

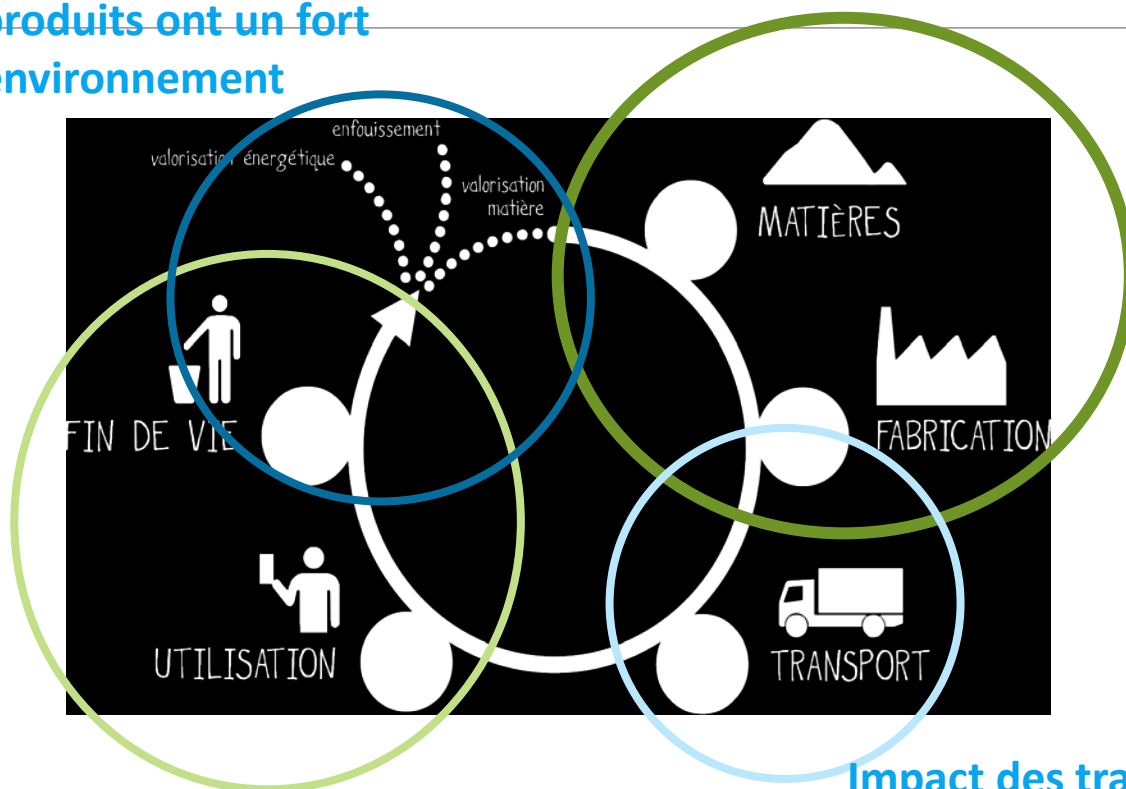
# Impact environnemental du numérique en phase d'usage...

Emmanuelle Frenoux,  
ECOINFO, LIMSI-CNRS, Polytech Paris-Saclay  
[Emmanuelle.Frenoux@limsi.fr](mailto:Emmanuelle.Frenoux@limsi.fr)



# Analyse du Cycle de vie et TIC

Les déchets produits ont un fort impact sur l'environnement



Impact de la fabrication  
Extraction des matériaux et métaux précieux nécessaires à la construction de nos appareils électroniques.  
Assemblage coûteux pour l'environnement

Impact environnemental à l'usage :  
L'usage conditionne la consommation  
Les programmes influencent la consommation

