



CNRS - INP - UT3 - UT1 - UT2J

Institut de Recherche en Informatique de Toulouse

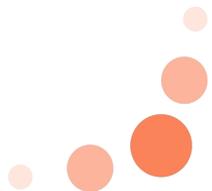


Numérique et changement climatique

Georges Da Costa

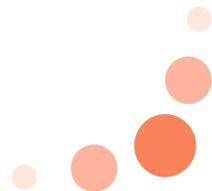
georges.da-costa@irit.fr

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





Changement climatique et énergie



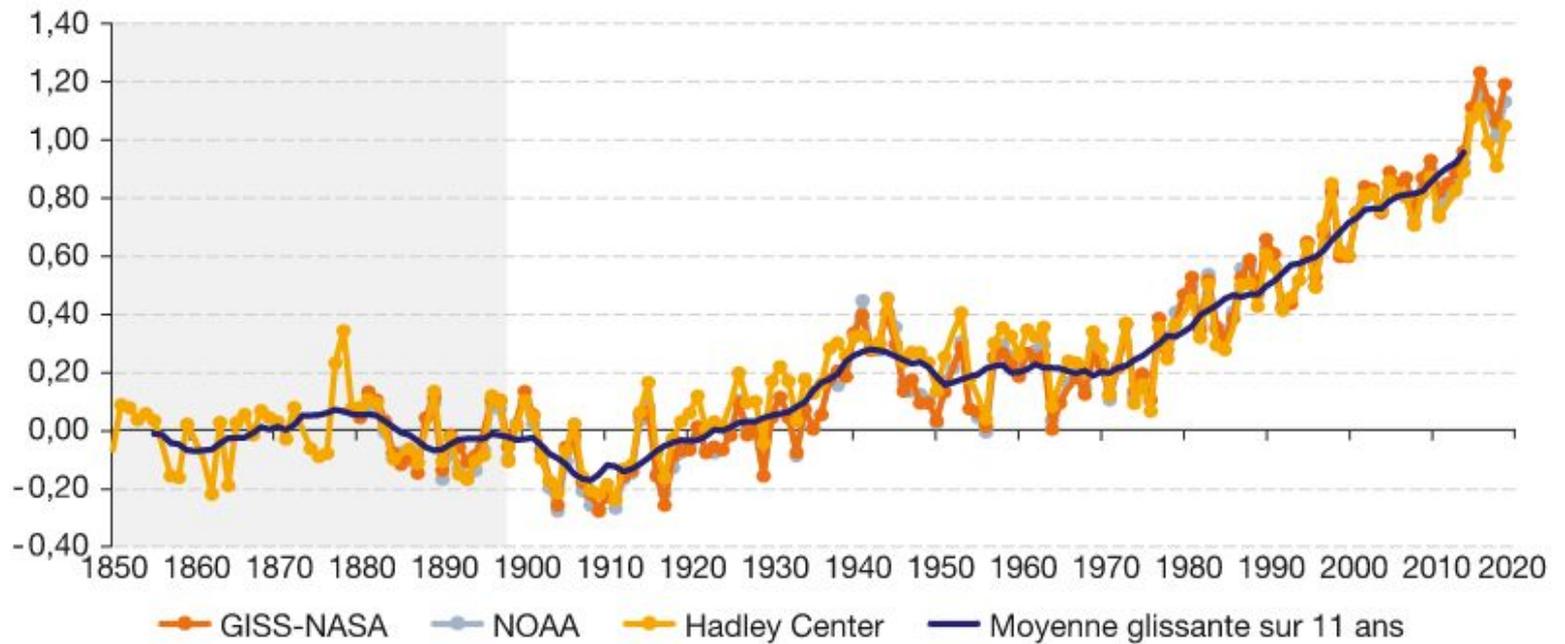


Un changement climatique en cours

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



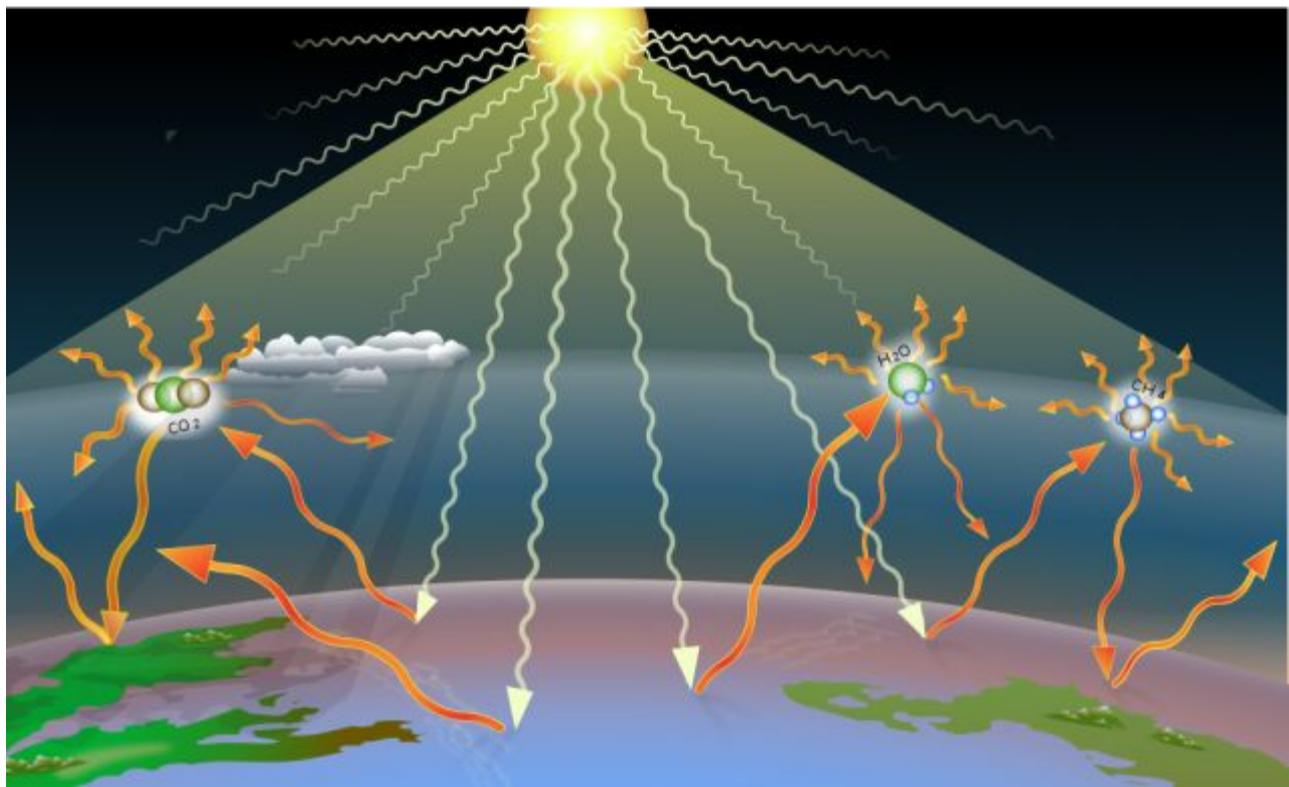
Une source principale simple et connue

L'effet de serre

Principalement

- CO_2
- H_2O
- CH_4

A loose necktie on
Wikimedia Commons





Un équilibre précaire

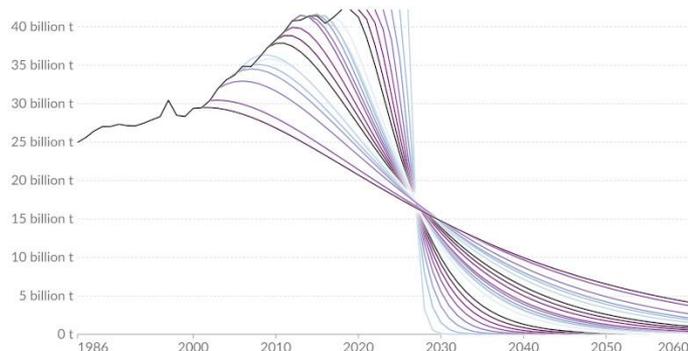
Historiquement : 750 GTonnes/an émis et absorbés

- H₂O et CO₂
- Méthane CH₄, protoxyde d'azote N₂O et ozone O₃
- CO₂, CH₄ et N₂O couvrent 96% des 7 GES pris en compte dans le cadre du protocole de Kyoto

Longue durée

- 100 ans pour CO₂, 9 ans pour méthane

CO₂ reductions needed to keep global temperature rise below 1.5°C
Annual emissions of carbon dioxide under various mitigation scenarios to keep global average temperature rise below 1.5°C. Scenarios are based on the CO₂ reductions necessary if mitigation had started - with global emissions peaking and quickly reducing - in the given year.

