur
extensibilité

Usages hétérogènes
Réactions dynamiques
Equilibrage de charges

Mesurer de bout en bout (multi
équipements, propriétaires)

Comprendre l'usage : mesurer et estimer



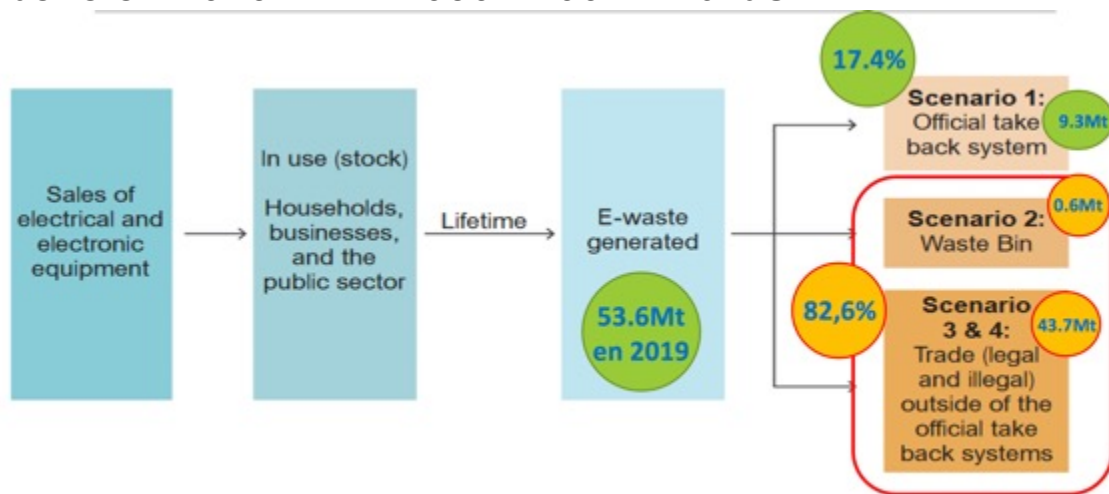
Prendre en compte mix énergétiques des infrastructures -> métriques environnementales

Fin de vie : DEEE : Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques

Le monde croule sous les déchets : Océan de plastique / Enfouissement permanent / Décharges sauvages

Montée en puissance du numérique : Prévisions Objets connectés : 50 Milliards en

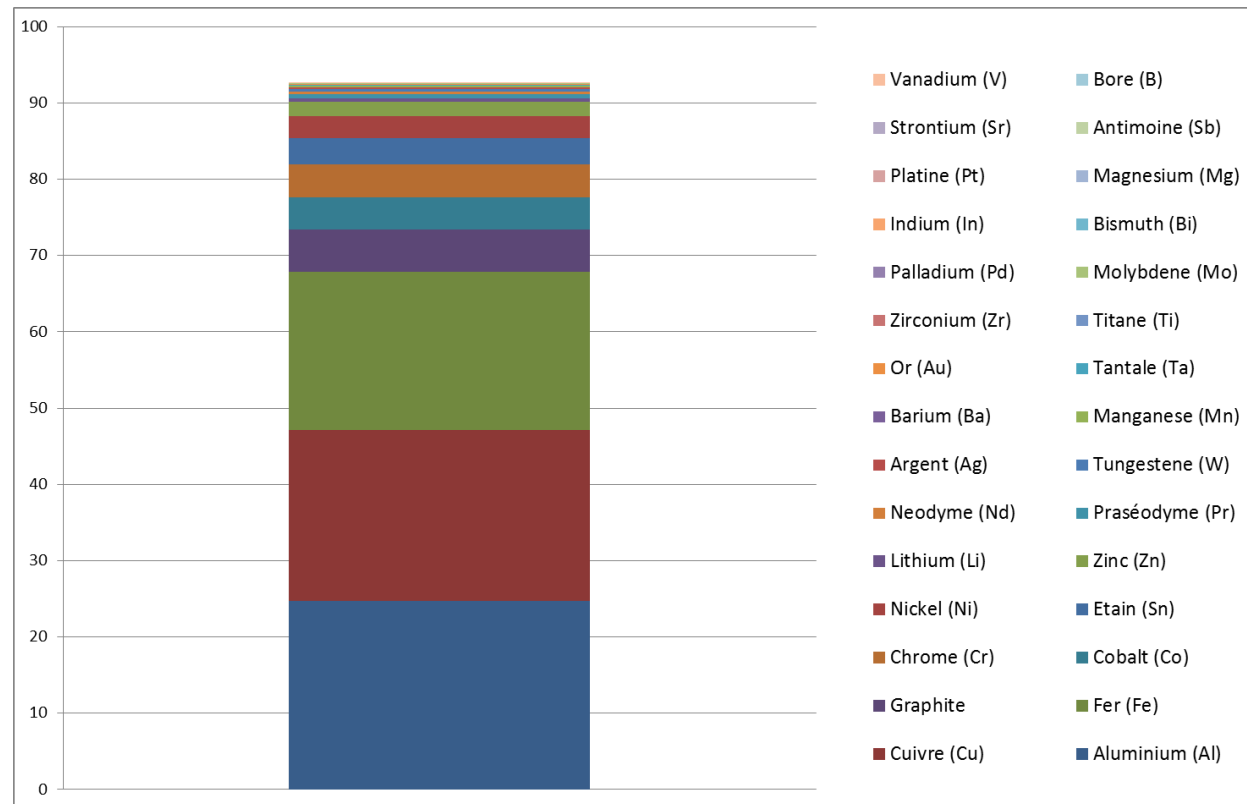
2023 -> 50 milliards ? -> à la poubelle en 2026 ? En 2030 : 100 Milliards ?