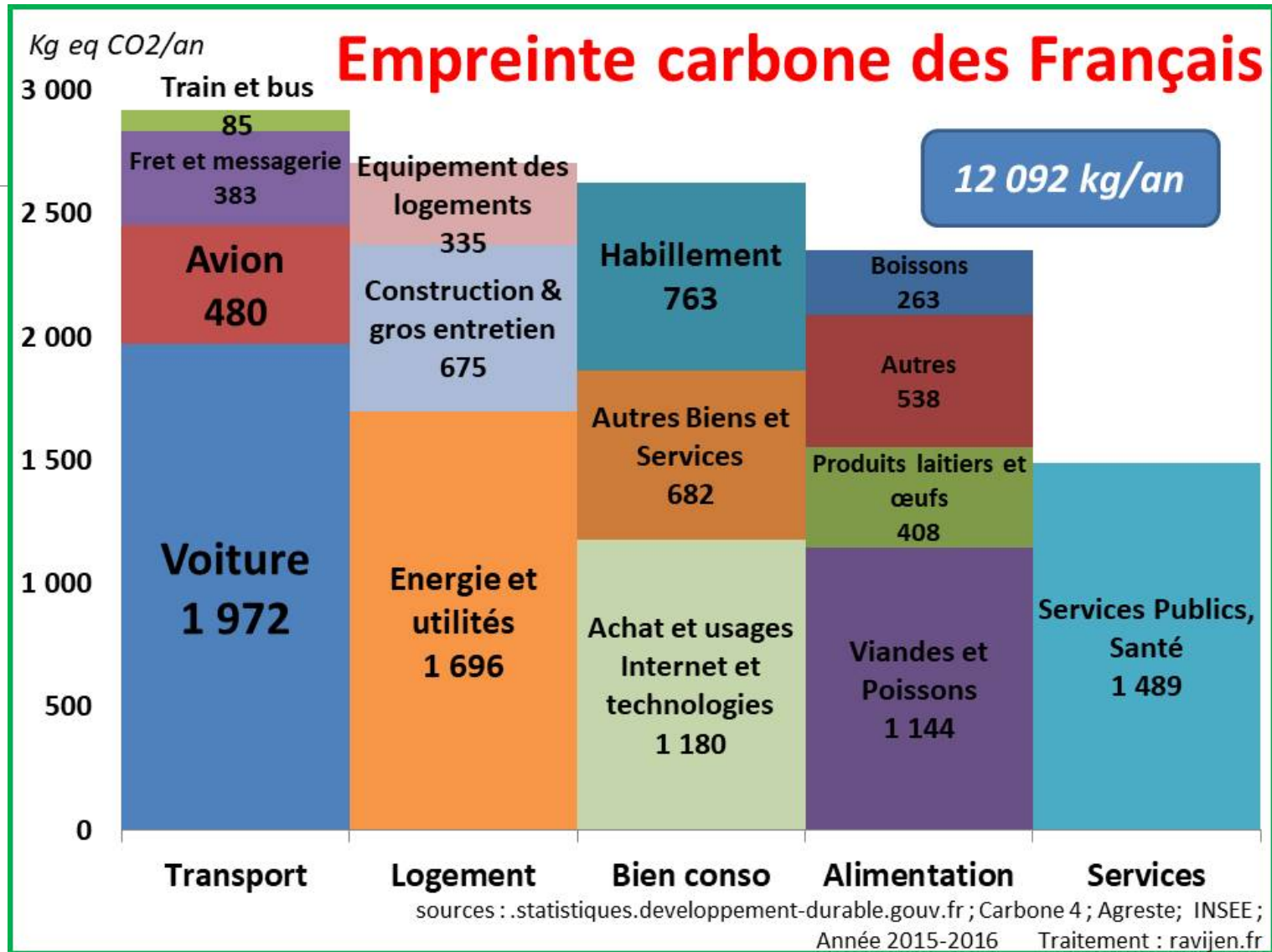
Impact des transports :  
Où fabrique-t-on nos composants électroniques, où les consomme-t-on ?

# Et en usage, quel coût pour l'environnement ?

---

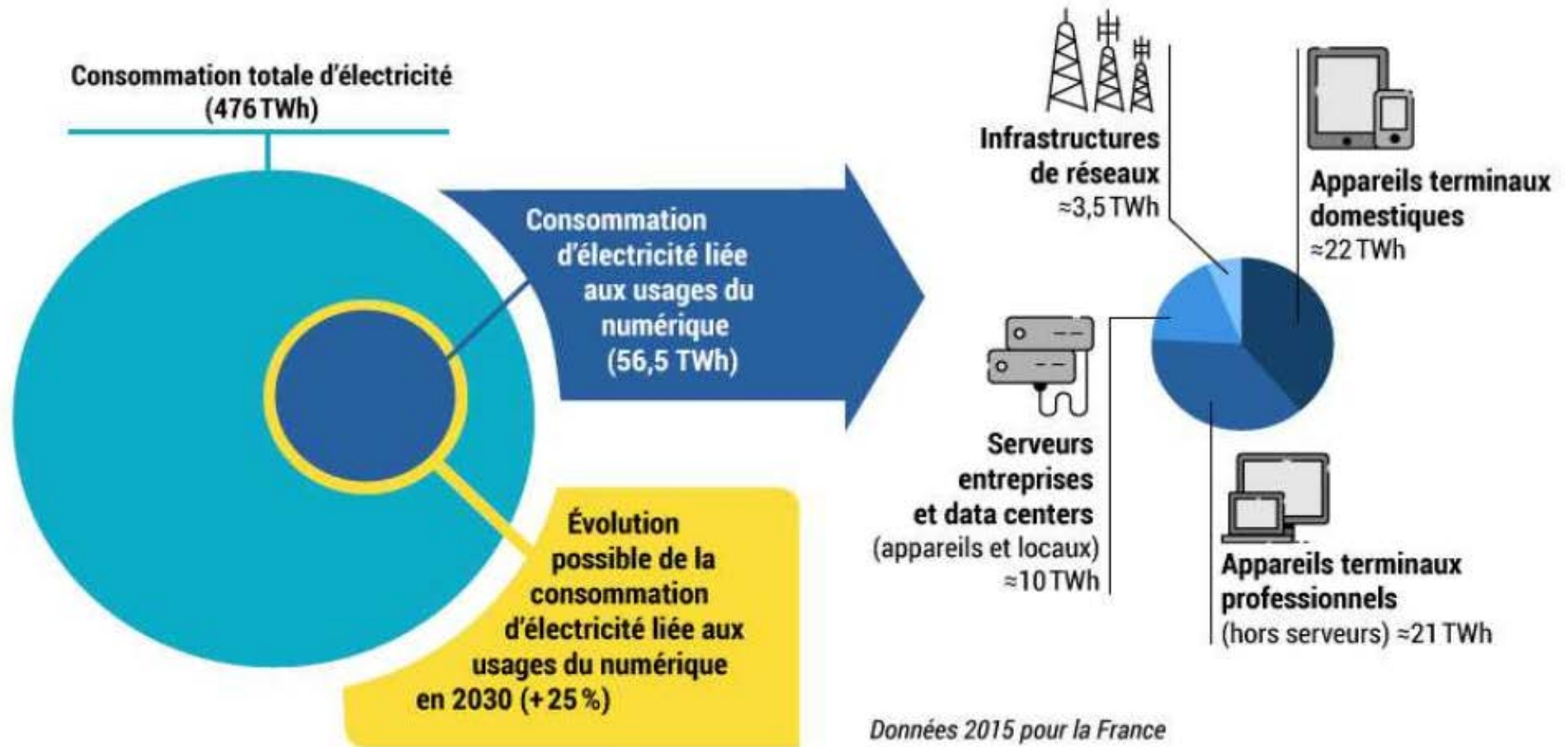
Pour cette phase du cycle de vie, il s'agit  
d'énergie consommée :  
on raisonne en équivalent CO<sub>2</sub>.

