

# Impact environnemental du numérique : focus sur la 5G

Emmanuelle Frenoux,  
ECOINFO, LIMSI-CNRS, Polytech Paris-Saclay  
Emmanuelle.Frenoux@limsi.fr



# Combien d'objets connectés dans le monde en 2018 ?

---

D'après le ShiftProject, en 2018 :

- Un américain possédait environ 10 périphériques numériques connectés et a consommé 140 Go de données/mois
- Un indien possédait 1 seul périphérique numérique connecté et a consommé 2Go de données/mois.

Les projections faites en 2015 pour les habitants de l'OCDE ne sont pas optimistes : de plus en plus d'objets connectés/intelligents vont faire leur apparition dans nos foyers.

Sources :

<https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf>

<https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/15625-Connected-Living-Report.pdf>

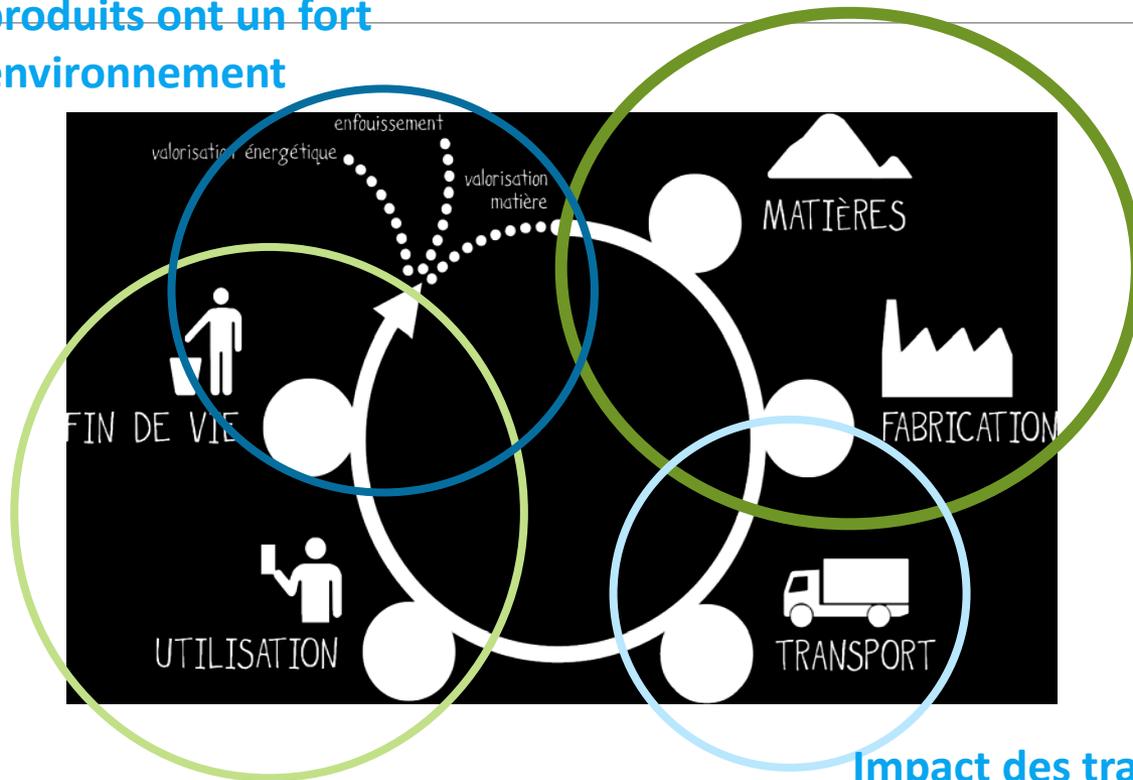
# Qu'est-ce que cela implique ?

---

- Fabrication des terminaux :
  - Extraction et traitement de matières premières
  - Transport des matières premières et produits finis
- Fabrication et installation des infrastructures de télécommunication
- Fabrication et installation des centres de données et de calcul
- Consommation d'énergie liée à la fabrication et aux usages
- DEEE

# Cycle de vie des produits : spécificités de l'outil informatique

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 ?

