

**INSA**

INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
LYON

# Enjeux environnementaux et numérique

Hervé Rivano

Nicolas Stouls

Jean-François Trégouët

*Inria*  
INVENTEURS DU MONDE NUMÉRIQUE





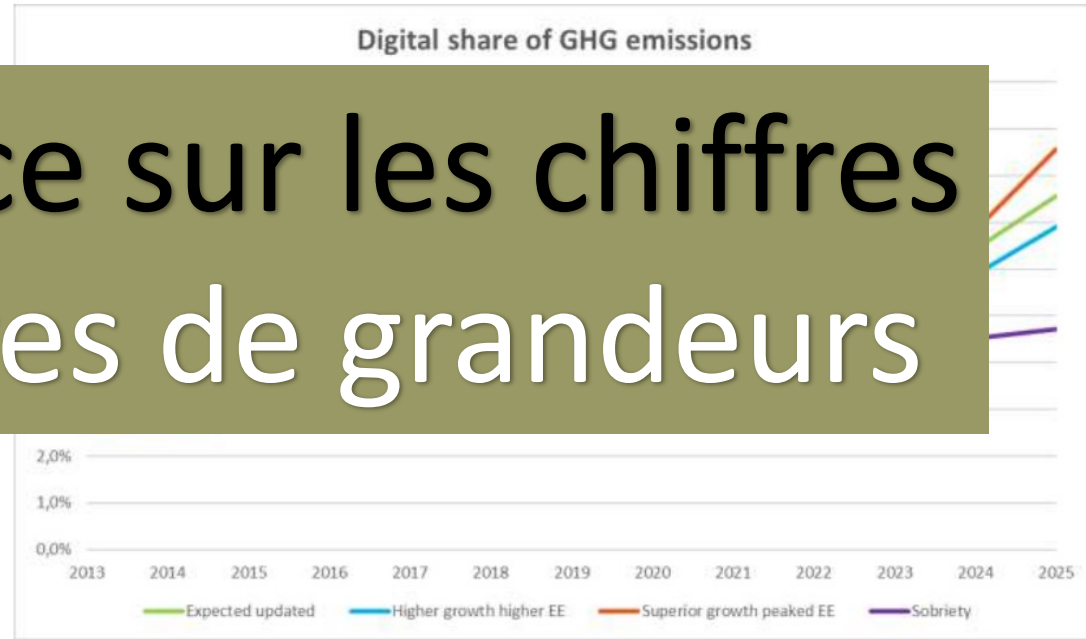
**42 façons qu'a le  
numérique de détruire  
la PLANETE**

**La 14e va vous étonner**

# Posons déjà les bases

10% consommation  
4% émissions  
Équival

**Prudence sur les chiffres  
=> ordres de grandeurs**



8% croissance annuelle

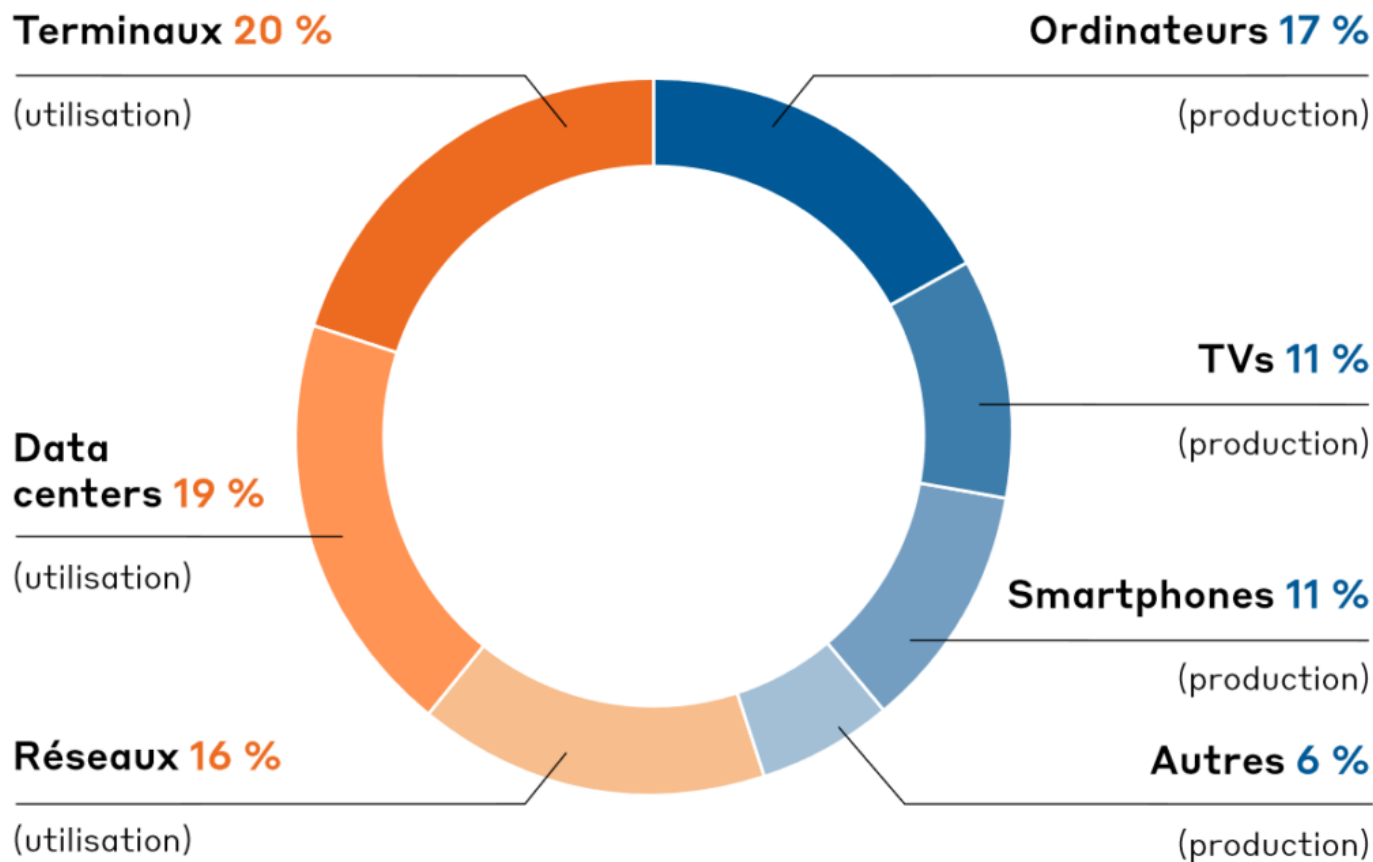
49% population mondiale (2016) connectée à Internet

