



CNRS - INP - UT3 - UT1 - UT2J

Institut de Recherche en Informatique de Toulouse

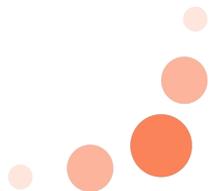


# Impact des Data Centers sur l'environnement

**Georges Da Costa**

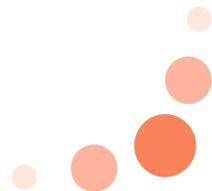
[georges.da-costa@irit.fr](mailto:georges.da-costa@irit.fr)

<https://www.irit.fr/~Georges.Da-Costa/>





# Changement climatique et énergie



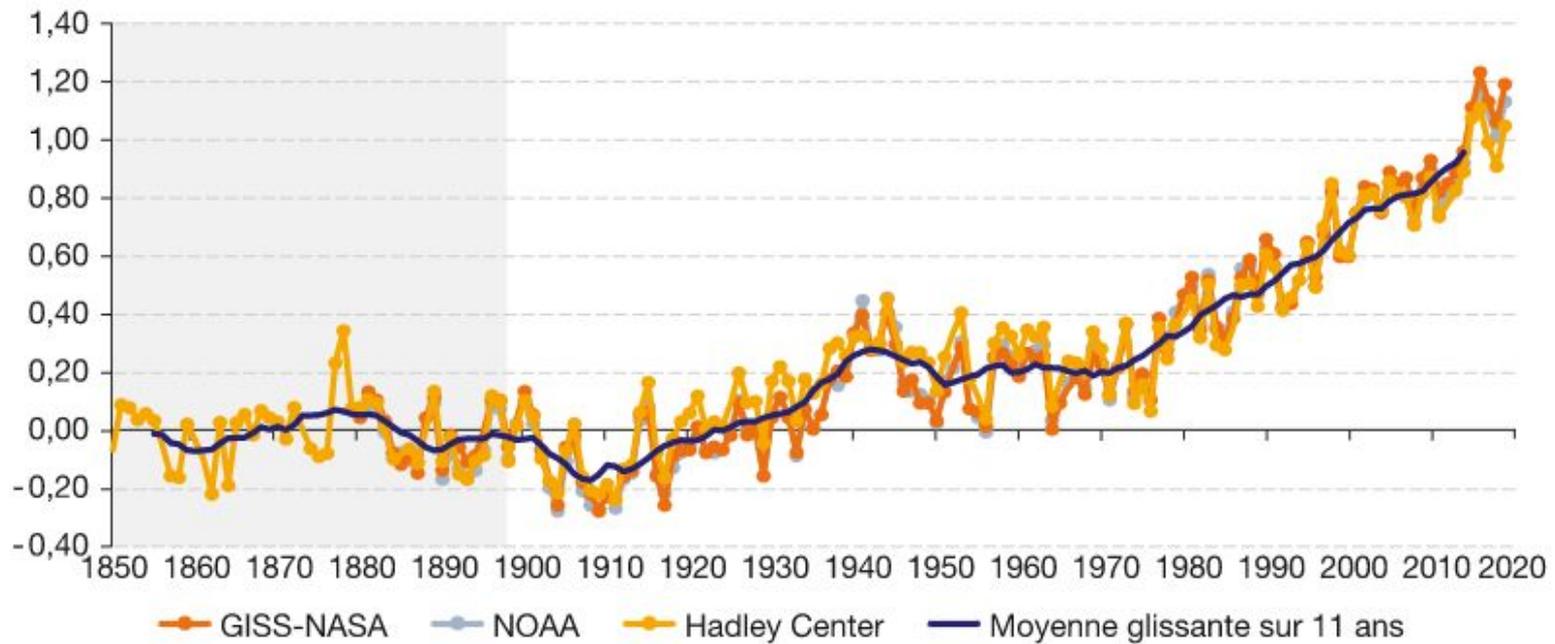


# Un changement climatique en cours

ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE ANNUELLE MONDIALE DE 1850 À 2019

En °C

Anomalie des températures (référence 1850-1900)



Note : en grisé la période préindustrielle 1850-1900.

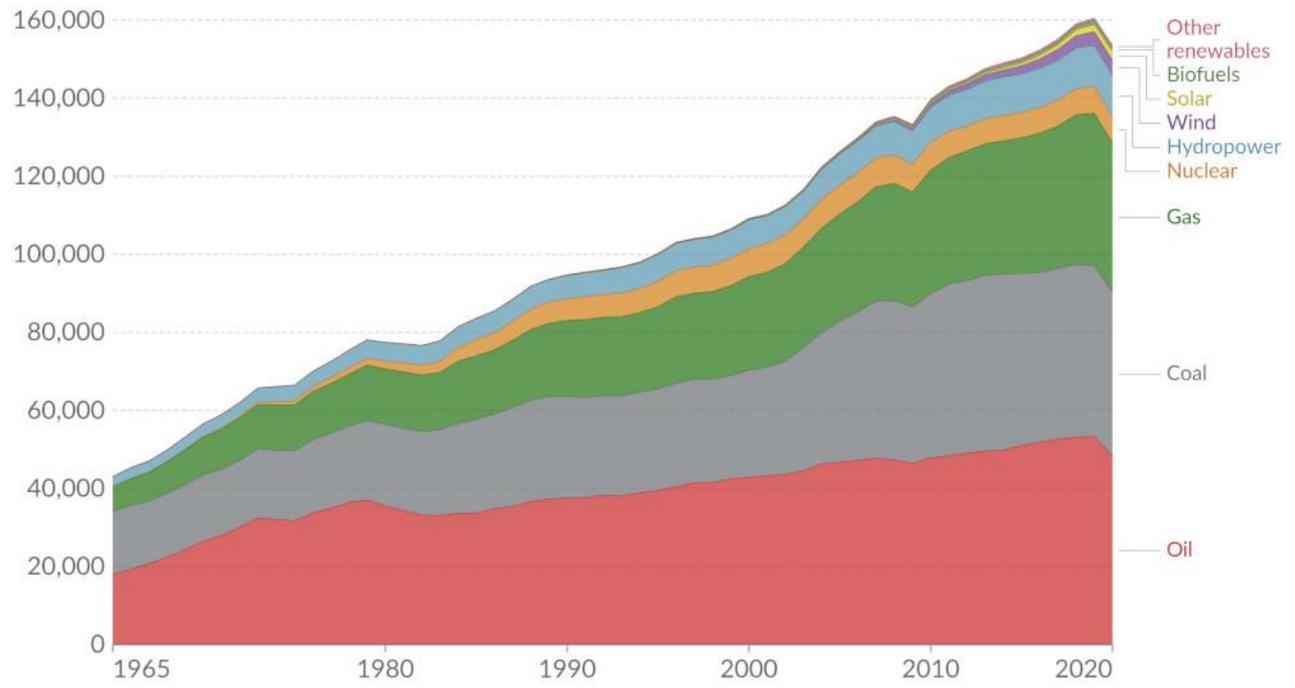
Sources : NASA ; NOAA ; Hadley Center



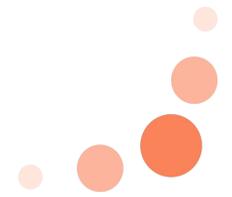
# Mix énergétique global

## Energy consumption by source, World

Primary energy consumption is measured in terawatt-hours (TWh). Here an inefficiency factor (the 'substitution' method) has been applied for fossil fuels, meaning the shares by each energy source give a better approximation of final energy consumption.



Source: BP Statistical Review of World Energy  
Note: 'Other renewables' includes geothermal, biomass and waste energy.