# Les principaux métaux des TIC

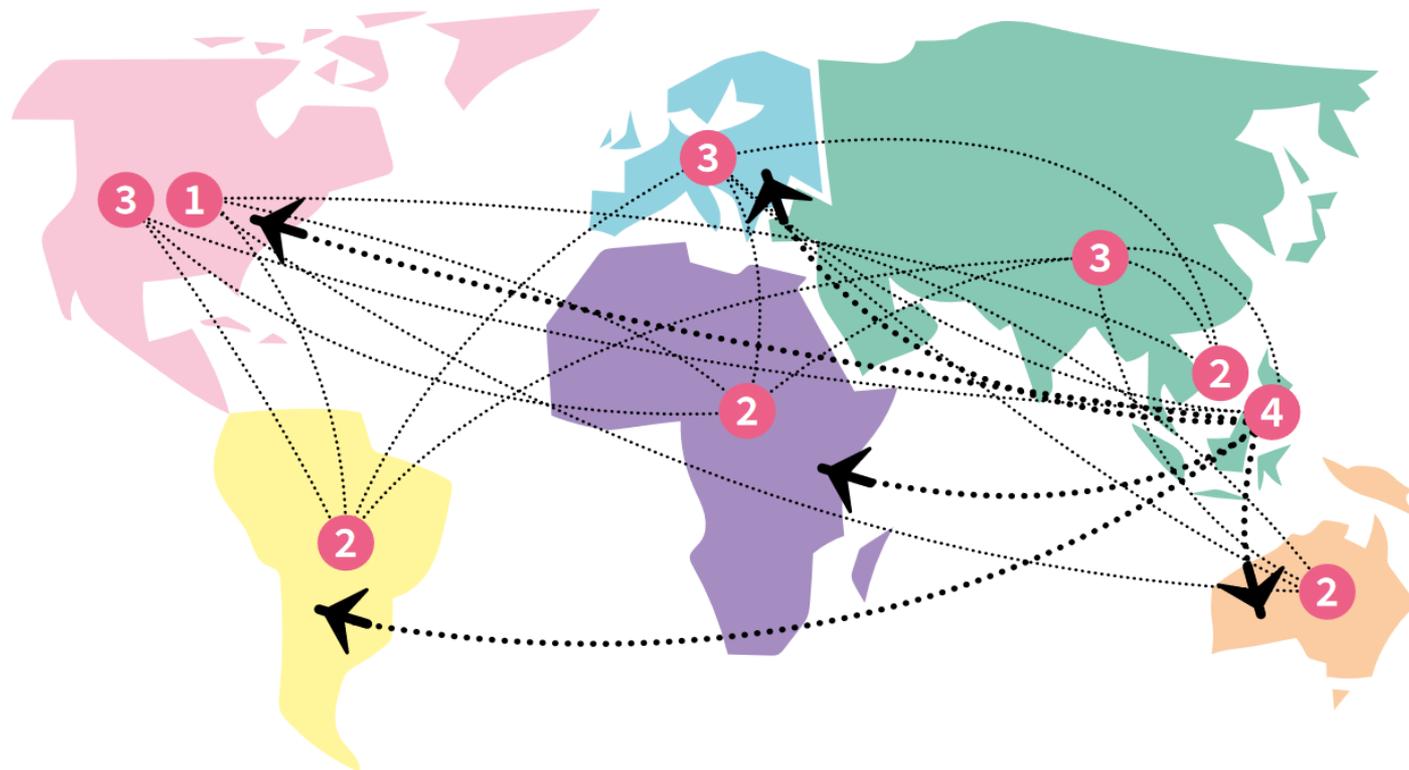
Groupe → ↓ Période	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 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 (Terres rares)		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												

	Conducteurs, contacteurs, interrupteurs		Soudures		Optoélectronique
	Batteries		Condensateurs		Divers (autres)
	Retardateur de flamme		Divers (précieux)		Autres

Source : Philippe Bihoux

[https://ecoinfo.cnrs.fr/wp-content/uploads/2015/04/avril\\_2015\\_conference\\_ecoinfo\\_cnrs\\_métaux\\_dans\\_les\\_tic-img800q90.pdf](https://ecoinfo.cnrs.fr/wp-content/uploads/2015/04/avril_2015_conference_ecoinfo_cnrs_métaux_dans_les_tic-img800q90.pdf)