1.5 milliard smartphones/an 8-13 objets connectés/p (EU – US)

20% sont collectés pour recyclage (FR: 49% smartphone, 95% PC)

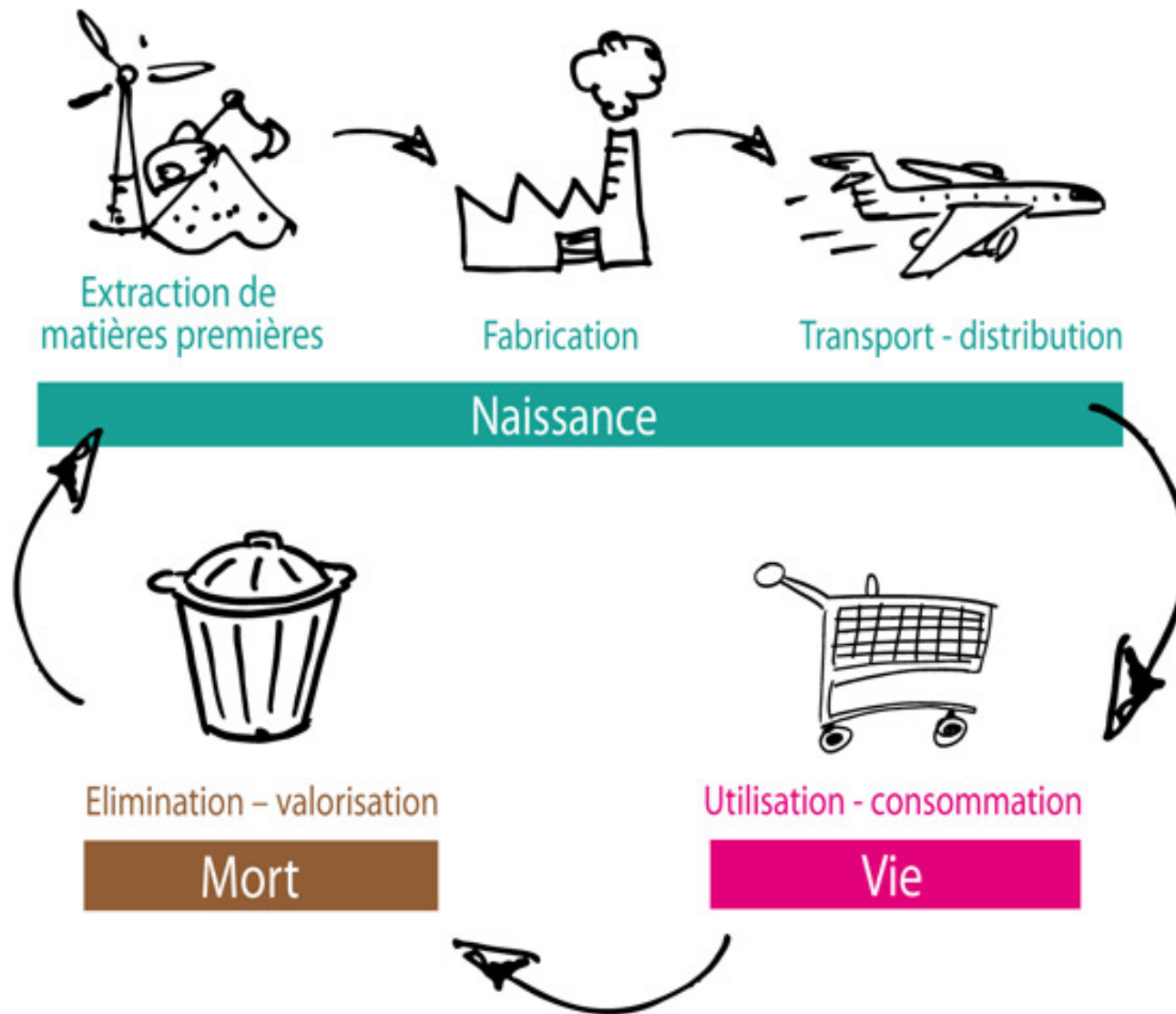


# Ils sont gros ces chiffres mais ça veut dire quoi ?



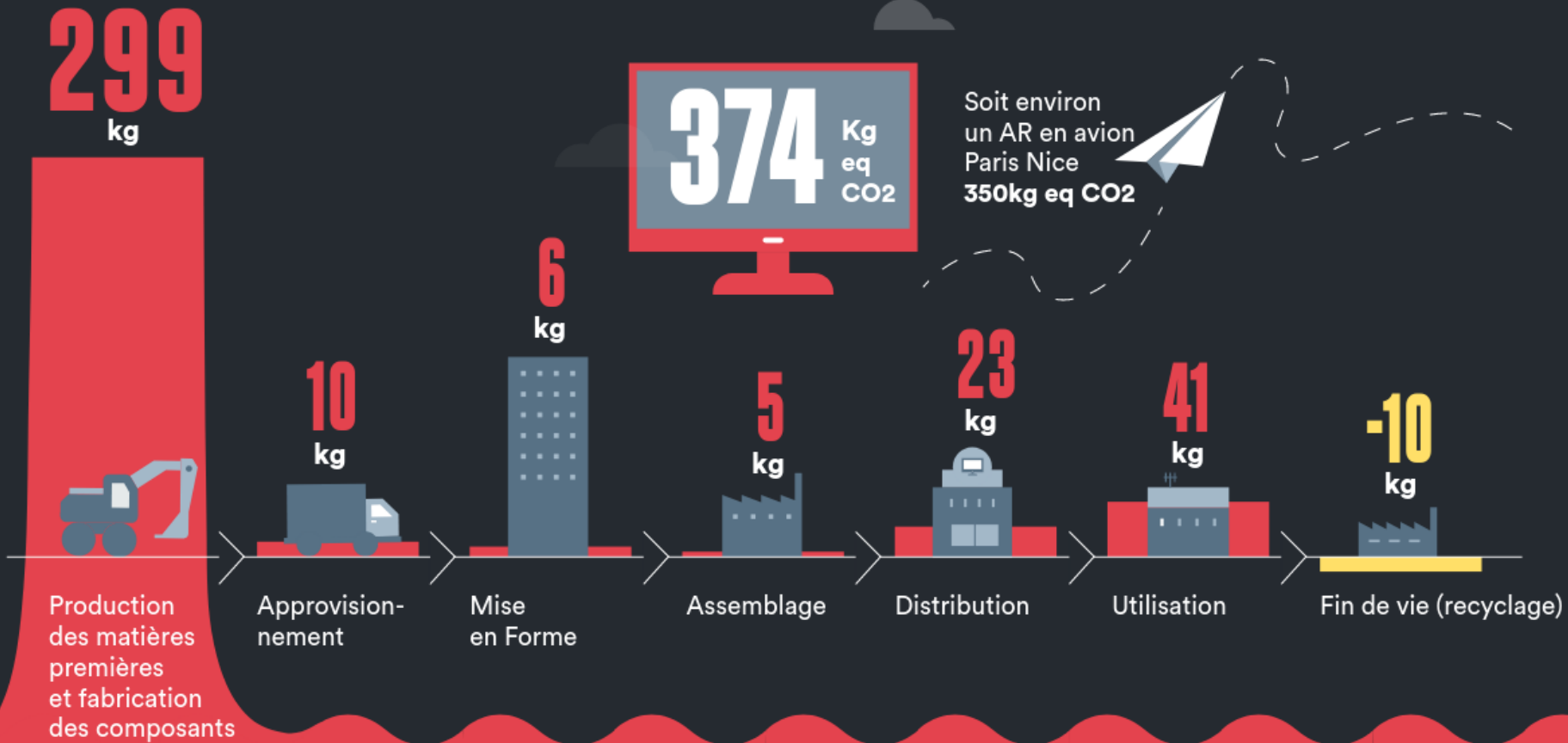
**Distribution de la consommation d'énergie finale  
du numérique par poste pour la production (45 %)  
et l'utilisation (55 %) en 2017**