# Objectif : 2 tCO<sub>2</sub>eq

## Part du Numérique 0.8 t GreenIT 2019

### Empreinte carbone moyenne en France en 2019

9,9 tCO<sub>2</sub>eq/personne



Gaz inclus : CO<sub>2</sub> (hors UTCATF France), CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, SF<sub>6</sub>, PFC, H<sub>2</sub>O (trainées de condensation).

Source : MyCO<sub>2</sub> par Carbone 4 d'après le ministère de la Transition écologique, le Haut Conseil pour le Climat, le CITEPA, Agribalyse V3 et INCA 3.

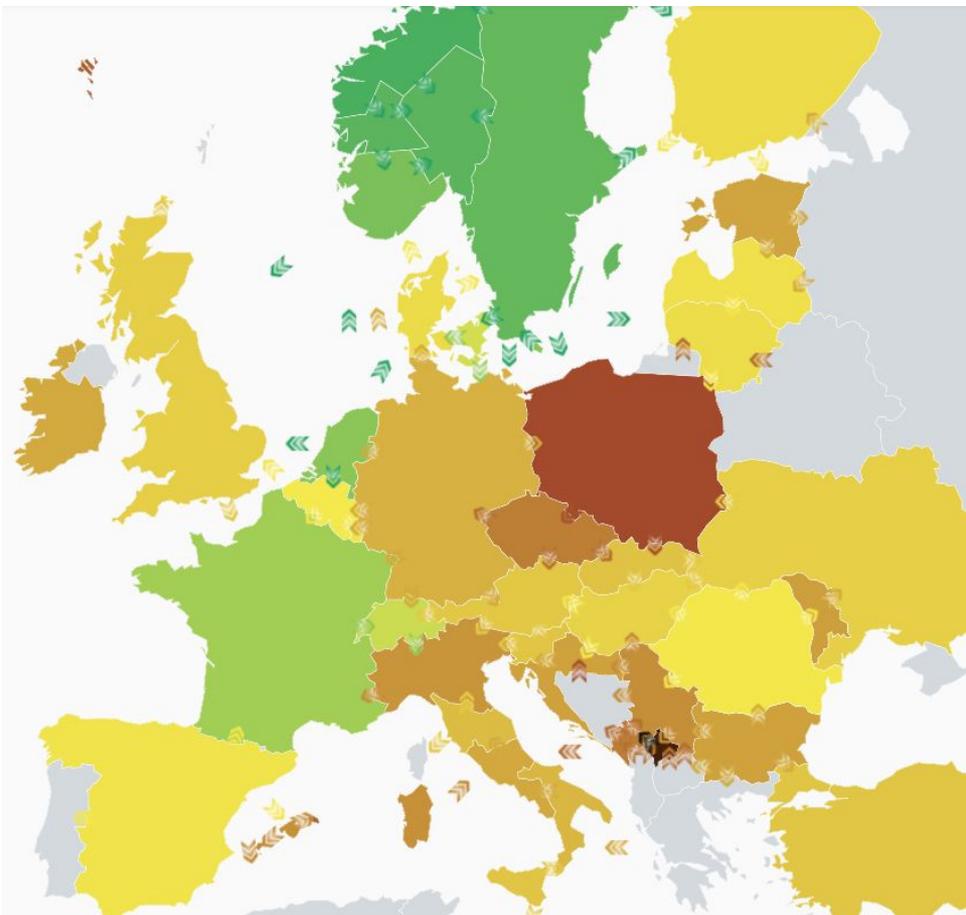


# Un système interconnecté

À différents niveaux :

- Régional
- Européen

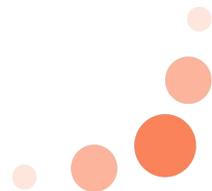
<https://app.electricitymap.org/map>





# L'impact du numérique

Partie 1 : Le monde numérique





# Exemple de page

<https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr>

- 1.50 g de CO2 par visite
- 46 fichiers
- 4.3Mb
- 1.15s de chargement complet

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





# Des logiciels complexes

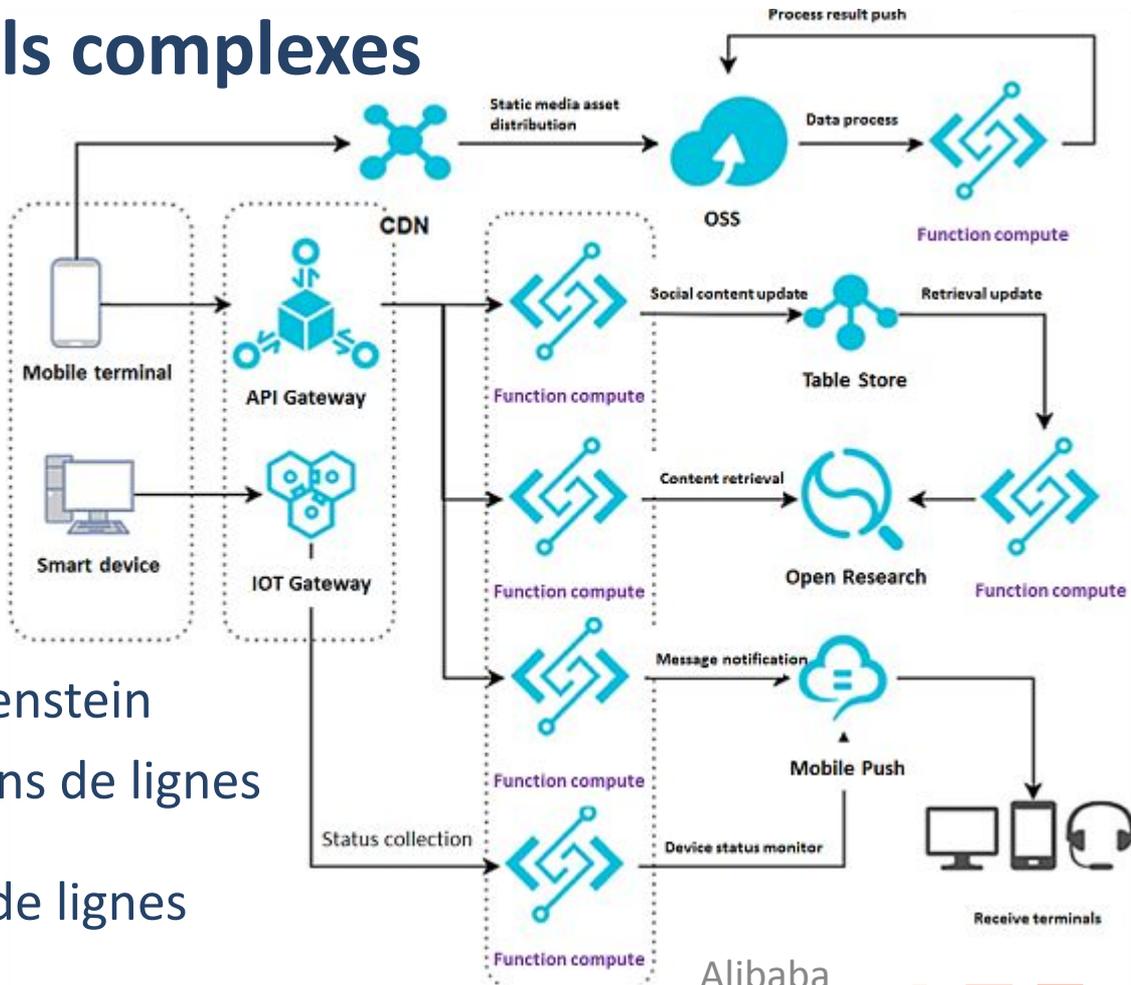
Infrastructure logique

## Des logiciels découpés

- En sous-tâches
  - Simplification
  - Délégation
- Dupliquées
  - Vitesse, résilience

