

# LA PLACE DU NUMÉRIQUE DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Panorama

Pr. Gilles GUERASSIMOFF

Centre de Mathématiques Appliquées – Mines Paris – PSL

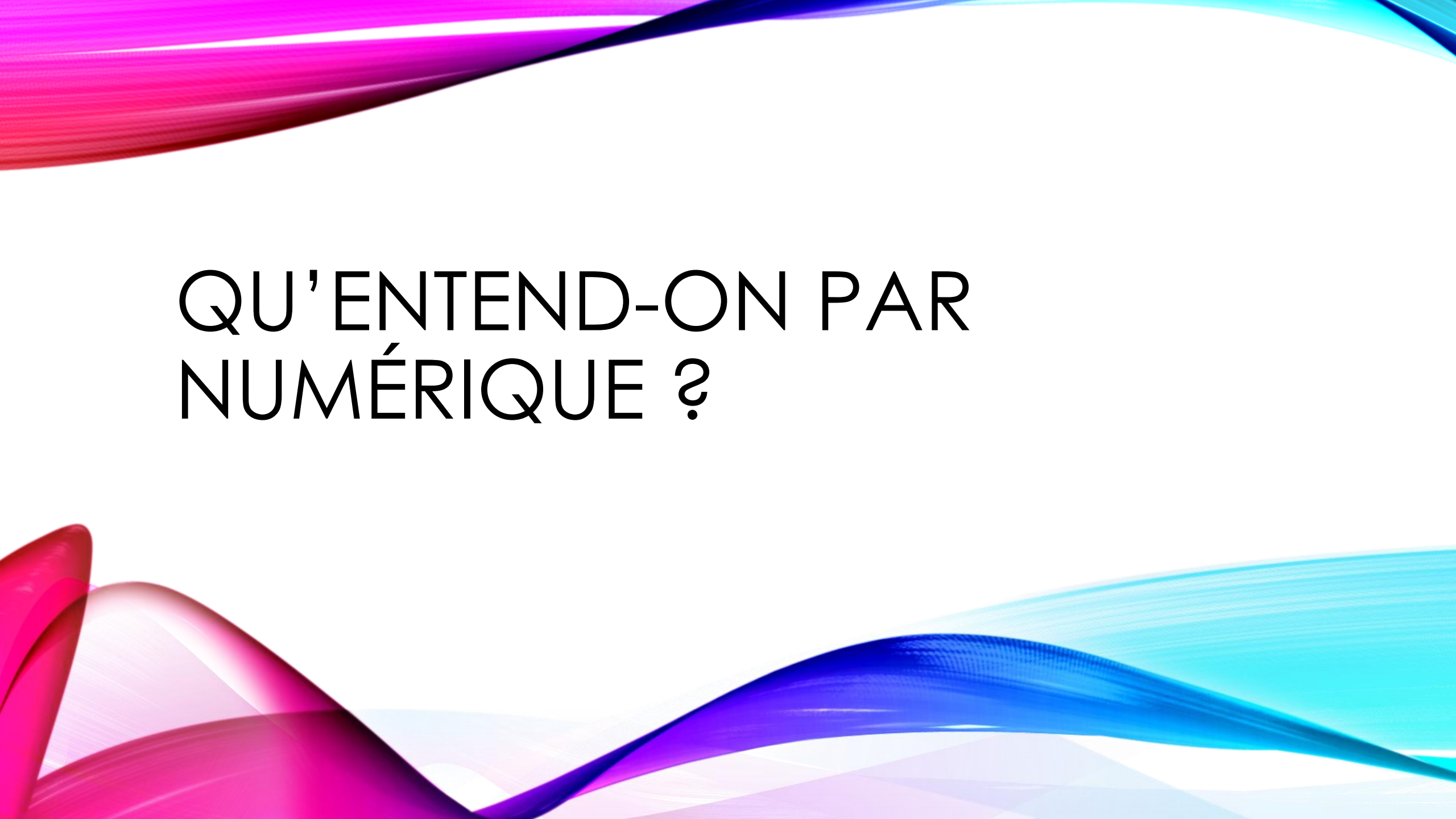
Séminaire TTI.5 “Numérique société et transition”

18-11-2022

# PLAN DE LA PRÉSENTATION

- Qu'entend-on par numérique ?
  - Chiffres clés
  - Les technologies
- Quelle place dans la transition ?
  - Usages
  - Bonnes pratiques
- Quels risques et limites ?
  - Ressources et matériaux, conséquences environnementales
  - Gouvernance et souveraineté, sécurité
  - Effet rebond





QU'ENTEND-ON PAR  
NUMÉRIQUE ?