# QUATRE TOURS DU MONDE POUR FABRIQUER UN SMARTPHONE



**1. Conception** le plus souvent aux États-Unis

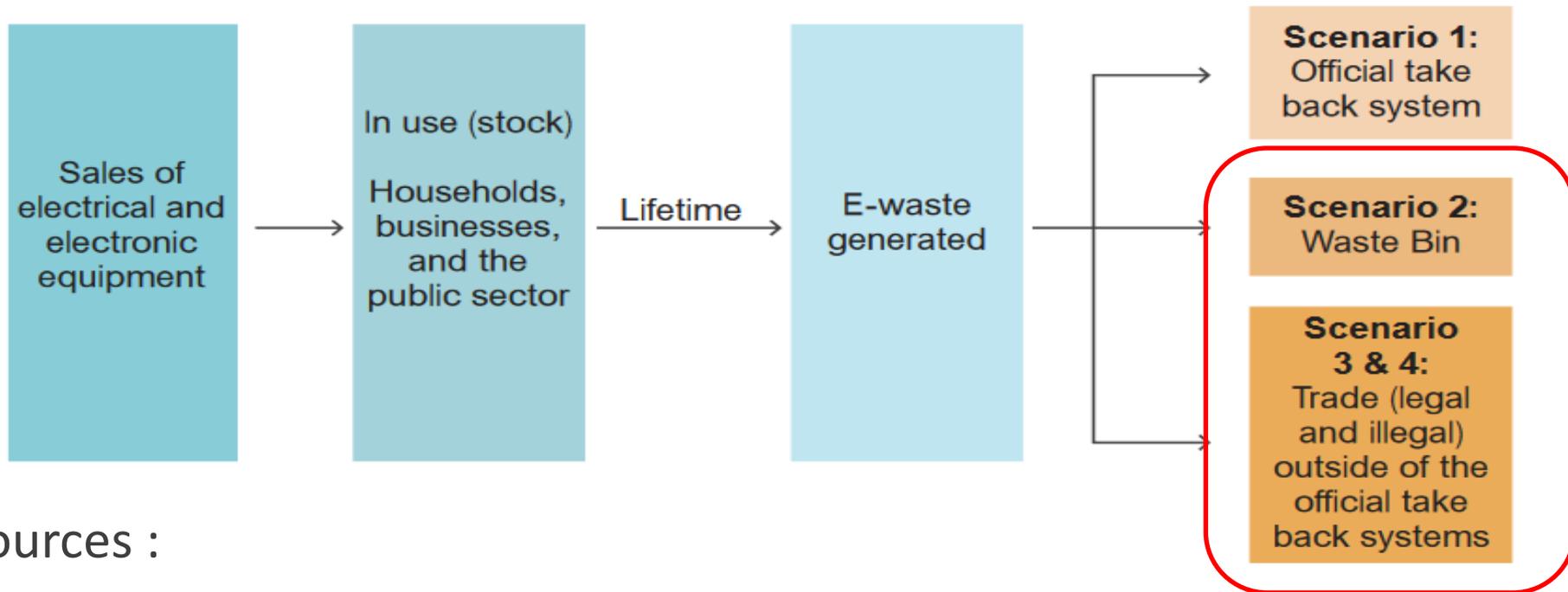
**2. Extraction et transformation des matières premières** en Asie du Sud-Est, en Australie, en Afrique centrale et en Amérique du Sud