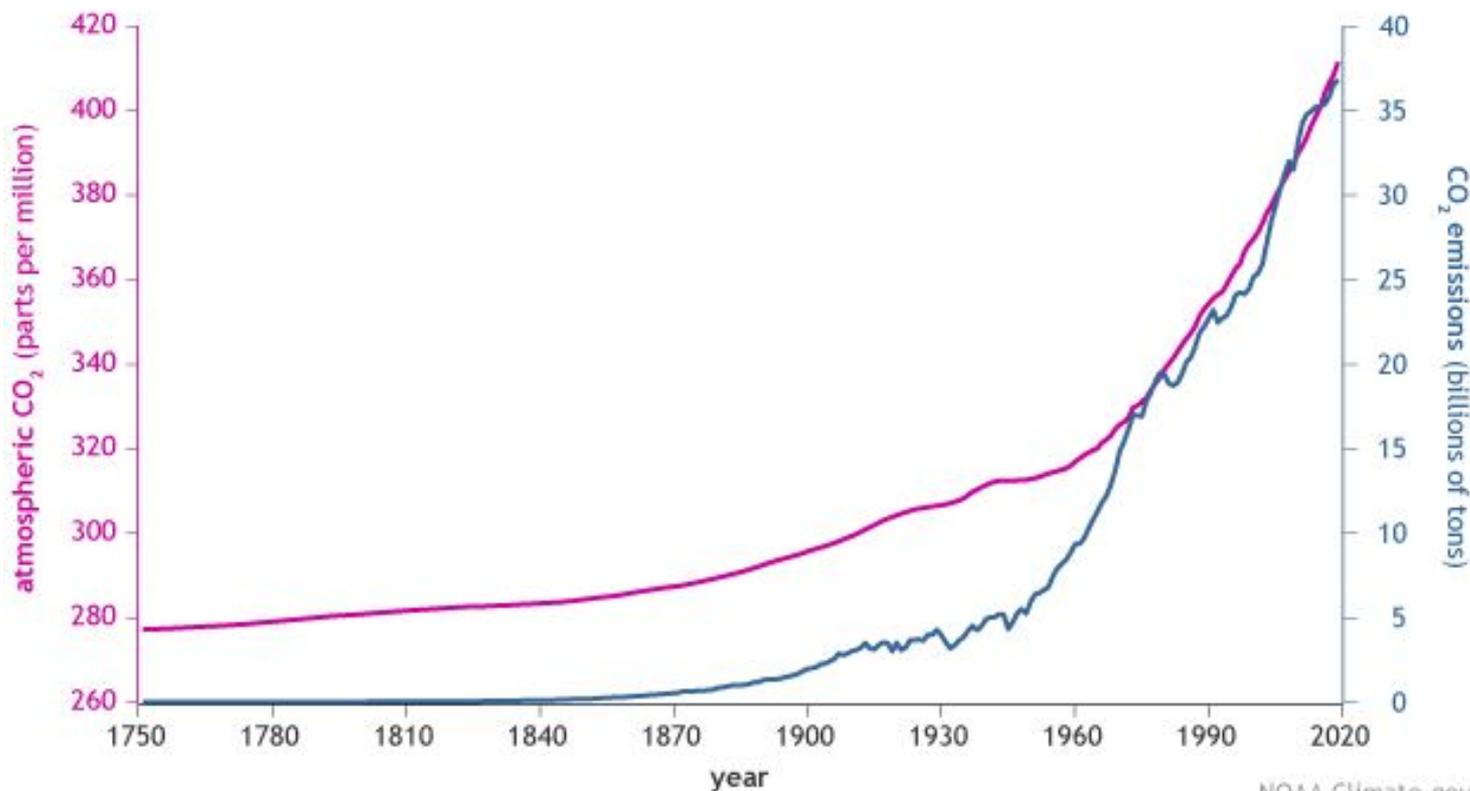


Source: Robbie Andrews (2019); based on Global Carbon Project & IPCC SR15
Note: Carbon budgets are based on a ~66% chance of staying below 1.5°C from the IPCC's SR15 Report.
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY



CO₂ et révolution industrielle

CO₂ in the atmosphere and annual emissions (1750-2019)

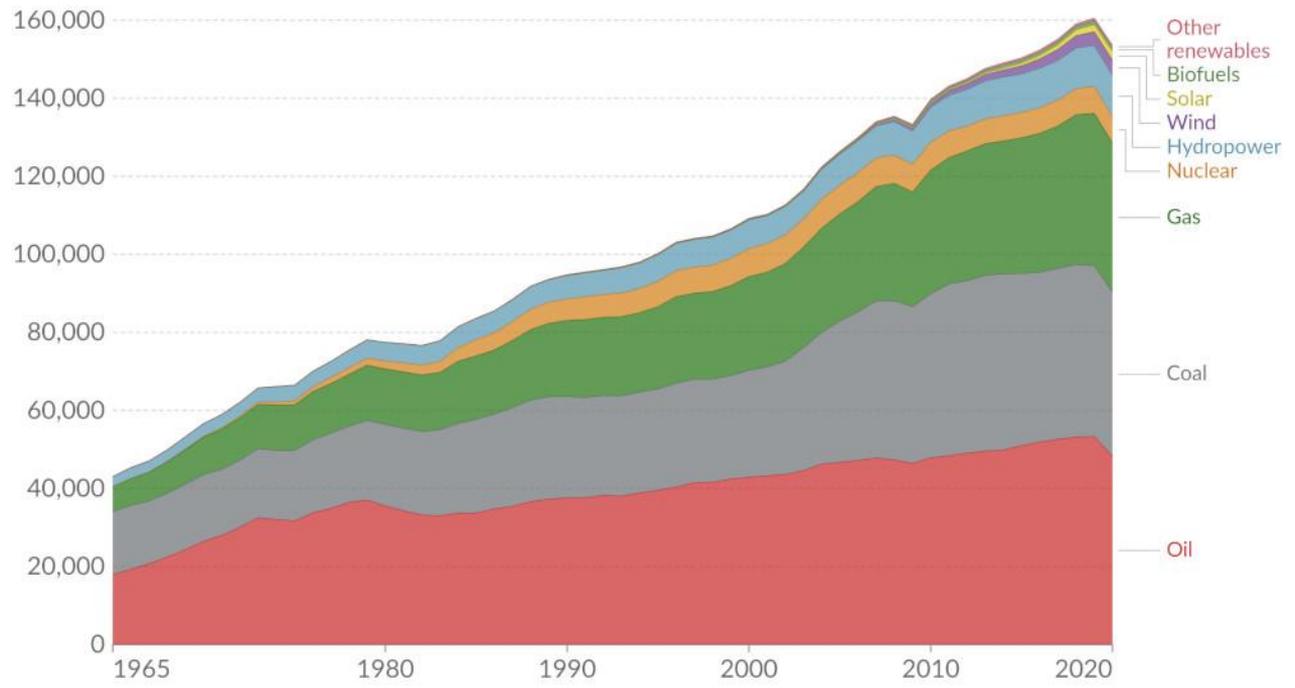




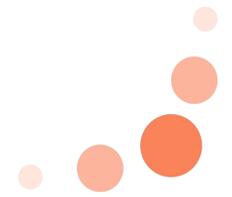
Mix énergétique global

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.

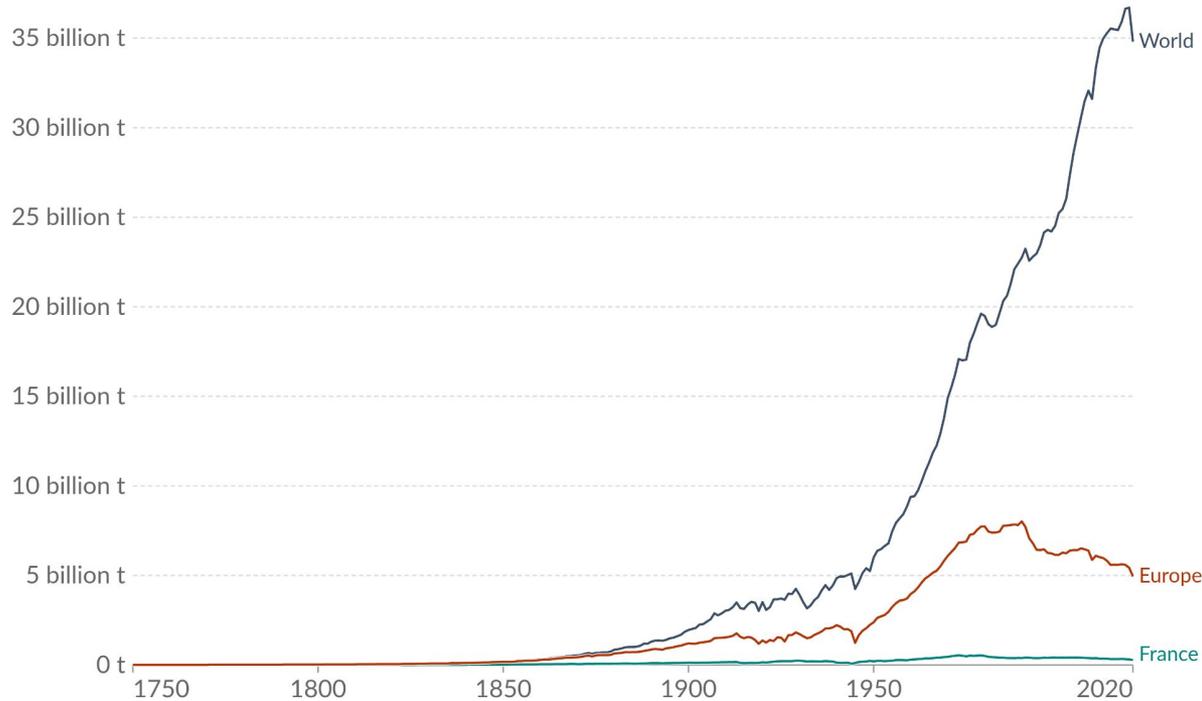




Production de CO₂ lié à l'énergie

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.