# CROISSANCE MONDIALE

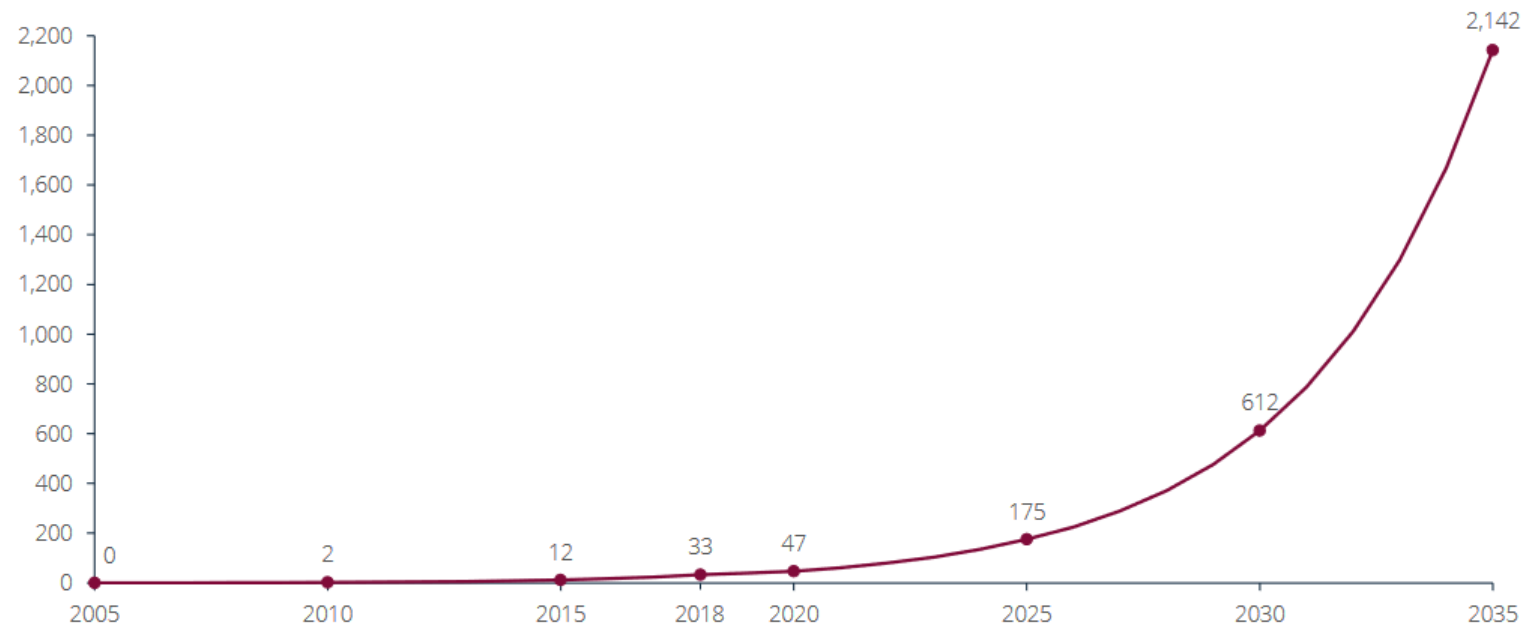
- La numérisation des activités et les Technologies de l'information et de la communication engendrent une quantité et un trafic de données en croissance exponentielle

Year	Global internet traffic
1992	100 GB per day
1997	100 GB per hour
2002	100 GB per second
2007	2,000 GB per second
2017	46,600 GB per second
2022	150,700 GB per second

Source: Cisco VNI, 2018.

Cisco, 2019. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–202

Worldwide amount of data created per year in zettabytes<sup>1</sup>



Buss, S., Nöldeke, G., Becker, D., Blumtritt, C., Daniels, M., Striapunina, K., 2019. Digital Economy Compass 2019

Zettabyte :  $10^{21}$  octets





# QUELS RÉSEAUX ?

- **Mobiles** : de la 1G à la 5G ... de la voix au big data

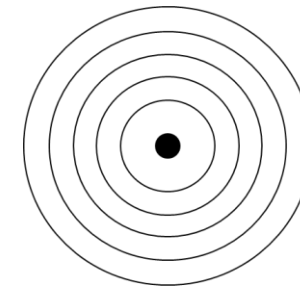
- NMT-F : Appels vocaux (1G )
- GSM : SMS/MMS (2G)
- UMTS : Accès à internet (3 G)
- LTE : Internet à haut débit (4G)
- 5G : nouveaux horizons avec virtualisation et transmission point à point (MU-MIMO), nouveaux usages possibles

NMT-F : Nordic Mobile Telephone "Français"

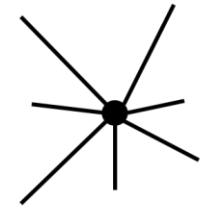
GSM : Global System for Mobile communications