**3. Fabrication des principaux composants** en Asie, aux États-Unis et en Europe

**4. Assemblage** en Asie du Sud-Est

**Distribution** vers le reste du monde, souvent en avion.

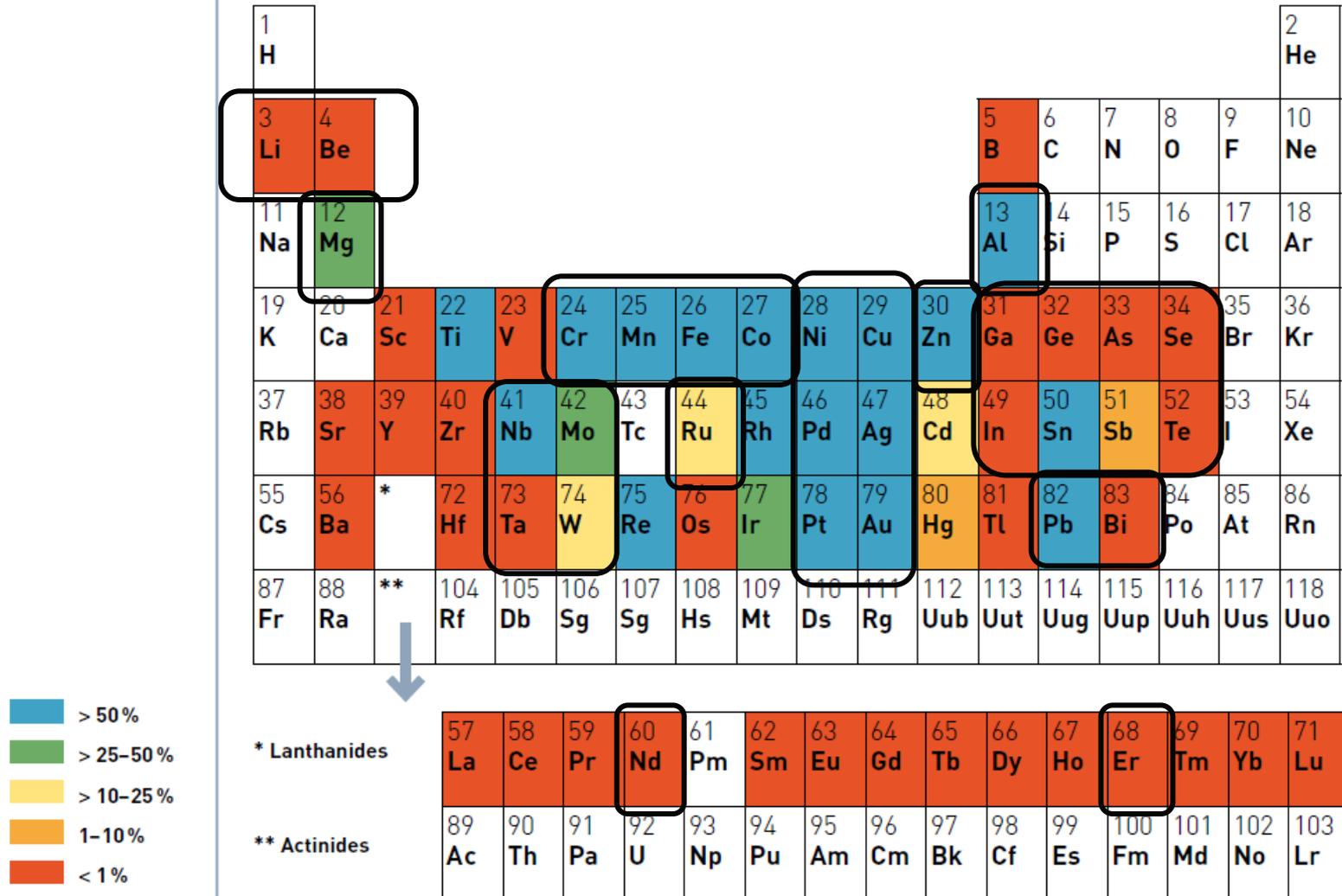
# Recyclage des déchets électroniques : Peut mieux faire !



Sources :

Baldé, C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J. (2015),  
The global e-waste monitor – 2014, United Nations University, IAS –  
SCYCLE, Bonn, Germany. Dernière mise à jour : 2018