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

Eléments	Poids en g
Aluminium (Al)	24,76
Cuivre (Cu)	22,39
Fer (Fe)	20,72
Graphite	5,49
Cobalt (Co)	4,30
Chrome (Cr)	4,28
Etain (Sn)	3,41
Nickel (Ni)	2,92
Zinc (Zn)	1,84
Lithium (Li)	0,54
Praséodyme (Pr)	0,51
Neodyme (Nd)	0,32
Tungstene (W)	0,31
Argent (Ag)	0,24
Manganese (Mn)	0,18
Barium (Ba)	0,10
Tantale (Ta)	0,07
Or (Au)	0,05
Titane (Ti)	0,04
Zirconium (Zr)	0,04
Molybdene (Mo)	0,03
Palladium (Pd)	0,03
Bismuth (Bi)	0,02
Indium (In)	0,01
Magnesium (Mg)	0,00
Platine (Pt)	0,00
Antimoine (Sb)	0,00
Strontium (Sr)	0,00
Bore (B)	0,00
Vanadium (V)	0,00

Composition & Poids des éléments présents dans un smartphone



Source : orange

Fin de vie : recyclage



Exemple : Recycleur européen : Umicore (Belgique) :

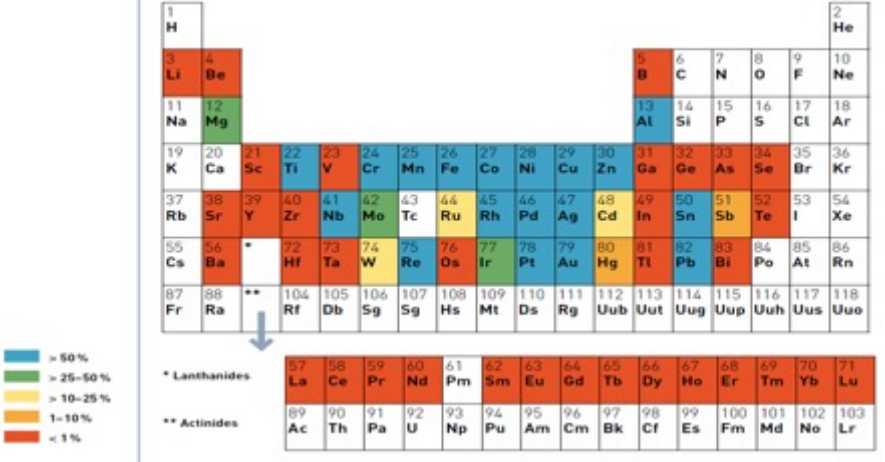
17 métaux sur 60 peuvent être recyclés et réinjectés/revendus sur les marchés

