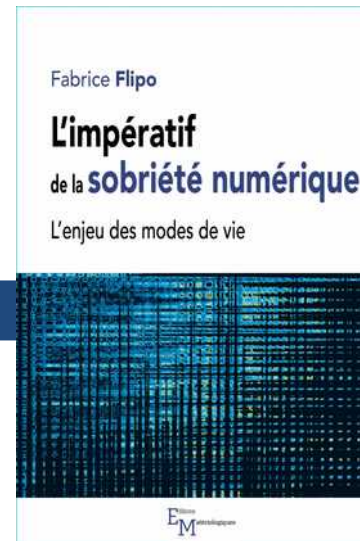
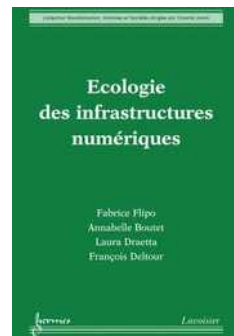




INSTITUT
Mines-Télécom

Écologie du numérique

Fabrice Flipo



5 parties

- Usages et équipements
- Écologie de l'infrastructure numérique
- Green IT : un IT plus vert
- IT for green
- Les acteurs

Que faire ?



INSTITUT
Mines-Télécom

1. Usages et équipements



Numérique ?

Une machine numérique :

- Est fondée sur une architecture de Von Neumann
- Utilise les changements électriques d'état pour mécaniser un calcul binaire, à base booléenne ; une suite de calcul est un algorithme
- Est cybernétique, c'est-à-dire utilise la rétroaction du résultat d'un calcul sur le calcul lui-même (« complexité » - feed-back)
- Est donc une machine qui consomme de la matière et de l'électricité.
- Ex ENIAC 1945 : 150 kW, 5000 opérations / seconde, et de nombreux « bugs » (insectes) qui grillaient à l'intérieur, provoquant des pannes.

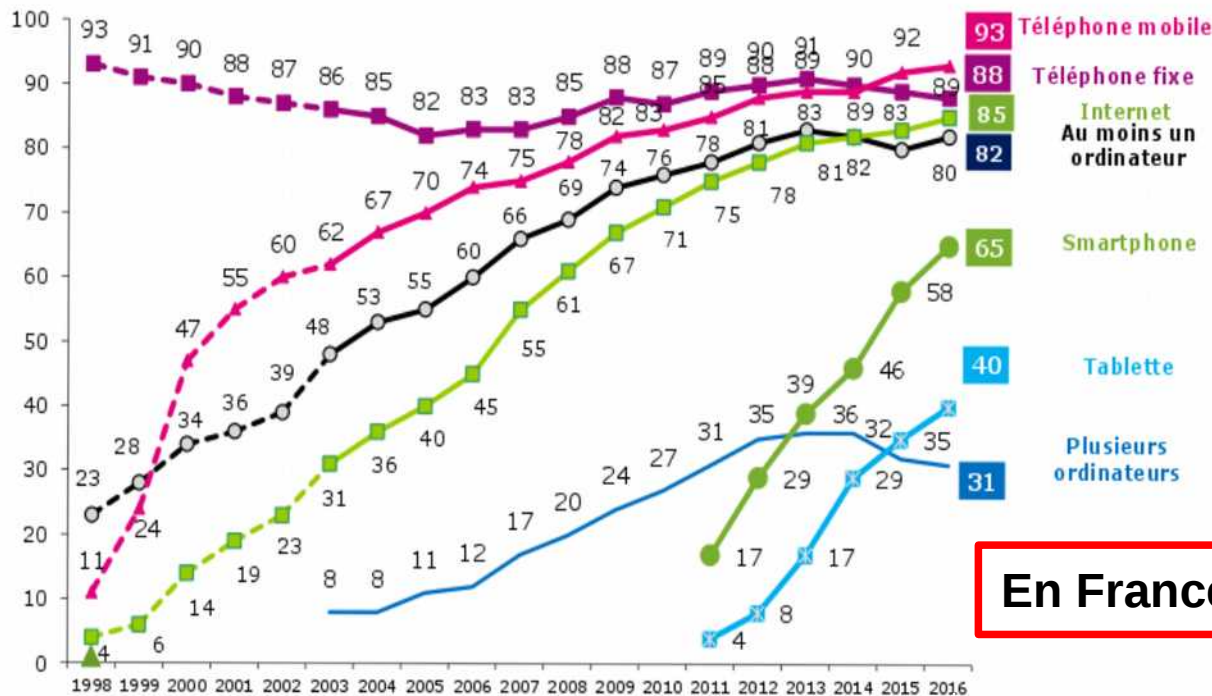


Équipement

- PCs en service (monde) : 5 millions (1980), surtout professionnels ; 2 milliard (2020), surtout grand public – il s'en vend 10 / seconde – mais ralentit
- Vente de téléphones : 2 milliards / an (80/seconde)
- 4,7 milliards d'internautes (+750% sur 2000/2015, 1% était connecté en 1998) – 100 millions de milliards d'emails / an (2020)

Source : <http://www.internetlivestats.com>

Graphique 1 - Taux d'équipement en téléphonie, ordinateur et internet à domicile
- Champ : population de 12 ans et plus, en % -



En France

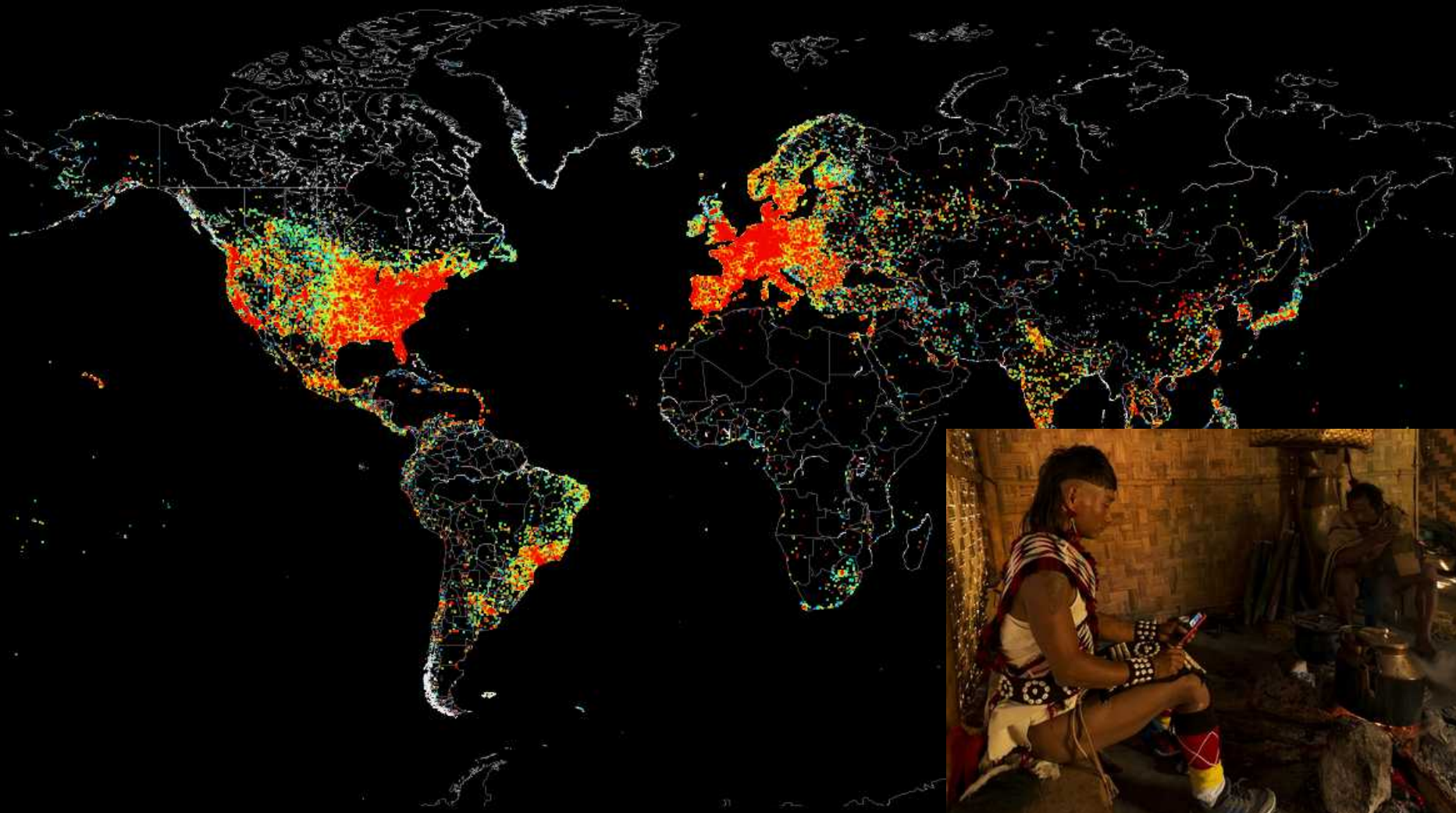
Source : CREDOC, enquêtes «Conditions de vie et Aspirations » (vague de juin de chaque année).