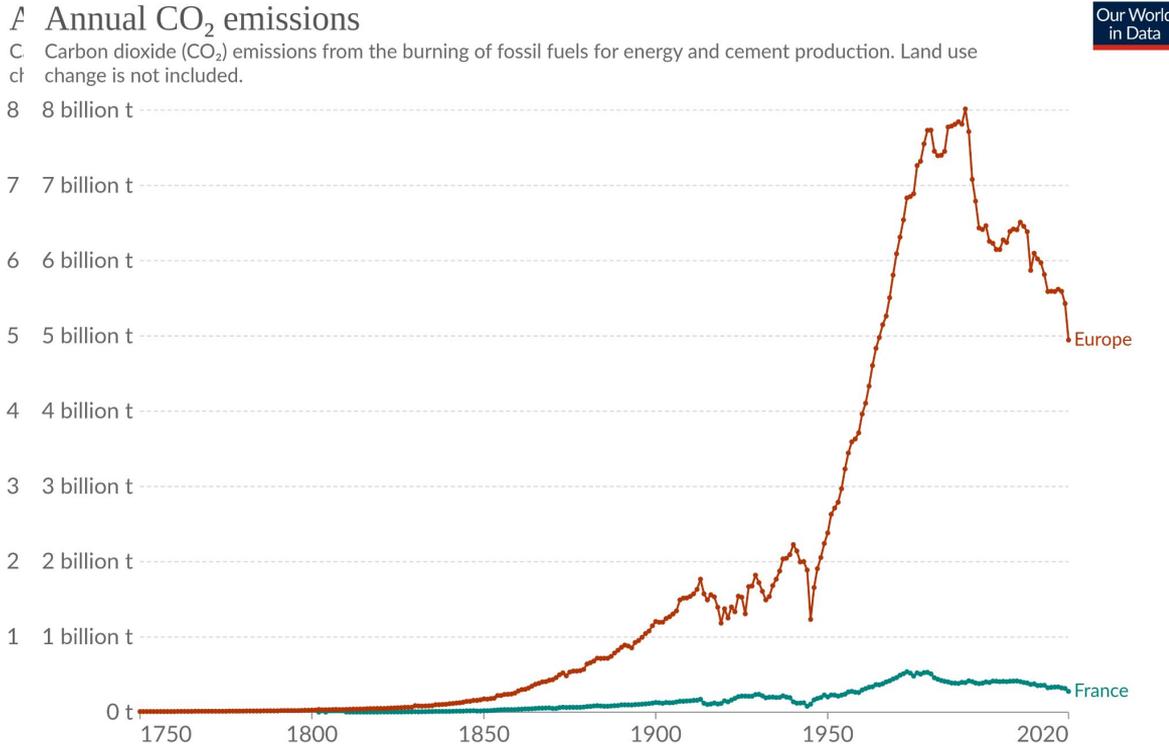


Zoom en Europe et en France

CO₂ par personne

- France : 4.6
- EU : 6.4

WorldBank



Our World in Data

Source: Global Carbon Project

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY



La difficulté du 100% renouvelable

Sources non contrôlables

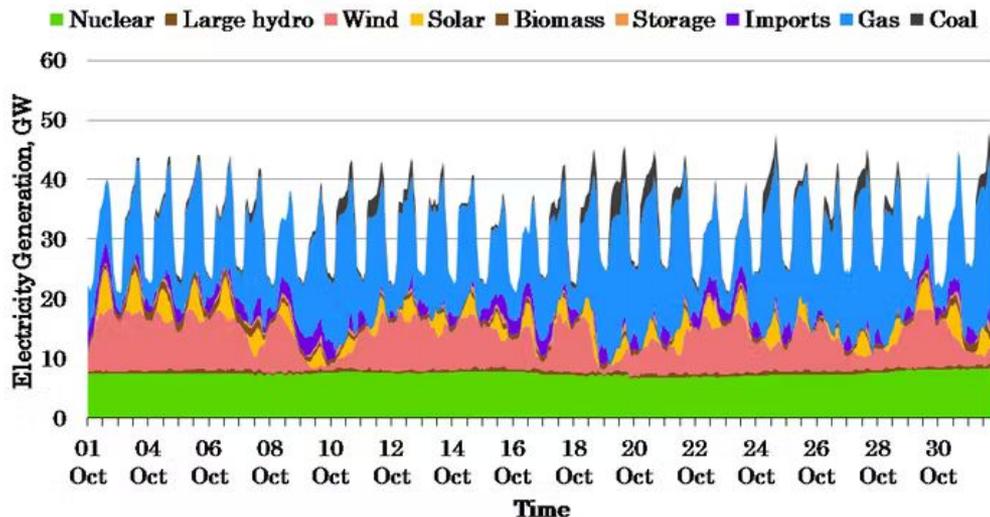
- Renouvelable

Source constante

- Nucléaire

Source d'appoint

- Hydraulique, fuel, charbon, ...



Carbon Emissions	Electricity from Low Carbon Sources	Electricity from Gas
248 gCO ₂ eq./kWh	52%	41%

British electricity generation in Oct. 2018

Dr Andrew Crossland/MyGridGB





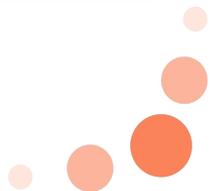
Sources d'énergie

Rien n'est neutre en carbone

	Charbon	Diesel	Gaz naturel	Éolien	Photovoltaïque	Nucléaire	Géothermique	Hydrolique
g CO2 eq/kWh	1000	780	443	14.5	44	66	38	12

Durée de vie, production, transport, installation, maintenance

https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?renouvelable.htm



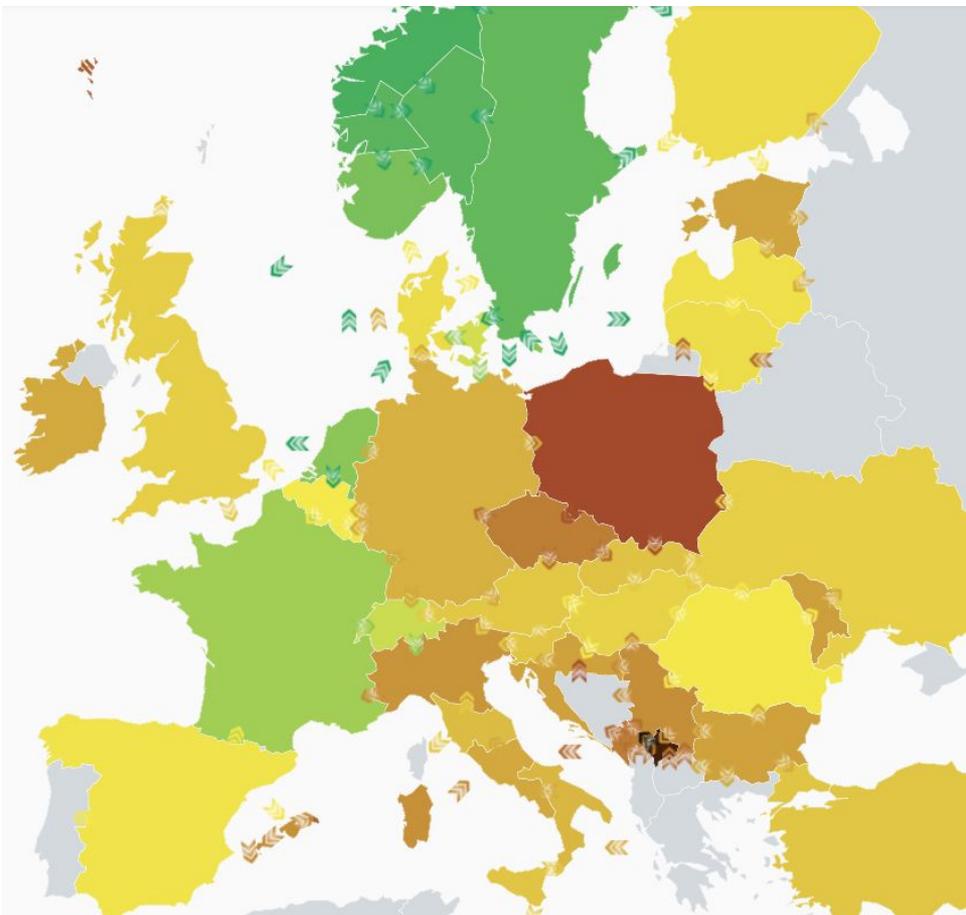


Un système interconnecté

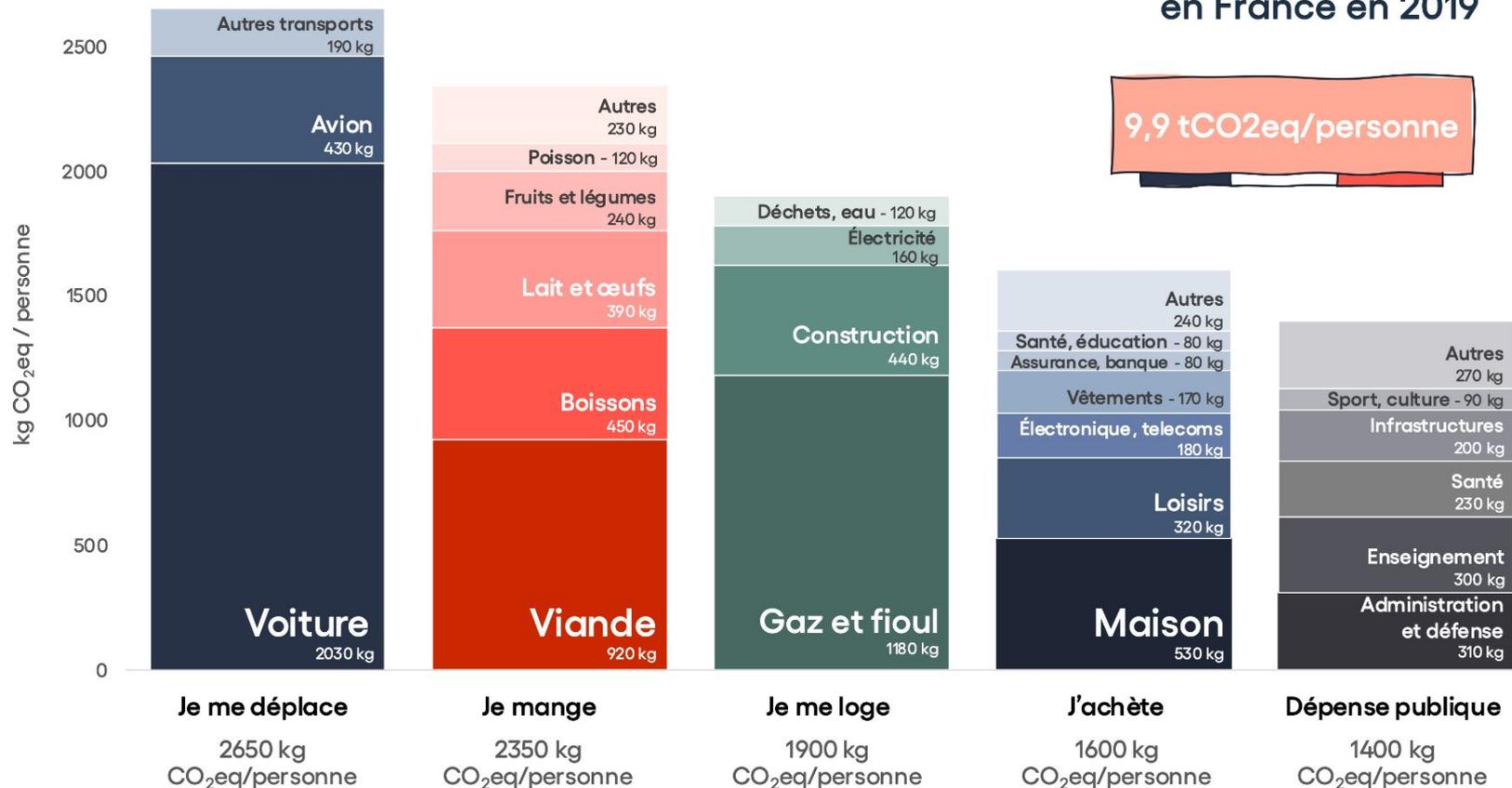
À différents niveaux :

- Régional
- Européen

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



Empreinte carbone moyenne en France en 2019





Consommation visible et invisible

Energy Slaves



Chiffrez votre effort en pourcentage de réduction ?
Quelle est la part en pourcentage du numérique ?