## Le monstre du Dr. Frankenstein

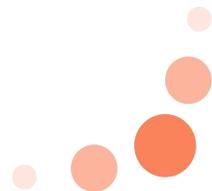
- Facebook : 50 millions de lignes de code
- TikTok : 15 millions de lignes





# L'impact du numérique

Partie 2 : L'impact du numérique

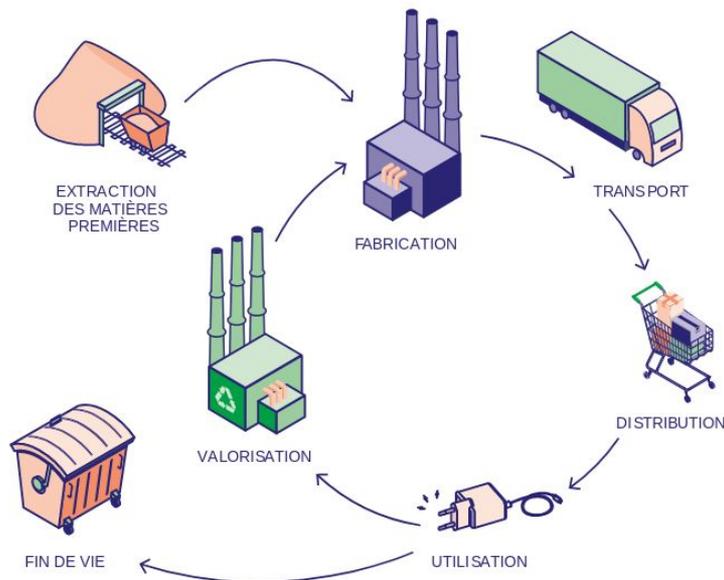




# AVC : Analyse en Cycle de Vie

Au delà de la seule énergie

- Ressources abiotiques
  - kg équivalent antimoine
- Impact climatique
  - kg équivalent CO2
- Consommation d'eau
  - l ou m2 d'eau
- Energie primaire
  - Wh





# Répartition de l'utilisateur au datacenter

Datacenter :

- Forte efficacité
- Pas d'écran
- Toujours actif
- Haute efficacité calcul par Watt

	Utilisateurs 34Mds	Réseaux 1.5Mds	Datacenter .07Mds
Energie	60	23	17
GES	63	22	15
Eau	83	9	7
Electricité	44	32	24
Ressources	75	17	8



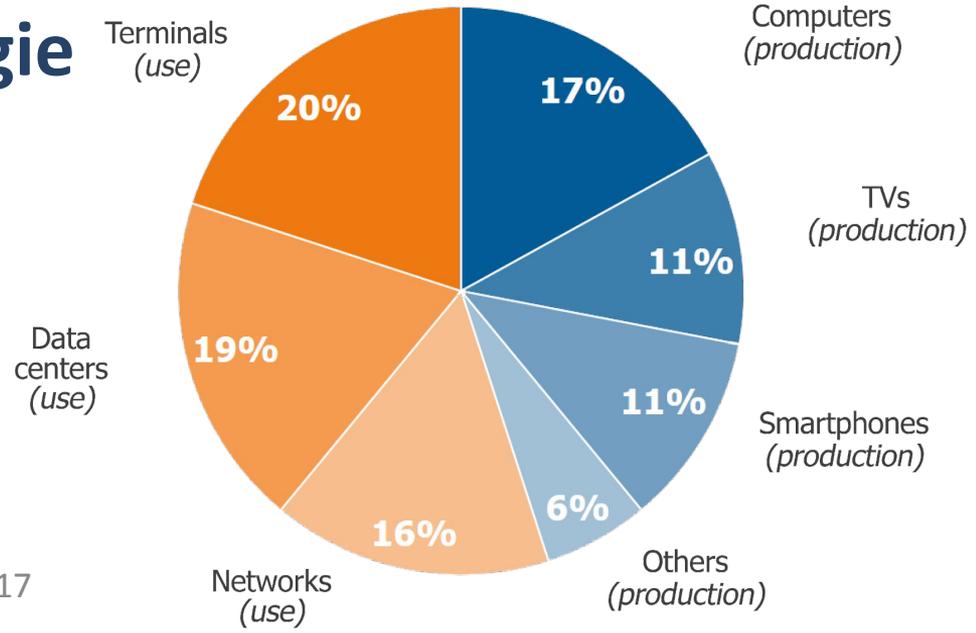


# Zoom sur l'énergie

## Étapes coûteuses :

- Extraction et raffinage
  - 1 T cuivre = 100 T à extraire  
*Safe Drinking Water Foundation, 2017*
- Fabrication composants
  - Purification du silicium
    - 2MW par kg
    - 20l d'eau par cm<sup>2</sup>
    - 1% sans défaut
    - Produits toxiques, arsenic, antimoine, phosphore, peroxyde d'hydrogène, acides nitrique, sulfurique et hydrofluorique

ecoInfo 2010



**Distribution of the energy consumption of digital technologies for production (45 %) and use (55 %) in 2017**

[Source : Lean ICT, *The Shift Project* 2018]





# Tendance

Usage uniquement

Différents modèles :

- Méthode de calcul
- Degré de changement

Conclusions semblables :