urable

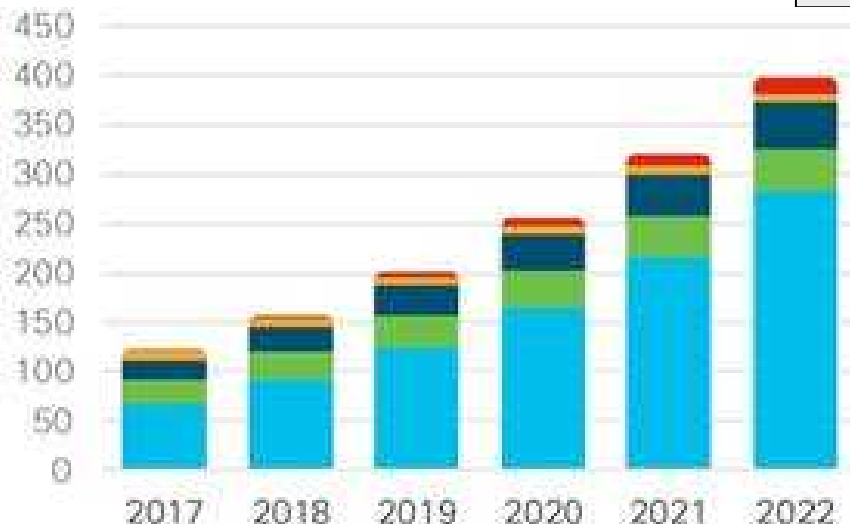
Global connectivity map

SHODAN

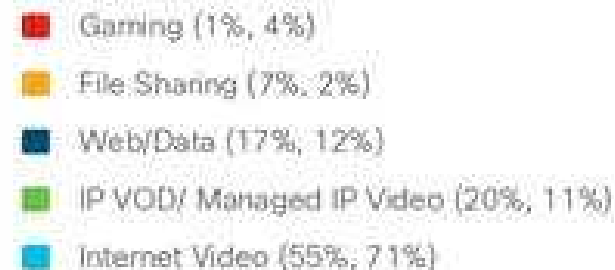


26% CAGR
2017-2022

Exabytes
per Month



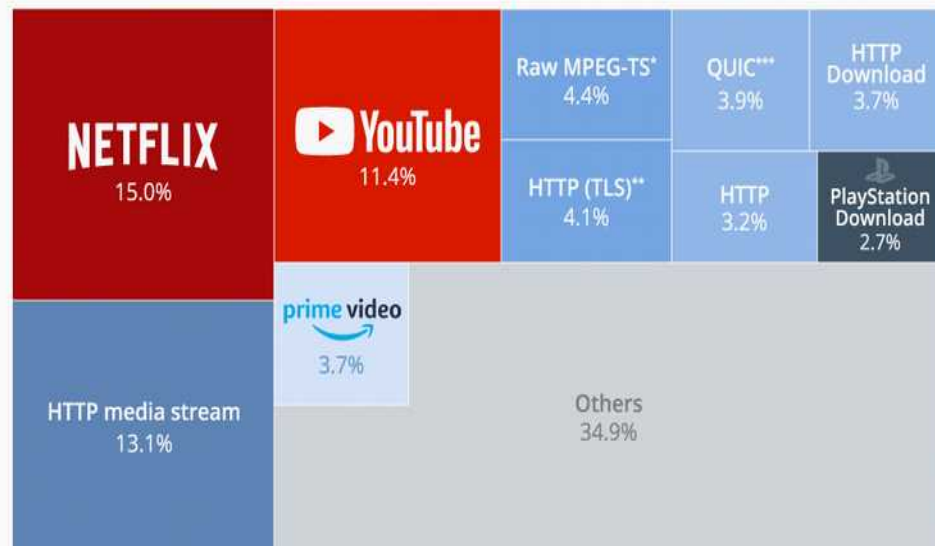
Équipement et usages



Vidéo : x5 en 5 ans

Netflix is Responsible for 15% of Global Internet Traffic

Distribution of worldwide downstream traffic, by web application



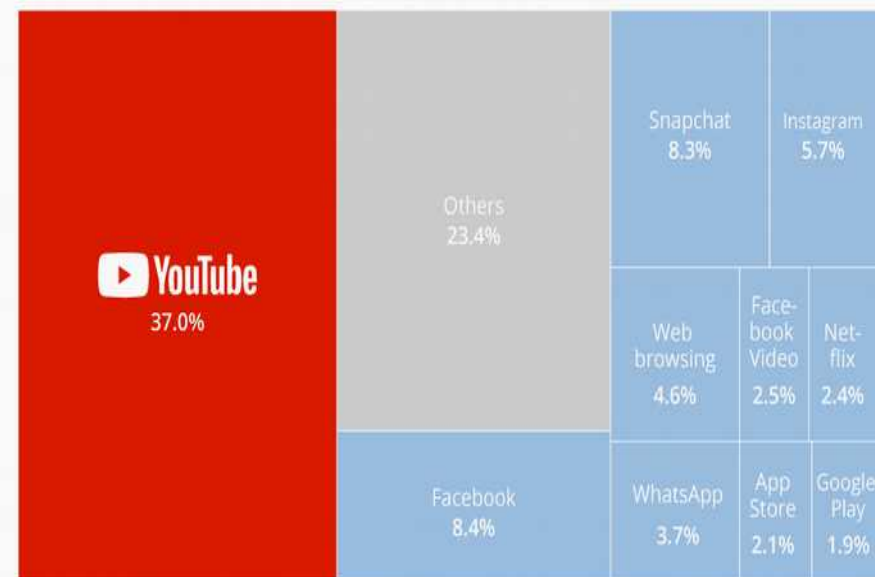
* Digital container format for the transmission and storage of audio, video, and data.

** Security protocol

*** Network protocol designed to speed up online web applications

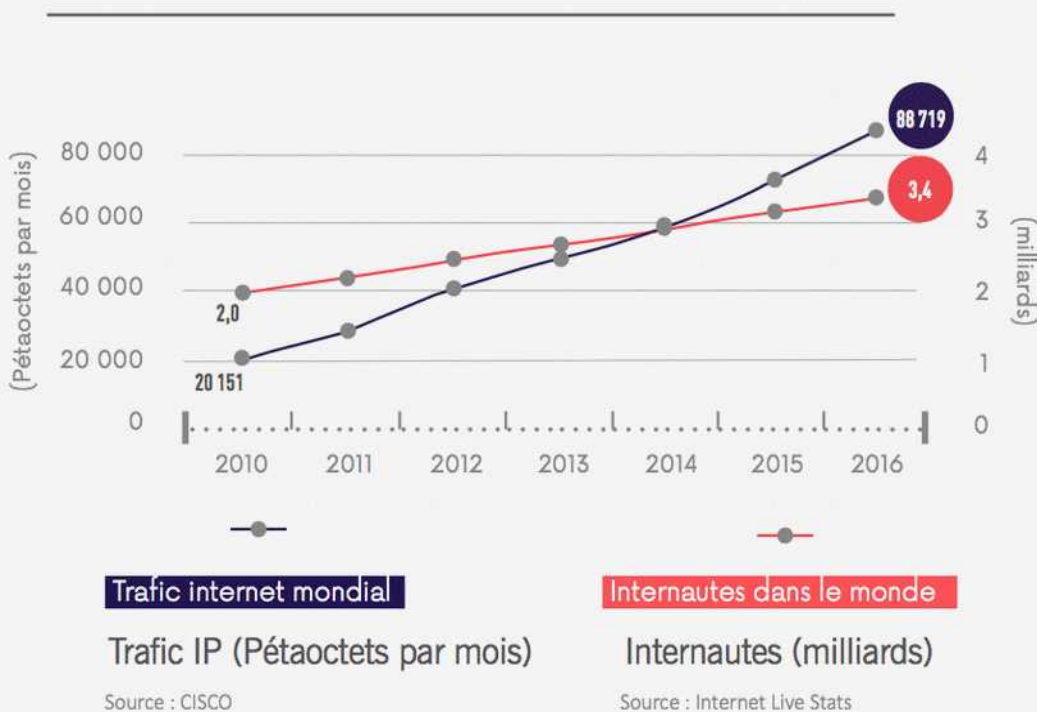
YouTube is Responsible for 37% of All Mobile Internet Traffic

Share of global downstream mobile traffic, by app



Trafic

Croissance du trafic et du nombre d'internautes dans le monde



The Byte Scale

1 Yottabyte
1,000 Zettabytes or
250 Trillion DVDs

20 Yottabytes

A holographic snapshot of the earth's surface

1 Zettabyte
1,000 Exabytes or
250 Billion DVDs

300 Zettabytes

The amount of visual information conveyed from the eyes to the brain of the entire human race in a single year*

1 Zettabyte

The amount of data that has traversed the Internet since its creation

1 Exabyte
1,000 Petabytes or
250 Million DVDs

400 Exabytes

The amount of data that crossed the Internet in 2012 alone

100 Exabytes

A video recording of all the meetings that took place last year across the world

5 Exabytes

A text transcript of all words ever spoken†

1 Petabyte
1,000 Terabytes or
250,000 DVDs

100 Petabytes

The amount of data produced in a single minute by the particle collider at CERN

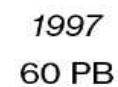
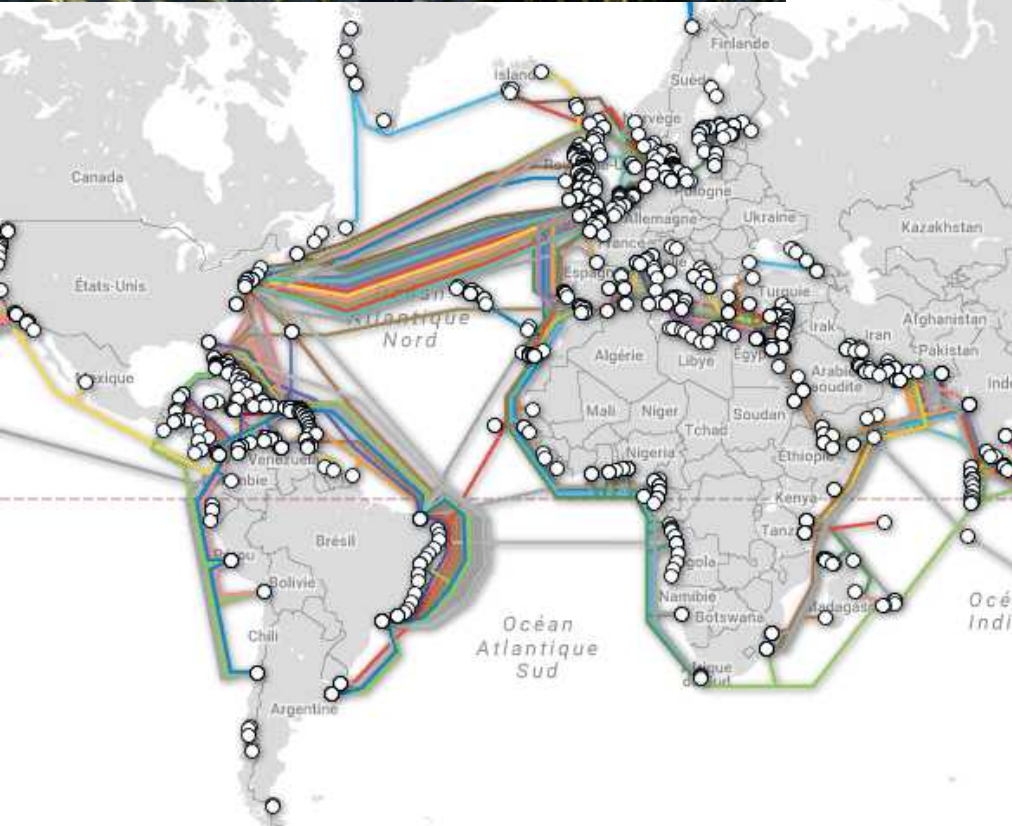
480 Terabytes

A digital library of all the world's catalogued books in all languages

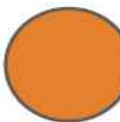
† Roy Williams, "Data Powers of Ten".

* Based on an estimate by the University of Pennsylvania School of Medicine that

Équipement et usages



x 900
(en 10 ans)



2007
54 EB

2017
1,2 ZB

2017
1,2 ZB

x 22,2
(en 10 ans)

Internet un nouveau média ?

Si c'était seulement un média (au sens des mass-média)
alors ça ferait cher le tuyau pour transmettre les contenus



Monde, 2009-2018, milliards d'euros²



Croissance annuelle

2009-18
(moyenne)

+27%

+28%

+4%

+11%

+6%

+11%

+9%

+12%

+3%

+3%

+4%

+2%

Exemples d'acteurs



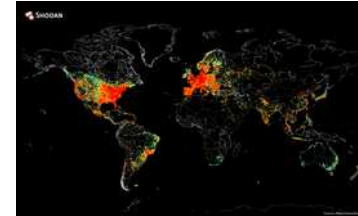
Internet, c'est la commande

- **Wiener 1949 : information et commande**
- **Internet 1961 Leonard Kleinrock : circulation de l'information sur un modèle logistique (« par paquets »)**
- **De nouveaux réseaux**
 - Nouvelles « plate-formes », qui contournent les anciennes (taxis/Uber, supermarchés/Amazon etc.) – mais favorisent la concentration
 - Nouveaux salons/couloirs/réseaux/ « communs » de socialité (whatsapp, tiktok etc.)
 - Logistique interne aux organisations : automatisation / robotisation accrue et transnationalisation de l'économie
- **Insertion du numérique dans toutes les architectures quotidiennes de choix**



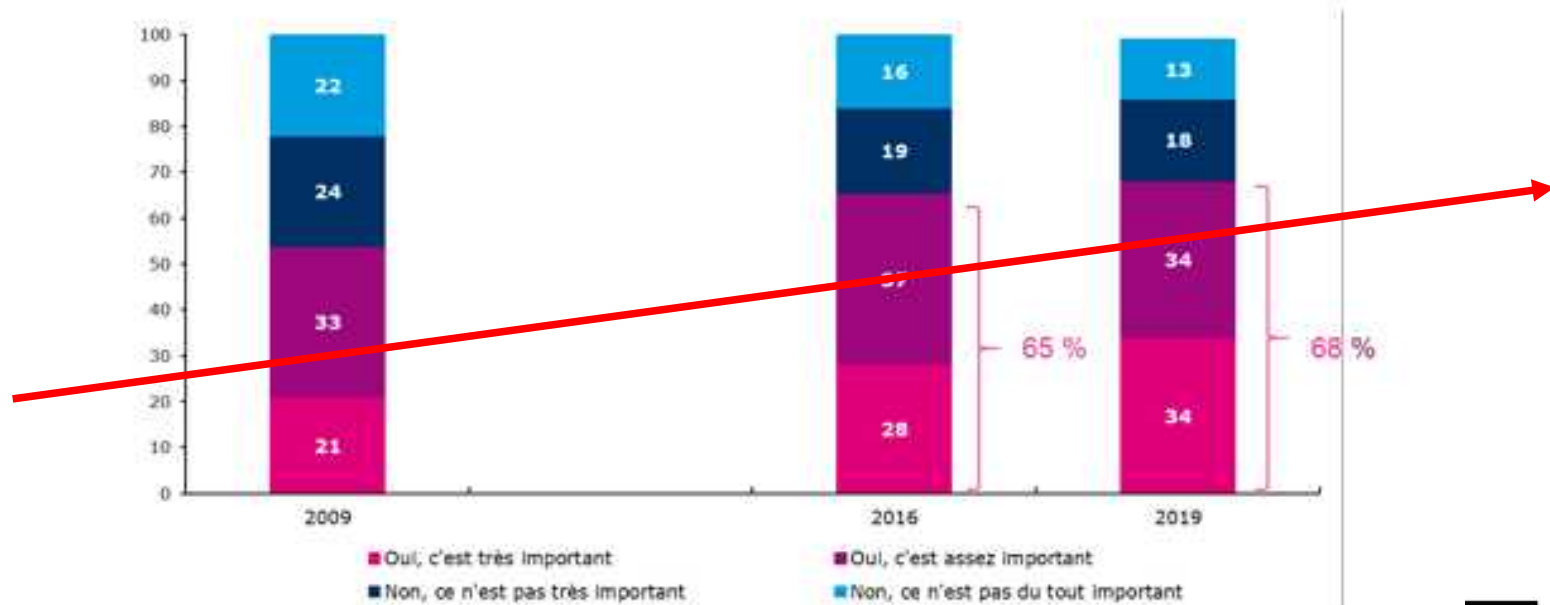
Internet devenu nécessaire

- « monopole radical » (Ivan Illich)
- La “fracture numérique”, France ou ailleurs
 - Équipement
 - Savoir-faire (« sisyphes numérique »)