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System

LTE : Long Term Evolution

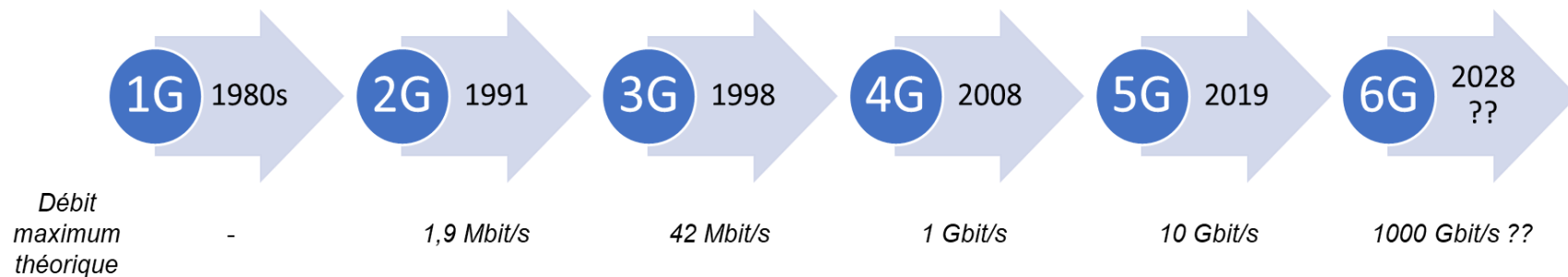


Antenne 4G



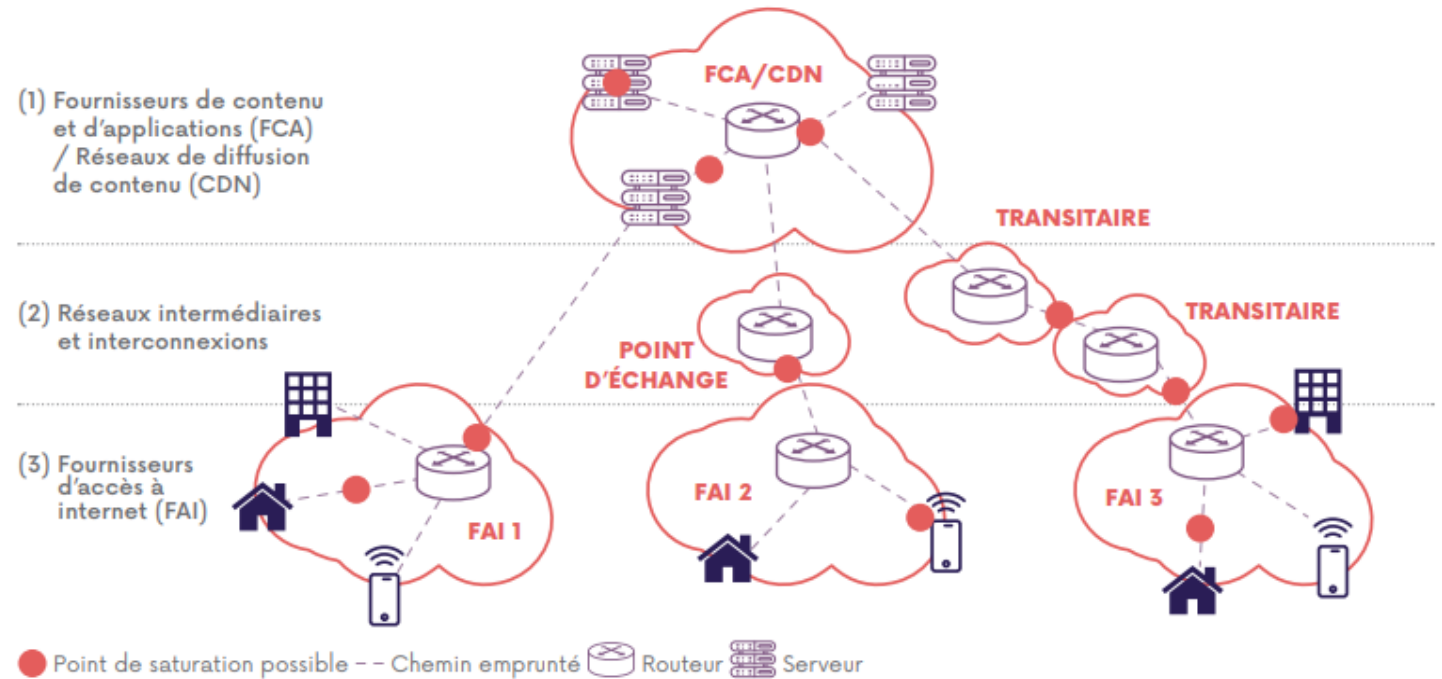
Antenne 5G

beam forming



# UNE INFRASTRUCTURE LOURDE

- Fixe ou mobile les réseaux demandent une importante infrastructure
  - Poste centraux
  - Armoires de rues
  - Lignes aériennes et souterraines
  - Antennes
  - Serveurs
  - Sites ...



# EVALUATION DES CONSOMMATIONS DE TRANSMISSION

- **Réseaux fixes** : division par 3 entre 2015 et 2020 (en kWh)

Technologie	Débit théorique (ARCEP, 2018)	Consommation annuelle moyenne par ligne (kWh) (Fédération Française des Télécoms, 2020)
ADSL	100 Mbit/s descendant 40 Mbit/s montant	16
Fibre	100 Mbit/s à plusieurs Gbit/s symétrique	5

- **Réseaux mobiles** : division par 7 entre 2015 et 2020 (en kWh/Go)

Génération	Débit théorique (Pendaries, 2022)	Consommation énergétique (kWh/Go) (Fédération Française des Télécoms, 2020)
2G	1,9 Mbit/s	37
3G	42 Mbit/s	2,9
4G	1 Gbit/s	0,6
5G	10 Gbit/s	0,06

Nombreux chiffres et périmètres de comptage : moyenne 0,01kWh/Go en 2019 selon les extrapolations des études académiques disponibles