# Première étape : regarder le cycle de vie d'un équipement



# Première étape : regarder le cycle de vie d'un équipement

## Poids carbone pour une télévision de 30 à 40 pouces



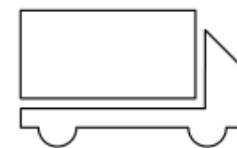
# Première étape : regarder le cycle de vie d'un équipement



Matières premières



Fabrication



Transport



Distribution



Valorisation



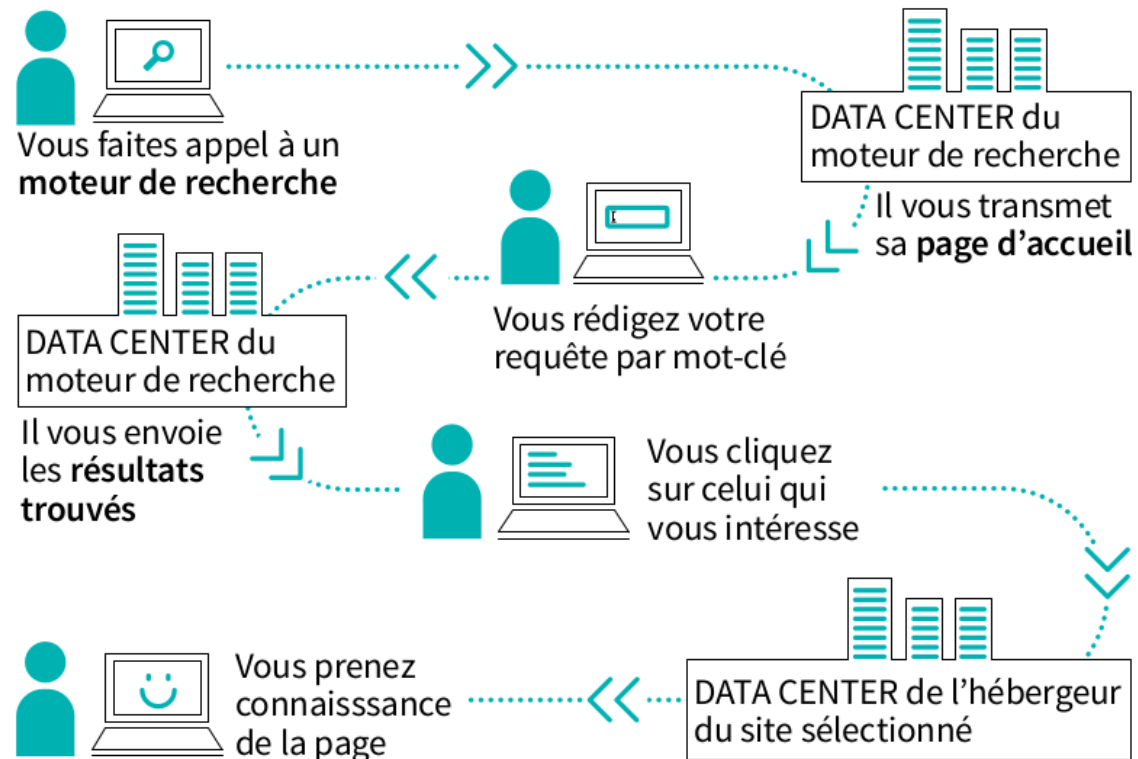
Fin de vie

La fabrication d'un ordinateur de 2 kg :  
800 kg de matières premières mobilisés  
124 kg de CO<sub>2</sub> générés, sur les 169 kg émis sur l'ensemble de son cycle de vie

# C'est pas aussi simple que ça

< 15%

## Limite l'impact des « éco-utilisation »





# C'est même encore plus compliqué que ça

The image shows a browser window displaying the orange.fr website. The page features a navigation bar with categories like 'Mobiles et forfaits', 'Internet', 'Packs Internet + Mobile', 'Maison', 'TV et divertissement', 'Banque', and 'News'. A search bar is present with the text 'Rechercher sur le Web'. The main content area has a large advertisement for the iPhone 12 with the text 'Maintenant en mauve.' and 'Livraison gratuite'. Below this, there is a section titled 'Les offres du moment' with three images: a couple looking at a tablet, a family on a couch, and a person in a suit. A network developer tool is overlaid on the right side of the browser, showing a list of domains. A purple arrow points from the word 'facebook' written on the iPhone 12 advertisement to the domain 'scontent-cdg2-1.xx.fbcdn.net' in the network tool. Another purple arrow points from the word 'google' written on the first image in the 'Les offres du moment' section to the domain 'www.google-analytics.com' in the network tool. The network tool also shows other domains like 'www.google.com', 'www.google.fr', and 'z.woopic.com'. The browser's address bar shows 'orange.fr/portail'.