Graphique 129 – Perception des individus sur l'importance d'avoir accès à internet pour se sentir intégré à la société

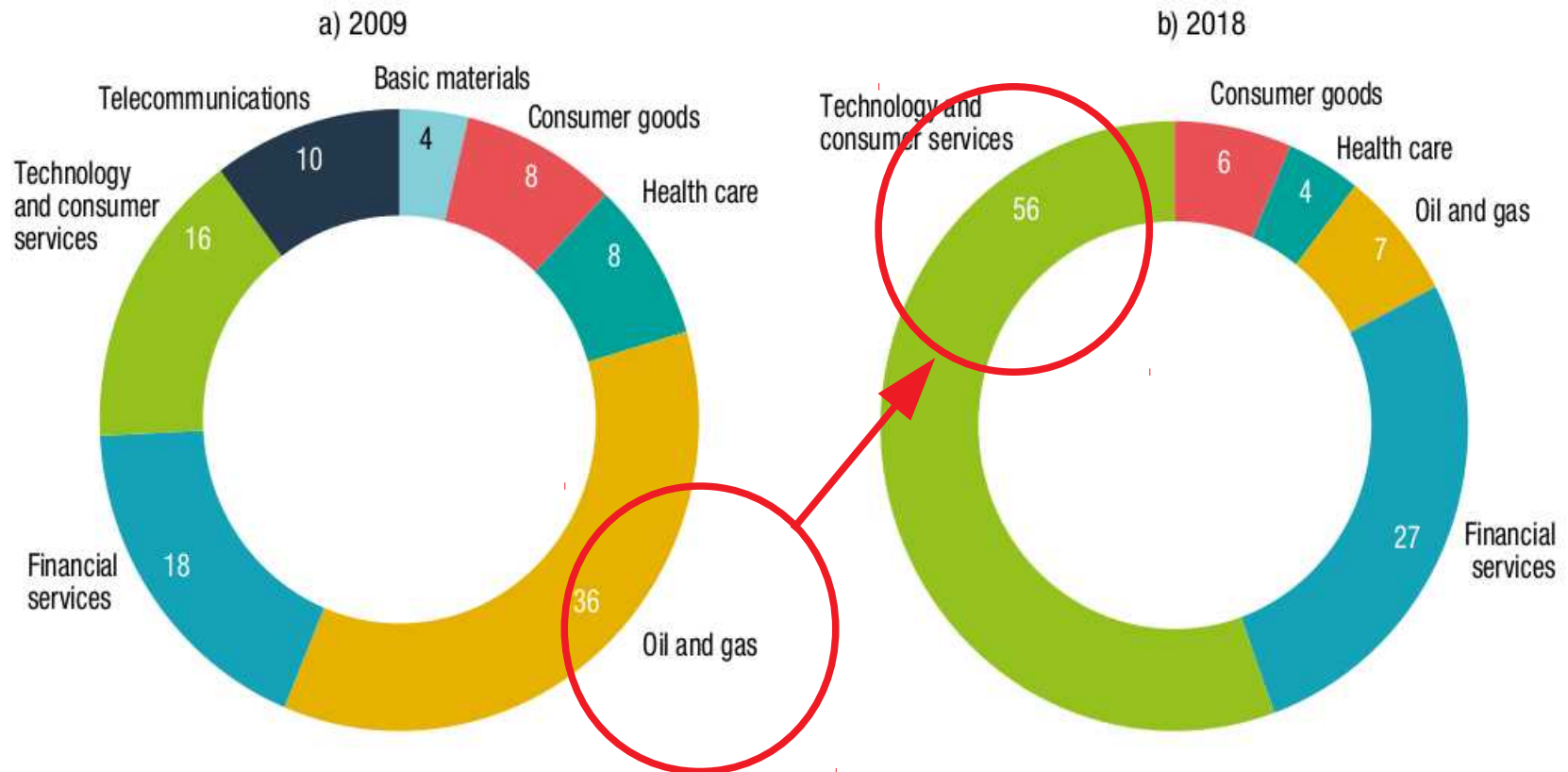
– Champ : ensemble de la population de 12 ans et plus, en % –



Source : CREDOC, Enquêtes sur les « Conditions de vie et les Aspirations »

« Digitalisation de l'économie »

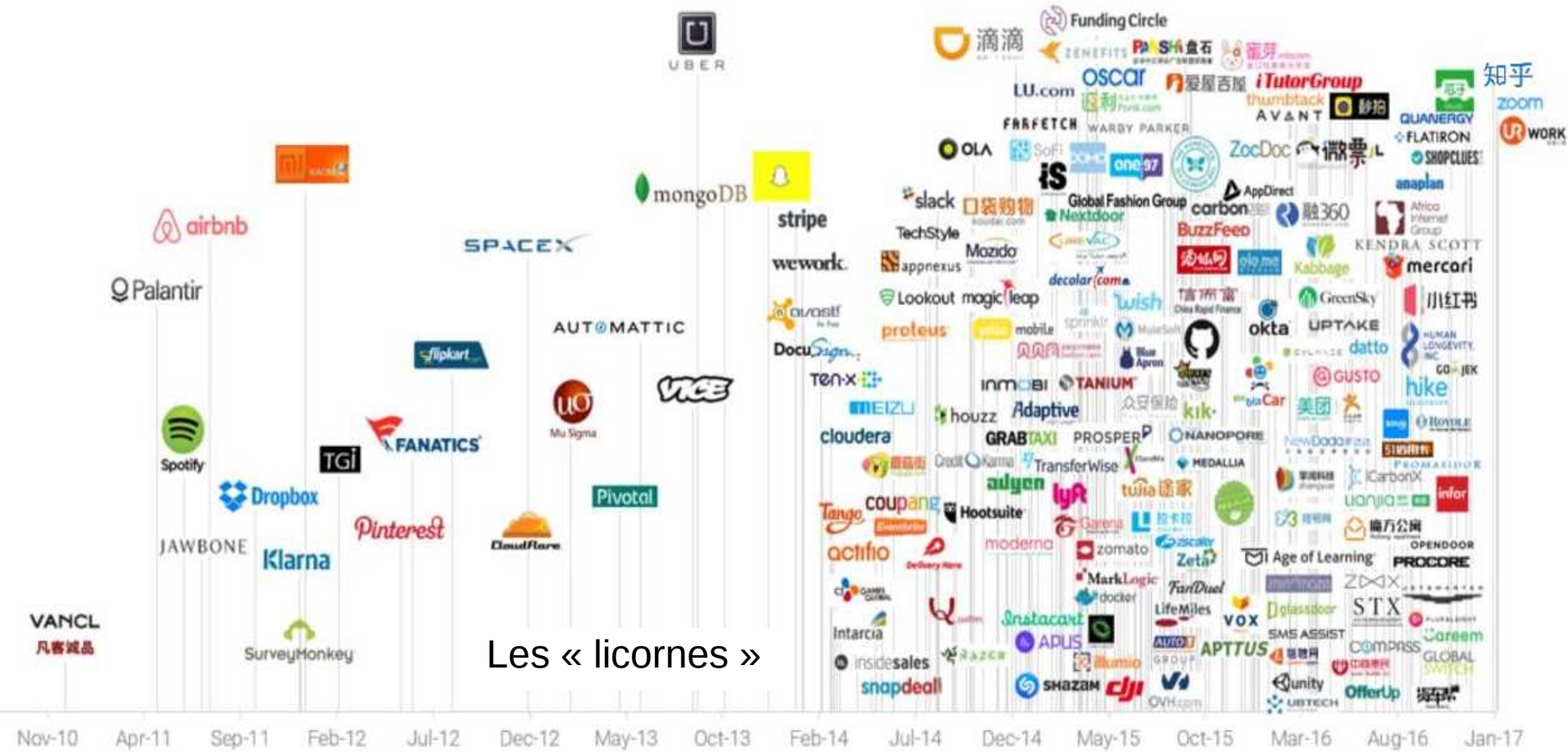
Figure I.16. World's top 20 companies by market capitalization, by sector, 2009 versus 2018
(Per cent)



Source: UNCTAD, based on PwC, 2018b.

Investissement massif dans le numérique

Des montants bien plus élevés que dans la réduction des GES ou de la pauvreté, l'agriculture bio, l'isolation des maisons etc.



Les possibilités étonnantes (ou terrifiantes) du numérique

- Une vidéo ordinaire = **0,2 Mo/s** (1 Go pour 1H30). 8K Samsung = **10 Mo/s**. « Vidéo volumétrique » (Intel) = **50 Go/s** – et Intel pense que c'est le futur d'Hollywood.
- Il n'y a **aucune limite** à l'usage du copier-coller, à des univers immersifs 3D/4D/5D etc. Car il n'y a **pas de congestion** (tant que les « tuyaux » grandissent au même rythme, d'où le « besoin » de la 5G)
- L'ambition de Microsoft et d'Apple est d'atteindre **7 milliards de joueurs en ligne**
- L'Union Internationale des Télécommunications parle d'un marché de **13 000 milliards** (3x « l'écosystème » numérique actuel) rien que pour l'IA
- Etc. etc.
- Pour Pascal Lamy (2011), la mondialisation repose sur Internet et le conteneur
- Outil puissant de productivité logistique. **La demande mondiale de matières premières doublerait ainsi d'ici 2060**



Anticipations GSMA

(Global System
Mobile
Communications),
consortium
d'industriels

2012	2017	2022
2 smartphones	4 smartphones	4 smartphones
2 laptops/computers	2 laptops	2 laptops
1 tablet	2 tablettes	2 tablettes
1 DSL/Cable/Fibre/Wifi Modem + 3G	2 boxes + 4G	3 boxes + 5G
1 printer/scanner	1 printer/scanner	1 printer/scanner
1 game console	1 game console	2 game console
	1 connected television	3 connected television
	2 eReaders	2 eReaders
	1 smart metre	1 smart metre
	2 connected stereo systems	3 connected stereo systems
		1 digital camera
	1 connected cars	2 connected cars
	1 pair of connected sport shoes	3 connected sport devices (e-watch)

Voiture autonome : entre 4 tera et 4 petaoctets... / jour (peut-être), soit au minimum équivalent à 6000 usagers d'internet.