# La part des TIC dans l'empreinte carbone des français



Source : <http://ravijen.fr/?p=440> (données nationales 2015-16)

# La part des infrastructures dans la consommation d'énergie en 2015...



D'après la présentation « Numérique et énergie », avril 2019 Fabrice Flipo, Institut Mines-Telecom.

# Coût énergétique des TIC

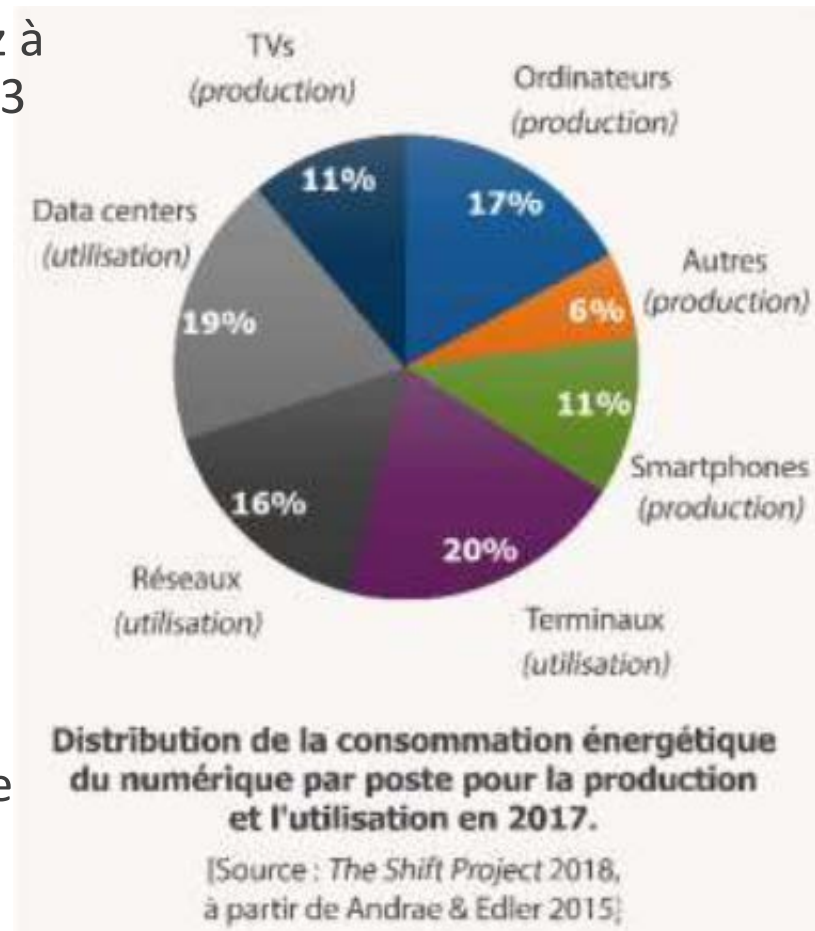
La part du numérique dans les émissions de gaz à effets de serre a augmenté de moitié entre 2013 et 2018.

La consommation énergétique mondiale a augmenté de 9% par an entre 2015 et 2020.

Principaux facteurs d'inflation :

- usages vidéo (skype, streaming, ...)
- multiplication des périphériques numériques

La phase de production des équipements a une part très significative de l'empreinte énergétique totale du numérique et des émissions de GES : environ 45% prévus pour 2020...