Page Filesystem Overrides Content scripts Snippets

- top
- www.orange.fr
- all.orfr.adgtw.orangeads.fr
- asset.easydmp.net
- audience-static.smart-traffik.com
- c.woopic.com
- cdn.adgtw.orangeads.fr
- cdn.woopic.com
- mp.woopic.com
- pdata.orange.fr
- pdb.orange.fr
- proxymedia.woopic.com
- rc.rlcdn.com
- scontent-cdg2-1.xx.fbcdn.net
- scontent-cdt1-1.xx.fbcdn.net
- sdk.privacy-center.org
- securepubads.g.doubleclick.net
- static.mediarithmics.com
- static.xx.fbcdn.net
- statsv6.woopic.com
- tag.leadplace.fr
- tags.bkrtx.com
- tags.tiqcdn.com
- test-ds.woopic.com
- test-v4.woopic.com
- test-v6.woopic.com
- www.google-analytics.com
- www.google.com
- www.google.fr
- z.woopic.com
- \_\_bkframe (58288)
- adgw\_bk (about:blank)
- client\_iframe.html
- iframe-cookies-group (global-cookies.545d5950ee3d5669851ea749d9f04f0ce429595d.html)
- iframe\_oan\_ora\_1\_300x250\_hp.prospects (portail)
- syncframe
- wckr.php

facebook

Tracking, marketing, pub

google

Les offres du moment

orange

Mobiles et forfaits Internet Packs Internet + Mobile Maison TV et divertissement Banque News

Rechercher sur le Web

Vous êtes un particulier

Maintenant en mauve.