INSTITUT
Mines-Télécom

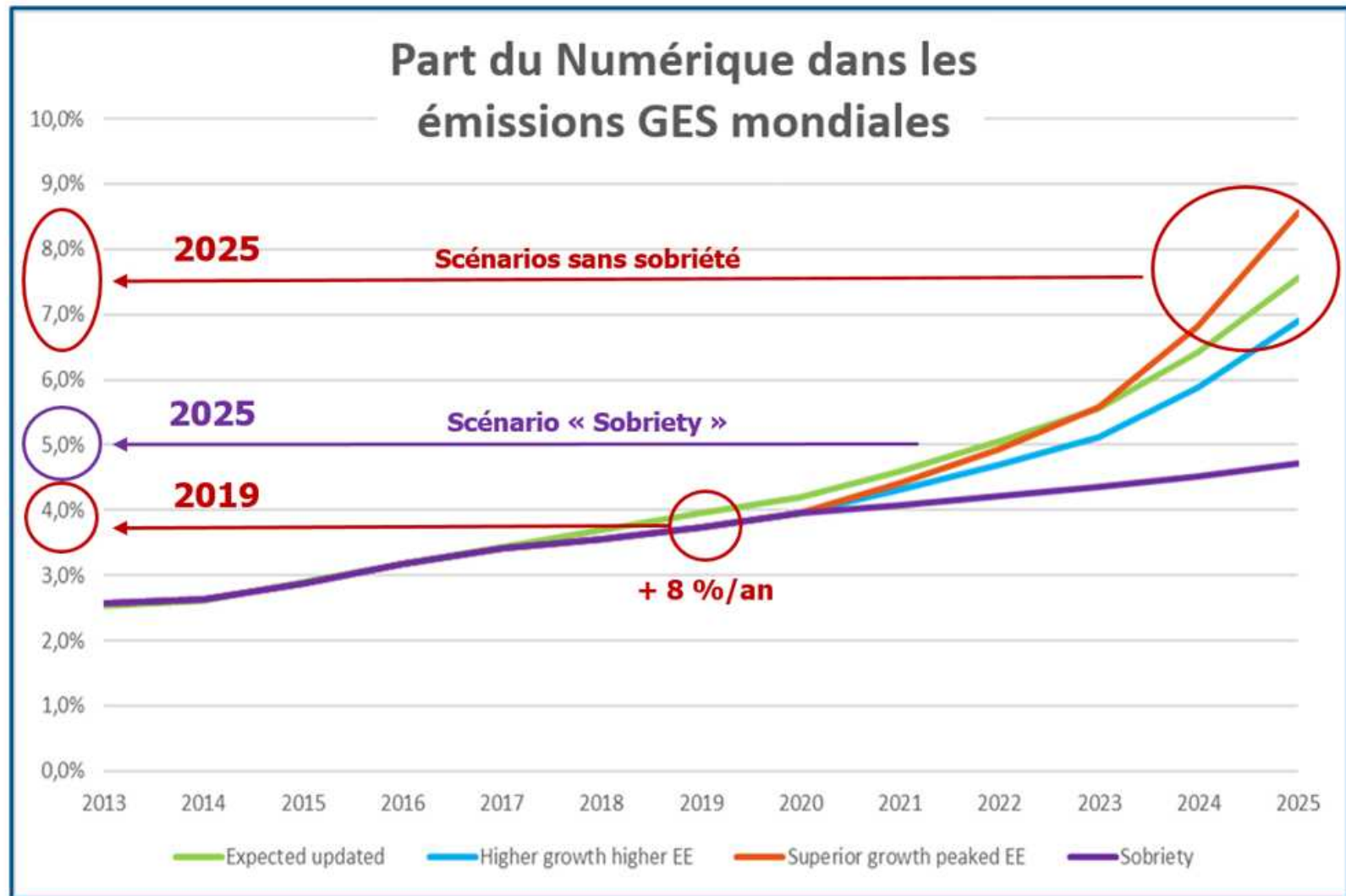
2. Écologie de l'infrastructure numérique

Énergie et matière



Quelques scénarios récents

Shift Project, 2020.



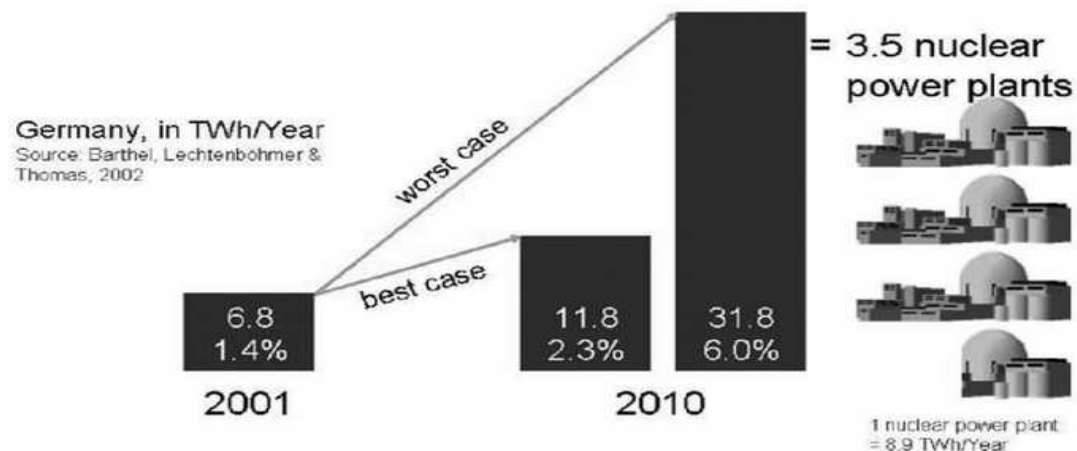
Consommation d'énergie

- **France** : 10% de la conso (6 centrales nucléaires) (2020) contre 14 % (2008) : baisse apparente. Cause : efficacité énergétique + fabrication hors de France.

MAIS

- **+ 635 kWh/ménage/an (1990-2005)** : l'arrivée des TIC a totalement annulé les gains énergétiques obtenus sur les réfrigérateurs, lave-linge, lave-vaisselle et éclairage
- Pire que le scénario le plus noir du Wuppertal Institute en 2001
- Et la baisse/stabilisation est temporaire

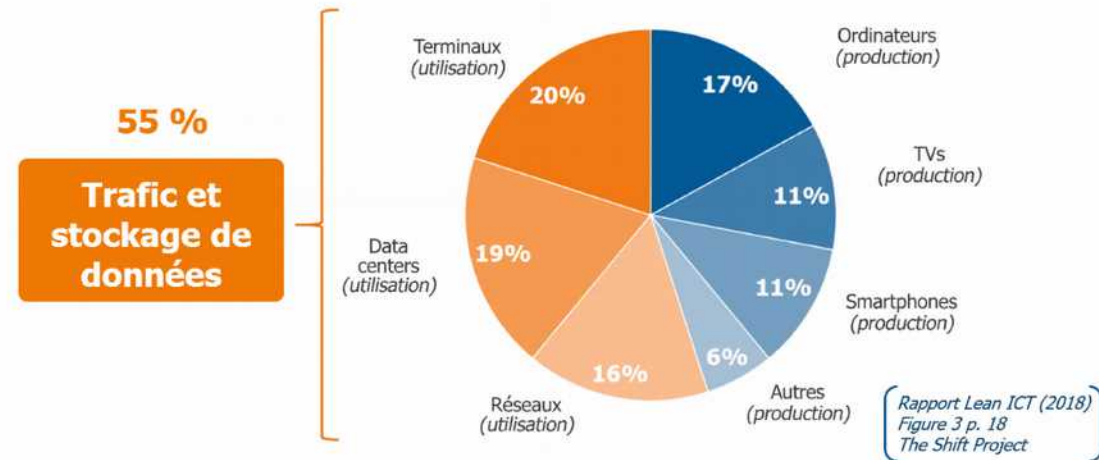
Electricity use by the internet



Source: Wuppertal Institute

Les usages numériques, un nuage matériel

Consommation énergétique mondiale du numérique



Des consommations variables suivant les appareils

- Smartphone : 55 kWh/an, 90 % à la fabrication
- Télévision : 333 kWh/an, 15 % à la fabrication
- Ordinateur : 280 kWh/an + écran (140), 30 % à la fabrication
- Tablettes : 110
- Box : 275
- Consoles de jeu : très variable + possiblement gros appel de consommation sur les serveurs. (streaming multiécran etc.).

Efficacité énergétique ? Oui, mais compensés par des « besoins » croissants.

108

H. Kaeslin

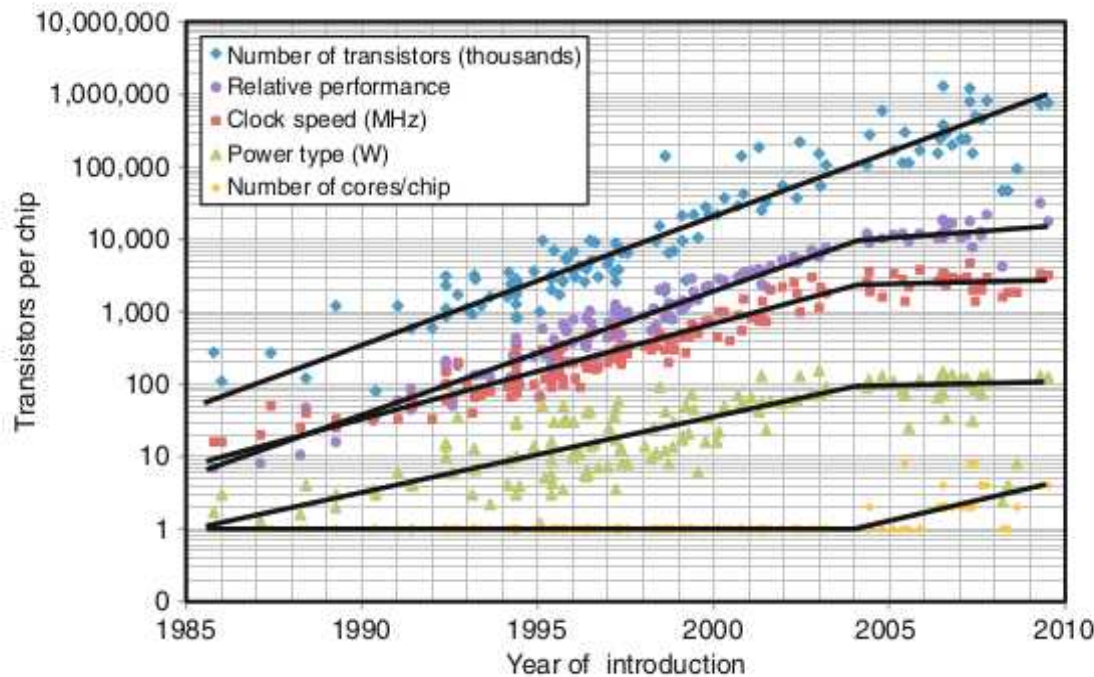
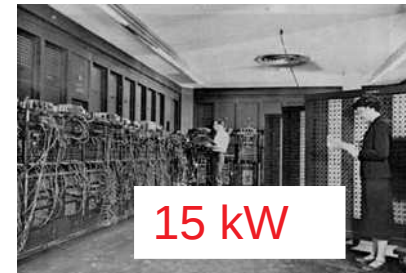
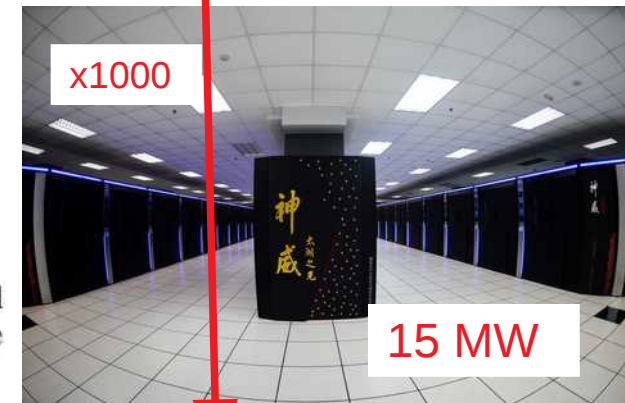


Fig. 2 Transistors, frequency, power, performance, and processor cores over time. The original Moore's law projection of increasing transistors per chip remains unabated even as performance has stalled. Source [2]

Source : Hilty & Aebischer, *ICT – innovations for sustainability*, Springer, 2015.