100 000 smartphones (sans batterie) = 8.5 tonnes

Récupération (pyrométallurgie, hydrométallurgie) :

- Or: 2 kg
- Argent : 9 kg
- Palladium : 250 g
- Cuivre : 900 kg

Palladium 1.3K once / Or 1.8K once – utilisé dans condensateurs électroniques 15% de la production mondiale)



Source : UNEP / Recycling rates of metals 2011



Comprendre l'usage : mesurer et estimer



Ajouter les couts environnementaux des autres étapes du cycle de vie

Cycle de vie : impacts environnementaux



Consommation d'énergie primaire: consommation des ressources naturelles énergétiques



Changement climatique: émissions de gaz à effet de serre



Destruction de la couche d'ozone: dommages effectués à la couche d'ozone



Toxicité humaine: émissions dans l'air, l'eau, et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour l'homme



Ecotoxicité aquatique: émissions dans l'air, l'eau, et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour la faune et la flore aquatique



Eutrophisation des eaux: diminution de la faune et la flore aquatique due à la formation excessive d'algues consommatrices d'O₂ favorisée par une concentration excessive de nutriments



Consommation d'eau: consommation d'eau tout au long du cycle de vie

Slide F. Berthoud

Et les effets sur la santé

- Impacts sur le développement du langage
- Troubles du sommeil (lumière, contenu)
- Désocialisation
- Troubles hormonaux
- Exposition aux perturbateurs endocriniens
- Impacts des ondes
- Capture de l'attention



Conf EcoInfo « Ecrans : menaces sur la santé » – 09 Mai 2023

<https://ecoinfo.cnrs.fr/2023/02/27/conf-ecoinfo-ecrans-menaces-sur-la-sante-09-mai-2023/>

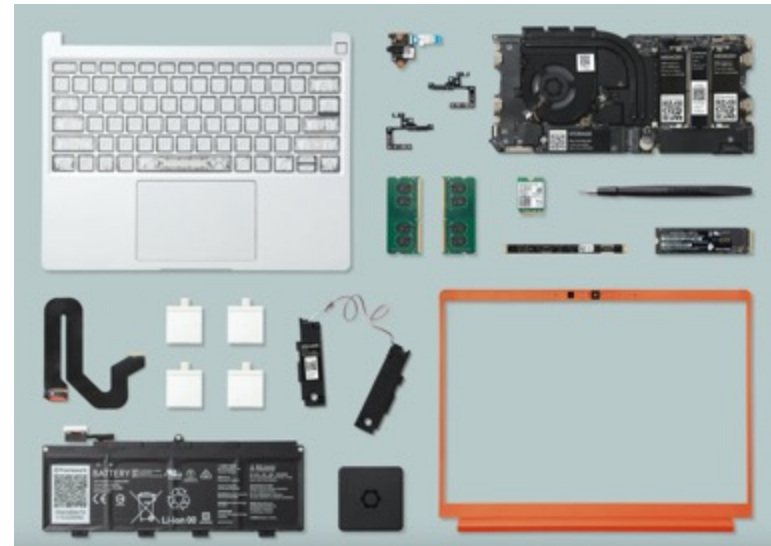
Quelques pistes d'améliorations

...On ne parlera pas des boites mail !