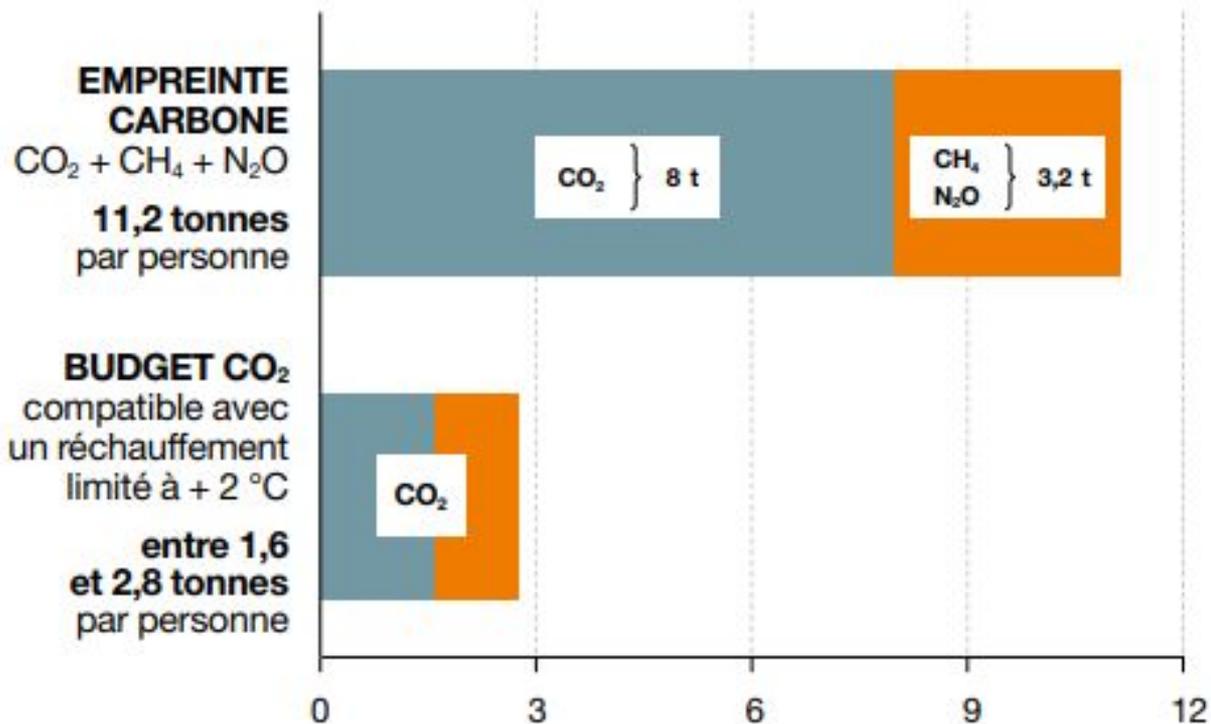
Mais pas que l'énergie

Objectif

- Diviser par 6

Part du Numérique actuel

- 0.8 t sur les 11.2
GreenIT 2019

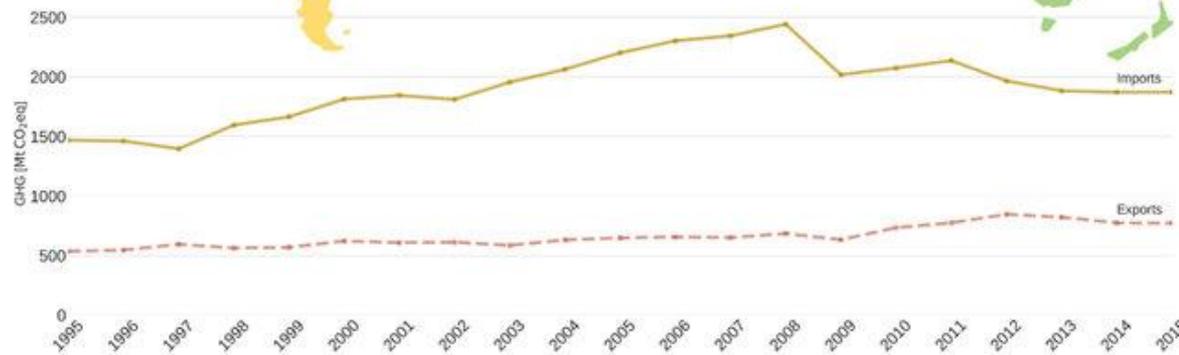
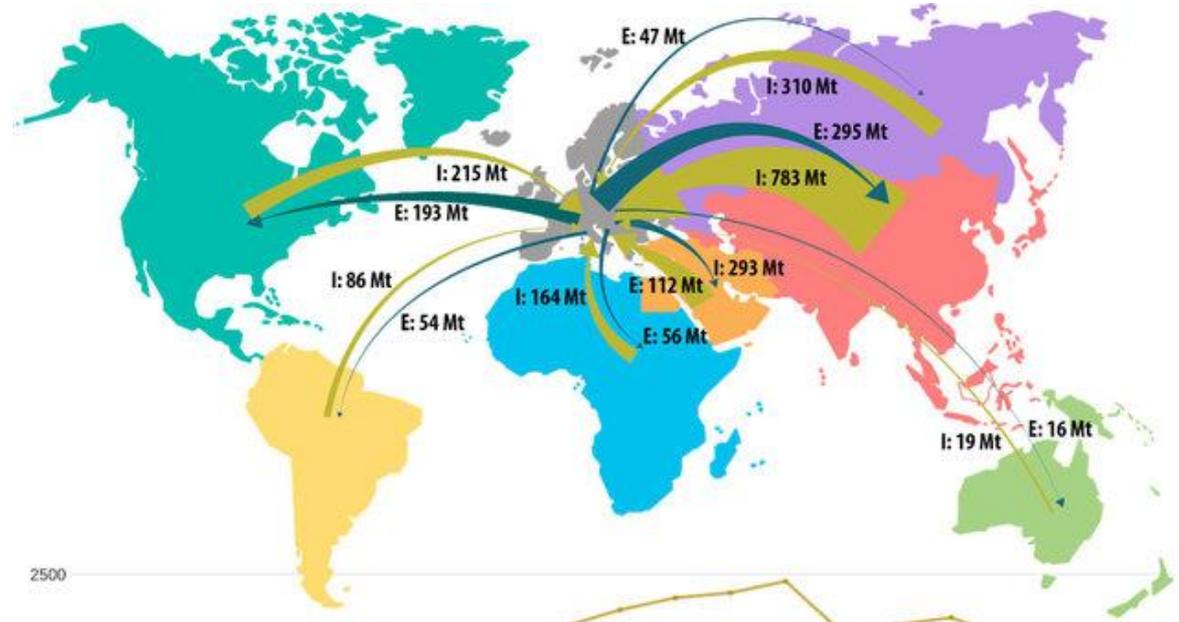


Champ : France métropolitaine + Drom (périmètre Kyoto).
Sources : GIEC ; Citepa ; AIE ; FAO ; Douanes ; Eurostat ; Insee.
Traitements : SDES, 2019



Empreinte d'importation : Europe

Un problème global

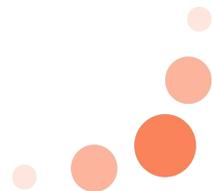


Richard Wood et al. 2019



L'impact du numérique

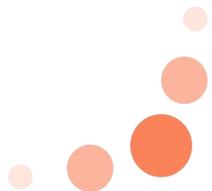
Partie 1 : Le monde numérique





Combien un Européen possède-t-il d'appareils numériques

1. Moins de 6
2. 6 à 10
3. Plus de 10

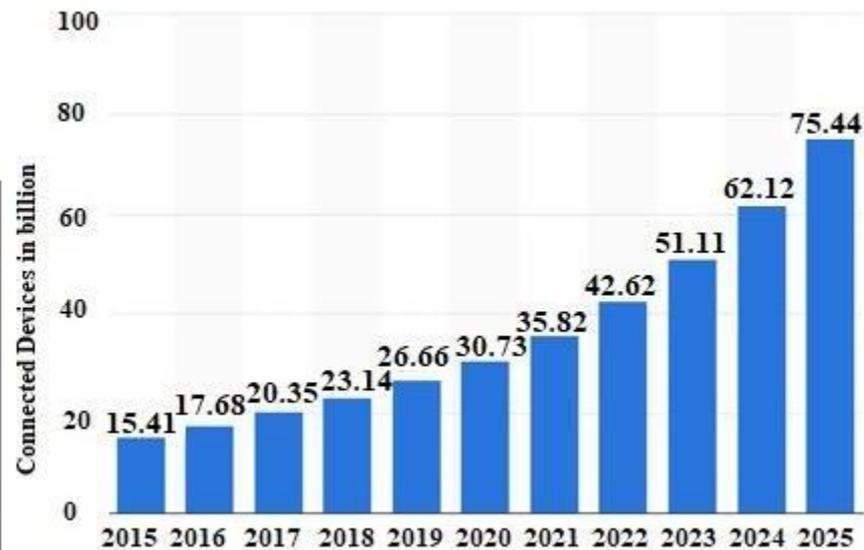




Les objets connectés

Hors ordinateurs et smartphones

	Monde	France
Equipement	34 milliards	651 millions
Utilisateurs	5 milliards	58 millions
Ratio	4	15
Utilisation journalière	6h42	4h38





Les services en ligne dans les *nuages*

Site web, banque, snapchat, amazon, ...