15 kW



x1000

15 MW

Le poids des TIC dans la demande mondiale

Métal	Production minière mondiale 2013 (*)	Consommation totale du secteur électronique % de la demande (**)	Commentaires
Cuivre	18,7 millions t	~ 6 %	3% équipements, 3% infrastructure télécom
Etain	296.000 t	- 35%	
Antimoine	160.000 t	< 20 %	Total retardateur de flammes ~ 35%
Argent	26.000 t	~ 20 %	
Or	2.860 t	~ 10 %	
Platine	160 t	~ 2 %	
Palladium	190 t	~ 12 %	
Ruthénium	~ 30 t	- 55 %	
Tantale	~ 1400 t	- 60 %	
Indium	~ 800 t	- 80 %	
Gallium	~ 440 t	- 90 %	
Germanium	~160 t	30 – 50%	
Bismuth	8.500 t	~ 15 %	
Sélénium	~ 2.300 t (hors USA)	~ 10%	Inclus photovoltaïque
Tellure	~ 450 t (?)	< 10 %	Principalement photovoltaïque
Lithium	36.000 t	~ 20 %	
Cobalt	112.000 t	- 35 %	

Source : (*) USGS 2015, (**) Demande totale = Production minière + Recyclage + Déstockage

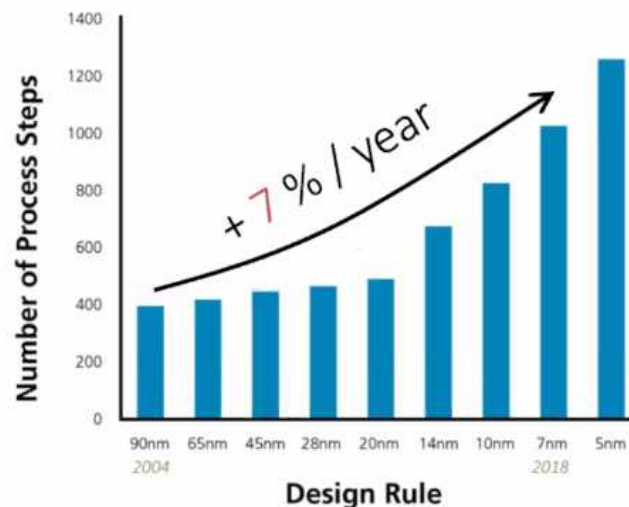


	I	II
1	H	
2	Li	Be
3	Na	Mg
4	K	Ca
5	Rb	Sr
6	Cs	Ba
7	Fr	Ra

1980's
1990's
2000's

III	IV	V	VI	VII	O
					He
B	C	N	O	F	Ne
Al	Si	P	S	Cl	Ar
Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru
La	Hf	Ta	W	Re	Os
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am
Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md
No	Lr				

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		



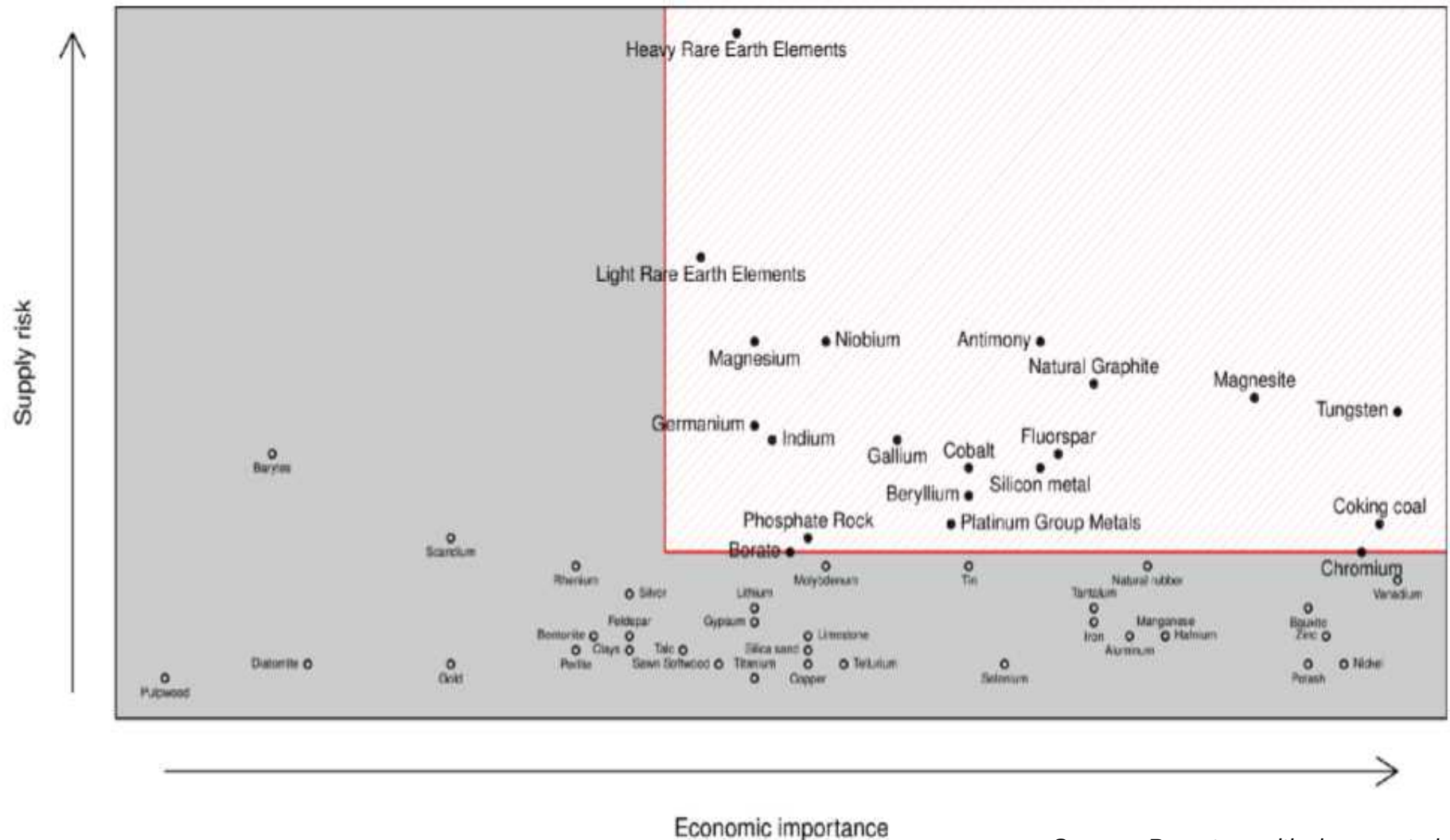
Chip unit **fab energy**: + 7% / year (techno scaling)
+ Chip unit **sale**: + 9% / year (consumption, obsolescence)

Global chip fabrication
energy footprint: + 16% / year

Tantalum mining



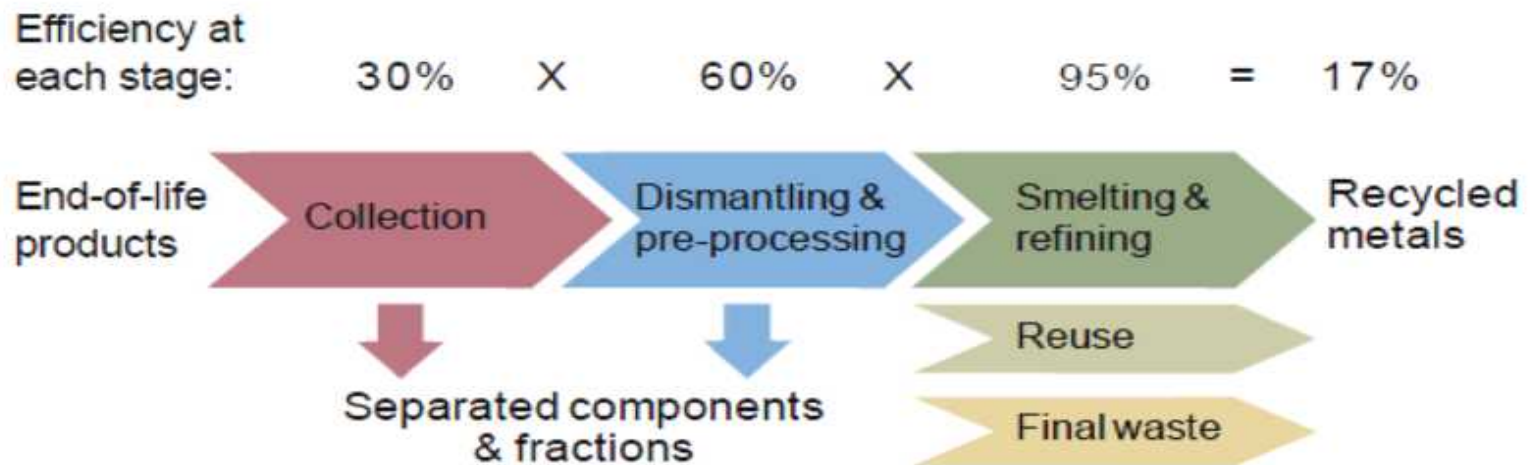
Des réserves limitées



Source : Report on critical raw materials, European Commission, 2014

Un recyclage limité

It's not easy being green: current reality of mobile phone recycling



- Current consumer ICT metal 'ecology' extremely dispersive – the open loop is very open!

France. Taux de recyclage 80 %. Mais taux de collecte 56 %... et réemploi 0 à 4 %