# Prévisions à l'horizon 2025

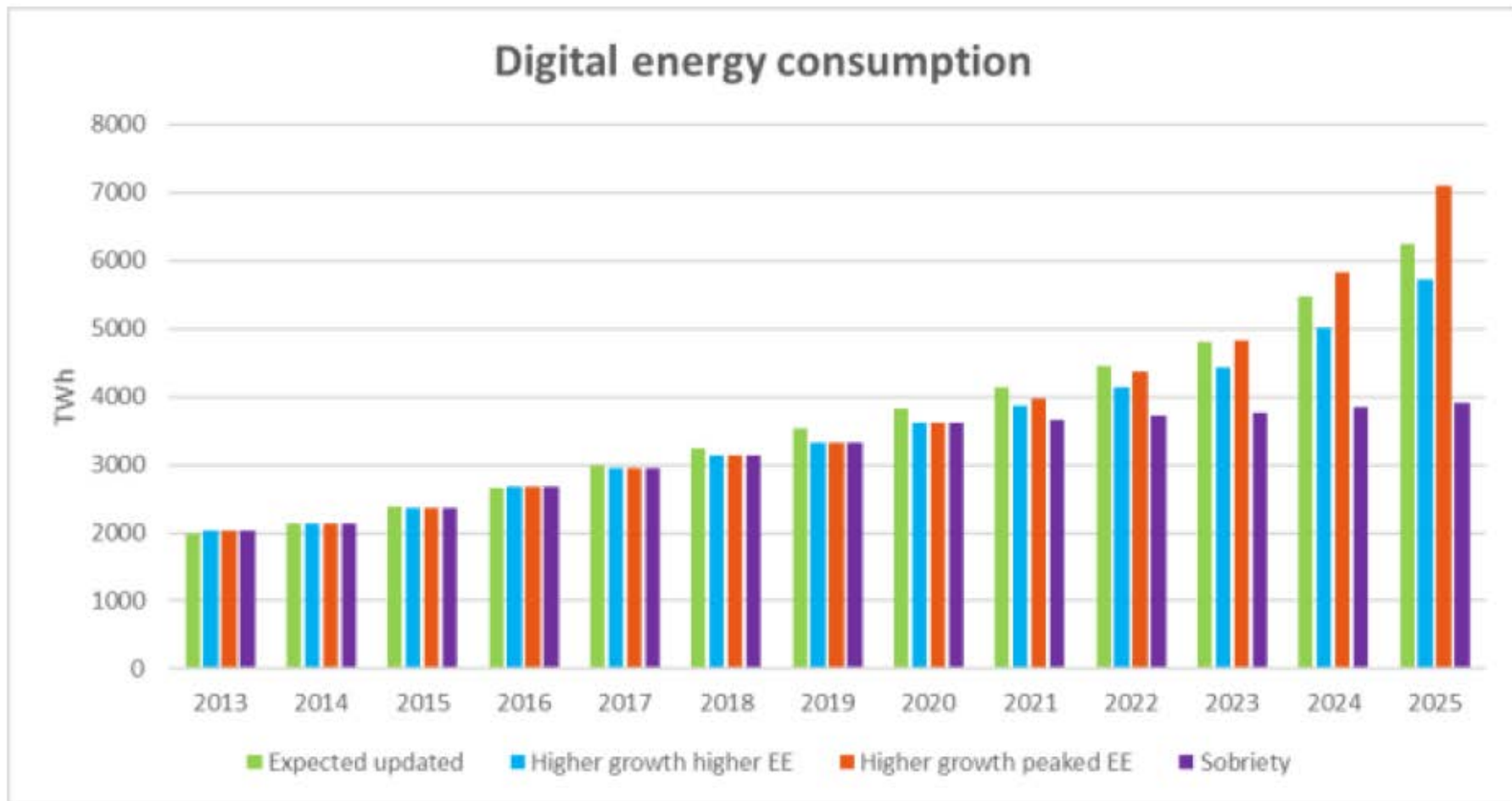


Figure 1 : Évolution 2013-2025 de la consommation énergétique du Numérique en TWh

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

Source : « Pour une Sobriété Numérique », rapport du Shift Project, 2018,  
d'après Andrae et Edler 2015.

# Centres de Données/ Centres de calcul

---

Data center : site physique regroupant des équipements constituant le système d'information de l'entreprise.

- Stockage et consultation de données

Centre de calcul/ferme de calcul : site physique groupant des calculateurs de façon à augmenter la puissance de calcul, la répartition des calculs et la disponibilité des serveurs.

- Calcul scientifique, finance
- Bitcoins !

([https://www.lemonde.fr/pixels/article/2017/10/11/le-bitcoin-en-cinq-questions\\_5199462\\_4408996.html](https://www.lemonde.fr/pixels/article/2017/10/11/le-bitcoin-en-cinq-questions_5199462_4408996.html))



# Data centers/Centres de calcul : Petite Histoire...

---

- 1999- 2000 : apparition des premiers centres de données.
- 2008 : apparition des Hyperscale (regroupent au moins 250 000 serveurs/centre), pour répondre aux besoins de google/amazon.
- Selon le rapport de GreenPeace «*Votre cloud est-il Net ?*» (2012) :
  - *Certains centres de traitement des données consomment autant d'électricité que 250 000 foyers européens.*
  - *Si le « cloud » était un pays, il se classerait (en 2012) au 5<sup>e</sup> rang mondial en termes de demande en électricité, et ses besoins devraient être multipliés par trois d'ici à 2020.*

Source : GreenPeace, rapport «*Votre cloud est-il Net ?*», avril 2012,  
<https://cdn.greenpeace.fr/site/uploads/2017/02/votre-cloud-est-il-net.pdf>

# Centre de Données : combien ?

---

- En 2014, on comptait 3 209 centres de données répertoriés dans le monde.
- En 2019, selon le site <https://www.datacentermap.com/> :
  - 4438 centres dans le monde, répartis dans 122 pays
  - 1756 aux USA
  - 149 en France

En 2018, cela représentait 1% de la demande mondiale en électricité.

N. Jones, « How to stop data centres from gobbling up the world's electricity : The energy-efficiency drive at the information factories that serve us Facebook, Google and Bitcoin », *Nature*, n° 561, 2018, p. 163-166

# Data centers/Centres de calcul : Ca chauffe !

---

Une bonne partie de l'énergie consommée sert à refroidir les machines...

- La conception et la situation du Centre sont importantes (placement des baies, mais aussi emplacement géographique pour la récupération de chaleur)

Il n'y a pas que les geek qui en parlent !

<http://www.construction21.org/france/>

- Possibilités pour limiter la température :
  - Rejet de la chaleur dans la nature
  - Récupérer des joules pour le chauffage
  - Limiter l'émission de chaleur
  - Calcul distribué plutôt que localisé (enjeux d'implémentation)

# Data centers/Centres de calcul : dissipation de la chaleur

---

Quelques exemples :

- Roubaix : 5 centres d' OVH (leader français de l'hébergement) sont refroidis par eau et contribuent à chauffer des bâtiments proches.
- Clichy : « *Global Switch* » chauffe une serre tropicale et aide les jardiniers à produire les fleurs de la ville.
- Marne-la-Vallée : Le réseau Dalkia de chauffage urbain de Paris-Val d'Europe récupère les calories d'un centre de données de la ZAC du Prieuré pour notamment chauffer un « centre aquatique intercommunal » et permettra à terme de chauffer divers bâtiments.
- Université paris-sud : le centre de calcul hébergé à l'IDRIS chauffe une partie du LIMSI.