Mot clé : virtualisation / transparence

Independents :

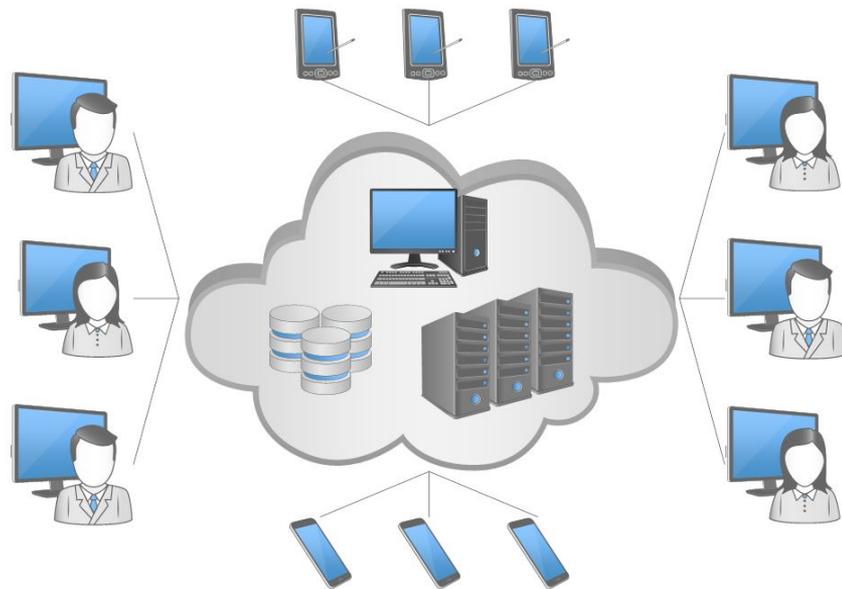
- Du lieu
- Du support

Infini



Comparaison de la lecture video

- En ligne
- En local





Exemple de page

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

Aller sur cette page provoque

- 1 aller retour
- 1 à 9 allers retours
- Au moins 10 allers retours



Et implique

- 1 ordinateur distant
- 4 ordinateurs distants
- Impossible de savoir





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/>





Le coeur d'internet : les datacenters

Infrastructure physique

Des fermes d'ordinateurs
Plusieurs services chaque

- Page web
- Moteur de recherche
- Texte des articles
- Autorisations
- Nom du site
- Banque d'images
- ...



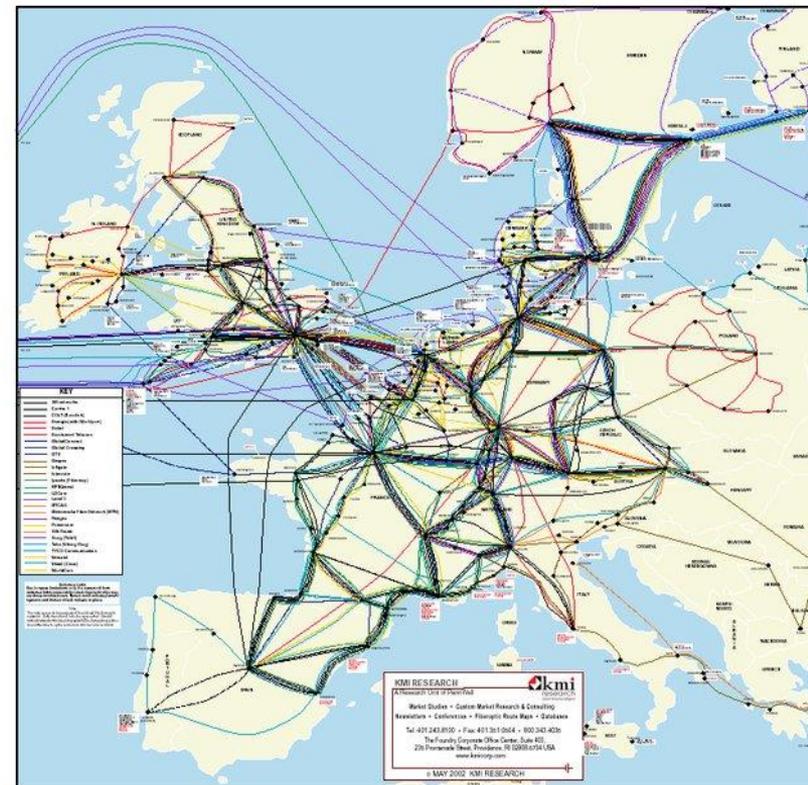
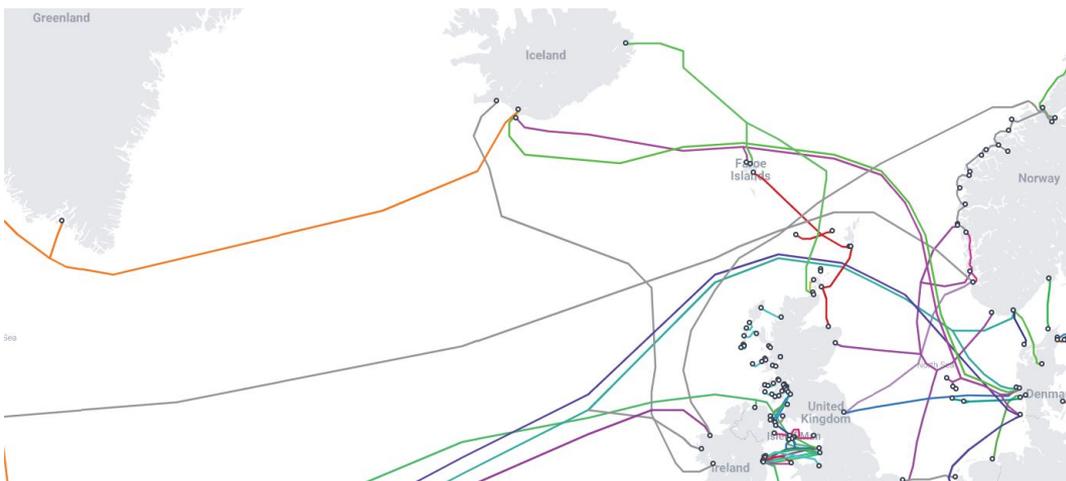


Internet : Coopération mondiale des DC

Infrastructure physique

Colonne vertébrale d'internet :

- Réseau international de fibre
- Enjeu géopolitique



Laura A. Schintler et al. 2005

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



Des logiciels complexes

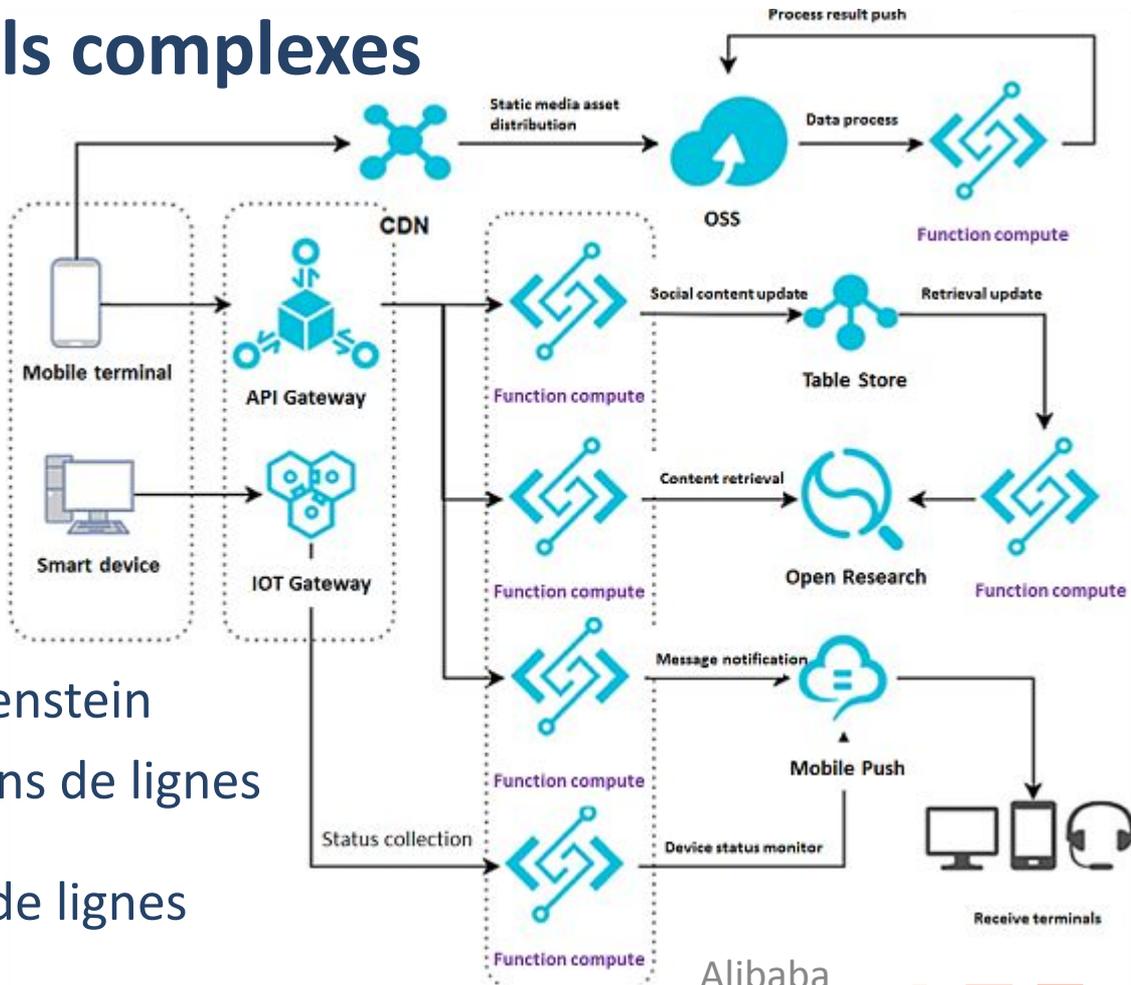
Infrastructure logique

Des logiciels découpés

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

Le monstre du Dr. Frankenstein

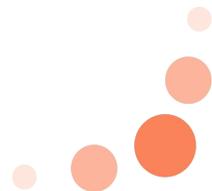
- Facebook : 50 millions de lignes de code
- TikTok : 15 millions de lignes





L'impact du numérique

Partie 2 : L'impact du numérique





Mini-quiz

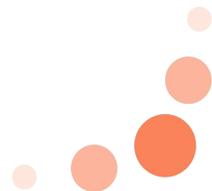
Mon empreinte est surtout liée

1. Aux data centers et à leur consommation électrique ?
2. Au réseau intermédiaire (fournisseur d'accès, fibre optique, colonne vertébrale) ?
3. Au matériel que je possède directement ?