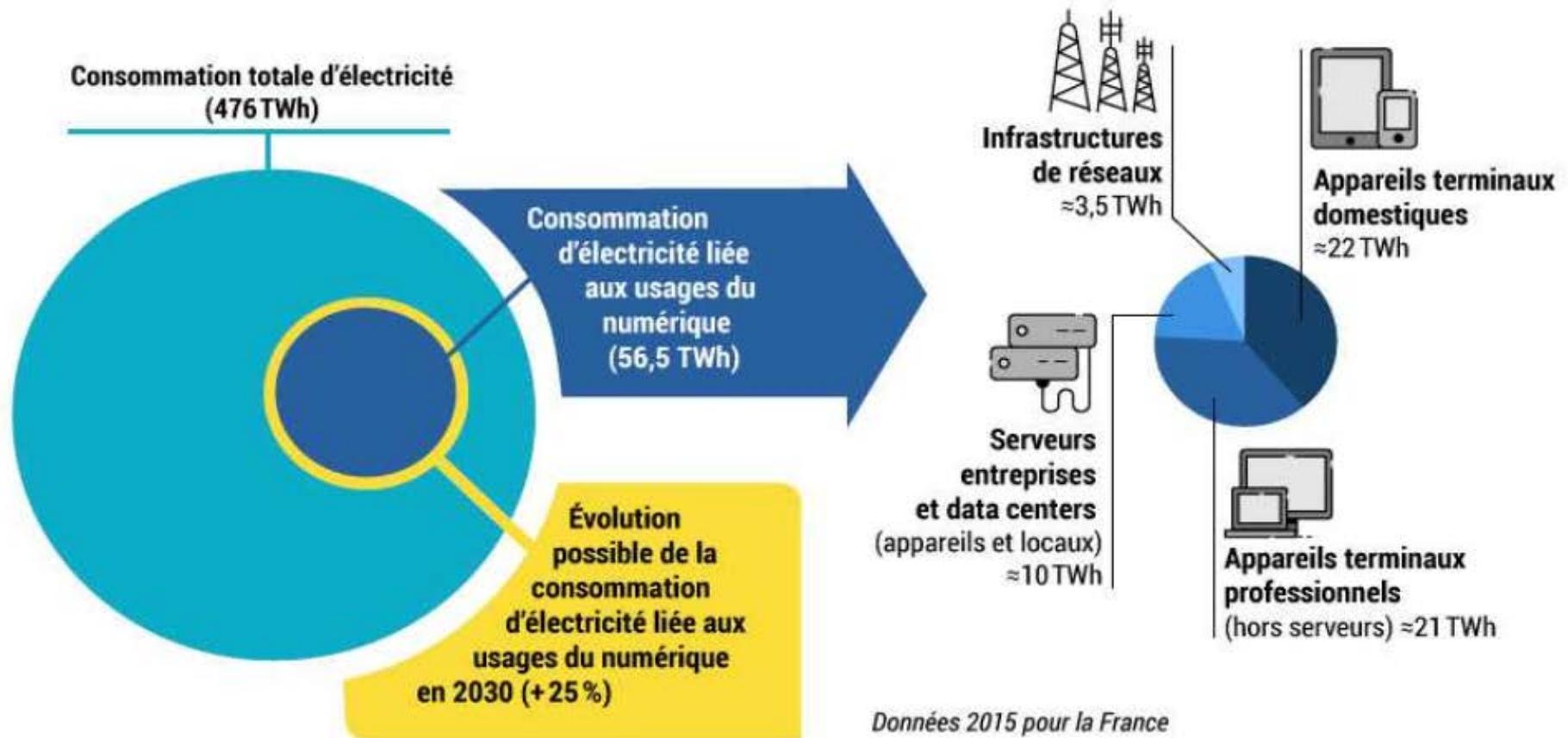
# Recyclage vs composants des TIC...



Source : Recycling Rates of Metals, A Status Report. UNEP.

[http://www.resourcepanel.org/file/381/download?token=he\\_rldvr](http://www.resourcepanel.org/file/381/download?token=he_rldvr)

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



# Data Centers : historique

---

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.