16% de la consommation du numérique

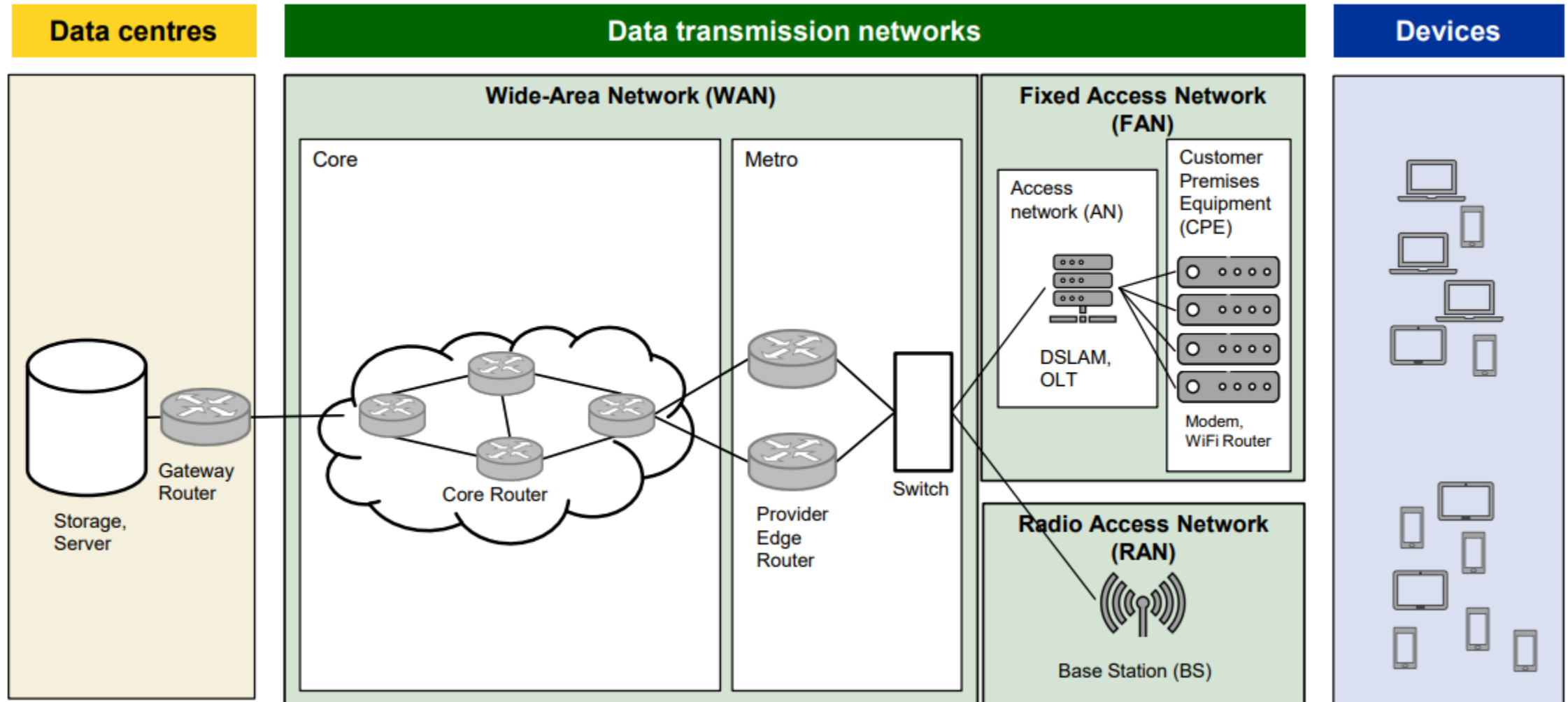
(Aslan et al. 2017) Electricity Intensity of Internet Data Transmission: Untangling the Estimates, Journal of Industrial Ecology, 22 (4)

Taux de croissance annuel des utilisateurs du réseau : 6% (prévision de 5,3 milliards d'utilisateurs en 2023)