- Explosion

Même la sobriété ne suffit pas à atteindre une réduction

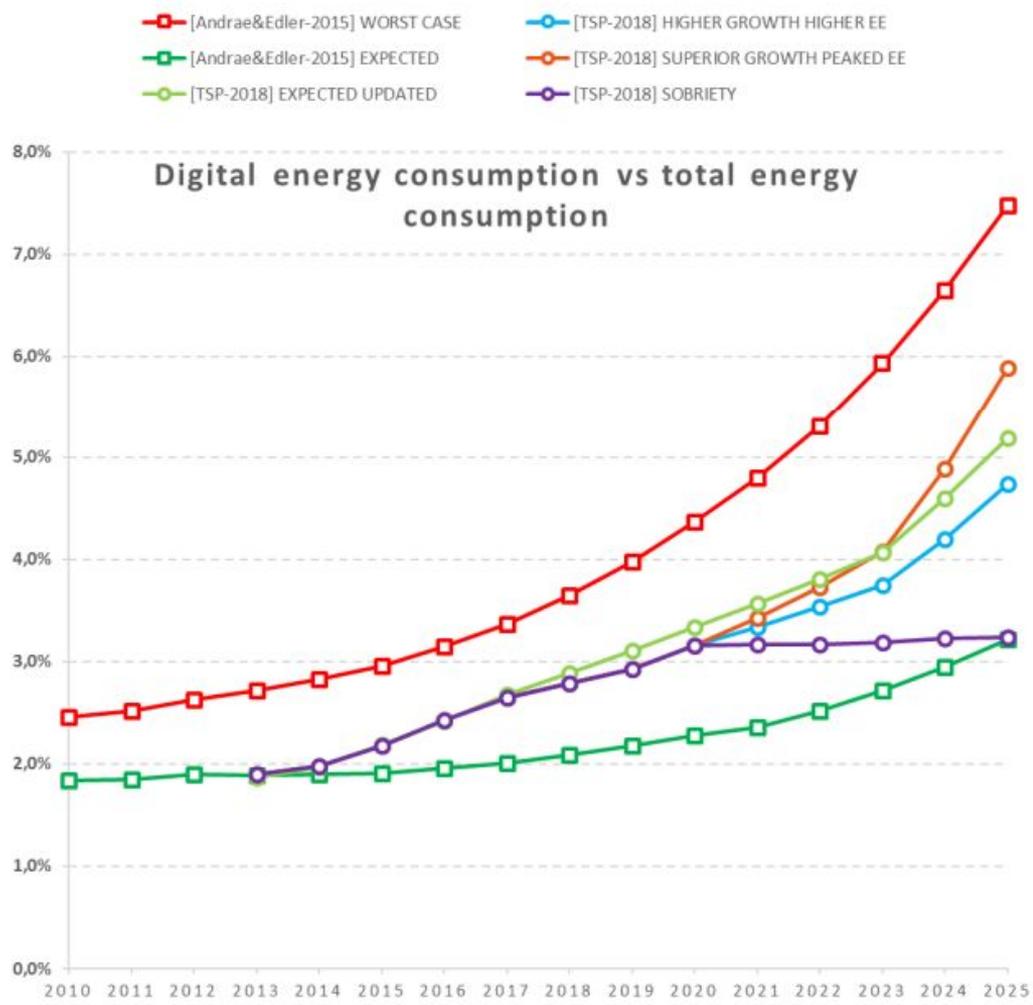
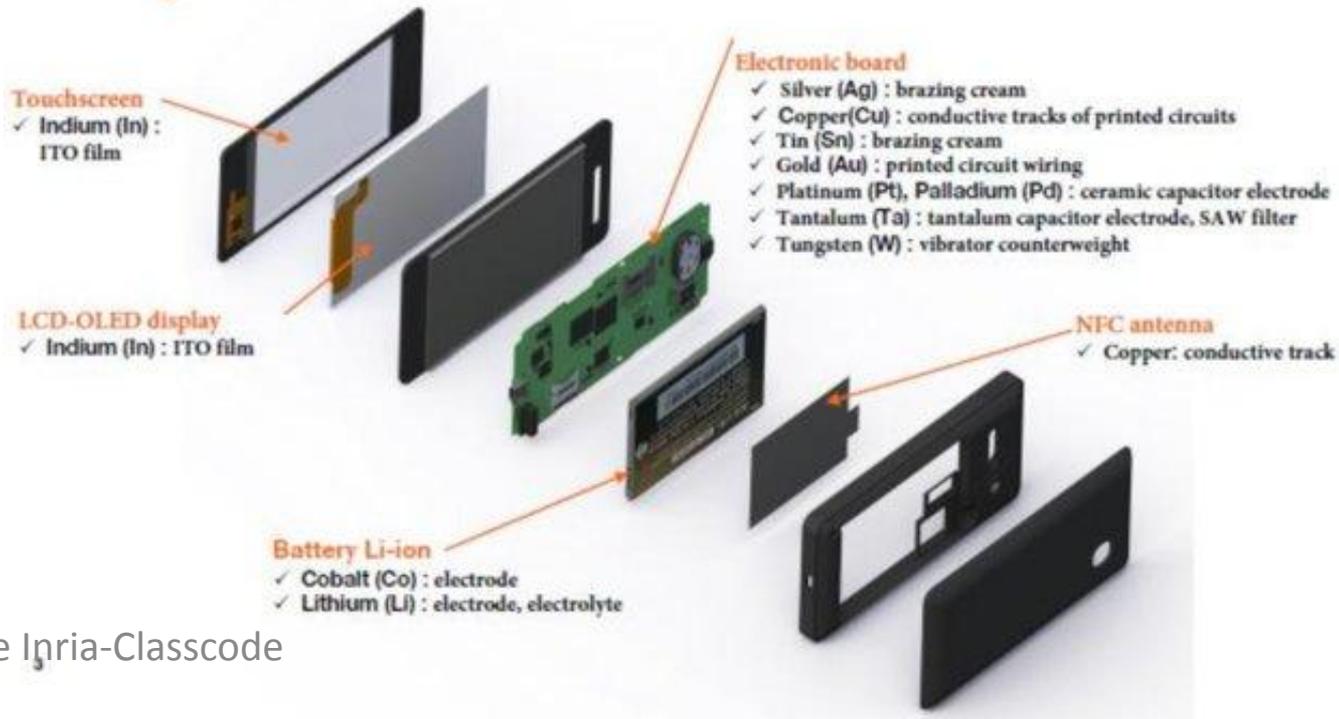


Figure 2: Evolution 2010-2025 of energy consumption of digital technology versus world energy consumption<sup>9</sup>. [Source: [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produced by The Shift Project from data published by (Andrae & Edler, 2015)]



# Exemple : Le smartphone

## Smartphone: architecture and rare metals



## Smartphone Apple 12

- 83% production
- 2% transport
- 14% utilisation
- 1% fin de vie





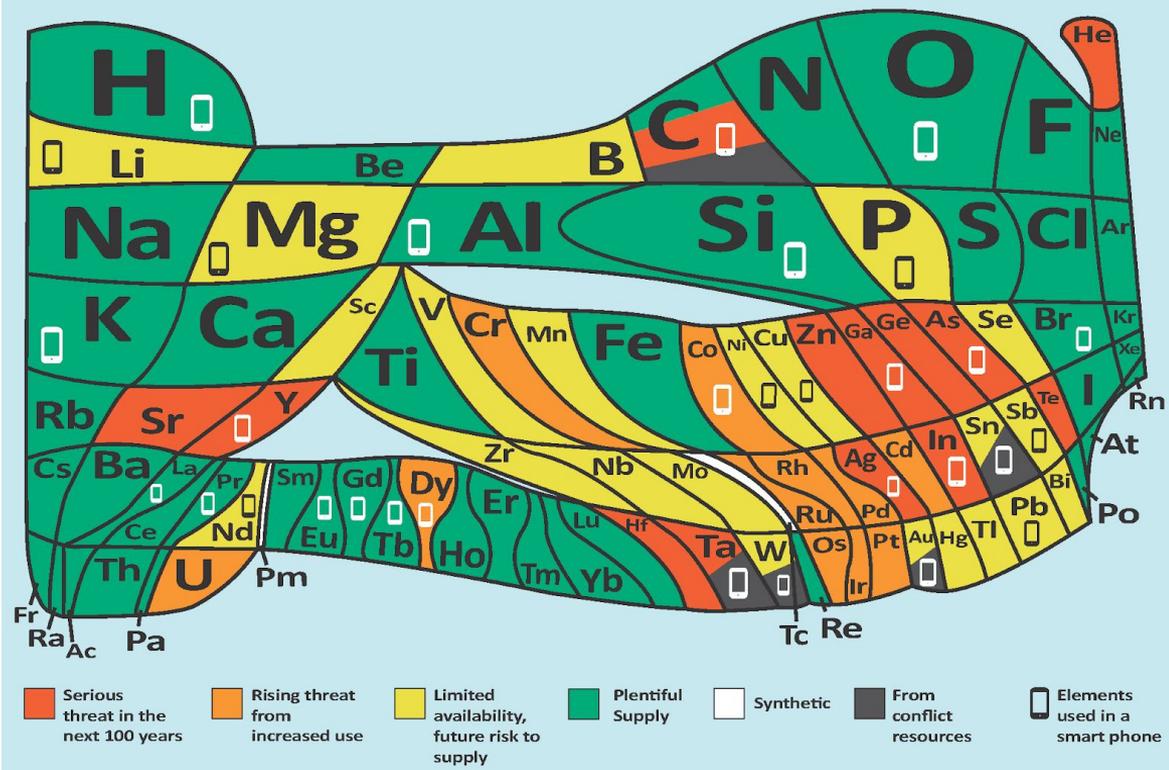
# The 90 natural elements that make up everything

*How much is there? Is that enough? Is it sustainable?*

Taille : Présence

- Atmosphère
- Croute terrestre

[Lien](#)