# Et nos travaux de recherche ?

Entraîner un modèle de réseaux de neurones profond « à l'état de l'art » pour faire de la traduction, peut monter jusqu'à l'impact de la durée de vie de 5 voitures !

Les durées d'entraînement peuvent aller de quelques jours à plusieurs semaines.

Il faut choisir judicieusement son modèle.

Consumption	CO <sub>2</sub> e (lbs)
Air travel, 1 passenger, NY↔SF	1984
Human life, avg, 1 year	11,023
American life, avg, 1 year	36,156
Car, avg incl. fuel, 1 lifetime	126,000
<b>Training one model (GPU)</b>	
NLP pipeline (parsing, SRL)	39
w/ tuning & experimentation	78,468
Transformer (big)	192
w/ neural architecture search	626,155

Table 1: Estimated CO<sub>2</sub> emissions from training common NLP models, compared to familiar consumption.<sup>1</sup>

Source : Strubell *et al.*, Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP, 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, ACL 2019.

# Pas seulement dans le domaine de la langue...

---

Les réseaux de neurones convolutionnels (CNN), très utilisés depuis quelques années en traitement d'images car très précis ne sont pas moins énergivores.

Li *et al* en ont proposé une évaluation très détaillée, en fonction des étapes et des outils utilisés.

Source : Da Li *et al*, Evaluating the energy efficiency of deep convolutional neural networks on CPUs and GPUs, IEEE BDCloud-SocialCom-SustainCom 2016.

# Internet, télécommunications : état des lieux

---

Selon la Banque Mondiale, en 2016 :

- 3,2 milliards d'internautes dans le monde (1,1 milliards en haut débit)
- Taux d'équipement en téléphones portables dans les pays développés : 80% (principalement en 2G : pas d'usage d'internet possible).
- 60% de la population mondiale n'a pas accès au web.
- Les 20 premiers pays mondiaux sont les mieux dotés.

Selon le Shift Project, la 4G est la première technologie de réseau mobile en 2019 (3 milliards d'utilisateurs).

Source : Banque Mondiale, «Rapport sur le développement dans le monde 2016 : les dividendes du numérique », présenté à Washington en 2016.

<http://documents.worldbank.org/curated/en/527621468195004729/pdf/102724-WDR-WDR2016Overview-FRENCH-WebResBox-394840B-OUO-9.pdf>

# Internet, télécommunication : horizon 2025

---

Selon le rapport du Shift Project  
« pour une sobriété numérique », d'ici 2025 :

- 61% de la population mondiale aura accès à l'internet mobile (+50%)
- la 4G sera encore la première technologie de réseau mobile.
- l'essor de la 4G coïncidera avec la quasi-disparition des réseaux 2G, y compris dans les pays en voie de développement.
- Les satellites en orbites basses devraient également mis en service dans les 10 ans, améliorant la couverture des zones rurales.



# Que se passe-t-il sur Internet en une minute ?

## 2018 *This Is What Happens In An Internet Minute*



## 2019 *This Is What Happens In An Internet Minute*



1 mail = 10g de CO2

Source : <https://www.visualcapitalist.com/what-happens-in-an-internet-minute-in-2019/>

# Les Emails

---

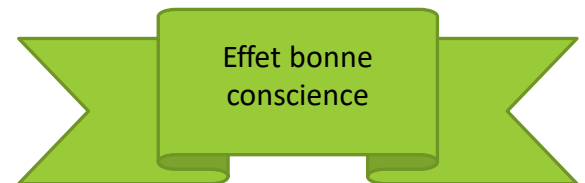
Nos courriers électroniques, selon Audrey Garric pour Le Monde :

- Envoi des mails
  - 247 milliards de mails envoyés en 2009 dans le monde.
  - En France, chaque salarié d'une entreprise de 100 personnes reçoit en moyenne 55 mails/jour et en envoie 33.  
En moyenne, par an, selon l'ADEME, cela fait donc : 13,6 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> par entreprise de 100 personnes, soit...  
13 allers-retours Paris-New York !
- Stockage dans les data centers !
- Impression des mails (!)  
5 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> par entreprise pourraient être économisées en réduisant les impressions de 10%.

# Influence du consommateur : quelques bonnes pratiques.

---

- Limiter : le nombre de destinataires, le poids (documents joints, signature)
- Transmettre les données volumineuses via un site de dépôt (l'université en a un ou bien <https://wetransfer.com/>) ou physiquement (clé usb)
- Se désabonner des mailing-lists parasites
- Préférer l'envoi via PC portable, tablette ou smartphone...
- Se déplacer dans le bureau d'à côté !
- Bien organiser sa boîte mail :
  - Conserver seulement le nécessaire
  - Trier/éliminer au fur et à mesure (utiliser filtres et dossiers)
- Réduire la périodicité de réception des mails



# Recherche d'informations en ligne

---

- En 2017, un internaute français effectuait en moyenne 134 recherches/mois, soit 4,5 recherches/jour (environ 1600/an)
- 2 recherches sur Google pèsent environ 15 grammes de CO<sub>2</sub> soit... de quoi faire bouillir l'eau d'une bouilloire pour une tasse de thé !
- 9,9kg équivalent CO<sub>2</sub> /an/internaute selon l'ADEME