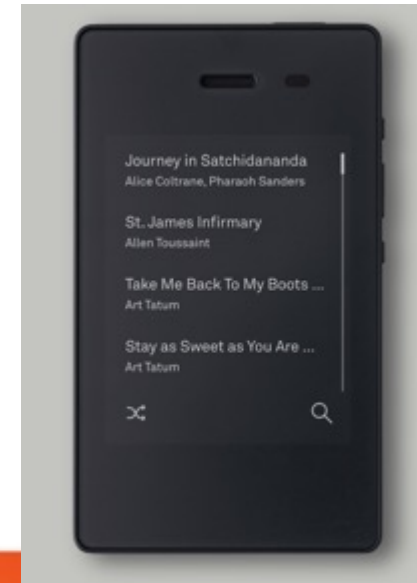
Appliquer les « 8R » : Réfléchir, Refuser,
Réduire, Ralentir, Rationnaliser, Ré-utiliser,
Réparer, Recycler

ANF2023 (EcoInfo) 20-24 Novembre 2023 La Rochelle

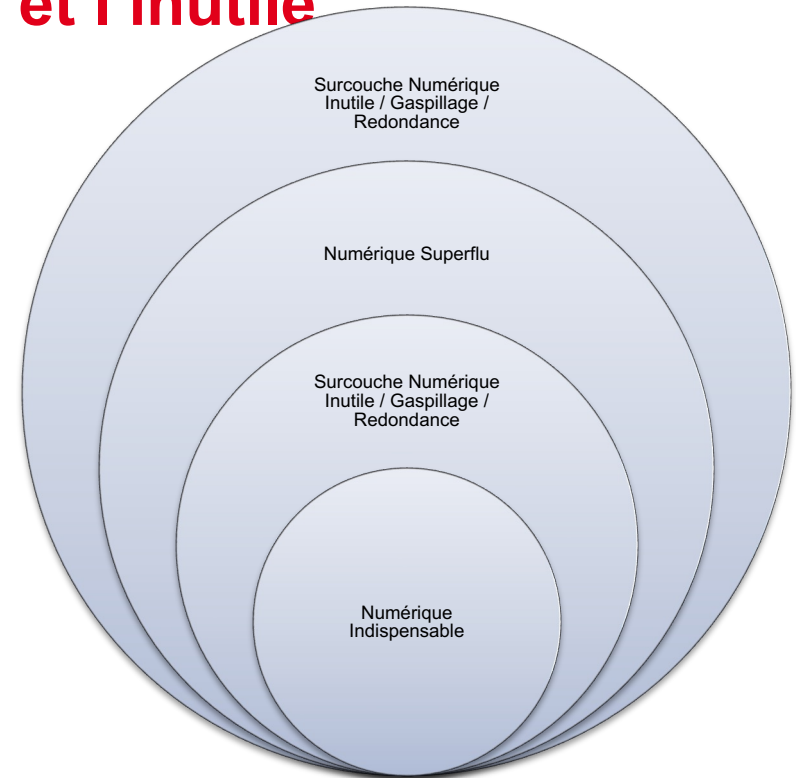
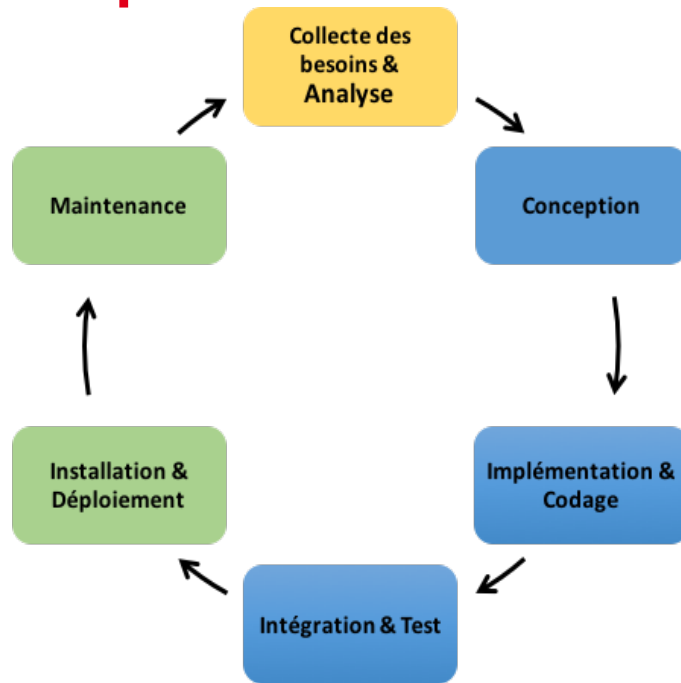
Posséder moins, posséder mieux, plus longtemps...