Read more and play the video game <http://bit.ly/euchems-pt>





# ACV Service

- Fabrication terminal utilisateur

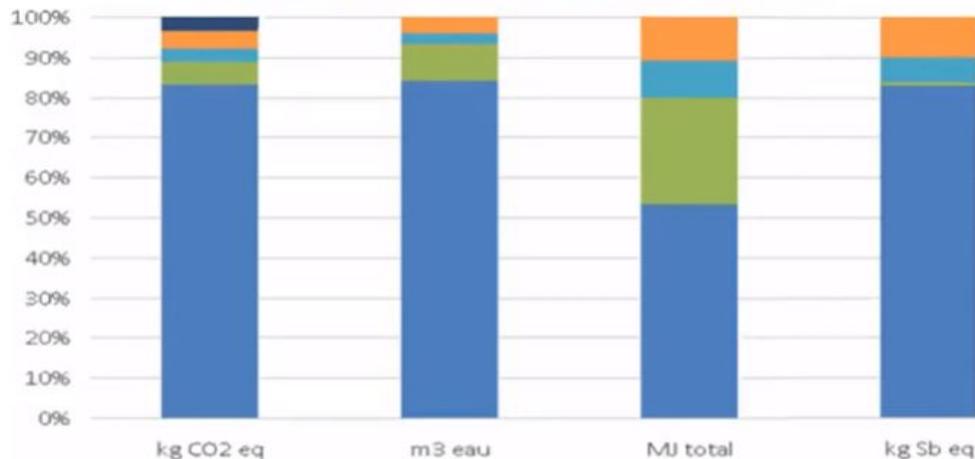
Les coûts sont avant

- Construction
- Même allumage

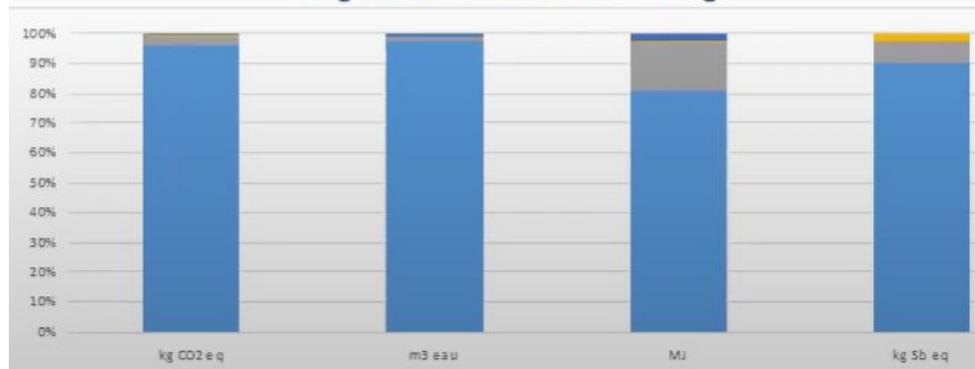
Mais important

- Réduire obsolescence
  - Du matériel personnel
  - D'Internet

Trouver l'horaire d'un train depuis un site web



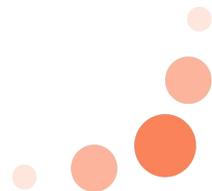
Regarder un film en streaming





# L'impact du numérique

Partie 3 : Passer à l'action





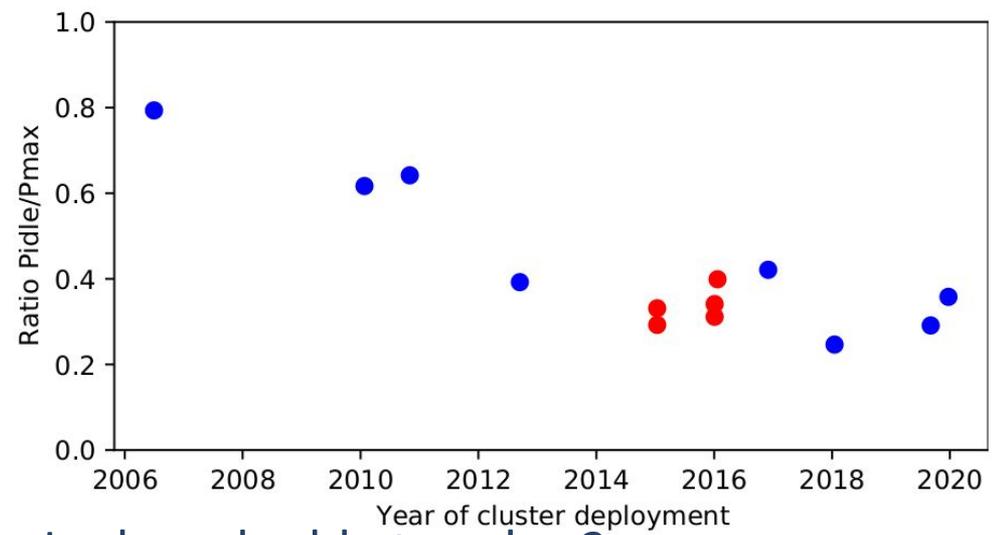
# Améliorer le matériel

Même sans être utilisé un ordinateur consomme

En 2000 un serveur consommait 80% de son maximum juste pour être allumé

Maintenant 20 à 30%

Problématique du recyclage, obsolescence



Koomey's Law : Performance par Joules : double tous les 2 ans





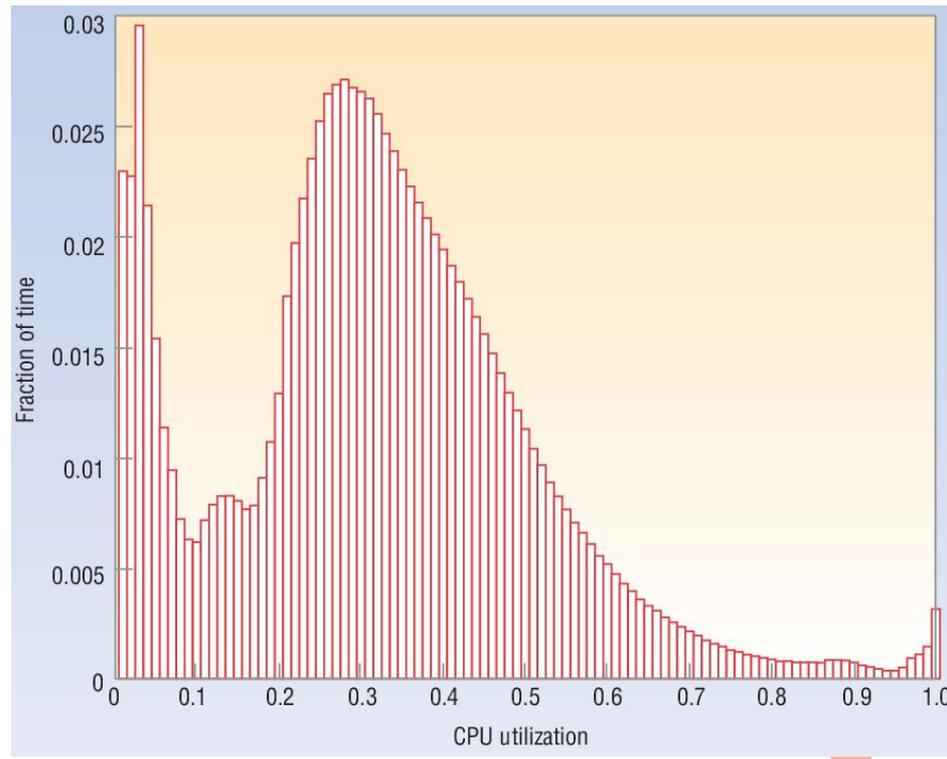
# Améliorer la gestion

Au niveau infrastructure

Ordinateurs souvent sous-utilisés

Utilisation moyenne de

- 30% dans les datacenters (maintenant plutôt 70%)
- Moins pour les ordinateurs personnels