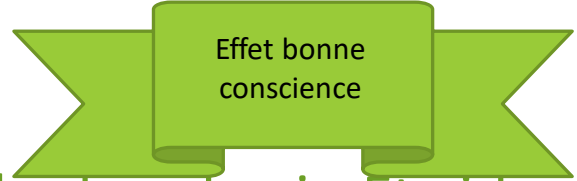
Sources :

<https://www.consoglobe.com/un-email-une-recherche-internet-cest-combien-de-co2-cg>  
[https://www.liberation.fr/terre/2013/11/03/co2-une-recherche-google-egale-une-tasse-de-the\\_944256](https://www.liberation.fr/terre/2013/11/03/co2-une-recherche-google-egale-une-tasse-de-the_944256)

# Mails et recherches : quelques bonnes pratiques.

---

- Utiliser un navigateur léger (Opera, Flock, Lynx – mode texte seulement , qwant lite...)
- Choisir un moteur de recherche « éthique »  
<https://reporterre.net/Il-n-y-a-pas-que-Google-dans-la-vie-Et-si-l-on-changeait-de-moteur-de-recherche> (lilo, ecosia,...)
- Utiliser des mots-clés ciblés, taper directement l'URL, utiliser les favoris
- Ne pas laisser la connexion branchée 24h/24
- Savez-vous ce qui consomme le plus dans une maison (PC, TV, box) ?

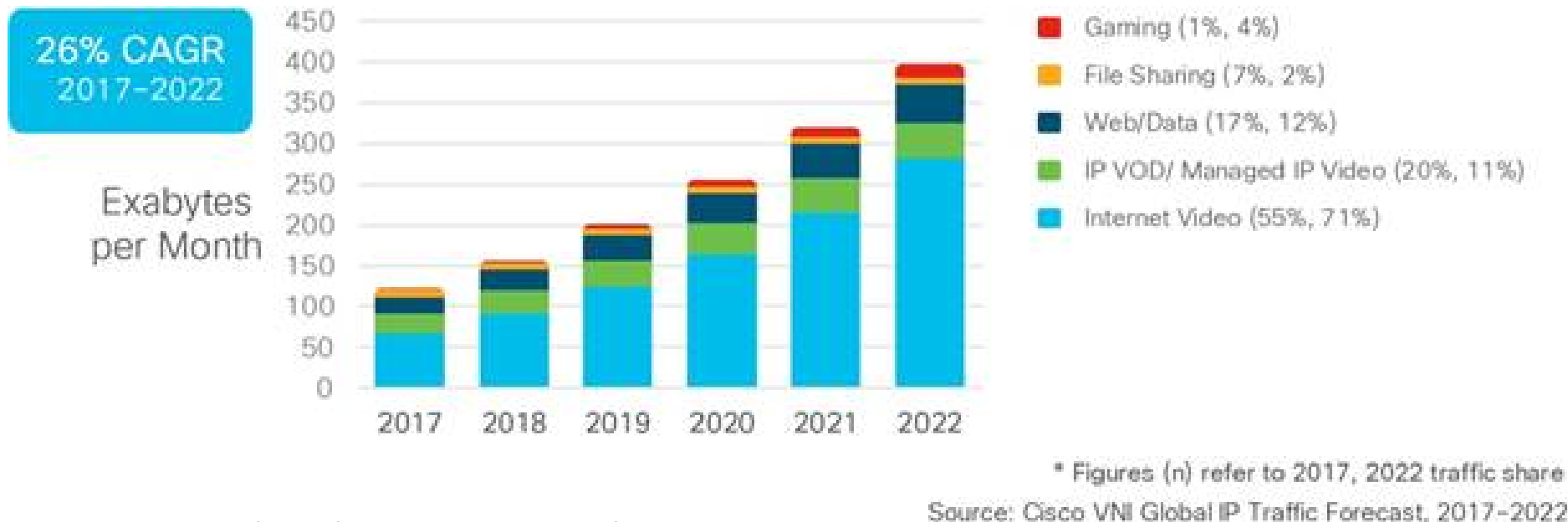


Effet bonne  
conscience

---

Mais les mails sont presque négligeables,  
dans le trafic des données...

# Traffic de données, les prévisions selon CISCO...



Croissance régulièrement revue à la hausse.

Son rythme dépasse celui des gains d'efficacité énergétique des équipements, des réseaux et des data centers

L'essentiel de la croissance de ces flux de données est attribuable aux services fournis par les « GAFAM » (jusqu'à 80% du trafic écoulé par certains opérateurs)

# Streaming...

---

Selon une étude de GreenPeace (janvier 2017) :

- en 2015, le streaming vidéo a capté 63 % du trafic web mondial.
- les services de Netflix sont en pleine expansion et ce chiffre devrait atteindre 80 % en 2020.
- En moyenne, les français ont passé, en 2017, 4h/jour sur leurs smartphones et PC contre 3h51 pour la télévision.