CISCO <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>



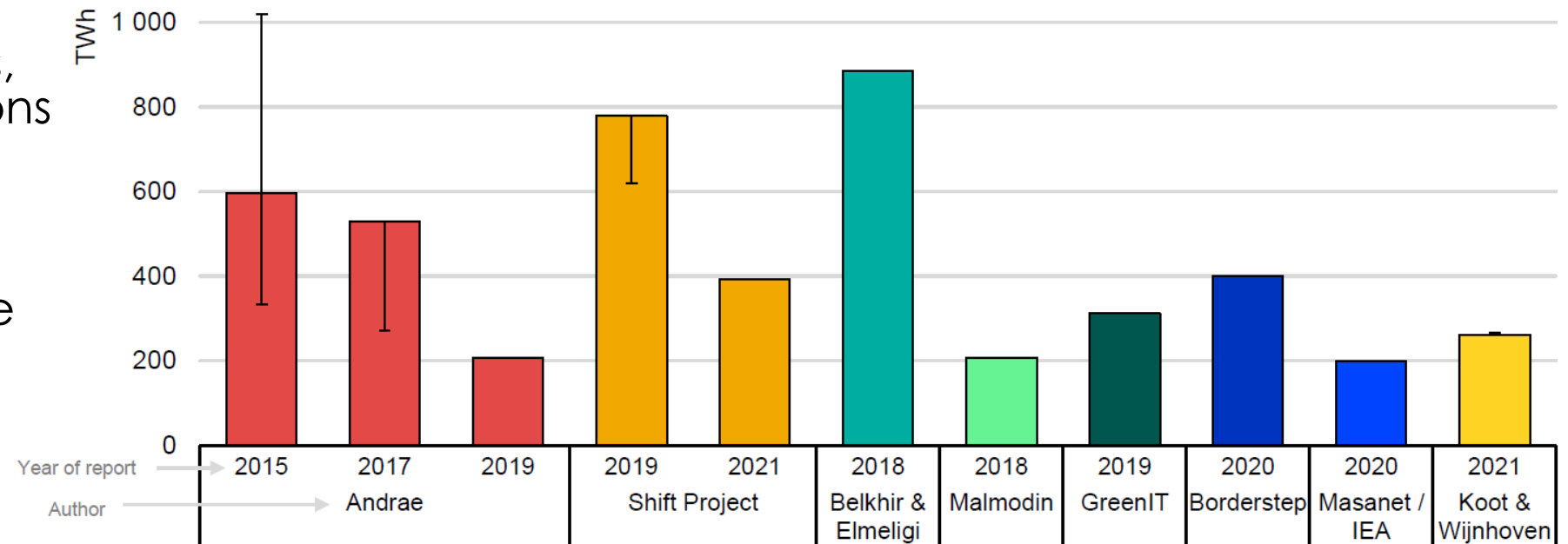
# SERVEURS ET ÉQUIPEMENTS



# LES DATA CENTERS

- Infrastructures de toutes tailles (de 20 à plusieurs millions de m<sup>2</sup>)
- Composés de serveurs, stockages, alimentations sécurisées, refroidissement...
- Hébergement des données et services de cloud computing
- Localisation
  - réduction du temps de latence
  - minimiser les besoins de refroidissement
  - capacité de connexion

Global data centre energy use, 2019\*



\*2019 values except for Borderstep and Malmodin which are 2018. Shift Project (2019) values are extrapolations of stated 2017 and 2020 values. Values typically exclude cryptocurrency mining, which was likely around 60 TWh in 2019. Shift Project (2021) value in this chart excludes bitcoin.

Sources: Andrae & Edler (2015); Andrae (2017); Andrae (2019); Andrae (2019); Andrae (2020); The Shift Project (2019); The Shift Project (2021); Belkhir & Elmeligi (2018); Malmodin & Lunden (2018); Bordage / GreenIT.fr (2019); Hintemann / Borderstep (2020); IEA (2020); Masanet et al. (2020); Koot & Wijnhoven (2021).

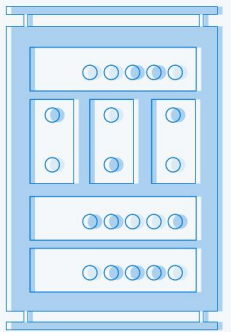
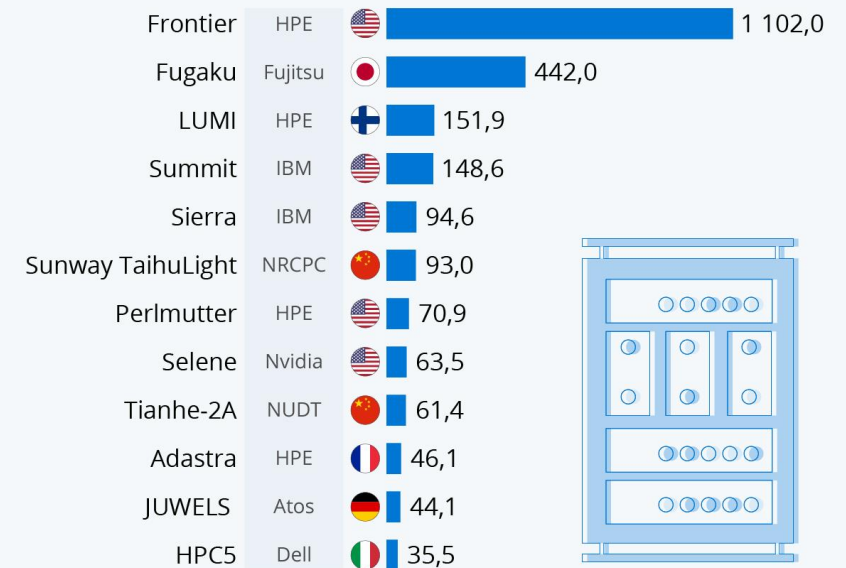
# LES SUPERCALCULATEURS

- Usage croissant du calcul haute performance (HPC)
- Même problématique que les data center
  - Accélérateurs (graphiques ou non) supplémentaires
  - Amélioration de l'efficacité énergétique car plus de calculs par cycle
  - Amélioration du PUE (*Power Usage Effectiveness*) à la conception
- Hébergé dans un ou plusieurs Data centers
  - Tolérance aux pannes encore plus réduite
  - Nécessité de connexions quasi-temps réel entre plusieurs sites

Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	<b>Frontier</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	8,730,112	1,102.00	1,685.65	21,100
2	<b>Supercomputer Fugaku</b> - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan <a href="https://www.top500.org/lists/top500/2022/11/">https://www.top500.org/lists/top500/2022/11/</a>	7,630,848	442.01	537.21	29,899

## Les superordinateurs les plus puissants du monde

Puissance maximale de calcul en condition réelle d'utilisation, en pétaFLOPS (juin 2022) \*



\* Mesurée via test Linpack. 1 pétaFLOPS = 1 million de milliards d'opérations par seconde. Également indiqués : nom du constructeur principal et pays d'installation.  
Source : Top500.org



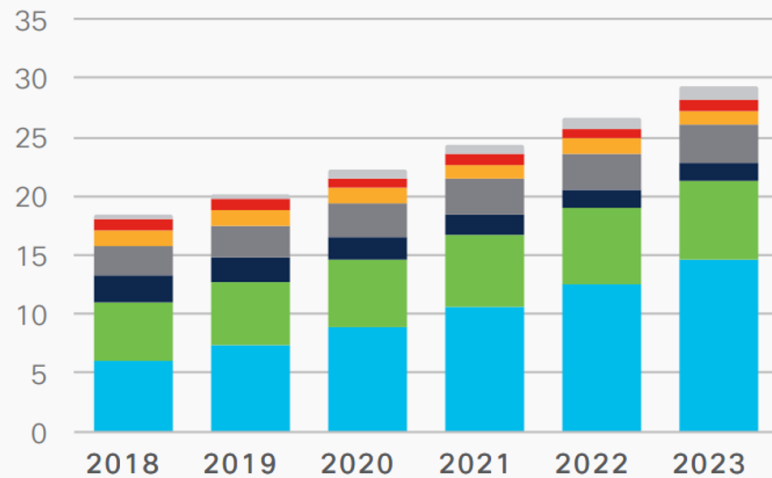
# EQUIPEMENTS

<https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2022/11/EDNA-Studies-Mobile-Devices-final.pdf>

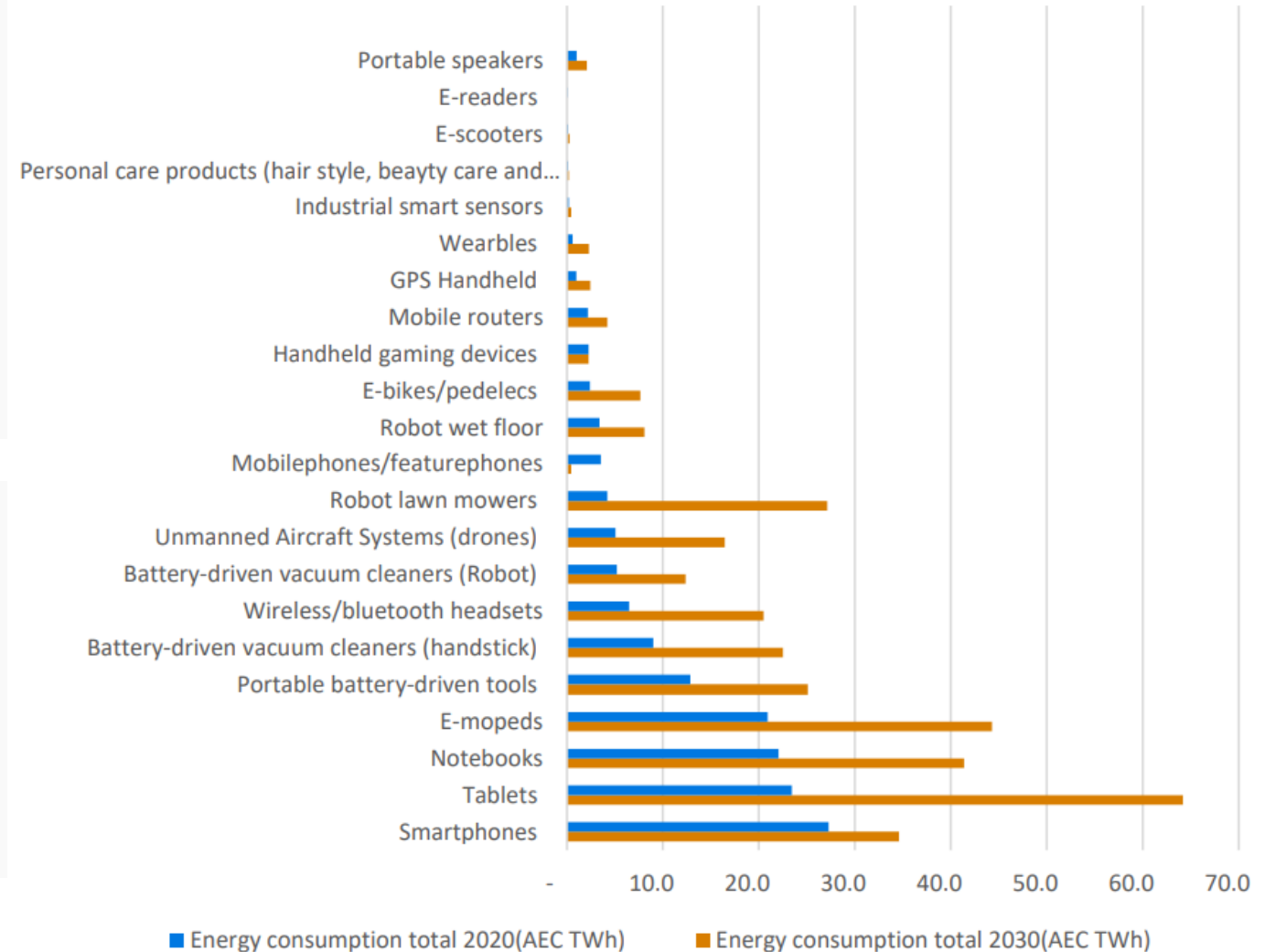
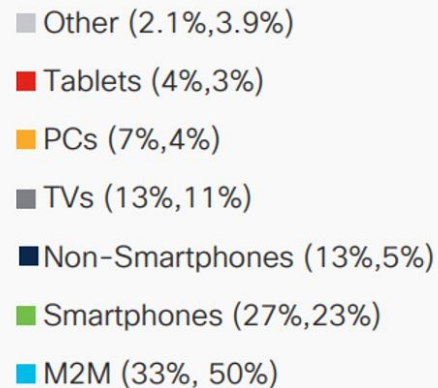
## Total annual energy consumption (TWh)