Why !
Framework
Fairphone
Light Phone II



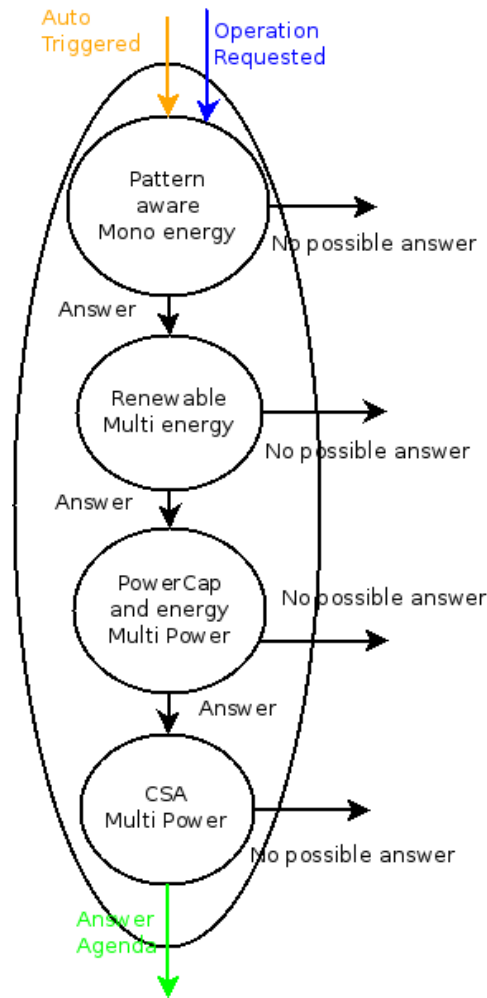
(Re)concevoir : maîtriser le développement des services numériques - Enlever le superflu et l'inutile



- Sur dimensionnement massif pour la performance → sortir de cette zone de confort créée → sobriété
- Favoriser l'éco-conception (matérielle et logicielle)
- Multiples leviers technologiques à maîtriser
- Combiner réduction impacts avec tolérance aux pannes, sécurité, et QdS (multi-métriques)

Plaquette EcoInfo. « Je code : les bonnes pratiques en éco-conception de service numérique à destination des développeurs de logiciels » 2020. <https://hal.inria.fr/hal-03009741v2>

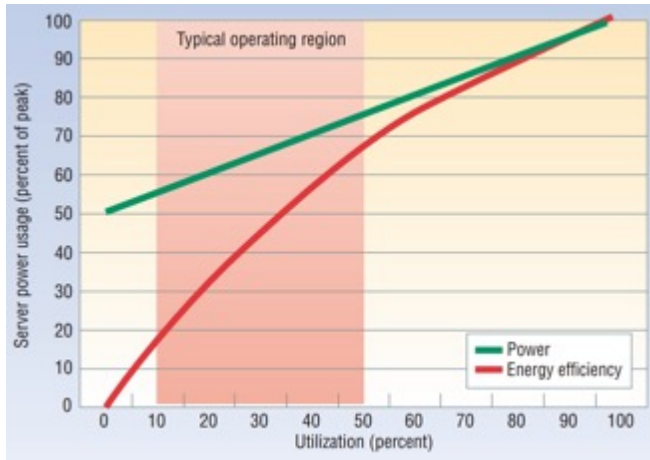
Eteindre et allumer... c'est compliqué...