Sources :

<https://www.greenpeace.fr/il-est-temps-de-renouveler-internet/>

<https://www.sudouest.fr/2019/05/17/smartphones-emails-streaming-quel-est-l-impact-environnemental-de-notre-consommation-numerique-6089552-706.php>

<http://www.lefigaro.fr/secteur/high-tech/2016/11/22/32001-20161122ARTFIG00100-en-2017-les-francais-passeront-4-heures-par-jour-sur-leurs-smartphones-et-leurs-pc.php>



# Streaming :

## Quelques bonnes pratiques.

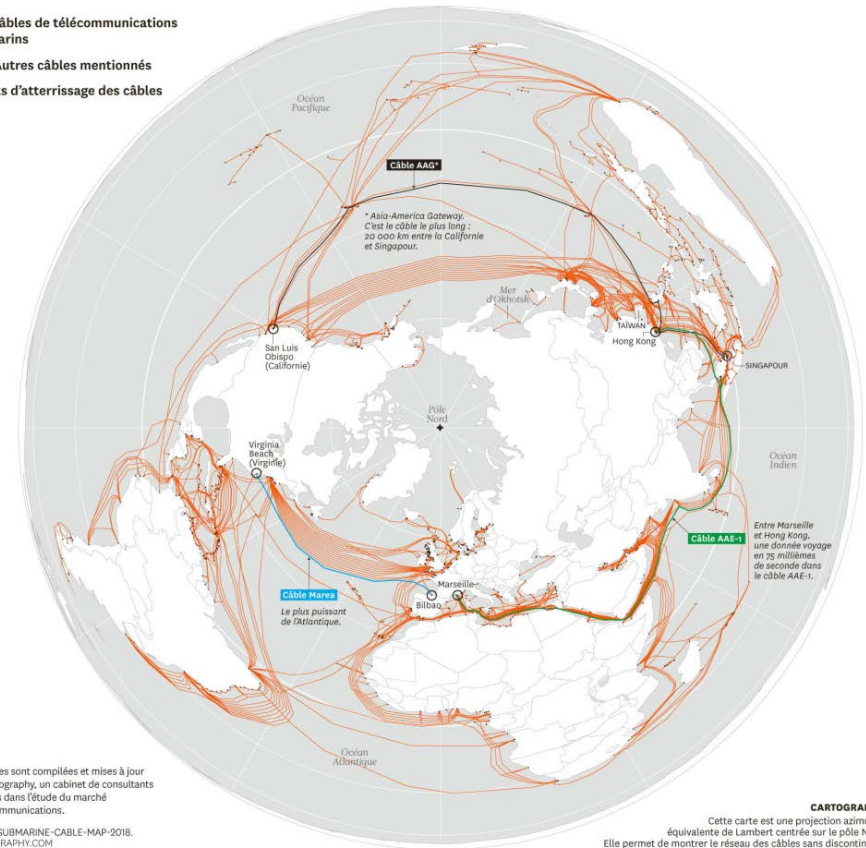
---

- Stopper la pub des sites web.
  - avec un bloqueur (<https://adblockplus.org/fr/>)
  - En trompant le navigateur  
(<https://www.greenit.fr/2015/09/15/web-eliminer-definitivement-les-publicites/>)
- Télécharger avec modération
- Désactiver l'auto-play et tout ce qui procède de la captation d'attention (un plugin possible : Minimal, <https://minimal.aupya.org/>).
- Diminuer la résolution des vidéos pour le visionnage.
- Limiter le visionnage et l'écoute en streaming.

# Réseau : Infrastructures de transport.

- 99 % du trafic intercontinental passe par des câbles de télécommunications posés au fond des océans.
- Une infrastructure critique, tant techniquement que politiquement.
- 250 câbles en 2013, 448 câbles sous-marins en 2018 (1,2 millions de km).
- En moyenne, 100.000 km de câbles posés par an.

● Câbles de télécommunications sous-marins  
● Autres câbles mentionnés  
● Points d'atterrissage des câbles



Sources : Veille Carto, Institut Français de la Mer & Cartographie Numérique (Didier Mallarino)

# Et mon smartphone dans tout ça ?

---

Pourquoi ma batterie est-elle encore à plat ?

Un rapide sondage : combien de fois rechargez-vous votre mobile chaque semaine ?

# Qu'est-ce qui vide la batterie de mon mobile ?

---

Avec le développement de l'internet mobile : la transmission de données sans fil représente maintenant une partie importante de la consommation d'énergie des smartphones !

A partir de 2003 : apparition des applications 3D, très gourmandes en énergie.

Augmentation régulière du nombre de capteurs et d'applications disponibles sur les appareils.

Sources :

thèse Yu Xiao, 2011,

<https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/5096/isbn9789526044309.pdf?sequence=1>

thèse Gianpaolo Perrucci, 2009,

[http://vbn.aau.dk/files/19089212/PhD\\_Thesis\\_GianPaoloPerrucci.pdf](http://vbn.aau.dk/files/19089212/PhD_Thesis_GianPaoloPerrucci.pdf)

# La puissance de calcul ne fait pas tout...

---

On se reposait sur l'augmentation régulière de puissance pour le développement des applications

## MAIS

Fin de la loi de Moore annoncée en 2016 (Huffingtonpost, octobre 2016)

[http://www.huffingtonpost.fr/2016/03/28/loi-de-moore-fin-smartphones-ordinateurs-puissance-bonne-nouvelle\\_n\\_9547240.html](http://www.huffingtonpost.fr/2016/03/28/loi-de-moore-fin-smartphones-ordinateurs-puissance-bonne-nouvelle_n_9547240.html)

- La puissance de calcul augmente moins vite qu'avant
- Le « vrai » problème devient l'énergie disponible et la batterie

# Nouvelle tendance du développement mobile...

---

IL DEVIENT INDISPENSABLE D'ECONOMISER L'ENERGIE  
(*i.e.* les batteries)

- les puces électroniques contiennent maintenant de nombreux circuits dédiés à des tâches particulières (GPS, antenne, gestion de la 3D, etc)
- But : ne pas utiliser systématiquement toute la puissance du processeur

Des recherches sont menées en parallèles pour améliorer les limites de la capacité de calcul (*e.g.* mémoire, ...)