Cette empreinte vient de

1. Mon usage effectif ?
2. La fabrication du matériel ?
3. D'autre(s) source(s) ?

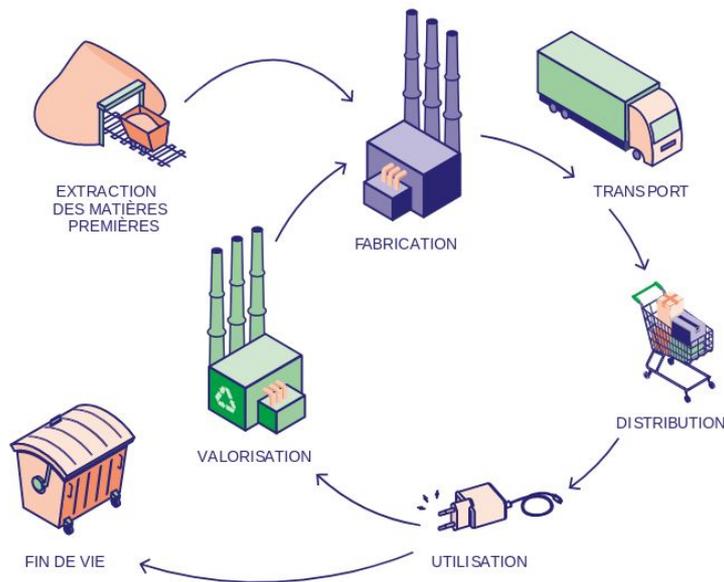




AVC : Analyse en Cycle de Vie

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



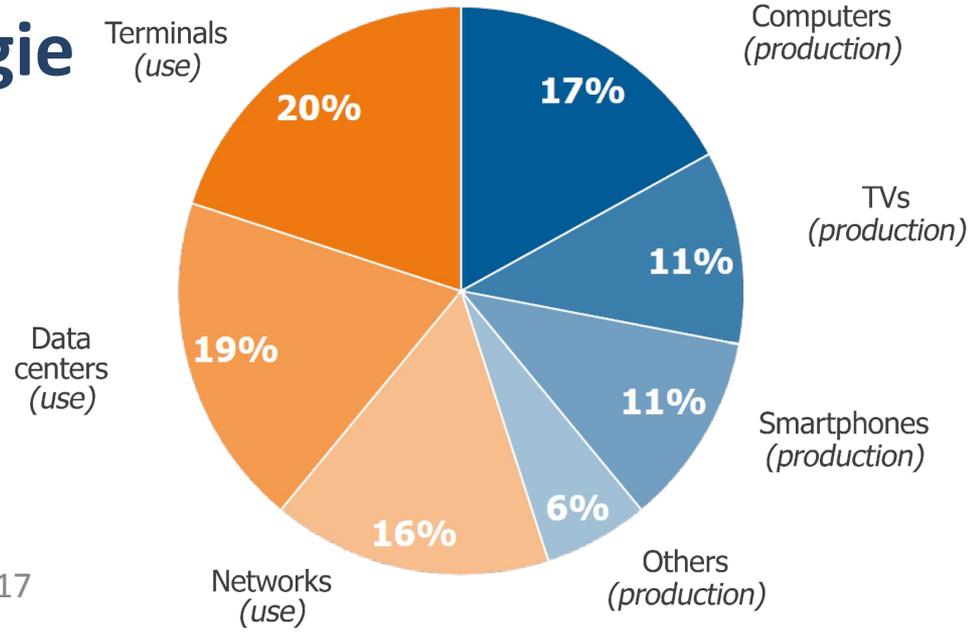


Zoom sur l'énergie

Étapes couteuses :

- 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 cm²
 - 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

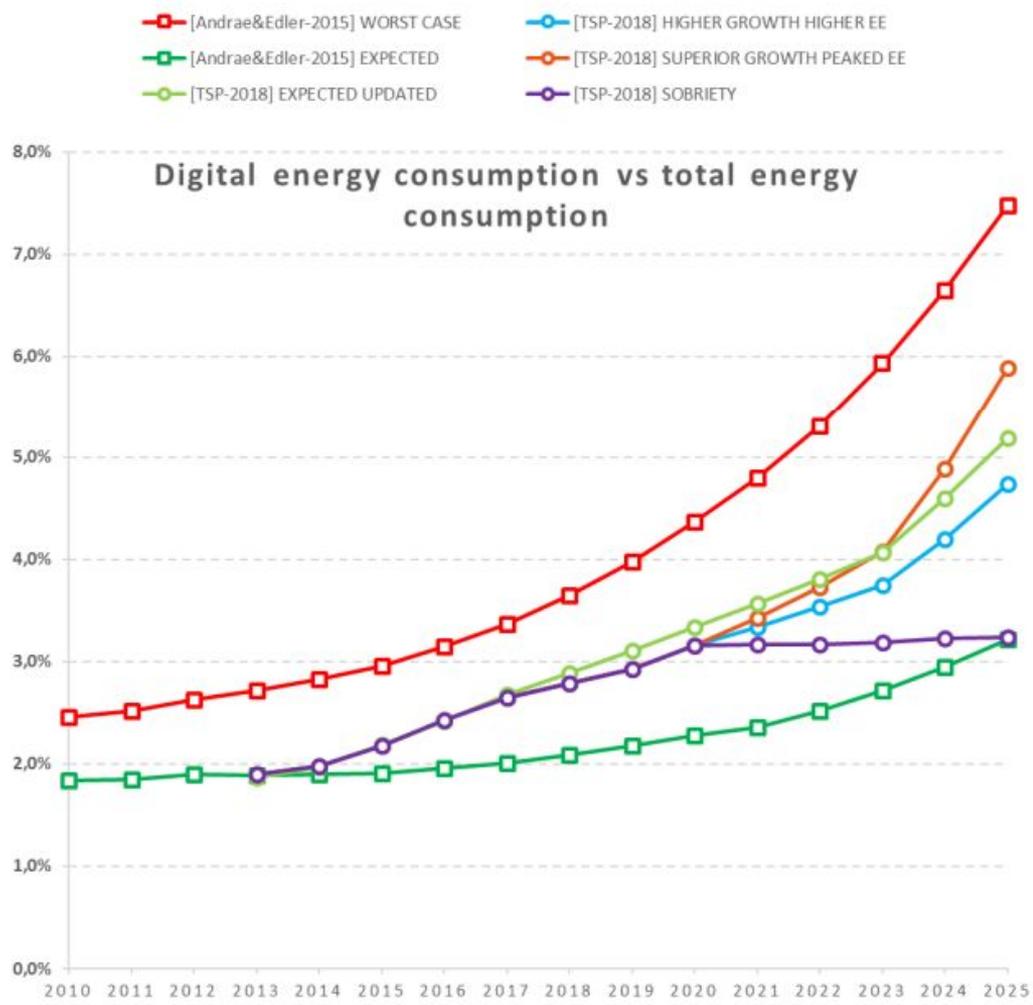
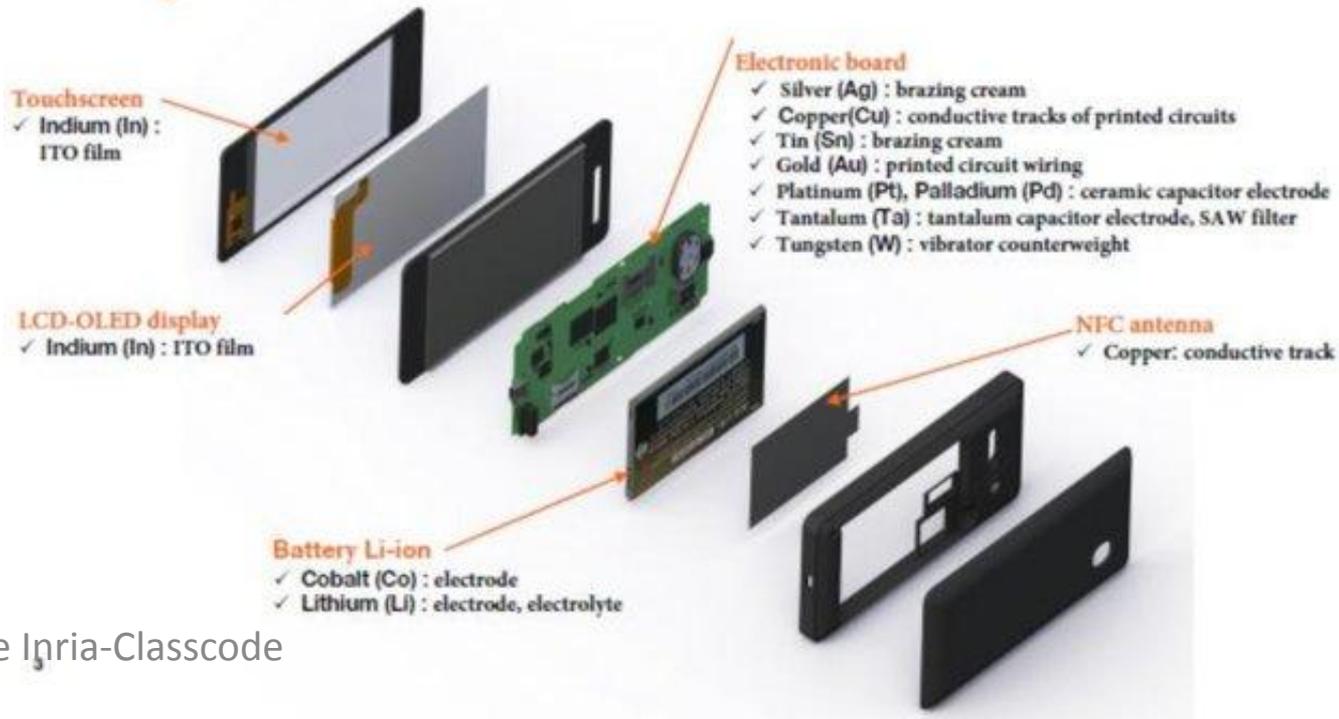


Figure 2: Evolution 2010-2025 of energy consumption of digital technology versus world energy consumption⁹. [Source: [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produced by The Shift Project from data published by (Andrae & Edler, 2015)]



Exemple : Le smartphone

Smartphone: architecture and rare metals



Smartphone Apple 12

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





Utilisation de matériaux rares

Tensions géopolitiques

Ressources limitées

Tensions dans l'utilisation

The main metals of ICTs.