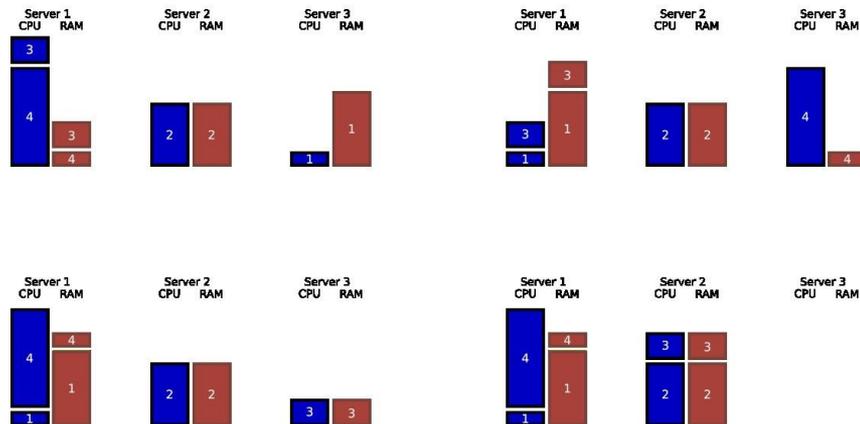
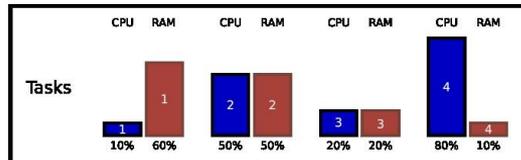


# Améliorer la gestion : Consolidation

Techniques de **virtualisation** dans les datacenters

Algorithmes pour

- Partager les ressources
- Déplacer les applications où elles impactent moins
- Éteindre les serveurs inutilisés



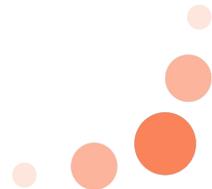
Energy-aware service allocation



# Améliorer les logiciels : Éco-conception

- Je maîtrise le nombre de fonctionnalités logicielles
  - Éviter l'obésiciel
  - Volumétrie des données et sobriété numérique
- Je comprends ce que je fais
  - Analyse fine des besoins à priori
  - Mesure du comportement
- Je favorise le libre : réutiliser les communs et y contribuer
- Je planifie la gestion du logiciel
  - Accroître la durée de vie
  - Amélioration continue

Je code : les bonnes pratiques en éco-conception de service numérique à destination des développeurs de logiciels





# Décentraliser internet

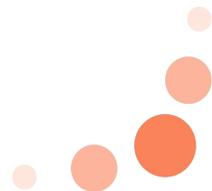
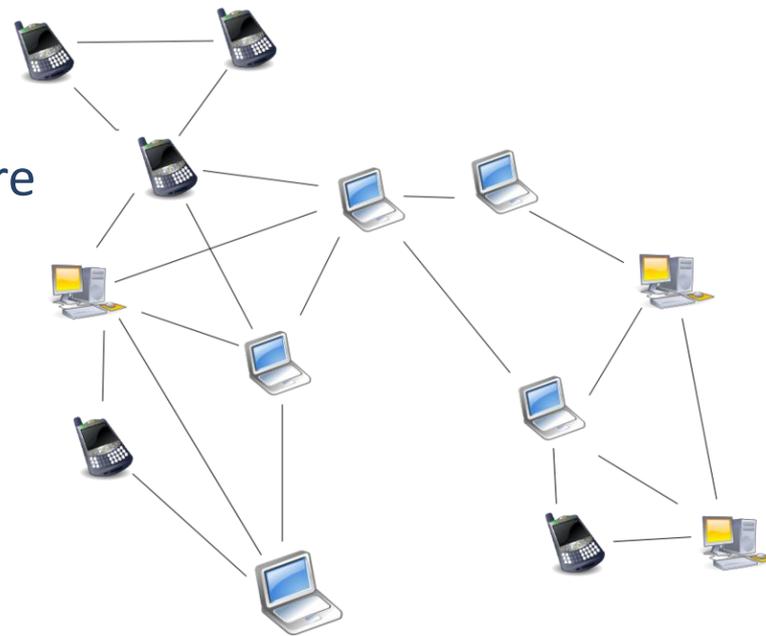
Web 3.0 mais le vrai

## Communications directes sans intermédiaire

- Moins d'infrastructure
- Plus de résilience
- Wifi-direct / Wi-Fi ad hoc

## Blockchain

- Oui mais dans 5 ans

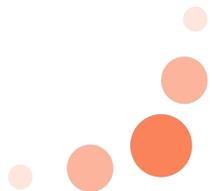




# Le passage à l'action

Au niveau personnel

- Ne pas augmenter le taux d'équipement
  - Mutualisation (smartphone = couteau suisse) et partage
- Allonger la durée de vie
  - Réemploi, réparation
  - Occasion
  - À regarder dès l'achat
- Éteindre les objets non utilisés
  - Box internet (7 à 10W, équivalent frigo efficace)
- Usage sobre
  - 4G consomme 23 fois plus que le WiFi (surtout dans un avion)
- Collecter les déchets
  - Réutilisés, réparés, recyclés et dépollués

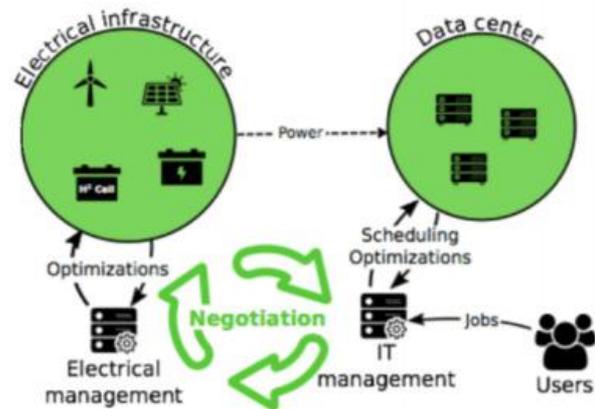




# Le passage à l'échelle

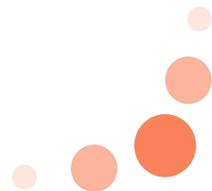
Au niveau institutionnel (professionnel, universitaire, ...)

- Réduire le taux d'équipement
  - Un seul ordinateur fixe ou portable suffit, idem écran
  - Réutiliser en fin de vie
- Gestion des trajets
  - Covoiturage, transport en commun, flotte de **véhicules** de prêts
- Viser l'éco-conception
  - En tenir compte dans son activité
  - Viser comme **activité** de le réduire
  - Viser la flexibilité
- Gérer les consommables
  - Papiers recyclés, électricité verte
- Mesurer / évaluer
  - ACV d'une activité (pas d'un logiciel)





**Et la recherche ?**

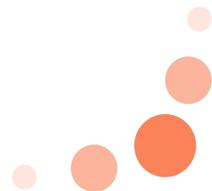




# Quelques ouvertures

I.A.

?