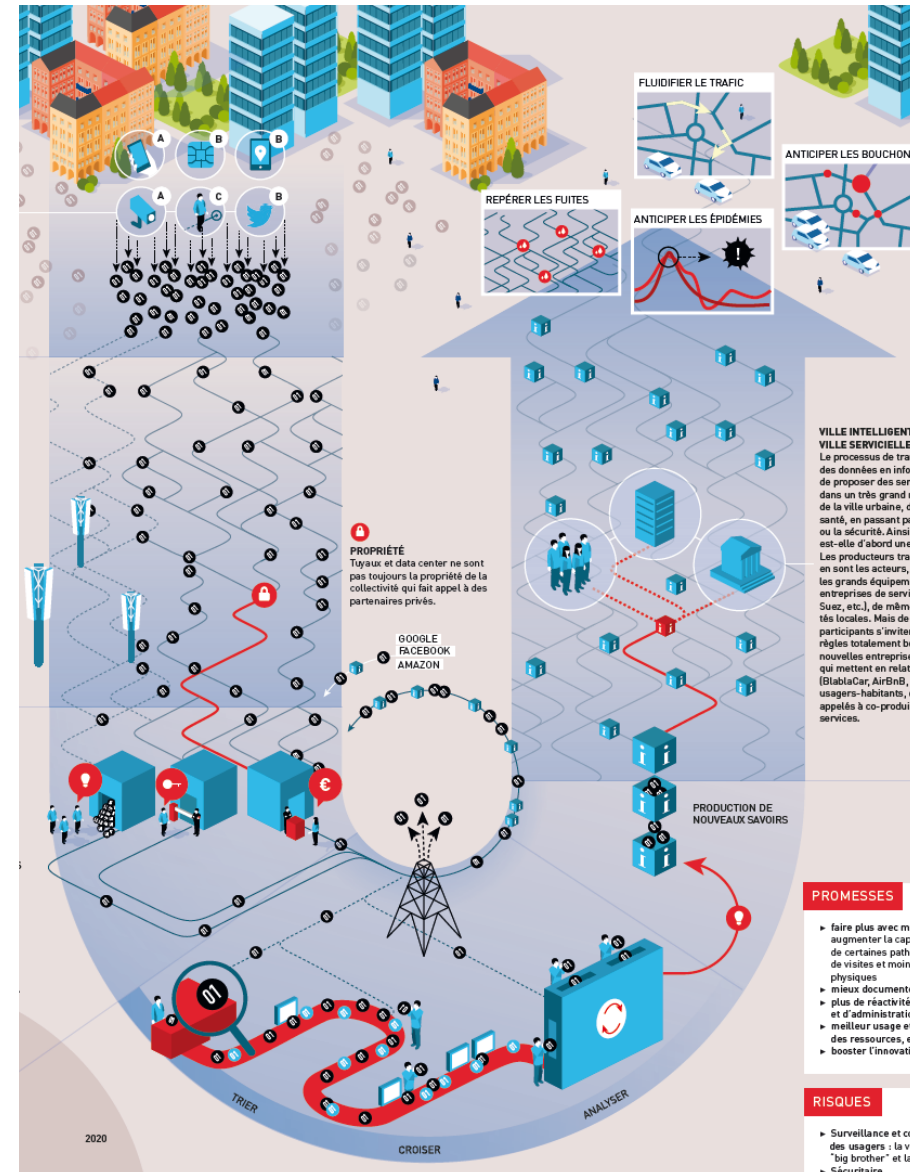
Livraison gratuite

Acheter

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

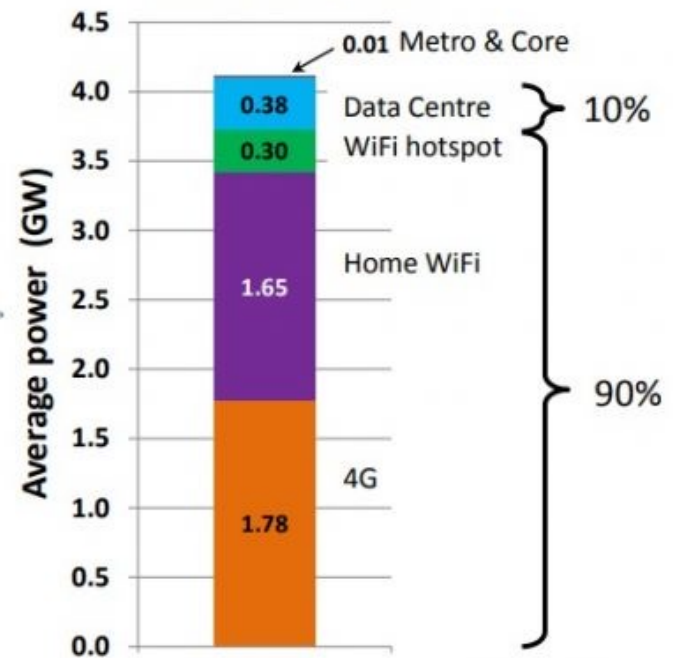
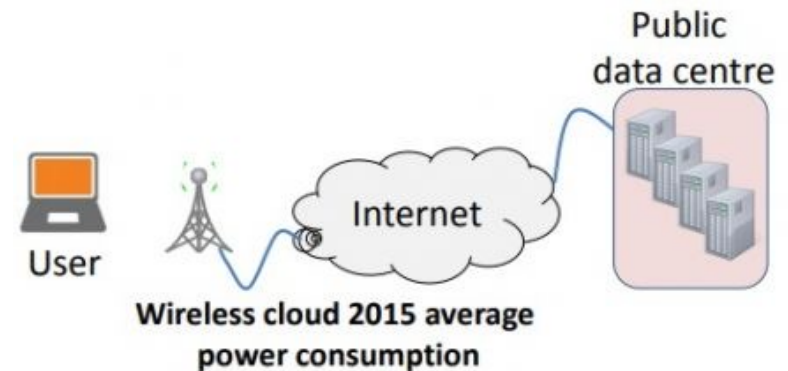
# Système intriqué, un exemple : les services mobiles urbains

- Utilisateurs « producteurs » de données
  - Vidéo mais aussi activités RS, services
- Les infrastructures de mesure
  - Capteurs, caméras
- Les opérateurs télécom
  - Internet mobile – 4G/5G
  - Internet fixe
- Les opérateurs de contenus
  - Datacenters, calculateurs, etc.
  - Coût des IA ...
  - Sans compter la production des contenus
- Les utilisateurs de service
  - Streaming
  - Mobilités connectées
  - Jeux vidéo virtualisés, réalité augmentée



# La répartition des consommations

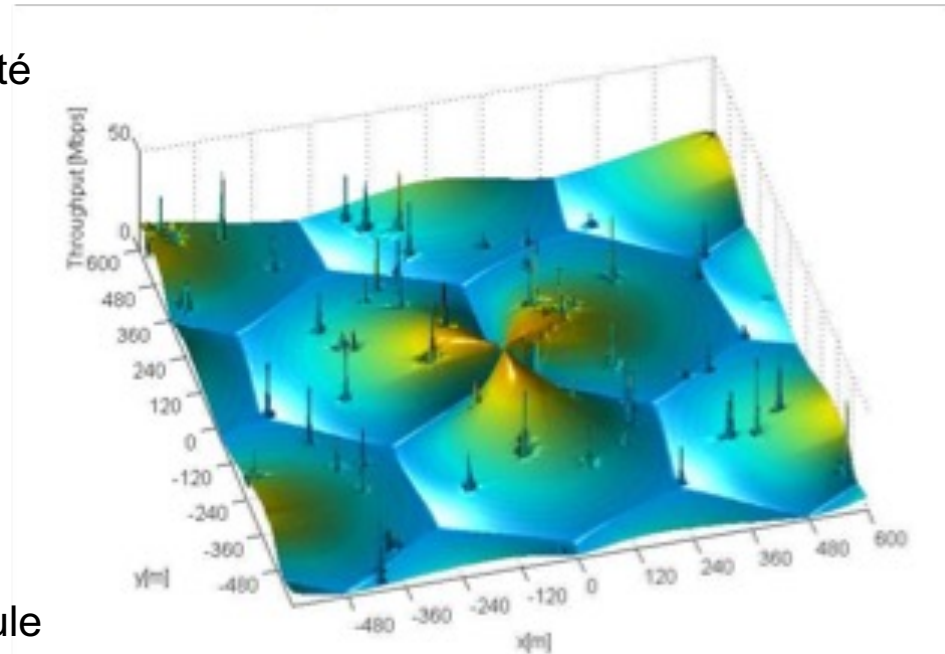
- Le « dernier lien » est le plus important
  - Logique, il y en a plus ...
- 4G >> Fibre >> ADSL
  - D'où les déploiements fibre
- Box Internet : 5TWh/an en France
  - Là, on peut agir personnellement
- (chiffres très vieux mais l'idée reste)



CEET, 2013

# Regardons le réseau cellulaire

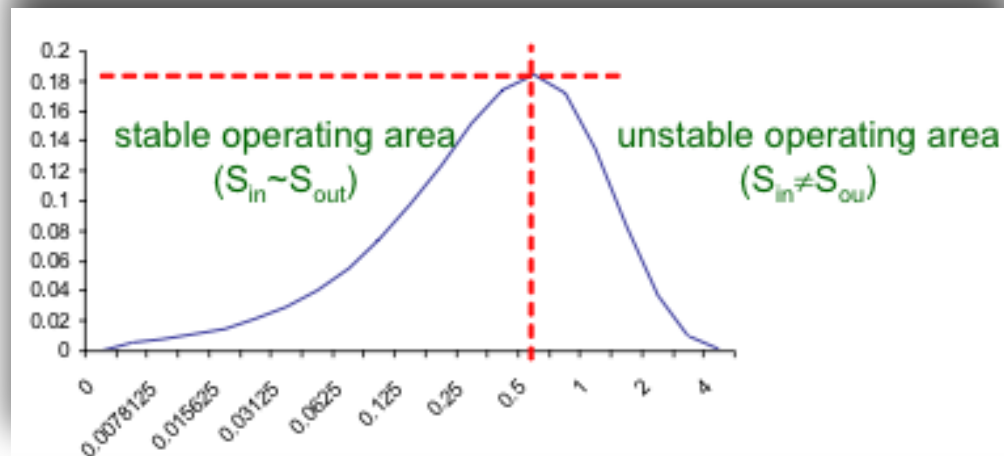
- Réseau large échelle
  - Couverture, gestion de la mobilité, sécurité
  - Compromis énergie/exposition/capacité
  - Capacité ajd ~ 1M x 1957's
- La plupart des villes sont couvertes
  - Cell ~ 500m diamètre
  - 4G ~ 250Mbps/km<sup>2</sup>
- Limites en capacité déjà atteintes
  - Smart cities = milliers de terminaux / cellule
  - France 2018: 75M lignes, 15M IoT SIMs
  - World 2018: 8000 M lignes