Bihoux P. , 2015

The main metals of ICTs

Group → ↓ Périod	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo		44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi			
7			**															
	*Lanthanides (Rare earths)			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd		62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
	**Actinides				90 Th		92 U											

 Conductors, contactors, switches	 Welds	 Optoelectronics
 Batteries	 Capacitors	 Misc (others)
 Flame retardant	 Misc (precious)	 Multiple



Un recyclage difficile

Réserves rentables
épuisées dans 30 ans
(greenIT)

Challenges in Metal Recycling
2012

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	(117) (Uus)	118 Uuo

* Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

<1%
 1-10%
 >10-25%
 >25-50%
 >50%





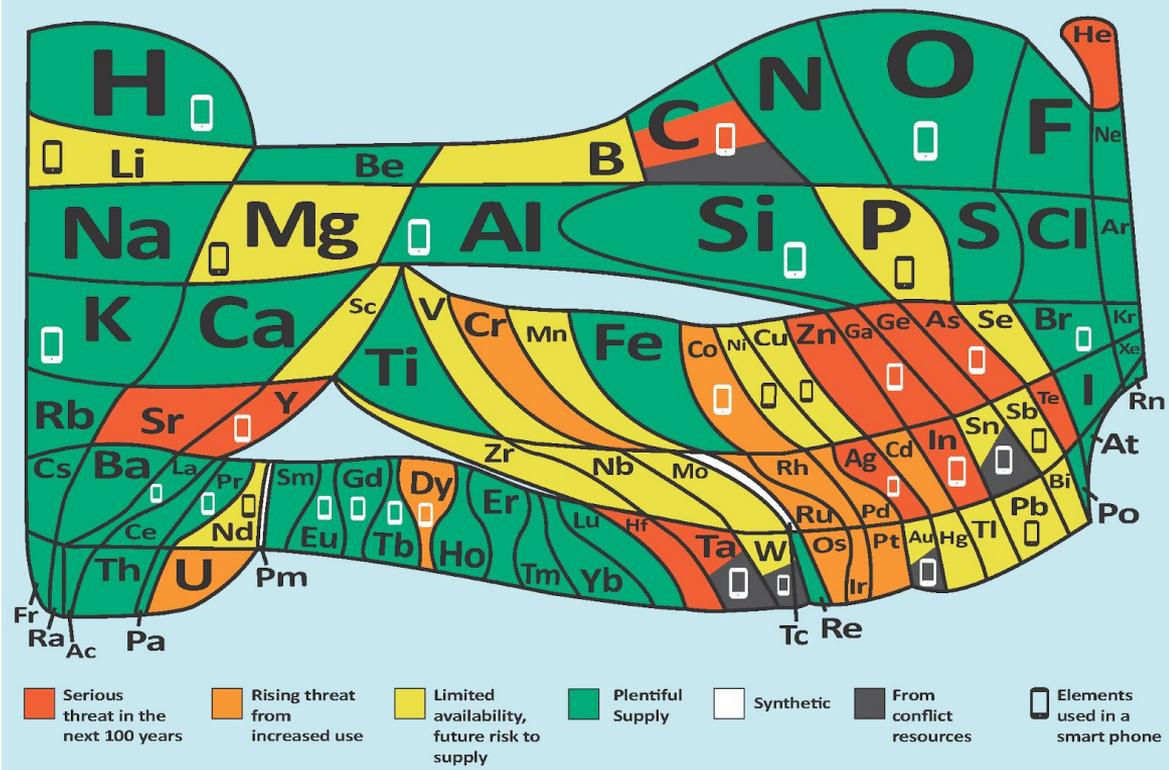
The 90 natural elements that make up everything

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

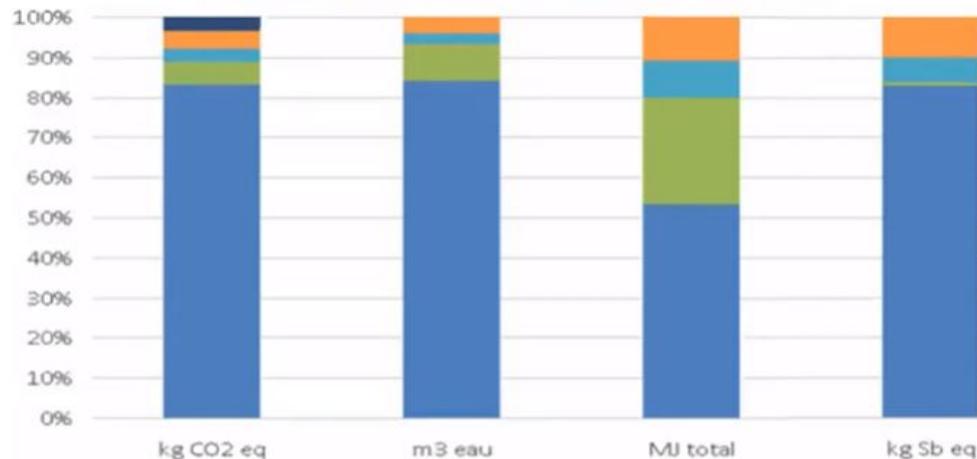
Les coûts sont avant

- Construction
- Même allumage

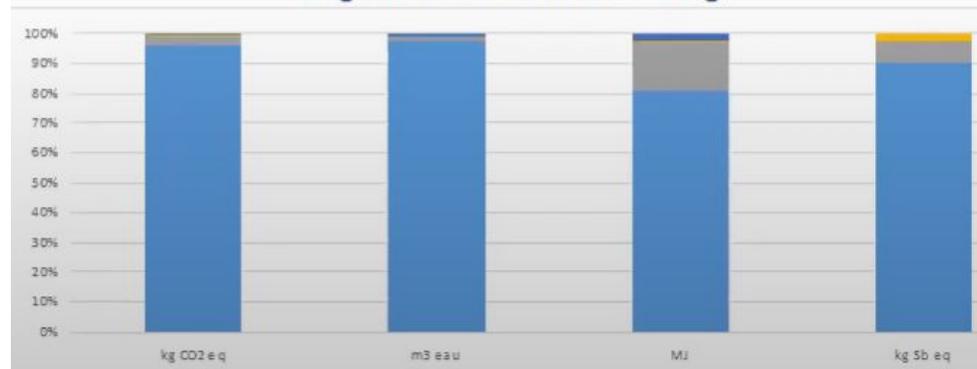
Mais important

- Réduire obsolescence
 - Du matériel personnel
 - D'Internet

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



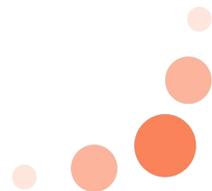
Regarder un film en streaming





L'impact du numérique

Partie 3 : Passer à l'action

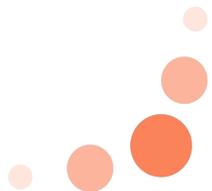




Le passage à l'action

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

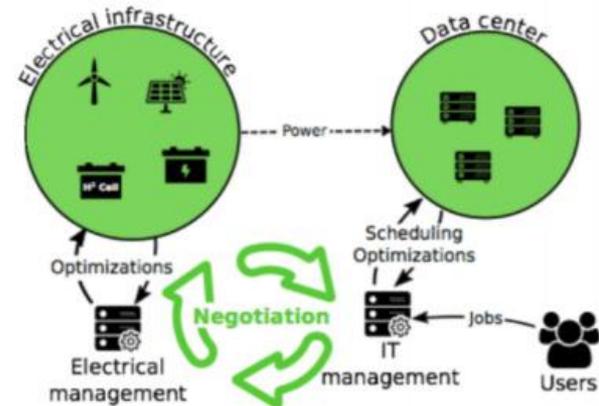




Le passage à l'échelle

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)

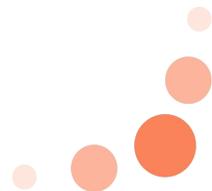




Quelques ouvertures

I.A.

?