Source: ADEME, 2019

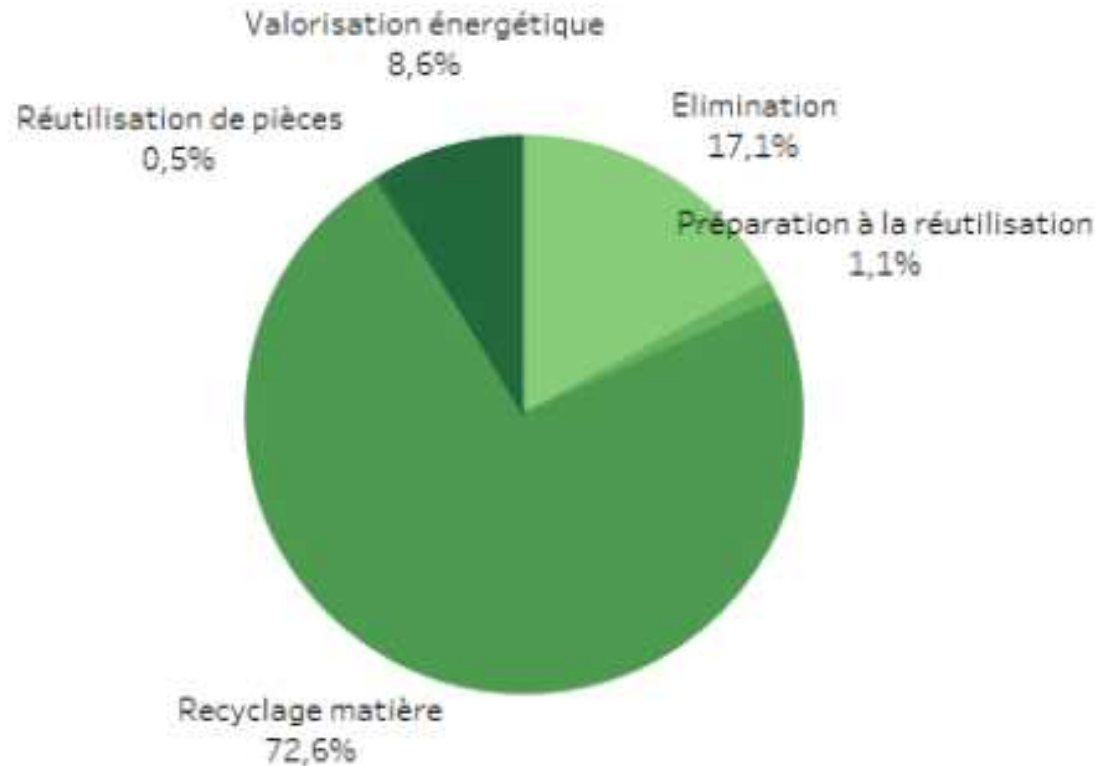


Figure 42 : Répartition des tonnages traités en 2018 par mode de traitement

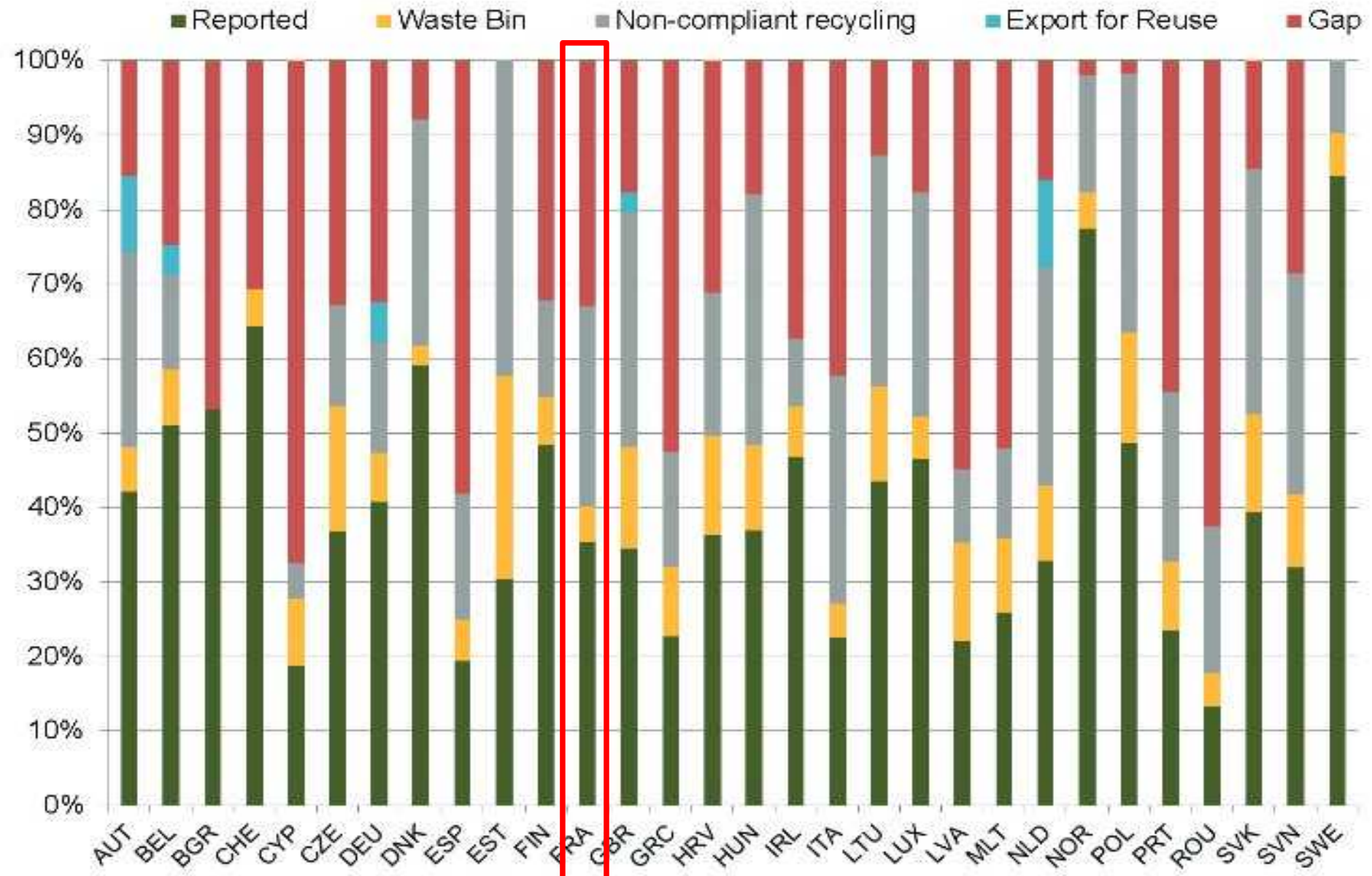
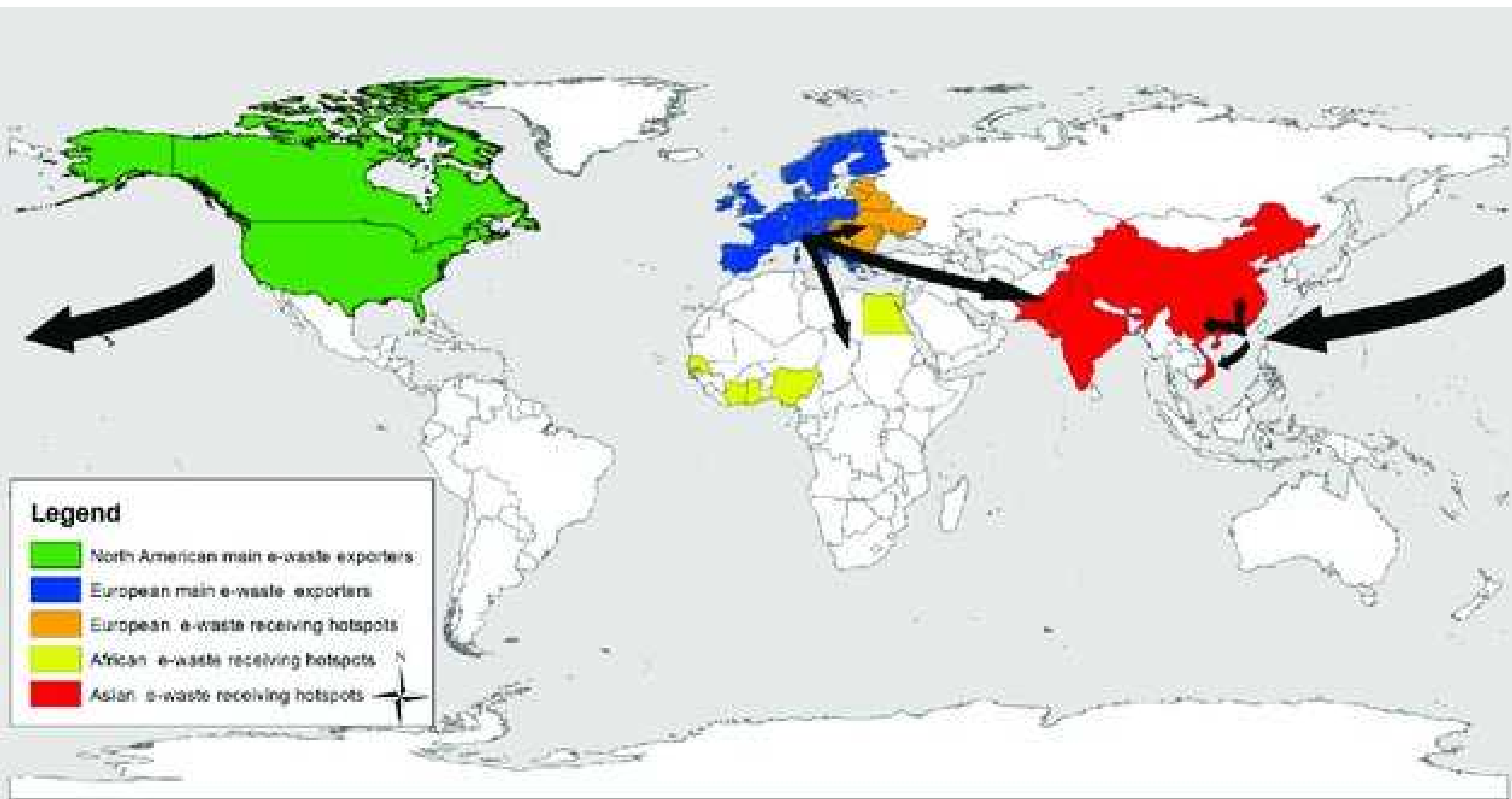


Figure 3. 2012 EU WEEE amounts documented per Member State

Des PC ici, des déchets là-bas



Purchase & al. (2020). Global occurrence, chemical properties, and ecological impacts of e-wastes (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry. -1. 10.1515/pac-2019-0502.



INSTITUT
Mines-Télécom

3. Green IT : un IT plus vert



Efficacité énergétique, économie circulaire et énergies renouvelables

■ L'efficacité énergétique résulte souvent de facteurs non écologiques :

- Efforts de réduction des factures (c'est un poste important pour les opérateurs télécom)
- Réduction « mécanique » des consommations avec la miniaturisation des transistors
- Réduction de la consommation qui permet d'augmenter l'autonomie des appareils portables
- Réduction de la consommation pour des raisons de difficultés à gérer la chaleur
- Etc.



Source: Clicking Clean: Who is Winning the Race to Build a Green Internet (2016)

■ Ces facteurs n'ont pas pour but de réduire l'empreinte du numérique, mais de digitaliser l'économie et les modes de vie.

■ Le recyclage qui concerne surtout le plastique



Pas d'orientation vers le modulaire/réemploi



CONSTRUCTEUR

Greenpeace félicite Fairphone



Frédéric Bordage
le 25 octobre 2017

Tags : [Greenpeace](#), [guide](#)
pour une high-tech

Après un [rapport sur l'obsolescence programmée des smartphones](#) cet è
[Guide pour une high-tech responsable](#).

Dans cette [édition 2017](#)
prêt avec un B-. A l'opp
officiellement son entré

Parmi les principaux po

- Un manque criai
incomplète de leu

Le smartphone modulaire, conçu pour durer

En privilégiant la modularité, nous
avons créé le premier smartphone
éthique au monde. Parce que vous ne
devriez pas avoir à choisir entre un
téléphone d'exception et des
conditions de fabrications éthiques.



Efficacité et sobriété

Sobriété = un usage « suffisant »

Efficacité = permettre cet usage par des moyens économes

Mais ce qui est sobre à un niveau peut n'être qu'efficace à un autre.

- Sobriété sur un centre de données => économies \$ => nouveaux investissements => nouvelles consommations...
- Le « double dividende » (gain économique et écologique) est une illusion extrêmement courante – ex GeSI ou General Electric

FEUILLE DE ROUTE SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE NUMÉRIQUE

50 mesures pour un agenda national et européen sur un numérique responsable c'est-à-dire sobre et au service de la transition écologique et solidaire et des objectifs de développement durable

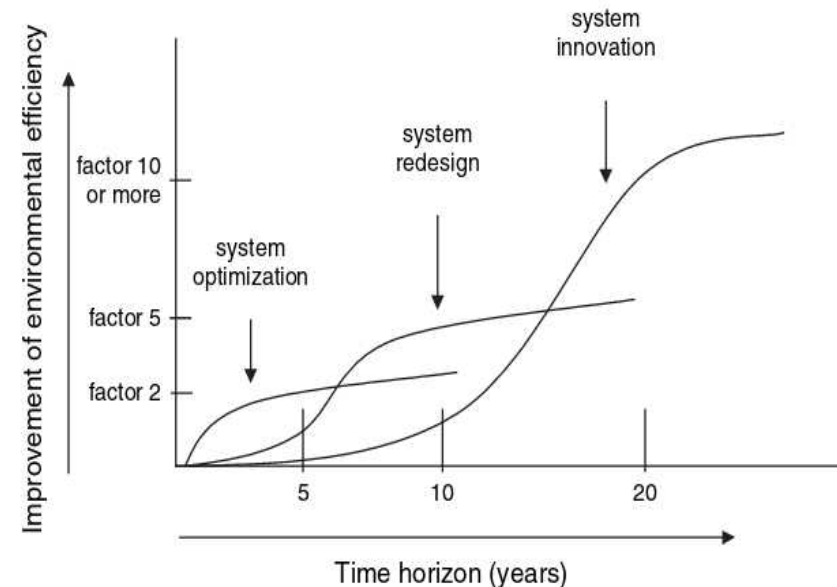


Fig. 1. System optimization, re-design and innovation [11,12].

Tukker, Arnold et Butter, Maurits, « Governance of sustainable transitions: about the 4(0) ways to change the world », *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 1, janvier 2007, p. 95.