# Une infrastructure prête à s'effondrer

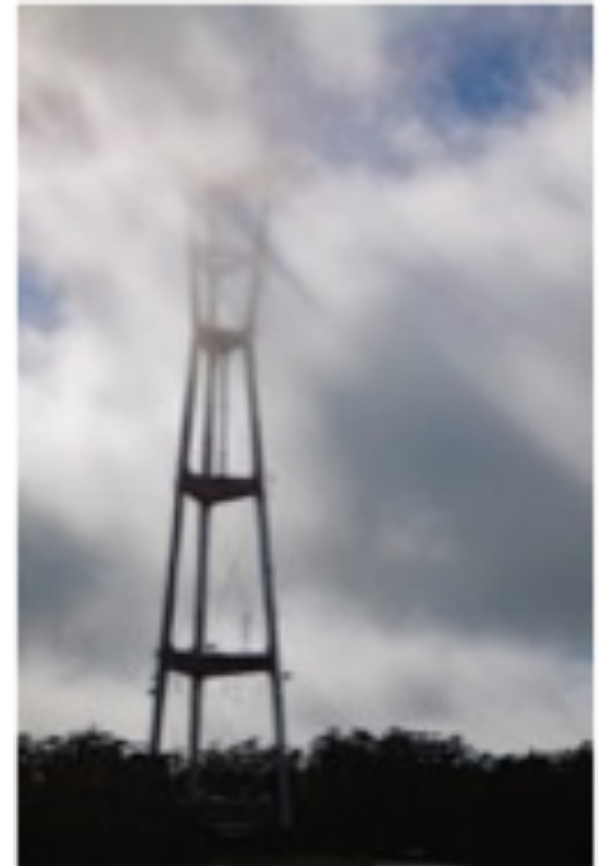
## Saturation en accès

- Envoie d'un (petit) préambule
- Collision si transmissions simultanées
- dans ce cas, attente aléatoire et retransmission



## Mauvaises performances mais inévitable

- Asymétrie : terminaux ne s'entendent pas entre eux
- Sur-concentration d'utilisateurs => personne n'a d'accès





# Une infrastructure prête à s'effondrer

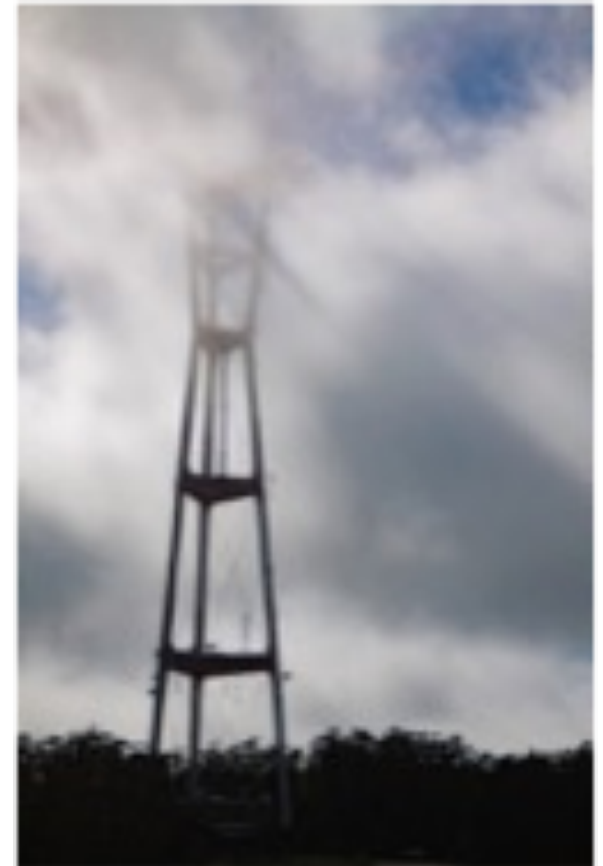
## Saturation d'accès

## Saturation de capacité

- Grandes villes européennes : 15-25 000 pers./km<sup>2</sup>
- Paris : 21k, Tokyo 13k, Sendai 7k
- Stade de foot récent = 60k places (Tokyo Dome : 55k)
- Supposons 10k téléphones 4G sur site
- 10% actifs simultanément pour 5Mb/s (non HD TV)
- => Débit total ~ 5Gps/km<sup>2</sup> vs 4G ~ 250Mbs/station

## Saturation des centres urbains denses

- Aujourd'hui: événements exceptionnels
- Futur: usages récurrents plus exigeants
  - HD/4K video (résidentiel et mobile, up et downlink)
  - Véhicule autonomes (ultra low latency)
  - Réalité augmentée



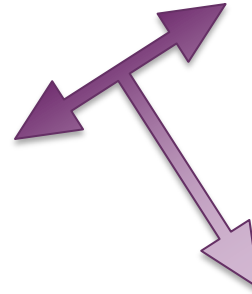
La 5G : incrément technologique ou évolution à discuter politiquement ?

## Et les datacenters ?

**15%** de la contribution du numérique au réchauffement

**1%** conso électrique mondiale  
« Plateau » +6% depuis 2010  
ou +42% en EU depuis 2010 ?

Conso data : x38 en 10 ans  
Conso réseau : x25 en 10 ans



Progrès scientifiques et techniques  
Informatique/ électronique  
Energie / climatisation / isolation  
Géoscience