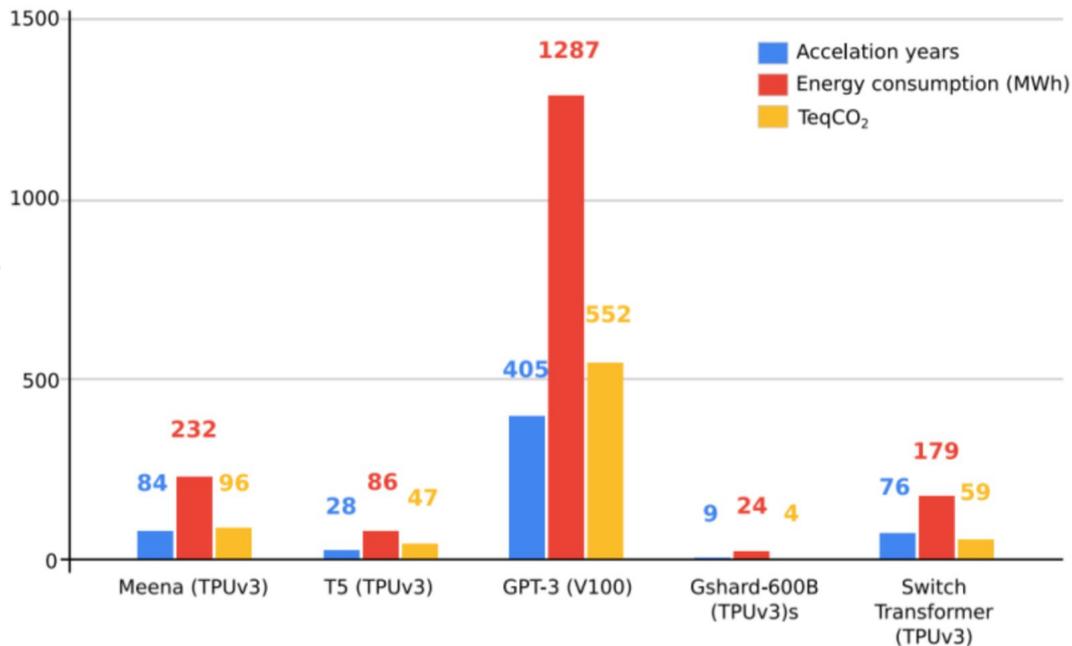
# Intelligence artificielle

Deep Learning

## GPT-3

- Création et synthèse de documents
- 1TeqCO<sub>2</sub> = 1 aller-retour Paris-New York
- 100k€ d'électricité

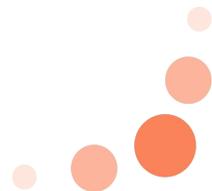
Mais utilisation "gratuite"





# Quelques ouvertures

Internet Low Tech





# Faire simple et fonctionnel

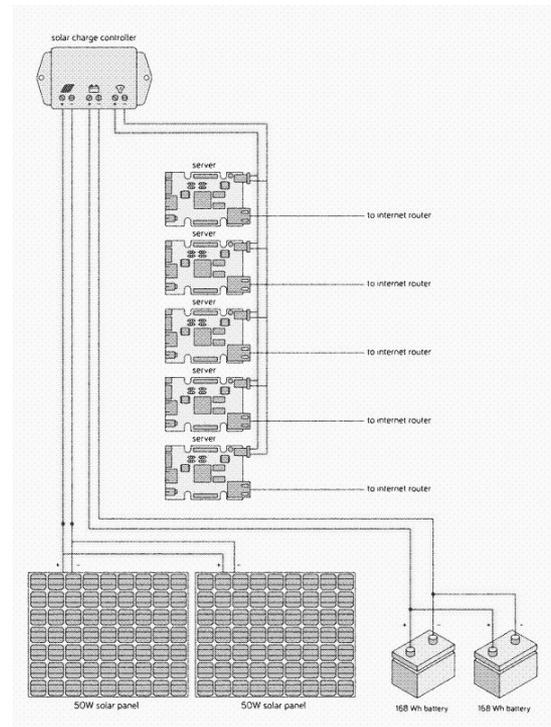
Low tech magazine

## Optimisation

- Logicielle
- Matérielle

## Simplification

- Capacité
- Attentes



## LOW ← TECH MAGAZINE

Ce site fonctionne à l'énergie solaire, et se retrouve parfois hors-ligne \*  
MENU

Le site imprimé : premier volume en français

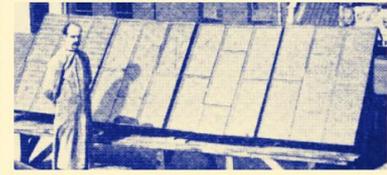
Lisez Low-tech Magazine sans avoir besoin d'un ordinateur, d'internet ou d'une alimentation électrique – ou quand le site internet solaire est hors service à cause d'une mauvaise météo.

March 2022



Les Matelas-Fascines : la Vannerie se Déchaîne

Tissot de la page 620 BRKD



Comment fabriquer un panneau solaire low-tech

<https://solar.lowtechmagazine.com/>



# Faire simple et fonctionnel

Résultats sportifs en direct

## Optimisation purement logicielle

- 23 matches
- 300kB transférés d'un seul ordinateur
  - Estimation pour un mail en moyenne 75kB
- 3 allers retours
- Simple à afficher (eq. 0g CO<sub>2</sub>)

<https://plaintextsports.com/>

Page loaded: 9:03:47 PM (~5 seconds ago)  
Data loaded: 9:03:36 PM (~20 seconds ago)

plaintextsports.com [Dark Mode](#)

< [Apr. 2](#) **Sunday, April 3** [Apr. 4](#) >

**Leagues:** [NBA](#) [NHL](#) [MLS](#) [NWSL](#)

**College:** [NCAA WB](#) [NCAA MB](#)

**NCAA Women's Basketball Tournament**

*Game links open ncaa.com in a new tab*

Fri	Final	Fri	Final
1 S CAR	72	1 STAN	58
1 LOUIS	59	2 UCONN	63

Sun 2:00 AM GMT+2	
1 S CAR	34-2
2 UCONN	30-5

[See all NCAA Women's Basketball games](#)

**National Basketball Association**

[Teams](#) [Standings](#)

	Q4 08:14		Q4 06:03
DAL	93	WAS	91
MIL	91	BOS	126

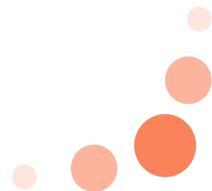
9:30 PM GMT+2		11:00 PM GMT+2	
DEN	46-32	DET	22-56
LAL	31-46	IND	25-53



# Quelques ouvertures

Effet rebond

?





# Effet rebond

amélioration efficacité charbon → augmentation consommation

Type d'effet	Niveau d'influence	TIC en tant que solution	TIC en tant que problème
De 1er ordre (directs)	TIC elles-mêmes	Fabriquer plus avec moins	Cycle de vie des TIC : Production, Utilisation, Fin de vie
De 2ème ordre (indirects)	Applications des TIC à d'autres secteurs	Effets d'optimisation, Effets de substitution	Effets induits
De 3ème ordre (systémiques)	Changement social	Profond changement structurel vers une économie dématérialisée	Effets rebond, Nouvelles infrastructures critiques d'information



Quels effets rebonds avez vous subi dans votre utilisation ?

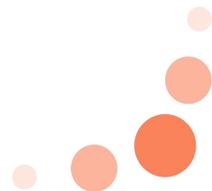




# Quelques ouvertures

Bitcoin, blockchain, NFT

?