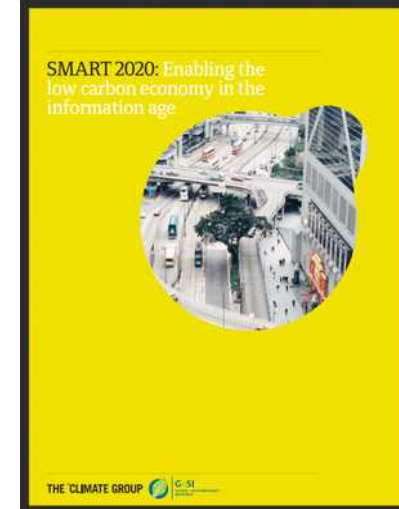
GE Power
GE Renewable Energy

The Digital Energy Transformation

September, 2018



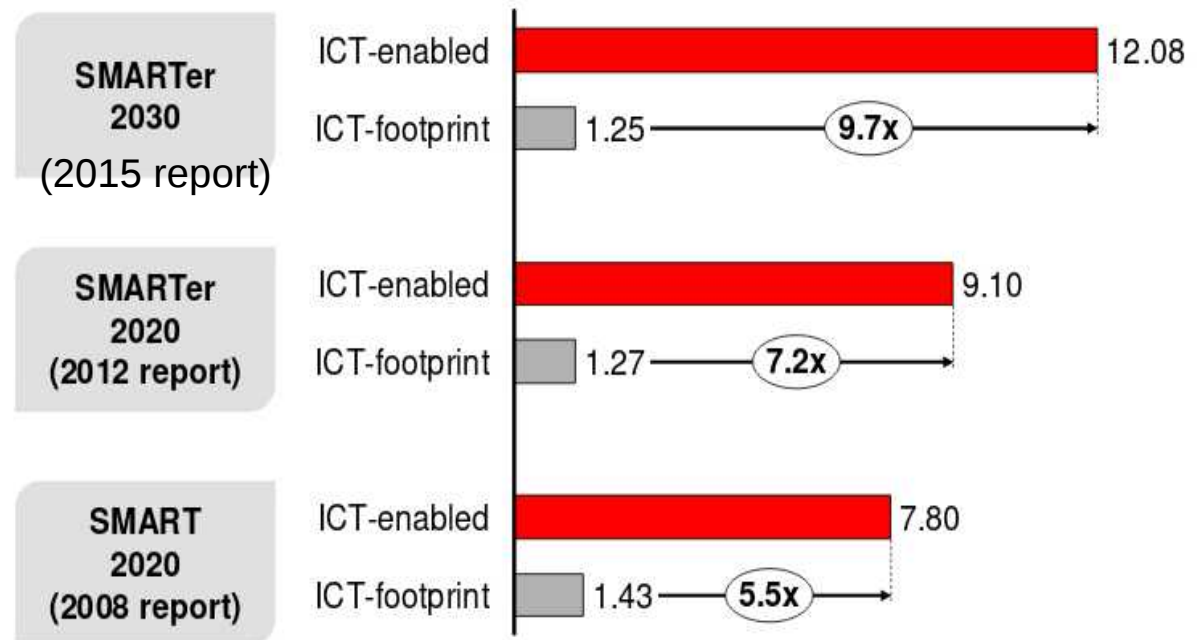
IT for Green ?



Les promesses toujours plus mirifiques de l'industrie numérique

Encore en 2020 : <https://www.gsma.com/betterfuture/enablement-effect>

Smart grid
Smart metering
Smart buildings
Vidéoconférences
Télétravail
E-commerce / etc.



Source: Source: WRI, IPCC, GeSI, SMARTer2020, Accenture analysis & CO2 models

IT for Green : ce n'est pas ton problème mais c'est ma solution

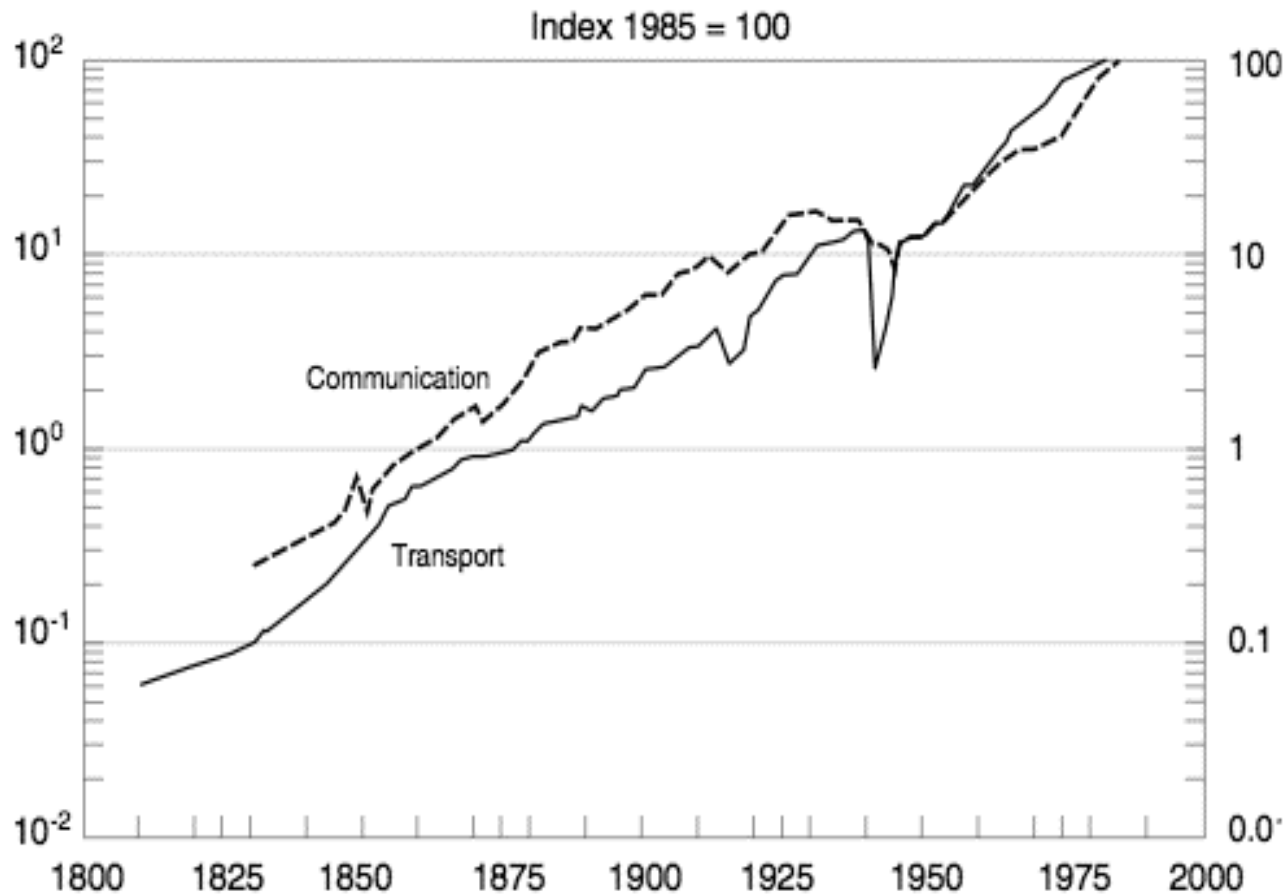
Rapport SMART 2020, GSMA etc.

- Audio et vidéoconférence
- E-commerce
- E-paper et multimédia en ligne
- Transports (GPS etc.)
- Télétravail etc.

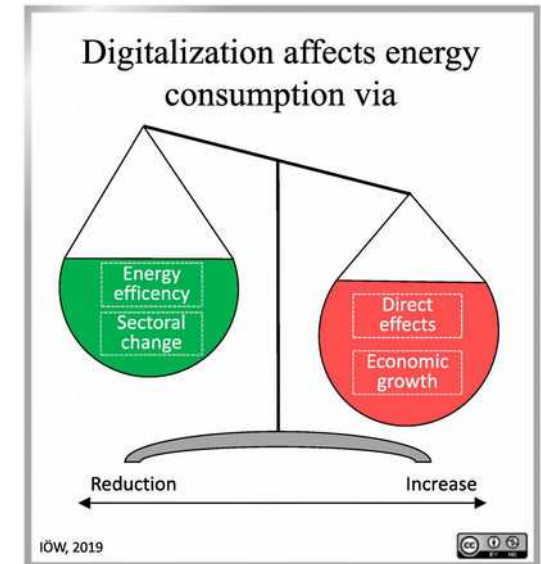
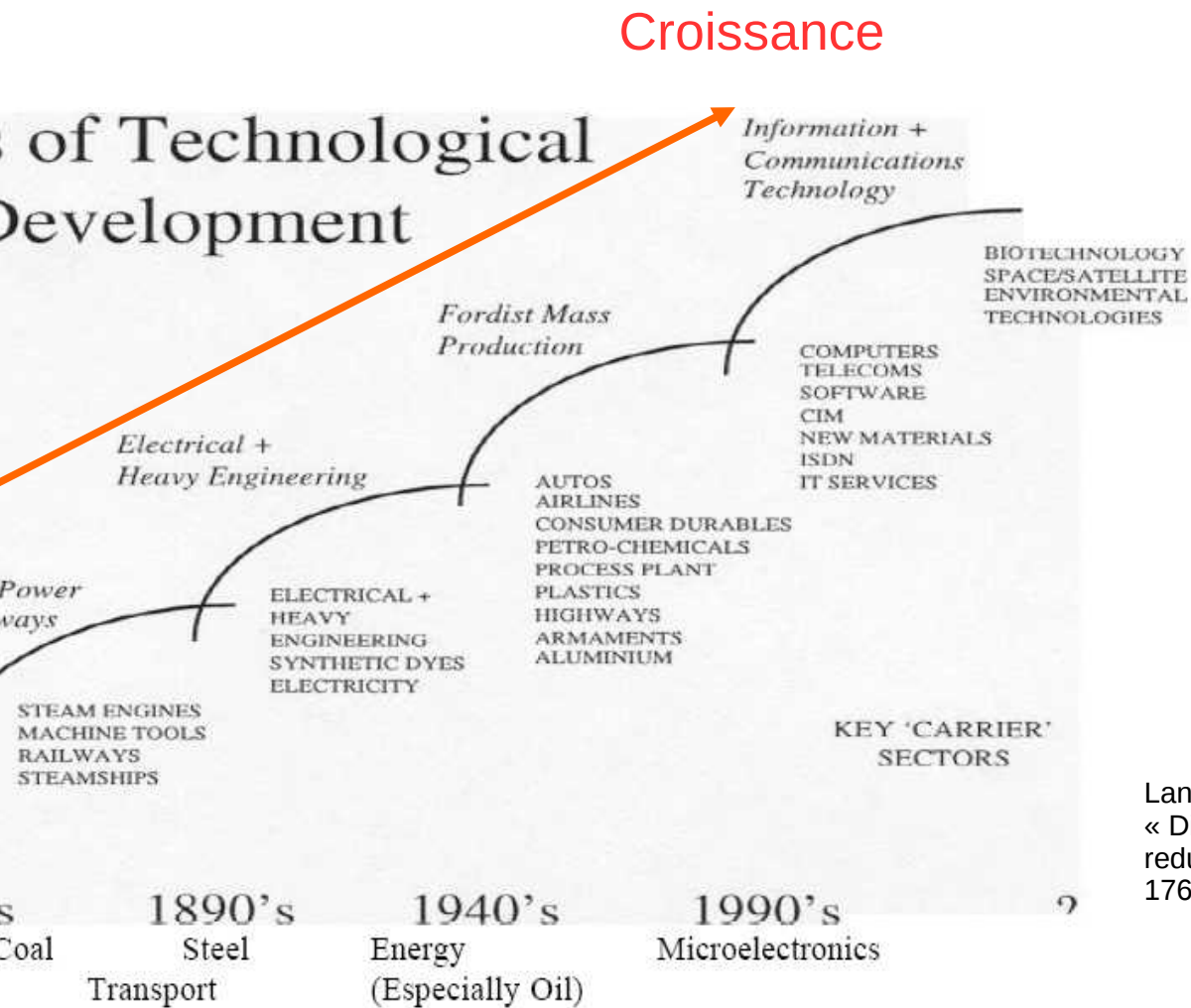
A chaque fois : des scénarios d'usage irréalistes, et appel à la puissance publique pour faire advenir un « bon usage » du numérique (« taxe carbone ! »). Incohérent et donc inefficace sur le plan écologique, mais cohérent et efficace vers une digitalisation toujours plus poussée.

=> Greenwashing

TIC = moins de déplacements ?



Les TIC, plutôt un accélérateur de croissance

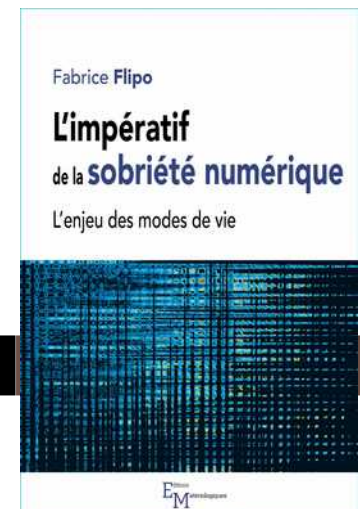
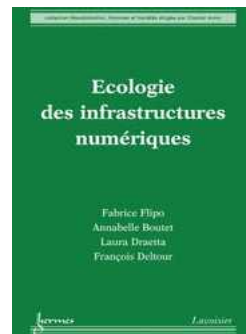
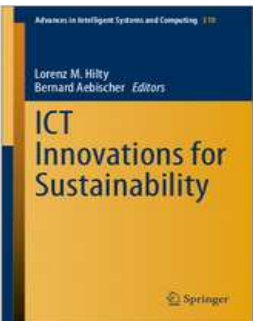


Lange, Steffen, Pohl, Johanna et Santarius, Tilman, « Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand ? », *Ecological Economics*, vol. 176, octobre 2020, article no 106760.