# Evolution de l'efficacité énergétique

Loi de Moore

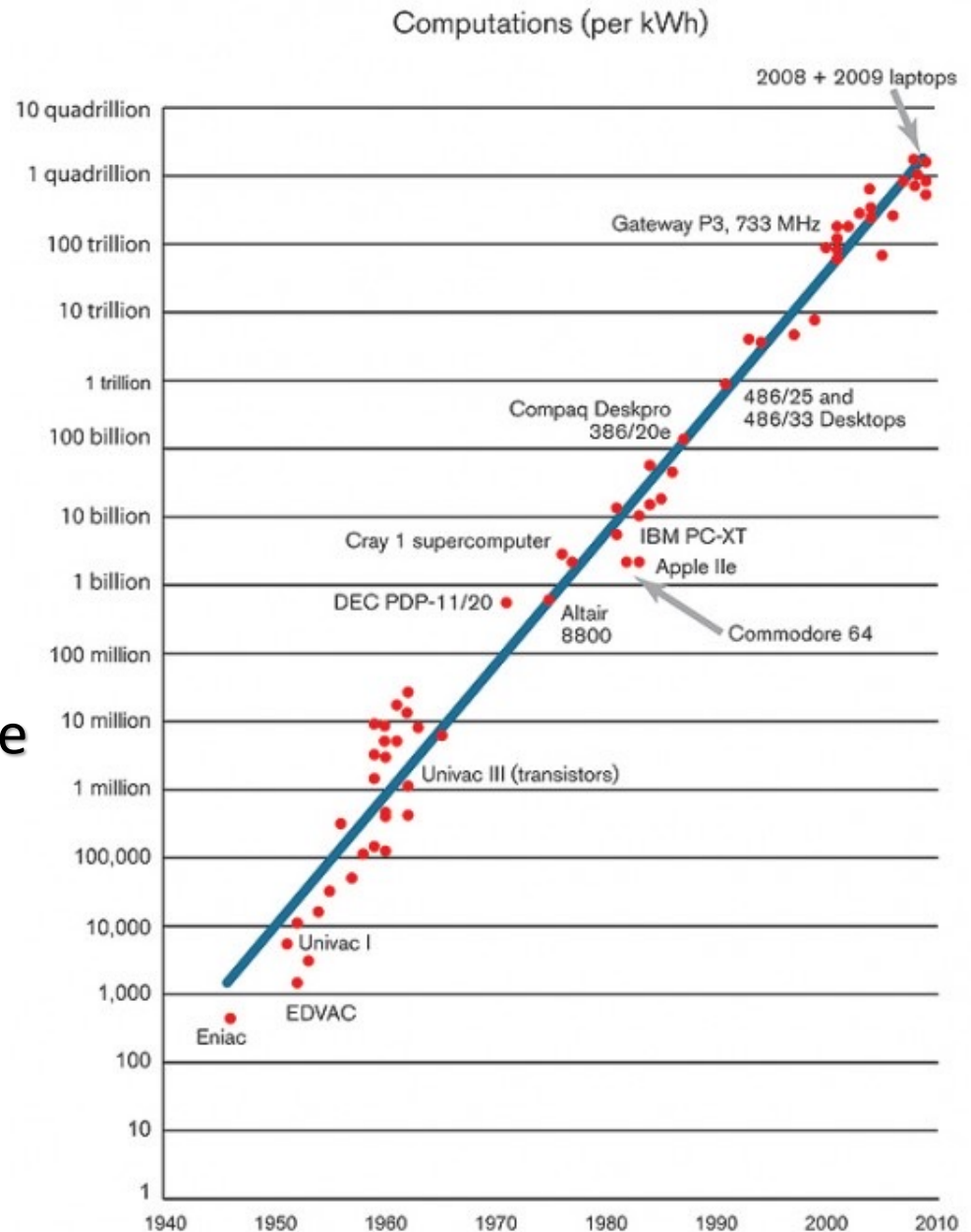
Finesse de gravure

Evolution des architectures

Progrès algorithmiques

Idem pour les réseaux

A usage constant, moins d'énergie



## L'effet rebond

La « nature » a horreur du vide

« A usage constant » n'existe pas

D'où vient la croissance des usages ?

Un exemple simpliste :

- photos : partage cloud et réseaux sociaux
- définition des capteurs augmente
  - => réseau et stockage augmentent
- la vidéo devient possible
  - => snapchat, tik tok, etc. émergent
- augmentation capacité vidéo
  - => HD, 4K, et la suite

Contrôle utilisateur, mais complexe

Qualité photo : est-ce une demande ?

- pas le choix à l'achat
- logiciel pas fait pour
- incitations services et marketing



## Un autre exemple : les logiciels

Win10/Office 2019 = 171 x Win98/Office 97

### Coût calcul et stockage diminuent

- augmentation fonctionnalités, sécurité, etc
- éléments graphiques en croissance
- développement logiciel efficace coûte cher
- bibliothèques génériques « qui font tout »
- en particulier du tracking
- pas d'optimisation
- obsolescence des systèmes
- publicités : texte -> photo -> vidéos -> déclenchement automatique
- objectif : capter l'attention      conséquence : trafic réseau explose





## Garder l'attention de l'utilisateur

Exposition à la pub / captation de données

« Scrolling infini » « swipe »

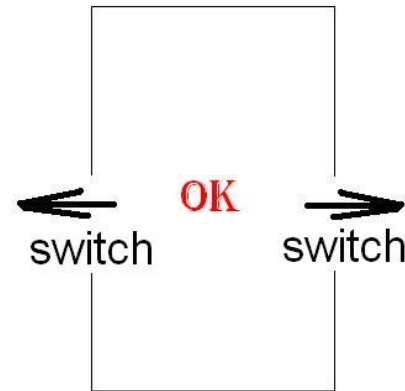
- design fondé sur la psychologie comportementale
- génère une addiction
- priorise le contenu vidéo pour « réveiller » l'oeil

Les « likes »

- générateurs de dopamine, encore une addiction
- commence à être remis en question

Le « binge watching »

- introduit par Netflix « en concurrence avec le sommeil »
- transforme profondément les modes de consommation, donc de production
- impact environnemental : pas que la tech, la modification d'usage (imposé ou pas)
- profusion de choix => recommandation => données et IA => coût environnemental



## Consommation ~ la Norvège

Et il y en a \*beaucoup\* d'autres

Remise en question du système bancaire

- confiance => tech/science plutôt qu'institution
- promesse spéculative
- absence de régulation

Blockchain : science intéressante et générale

- pas nécessairement de « proof of work » crypto
- beaucoup d'usages potentiels : stockage/prise de décision distribuée
- usage financier : modèle de société

Faut-il réguler ou interdire ?