# Un autre petit sondage rapide...

---

Selon vous, quel est le délai de remplacement de nos téléphones mobiles ?

# Téléphones mobiles : Quelques bonnes pratiques.

---

## Matériel

- Choisir des matériels adaptés à ses besoins, ayant un écolabel
- Comparer les consommations d'énergie (taille d'écran)
- Conserver aussi longtemps que possible

## Énergie

- Mettre en veille automatique/arrêter
- Désactiver ce qui n'est pas utile
- Diminuer la luminosité



# Téléphones mobiles : Quelques bonnes pratiques.

---

## Applications, utilisation

- N'installer que le nécessaire
- Désactiver tout ce qui peut l'être
- Préférer les environnements graphiques légers (pas d'effets graphiques)
- Faire le ménage parmi les fichiers, les photos, les applis

# Les TIC, c'est aussi... du code !

---

- Des millions d'applications, de logiciels de formats différents : distribué/web/cloud, virtualisé, sur le store (Apple, Play), réseau (Software Defined Network & Network Function Virtualization)

## **VOLUMES REPRÉSENTÉS.**

- Plus d'un million de logiciels par store
- Environ 30 applis par smartphone
- Une application sur 4 non utilisée
- 59 % des applications utilisées une seule fois
- Application simple : une centaine de lignes de code
- Android : 10 millions, Noyau Linux : 15 millions
- Windows 7 : 40 millions, Office 2013 : 45 millions
- Services Web Google : 2 milliards

# Il y a aussi une face cachée...

---

Les impacts indirects :

- effet rebond
- effet d'accélération

# Effet rebond/ Paradoxe de Jevons...

---

Augmentation de consommation liée à la réduction des limites à l'utilisation d'une technologie.

Corollaire : les économies d'énergie ou de ressources initialement prévues par l'utilisation d'une nouvelle technologie sont partiellement ou complètement compensées à la suite d'une adaptation du comportement de la société

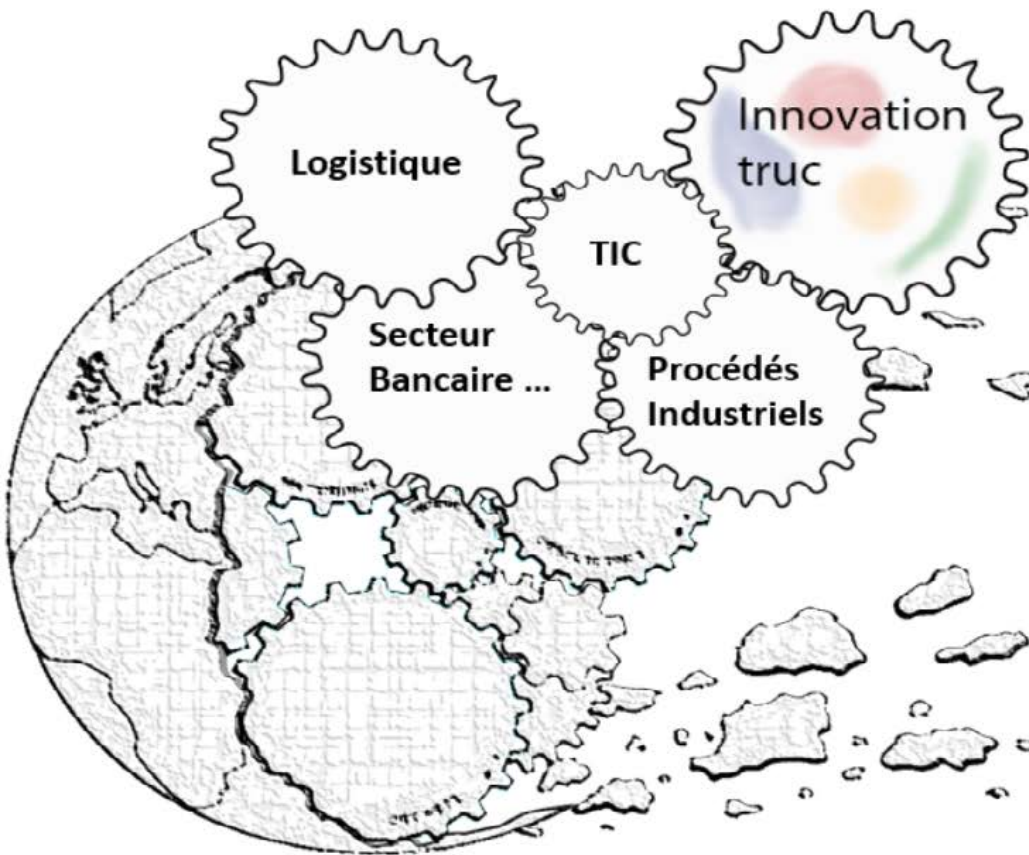
# Effet rebond...

---

En clair : ce n'est pas parce que ça impacte deux fois moins qu'on peut en fabriquer/utiliser deux fois plus !



# Effet d'accélération...



1 – ajoute

- De la **dépendance**
- De la **complexité**

2 – **accélération**

- Des flux (de marchandises, de personnes, financiers)
- Des procédés de production
- De **l'obsolescence directe** (équipements numériques eux-même)
- De **l'obsolescence indirecte**