Les acteurs

- **Public : État et collectivités territoriales**
- **Privé : équipementiers et opérateurs**
- **Associations écologistes**
- **Consommateurs**



Etude Flipo & al. 2009, 2012, 2020

Position des autorités publiques

- Numérique = nouvelle économie, immatérielle, 3e révolution industrielle, économie de la connaissance etc.
- Enjeux : propriété intellectuelle, infrastructures et fracture numérique, interopérabilité, financement, diversité culturelle et linguistique
- Absence des questions écologiques lors des sommets de régulation de la société de l'information (2000s)
- Exemple : la stratégie Europe 2020 (établie en 2014)

« L'Union européenne travaille d'arrache-pied pour mettre résolument la crise derrière elle et créer les conditions favorables à une économie plus **compétitive**, présentant un taux **d'emploi** plus élevé. La stratégie Europe 2020 vise à stimuler une **croissance** qui soit **intelligente**, en investissant de façon plus efficace dans **l'éducation**, la **recherche** et **l'innovation**; **durable**, en donnant la priorité à une économie **sobre en carbone**; et **inclusive**, en mettant clairement l'accent sur la création d'emplois et la **réduction de la pauvreté**. Cette stratégie est axée sur **cinq objectifs ambitieux** dans les domaines de l'emploi, de l'innovation, de l'éducation, de la réduction de la pauvreté, ainsi que de l'énergie et du climat »

Les autorités publiques : la réglementation

- **Convention de Bâle (1989)**
- **La directive EuP (Energy using Products) devenue Ecodesign**
- **La directive européenne RoHS (2002)**
 - Interdiction de certaines substances toxiques
- **La directive européenne DEEE (2002)**
 - 5 grands principes :
 - Principe pollueur-payeur ('contribution visible'),
 - responsabilité élargie du producteur (REP)
 - « 1 contre 1 »
 - création d'éco-organismes
 - objectifs chiffrés : 4 kg / an / hab en 2006 pour les DEEE des ménages.
Aujourd'hui on est à 12 kg/hab environ sur 22 récupérables
- **Idée de dématérialisation et décarbonisation**

Position du secteur privé

■ Équipementiers

- respect de la réglementation
- écoconception dans le domaine de l'efficacité énergétique (gagnant-gagnant)
- Recyclage plastique et discours sur l'économie circulaire

■ Opérateurs

- changement d'appareil qui permet de gagner des clients (ex exclusivité Orange sur iPhone)
- offre d'appareils usagés etc.

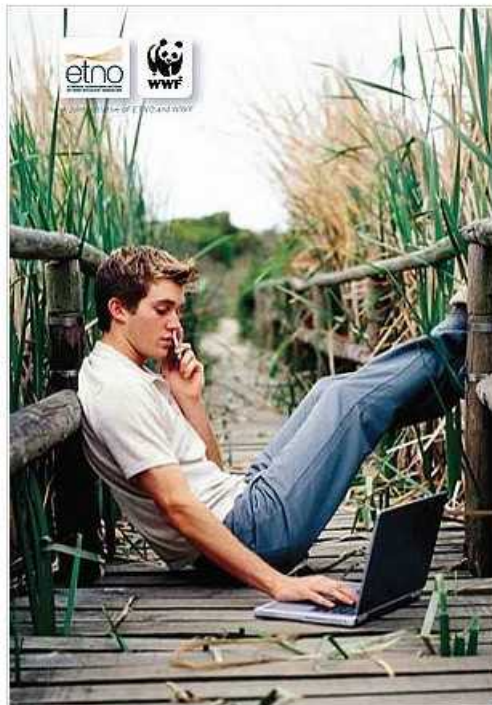
■ + IT for Green !



Secteur privé et secteur public sont largement alignés

Associations écologistes

- WWF : soutien aux TIC comme solution et dans le même temps critique sur les toxiques
- Greenpeace : action de dénonciation et de notation



SAVING THE CLIMATE



phone - G... x Home - Fairphone x +
www.greenit.fr/2017/10/25/greenpeace-felicite-fairphone/

CONSTRUCTEUR

Greenpeace félicite Fairphone



Frédéric Bordage
 le 25 octobre 2017

Tags : [Greenpeace](#), [guide](#)
 pour une high-tech

Après un [rapport sur l'obsolescence](#)
[Guide pour une high-tech responsable](#)














Dans cette [édition 2017](#), seul Fairphone est
 prêt avec un B-. A l'opposé, des géants de la tech
 officiellement son entrée parmi les mauvais élèves.

Parmi les principaux points qui re...

- Un manque criant de transparence et d'information de leurs fournisseurs

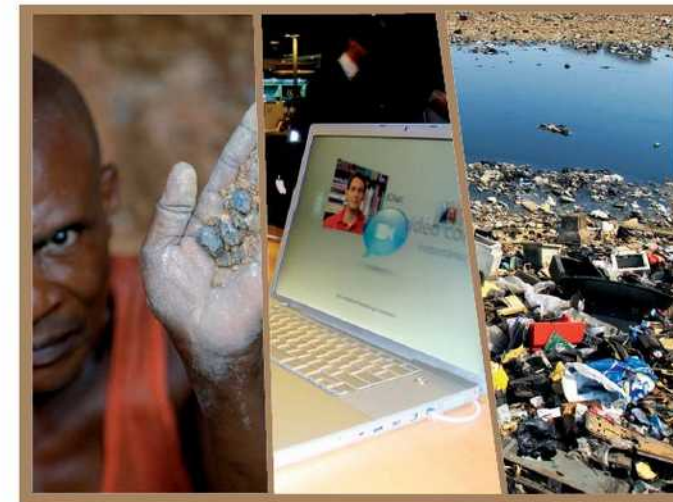
Greenpeace encore

Company Scorecard

	Final Grade	 Clean Energy Index	 Natural Gas	 Coal	 Nuclear	Energy Transparency	Renewable Energy Commitment & Siting Policy	Energy Efficiency & Mitigation	Renewable Procurement	Advocacy
 Adobe	B	23%	37%	23%	11%	B	A	B	B	A
 Alibaba.com	D	24%	3%	67%	3%	F	F	C	F	D
 amazon.com web services	C	17%	24%	30%	26%	F	D	C	C	B
 Apple	A	83%	4%	5%	5%	A	A	A	A	B
 Baidu 百度	F	24%	3%	67%	3%	F	F	D	F	F
 Facebook	A	67%	7%	15%	9%	A	A	A	A	B
 Google	A	56%	14%	15%	10%	B	A	A	A	A
 HP	C	50%	17%	27%	5%	D	B	C	B	C
 IBM	C	29%	29%	27%	15%	C	B	C	C	F

Associations écologistes

- FNE : suivi de la directive déchets
- Amis de la Terre : critique de l'obsolescence programmée



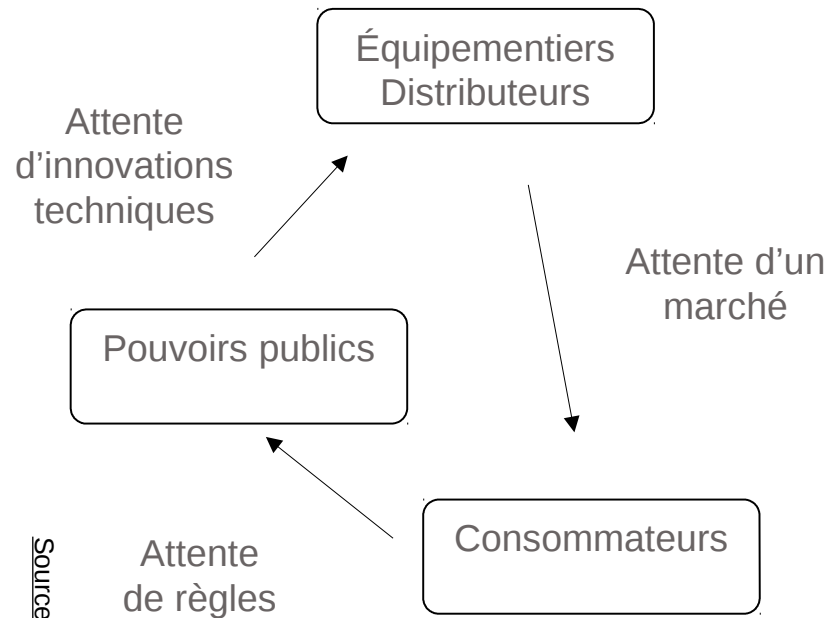
L'obsolescence programmée,
symbole de la société du gaspillage
Le cas des produits électriques et électroniques

Rapport • **Septembre 2010**
Par Marine Fabre et Wiebke Winkler

www.cnild.org

www.amisdelaterre.org

En 2008 et en 2020, on retrouve la même « attente » et report de responsabilité



Avec 3 horizons

- Solution par la technologie : recyclage, efficacité énergétique etc.
- Sobriété numérique
- Déconnexion ou effondrement

Source : Filipo & al., 2012, 2020

En 2020

<https://www.imt.fr/formation/imt-disruptcampus/tgf/#tab-id-2>

Tribunal des Générations Futures

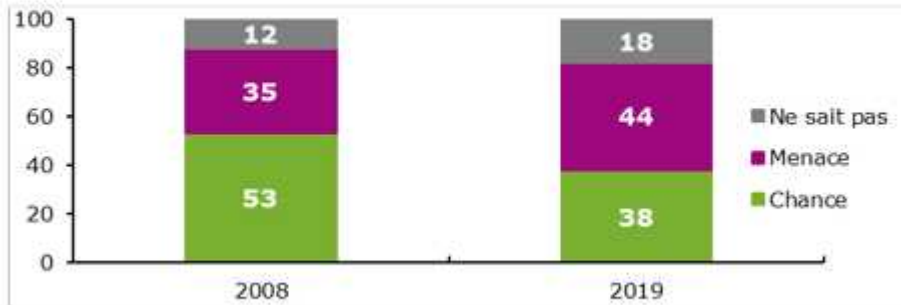
Quel impact du numérique sur la planète ?
3 étudiants sur 5 ont voté « menace ».



FEUILLE DE ROUTE SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE NUMÉRIQUE

50 mesures pour un agenda national
et européen sur un numérique responsable
c'est-à-dire sobre et au service de la transition
écologique et solidaire et des objectifs
de développement durable

Pour l'environnement



Credoc 2019. Le numérique est-il plutôt une menace ou une chance pour l'environnement ?



ACCUEIL > QUAND LE NUMÉRIQUE PASSE AU VERT > Quand le numérique passe au vert

NUMÉRIQUE

Quand le numérique passe au vert

Publié le 26/03/2020 • Par Laura Fernandez Rodriguez • dans : France



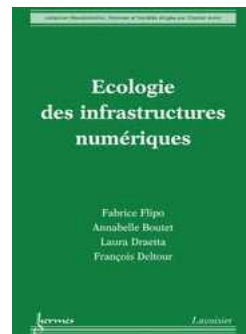
« Sobriété numérique », « numérique responsable », numérique « low tech », des alternatives se développent pour tenter de rendre compatibles la transition écologique et la transition numérique. Les collectivités peuvent s'engager en prenant en compte ces préoccupations dans leurs projets de smart city ou leur propre fonctionnement interne, afin de les rendre

plus durables et vertueux.





Que faire ?



Etude Flipo & al. 2009, 2012, 2020

Idées

- Ne pas faire la 5G (= métaphoriquement, ne pas faire plus d'autoroutes évitera la croissance du trafic)
 - Sinon, ne pas faire la 6G...
 - Dans tous les cas, fin de la « neutralité du Net »
- Ne pas faire la voiture autonome
- En amont de la mise sur le marché d'un produit, diffuser largement une analyse prospective d'impact environnemental (de type Shift Project)
- Sur le plan institutionnel : équilibrer l'ARCEP avec des ONG
- Ne plus faire d'amélioration de l'efficacité énergétique ?
- Dénumériser ce qui peut l'être