- distorsion de marchés (GPU, énergie)
- surconcentration des « usines » de minage dans des pays ... limites
- usage mafieux/criminel vs paradis fiscaux



## Et le verre à moitié plein ?

# Le numérique n'a pas été inventé pour tuer la planète

Focalisation sur les aspects négatifs, mais effet tunnel

Smart-\* : le numérique au service de la sobriété

- intégration des énergies renouvelables par un contrôle plus dynamique
- optimisation des procédés à fort impact
- meilleure régulation des flux de transports

Centralisation => optimisation

- vers des datacenters 0-carbone
- logistique, industrie 4.0, e-commerce
- mutation mobilité vers MaaS => diminution achat véhicules

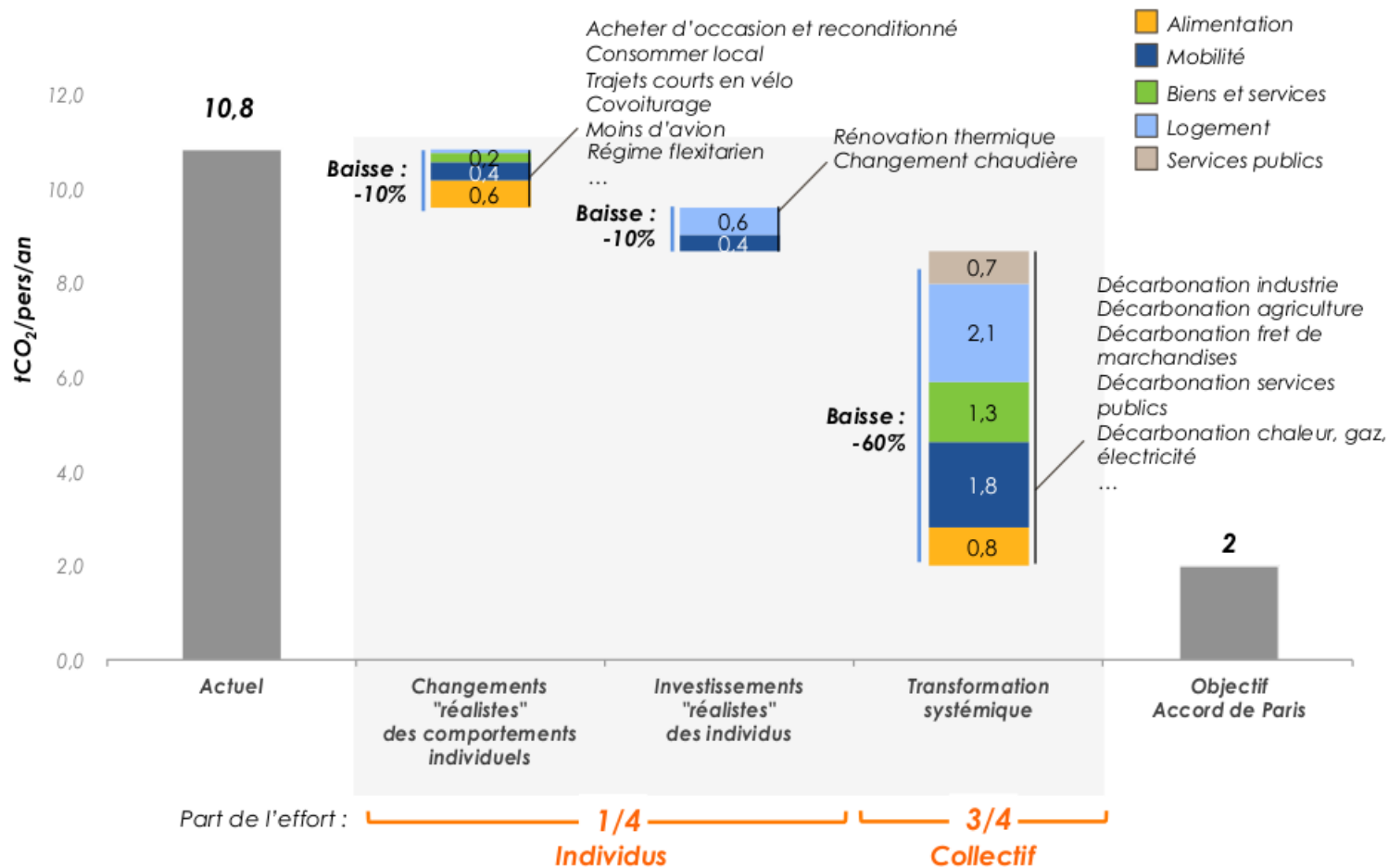
Des nouveaux services qui remplacent des activités polluantes

- « dématérialisation »
- intermédiation et économie du partage
- télétravail ... bien organisé



# Et maintenant, que vais-je faire ?

## Leviers de réduction de l'empreinte carbone moyenne Engagement personnel « réaliste » des individus\*



# Et maintenant, que vais-je faire ?

## Le pb, c'est la production

Comportement personnel, « résistance » au marketing

Responsabilité collective ou individuelle ?

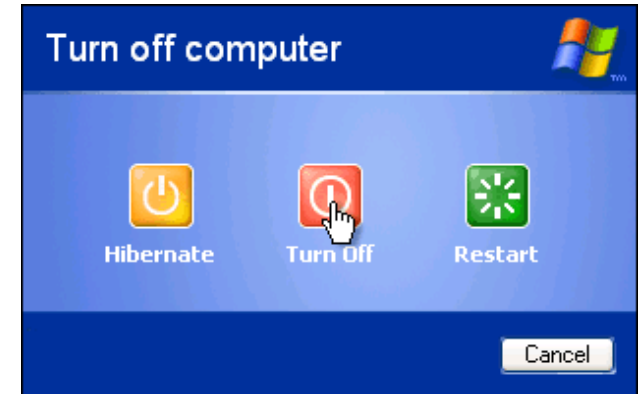
- parallèle sécurité : pacte social et choix politique collectif
- trop de choix individuel => démobilisation même des plus conscients (RGPD)
- « l'enfer c'est les autres » : responsabilité citoyenne

Choix collectifs

- régulation/orientation du marché : labels, normes, réparabilité
- relocalisation – remise en cause du modèle économique
- temporalité des infrastructures

Bataille culturelle

- et si le différentiateur marketing était la sobriété et pas l'appareil photo ? Greenwashing ou progrès
- promouvoir une vision globale et pas des indignations sélectives
- remettre de la raison au milieu des pulsions





# L'ingénieur humaniste dans l'anthropocène

Les citoyens ne seront jamais des ingénieurs...

- les débats sont politiques, pas techniques
- accepter des crispations mal fondées mais légitimes
- besoin d'éléments de choix politiques et philosophiques

Mais les ingénieurs doivent prendre leur rôle de citoyens

- concevoir des systèmes techniques ...  
pour affronter les transitions anthropocènes
- le numérique est un objet socio-technique
- accompagner la société, l'aider à comprendre les enjeux

Construire une démocratie technique informée

- culture scientifique et technique => éducation, transmission
- remettre en perspective, analyser en « triple focale »
- penser les options politiques et institutionnelles adaptées



**Merci pour votre attention**

[herve.rivano@insa-lyon.fr](mailto:herve.rivano@insa-lyon.fr)