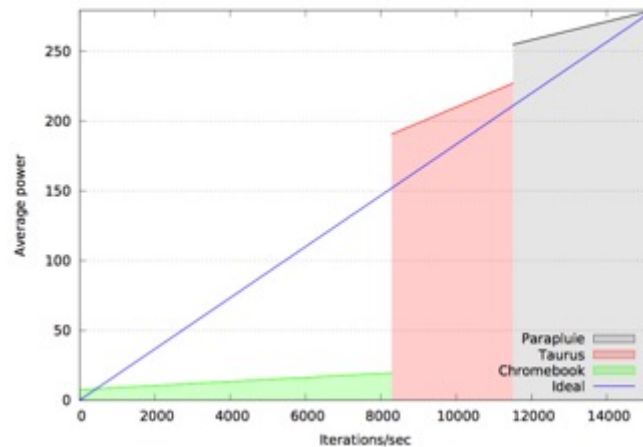
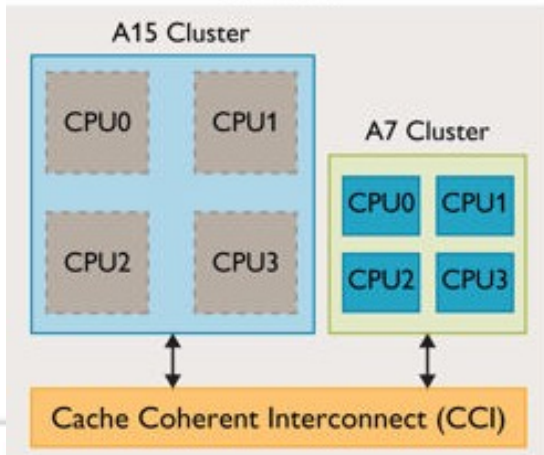
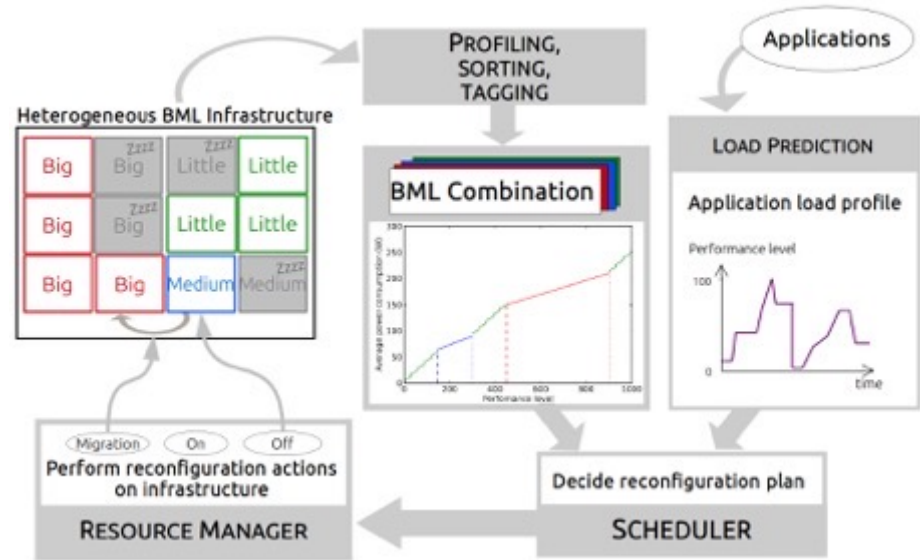
Anne Benoit, Laurent Lefevre, Anne-Cécile Orgerie and Issam Rais. "Reducing the energy consumption of large-scale computing systems through combined shutdown policies with multiple constraints", The International Journal of High Performance Computing Applications, Sage Publisher, July 2017

A la recherche de la proportionnalité énergétique

- Hybrid computing architectures : low power processors, co processors, GPUs...
- Supporting a “Big, Medium, Little” approach : the right processor at the right time