Enjeux environnementaux :

- Fabrication
  - construction des locaux
  - fabrication du matériel informatique
  - câblage, fibre
  - alimentation
- Consommation d'énergie
- Dissipation de chaleur

# Combien de data centers dans le monde ?

---

En 2019, selon le site <https://www.datacentermap.com/>

- 4438 dans le monde, répartis dans 122 pays
  - 1756 aux USA
  - 149 en France

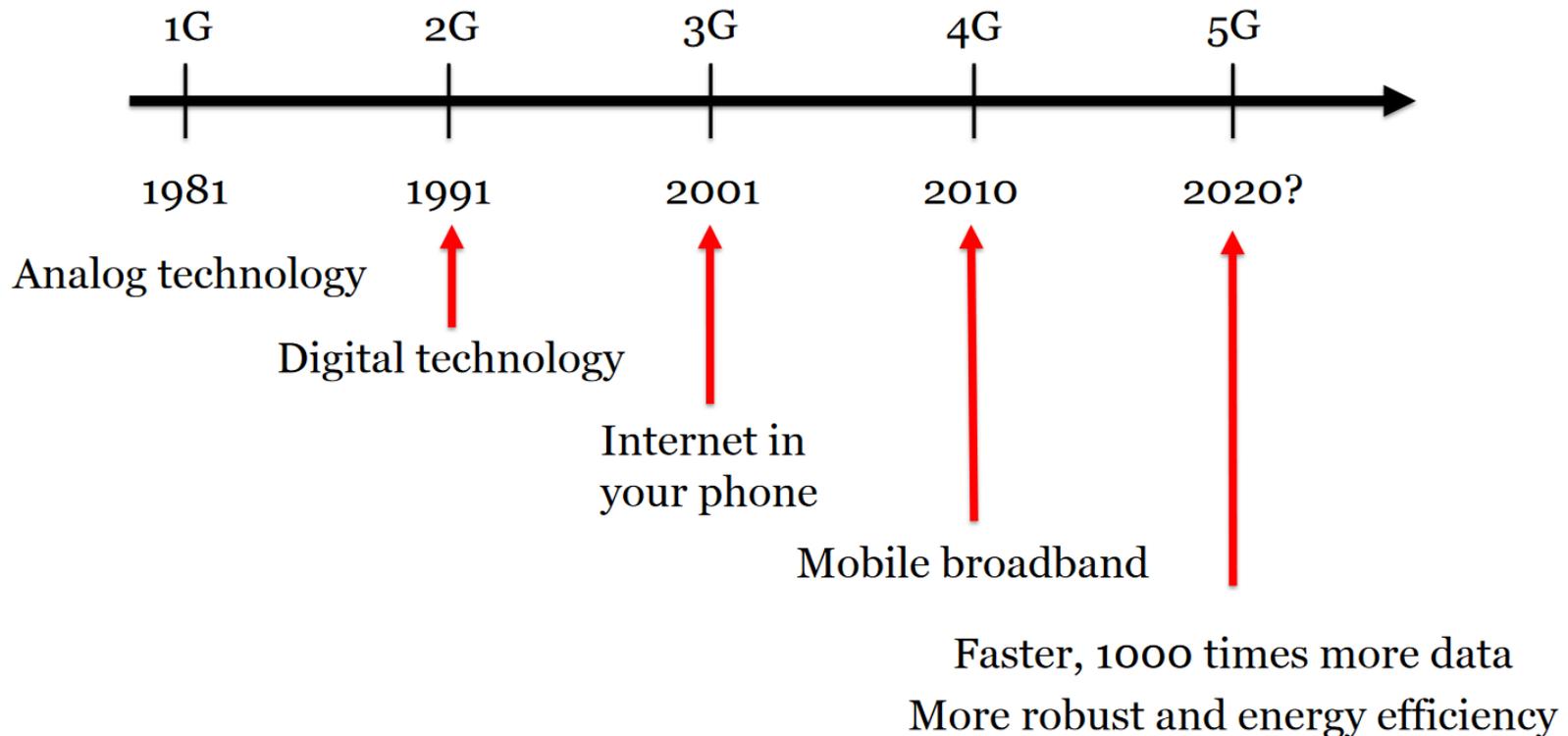
En 2018, cela représentait 1% de la demande mondiale en électricité.

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

# Bientôt la 5G...

5G pour 5<sup>ème</sup> Génération (environ une tous les 10 ans).

## Generations of cellular technology



# Bientôt la 5G...

---

Portée par la Chine.

Contraintes :

- Interopérable avec les systèmes antérieurs, donc les antennes 4G ne seront pas démontées.
- Efficacité énergétique des transmissions de données ET mode basse consommation/veille en l'absence de données à transmettre (nouveau)

Objectif affiché pour la 5G : être 1000 fois plus performante que la 4G de 2010 pour supporter l'augmentation exponentielle du trafic.