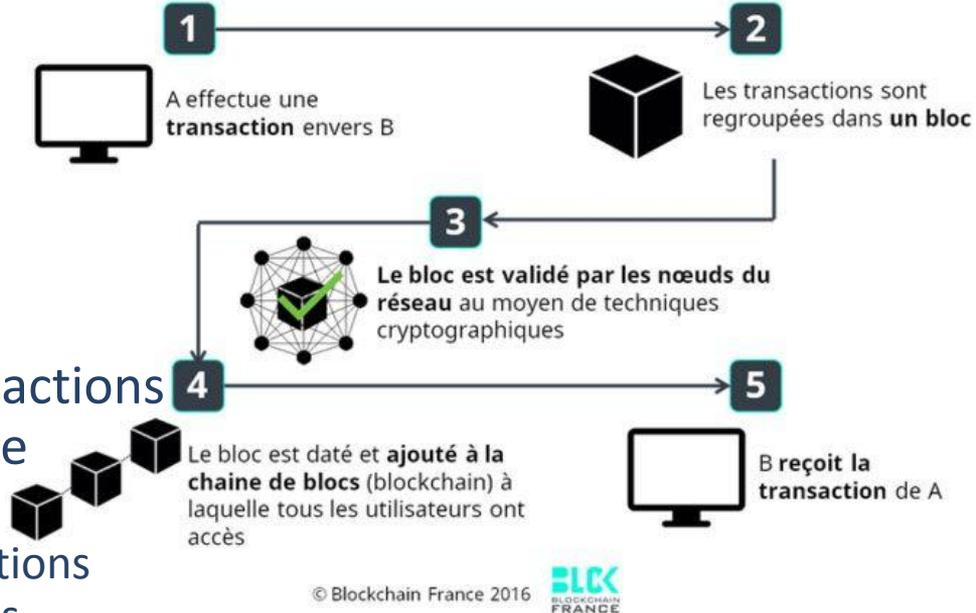




# Bitcoin / NFT

Principe de la Blockchain

- Stockage d'information/transactions
- Remplace le tiers de confiance
- Tous les participants
  - Enregistrent toutes les opérations
  - Vérifient toutes les opérations
  - "Souvent vérifier" permet un gain



Bitcoin :

- Opérations : transférer de la valeur interne (fractionnable)

NFT :

- Opération : transférer une adresse internet



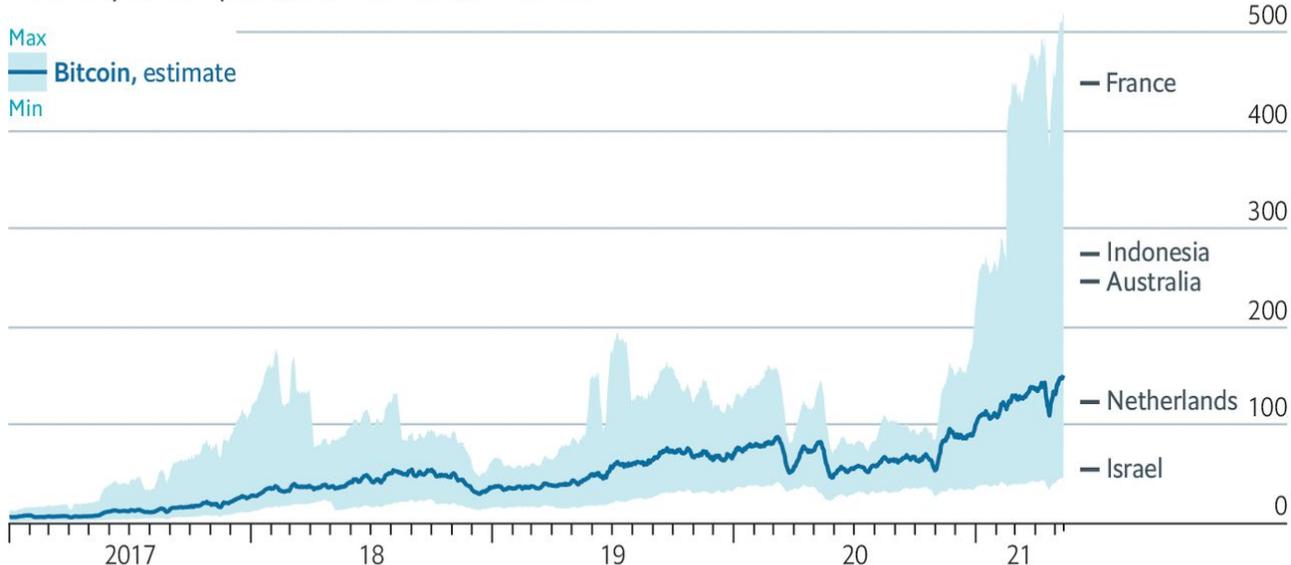


# Bitcoin / NFT

Bitcoin : 1,000,000 bitcoin miners

## Power hungry

Electricity consumption, terawatt-hours, annualised



Source: Cambridge bitcoin electricity consumption index

The Economist



Valeur interne

Création d'unicité

Valeur d'un

- BitCoin
- NFT





# Bitcoin / NFT

Donner de la valeur à ce qui est copiable gratuitement



Société de l'abondance, coût marginal nul

La culture : Ian M. Banks

- Pratiquement ressources infinies et colonialisme

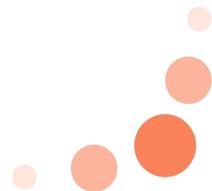
L'Âge de diamant : Neal Stephenson

- Contrôle hiérarchique (noble) des ressources

Star Trek

- Réplicateur et vision altruiste et colonialisme

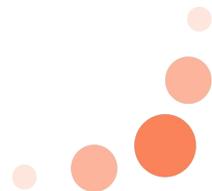
Dans le monde réel : Promesse de la fusion





# Quelques ouvertures

Jeu video





# L'essor du mobile

Une catégorie nouvelle, de nouveaux usages

Globale stabilité du marché

- PC, Console

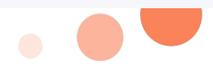
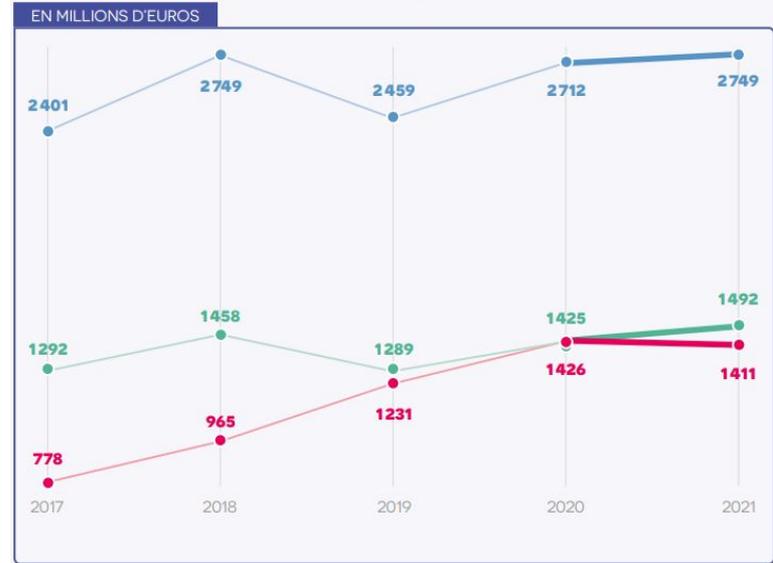
Forte augmentation du marché mobile

- x2 en 5ans

SELL 2021



ÉVOLUTION DU CHIFFRE D'AFFAIRES PAR ÉCOSYSTÈME\*\*\*\*





# Cloud gaming

Tout est fait dans un datacenter, seul l'affichage et l'interaction sont locaux

Sujet complexe

Positif

- Serveurs 100% utilisés
- Vision modulaire

Négatif

- Coût caché
- Surcoût réseau
- Effet rebond

2020 : 36m joueurs

2022 : marché de 3.2Md\$





# Réalité augmentée / Réalité virtuelle

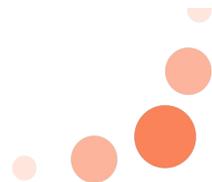
Toujours aussi complexe

Positif

- Moins de matériaux qu'une grande télévision

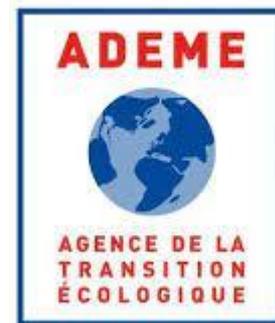
Négatif

- Doublement du calcul (résolution, latence)





# Remerciements



**green IT.fr**  
plus particulièrement  
Frédéric Bordage



POUR UNE INFORMATIQUE ÉCO-RESPONSABLE  
plus particulièrement Denis Trystram