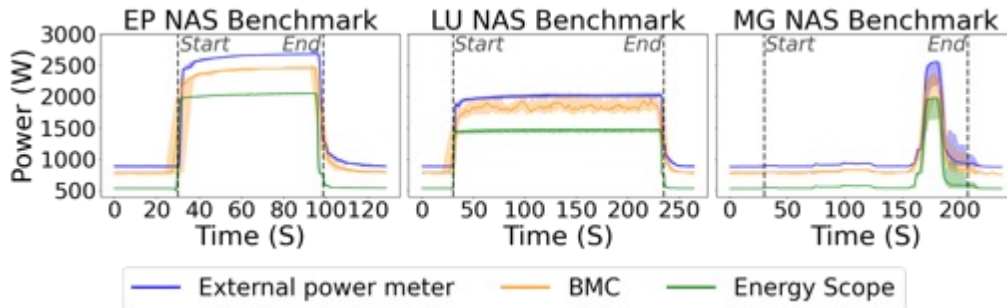
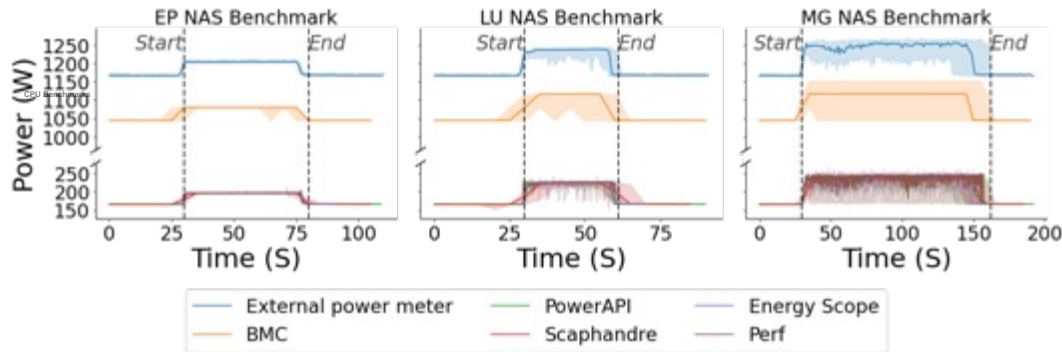


« *The case for Energy-Proportional Computing* »
L. A. Barroso and U. Hözl, *IEEE Computer*, 2007



Violaine Villebonnet,
Georges Da Costa,
Laurent Lefevre,
Jean-Marc Pierson
and Patricia Stolf.
"Big, Medium, Little" :
Reaching Energy
Proportionality with
Heterogeneous
Computing
Scheduler", *Parallel
Processing Letters*,
September 2015

Des capteurs matériels aux capteurs énergétiques logiciels



Scaphandre



Breakend/experiment-
impact-tracker

ML CO2 Impact



Green Algorithms

28

Energy scope

« FrugalCloud » Inria&OVHcloud

Mathilde Jay, Vladimir Ostapenco, Laurent Lefevre, Denis Trystram, Anne-Cécile Orgerie and Benjamin Fichel. "An experimental comparison of software-based power meters: focus on CPU and GPU", *CCGrid 2023 - 23rd IEEE/ACM international symposium on cluster, cloud and internet computing*, Bangalore, India, May 1-4, 2023

Questionner les usages

Prendre en compte les effets systémiques

-> Exposé de Peter !

Conclusions

- Limiter le gaspillage et surdimensionnement / réduire la consommation
 - Disposer de chiffres qui fassent consensus (base impact Ademe, base NegaOoctect)
 - Risque principal : GreenIT -> effet rebond
 - Sortir les résultats de recherche des labos et les confronter à la réalité du numérique en production- exemple : Défi « FrugalCloud » Inria&OVHcloud
 - Attention au Green Washing ! IT4Green ..
 - Sortir de la zone de confort créée par le sur-dimensionnement -> sobriété
 - Combiner réduction énergétique avec tolérance aux pannes, sécurité, et QdS (multi-métriques)
 - Les réponses ne sont pas que technologiques, il faut aussi repenser notre usage/dépendance au numérique -> explorer les multiples facettes de la sobriété numérique
-
- Un nouveau numérique à construire : élastique, intermittent, résilient, lowtech, frugal... ambitieux, indispensable, enthousiasmant !

Questions ?



Inria
INVENTEURS DU MONDE NUMÉRIQUE

The logo for Inria, featuring the word "Inria" in a stylized, cursive font with a color gradient from red to orange. Below it, the tagline "INVENTEURS DU MONDE NUMÉRIQUE" is written in a smaller, sans-serif font.

laurent.lefevre@inria.fr