# Comment augmente-t-on la capacité de trafic de données ?

---

Calcul du trafic de données dans un réseau cellulaire :

$$\underbrace{\text{Capacité}}_{\text{Bit/s par km}^2} = \underbrace{\text{densité\_de\_mobiles}}_{\text{mobiles/km}^2} * \underbrace{\text{efficience\_spectrale}}_{\text{Bit/s/Hz/mobile}} * \underbrace{\text{spectre\_disponible}}_{\text{en Hz}}$$

Comment multiplier la capacité par 1000 ?

- augmenter la densité de téléphones mobiles
- améliorer l'efficience spectrale
- Augmenter la taille du spectre disponible

Source : [http://www.commsys.isy.liu.se/~ebjornson/bjornson\\_popularscience\\_2017.pdf](http://www.commsys.isy.liu.se/~ebjornson/bjornson_popularscience_2017.pdf)

# Quels usages pour la 5G ?

---

Usages prévus par le standard :

- Enhanced Mobile Broadband : moins de latence, meilleur débit et plus de capacités que la 4G (transit des données de préférence en local)
- Ultra-Reliable Low-Latency Communications : robustesse dans l'échange de données, pas de perte de connection
- Massive Machine-Type Communications : destiné à l'IoT (véhicules connectés, drones, réseaux de capteurs, ...)

SEUL LE PREMIER USAGE EST CONCERNE PAR LE DEPLOIEMENT ACTUEL.

On peut anticiper que de nouvelles applications nécessitant beaucoup de bande passante seront proposées : vidéo ultra-haute définition, jeu en ligne, véhicules intelligents, internet tactile (applications en médecine).

# La 5G, comment ça marche ?

---

- densification du réseau :
  - augmentation du nombre d'antennes
  - réduction de la portée des antennes
- augmentation du débit :
  - utilisation de bandes de fréquences inutilisées (mmWave cellular)
  - augmentation des bandes de fréquences (donc de la bande passante et de l'efficacité énergétique)
  - utilisation d'antennes MIMO (Multiple Input, Multiple Output) qui permettent un débit plus élevé
- en intérieur, utilisation d'ondes LiFi (Visible Light Communications) car les ondes de la 5G ne passent pas les murs.
- A plus long terme : Device-to-Device (D2D) communications (communication directe entre les équipements du réseau, sans station).

# La 5G, oui, mais...

---

Les antennes 5G actuelles consomment plus que les antennes 4G

Il faut plus d'antennes car les ondes sont courtes

Il faut fabriquer du nouveau matériel pour les infrastructures

On prévoit un impact sur la production des appareils, notamment une augmentation des ventes de smartphones.

Les usages nécessiteront plus de data centers

Il faudra un téléphone compatible (donc mise au rebut des téléphones 4G fonctionnels)

Début de déploiement en 2020, mais... en février 2020, l'ANSES n'a pas fini l'étude sanitaire permettant de cerner d'éventuels effets sur la santé...

# Quelques sources complémentaires...

---

Tribune de Hugues Ferreboeuf et Jean-Marc Jancovici dans Le Monde :

<https://jancovici.com/publications-et-co/articles-de-presse/faut-il-faire-la-5g/>

Dossier de Reporterre sur la 5G :

- <https://reporterre.net/Plongee-dans-l-univers-de-la-5G-merveille-ou-cauchemar>
- <https://reporterre.net/La-5G-des-frequences-des-antennes-et-des-craintes>
- <https://reporterre.net/La-5G-pactole-ou-fantasme-economique>
- <https://reporterre.net/Avec-la-5G-demain-tous-surveilles>
- <https://reporterre.net/La-5G-ignore-les-enjeux-ecologiques>
- <https://reporterre.net/La-5G-se-deploie-alors-que-ses-effets-sur-la-sante-ne-sont-pas-evalues>

Emission La Terre au Carré consacrée à la 5G le 26 février 2020 :

<https://www.franceinter.fr/emissions/la-terre-au-carre/la-terre-au-carre-26-fevrier-2020>