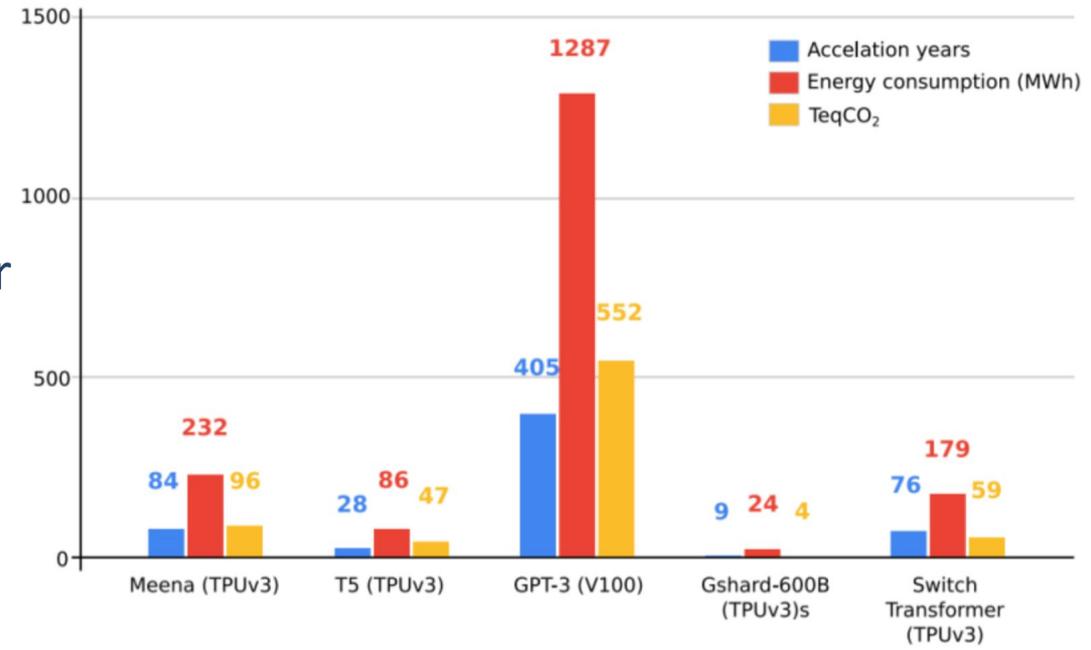
Intelligence artificielle

Deep Learning

GPT-3

- Création et synthèse de documents
- 1TeqCO₂ = 1 aller-retour Paris-New York
- 100k€ d'électricité

Mais utilisation "gratuite"

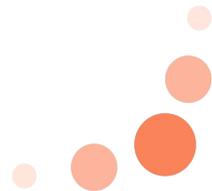




Quelques ouvertures

Internet Low Tech

?





Faire simple et fonctionnel

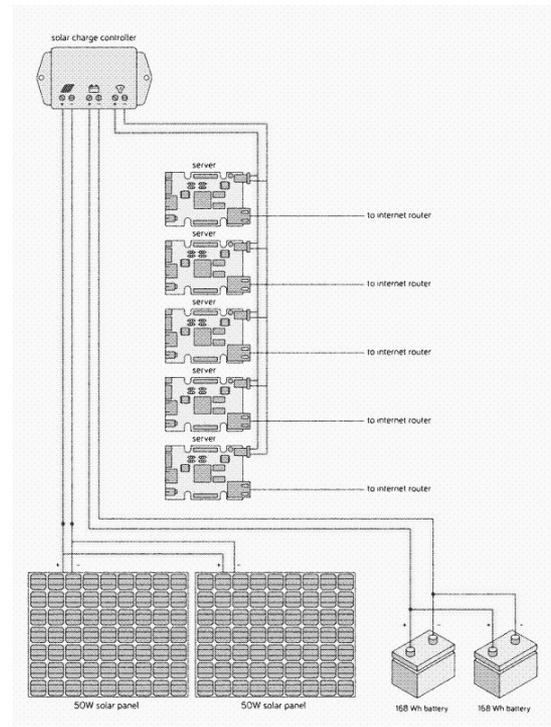
Low tech magazine

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

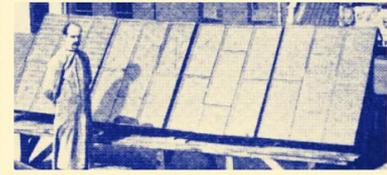
Lisez Low-tech Magazine sans avoir besoin d'un ordinateur, d'internet ou d'une alimentation électrique – ou quand le site internet solaire est hors service à cause d'une mauvaise météo.

March 2022



Les Matelas-Fascines : la Vannerie se Déchaîne

Toutils de la page 620-884 D



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 CO₂)

<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

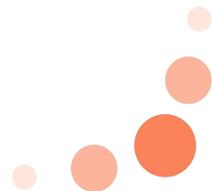
9:30 PM GMT+2	11:00 PM GMT+2
DEN 46-32	DET 22-56
LAL 31-46	IND 25-53



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 ?

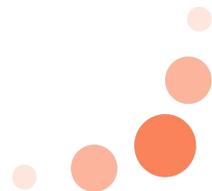




Quelques ouvertures

Bitcoin, blockchain, NFT

?

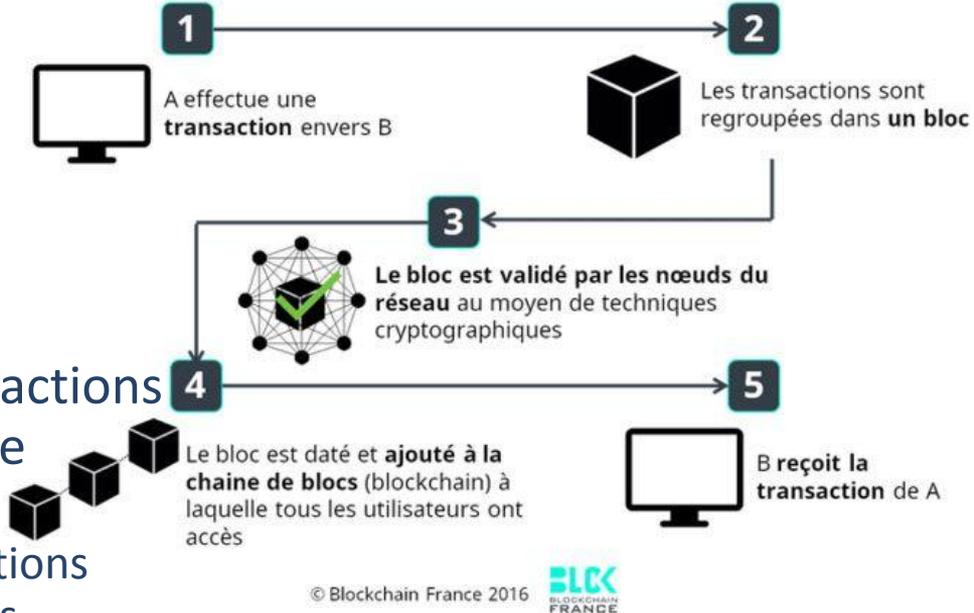




Bitcoin / NFT

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



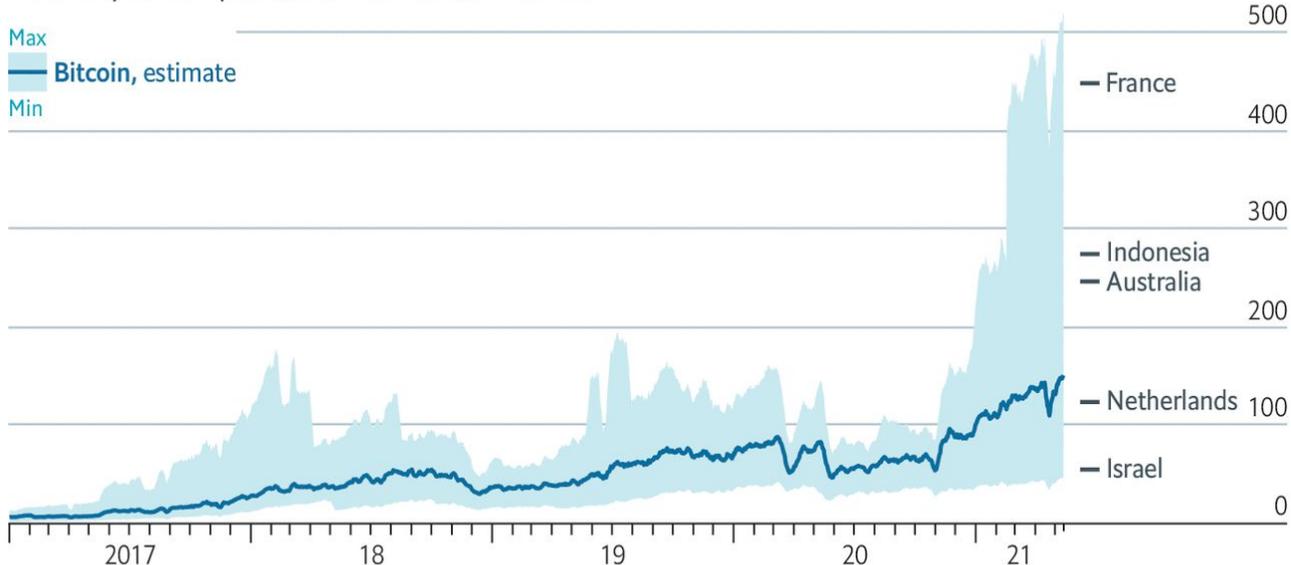


Bitcoin / NFT

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

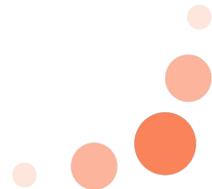
L'Âge de diamant : Neal Stephenson

- Contrôle hiérarchique (noble) des ressources

Star Trek

- Réplicateur et vision altruiste et colonialisme

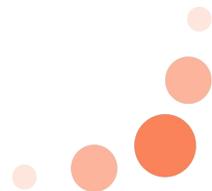
Dans le monde réel : Promesse de la fusion





Quelques ouvertures

Jeu video





L'essor du mobile

Une catégorie nouvelle, de nouveaux usages

Globale stabilité du marché

- PC, Console

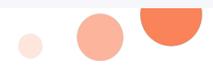
Forte augmentation du marché mobile

- 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

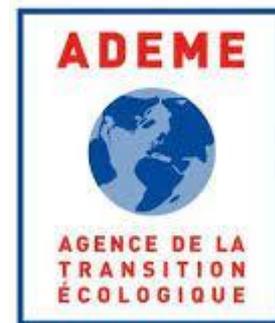
Négatif

- Doublement du calcul (résolution, latence)





Remerciements



green IT.fr
plus particulièrement
Frédéric Bordage



POUR UNE INFORMATIQUE ÉCO-RESPONSABLE
plus particulièrement Denis Trystram