10% CAGR  
2018-2023

Billions of  
Devices



\* Figures (n) refer to 2018, 2023 device share



<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>



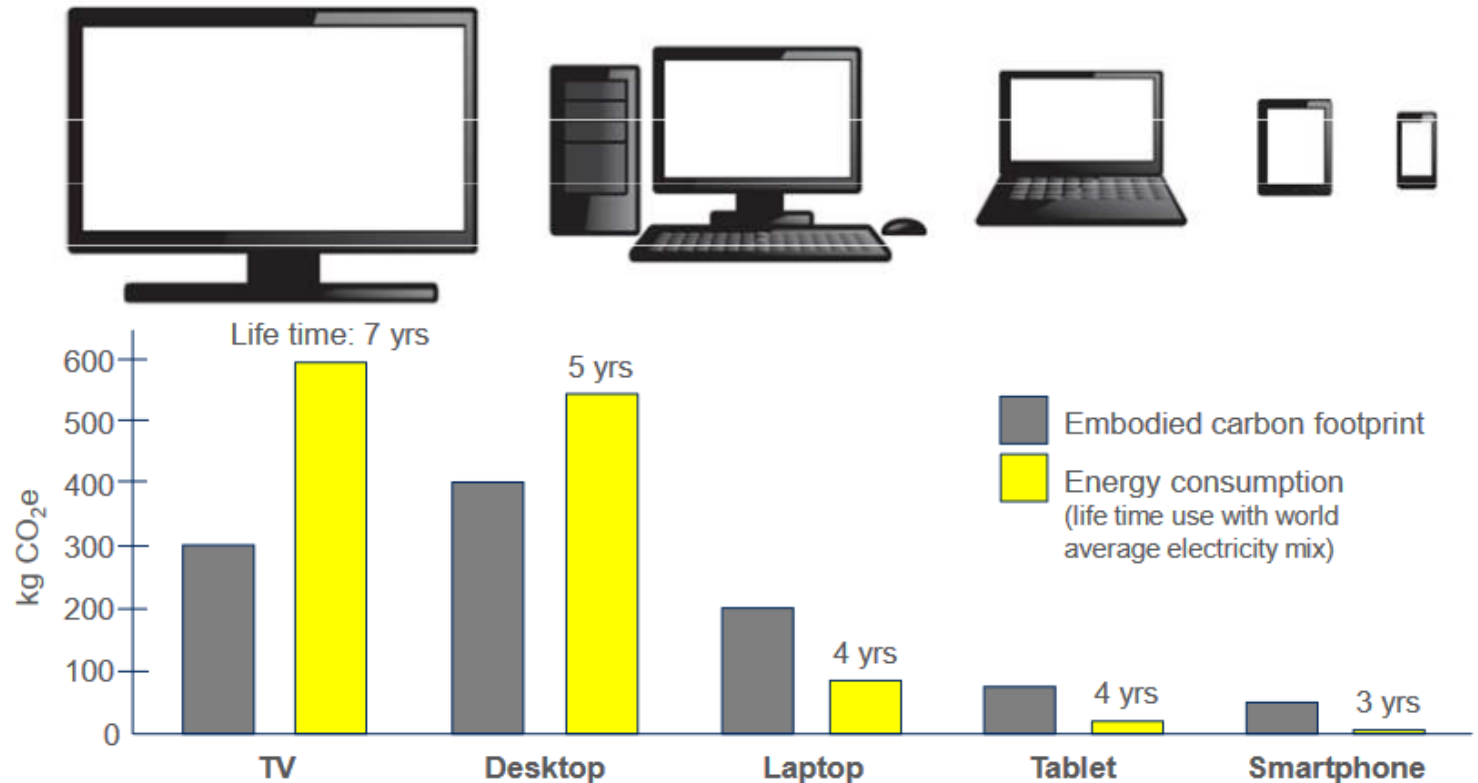
# IMPACTS DES ÉQUIPEMENTS

- Consommation individuelle et impact dans le cycle de vie

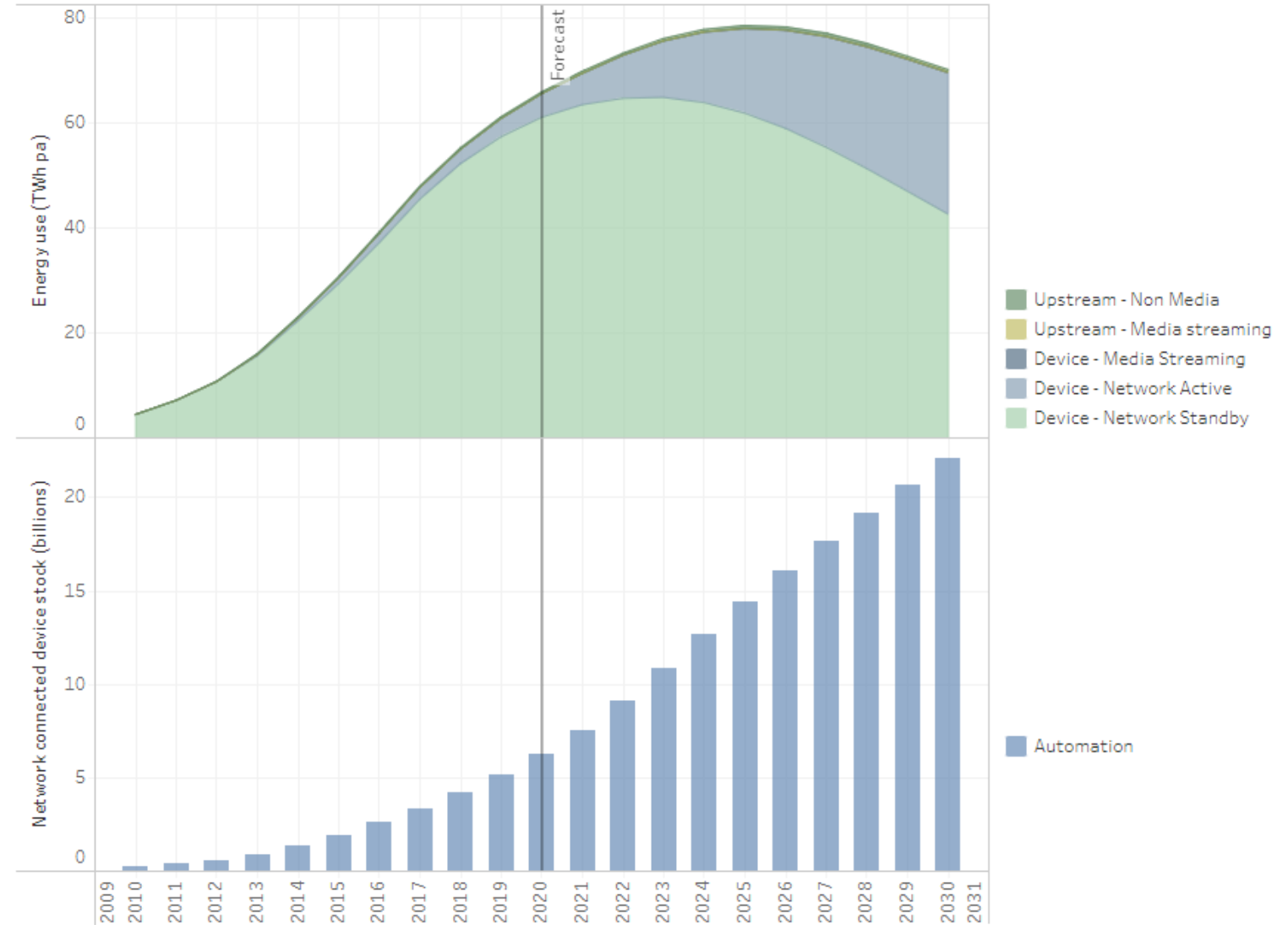
Estimation du parc d'équipement en France

Équipement	Consommation	Parc estimé 2018
Smartphone	2 à 7 kWh/an	60,9 M
Tablette	5 à 15 kWh/an	23 M
Écran	20 à 100 kWh/an	42,2 M
Ordinateur portable	30 à 100 kWh/an	36,4 M
Ordinateur fixe	120 à 250 kWh/an	27,1 M
Box (internet + TV)	150 à 300 kWh/an	28,6 M

Sources : ADEME, 2021 et Conseil général de l'économie, 2019



- L'internet des objets
  - Constellation d'objets connectés à un réseau
  - Adresse identification unique (MAC puis IP pour internet)
  - Réduction des coûts et de la taille
- Permet la collecte de données et le contrôle d'équipements
- Alimentation secteur ou piles
- Réseaux et protocoles dédiés
  - LoRa, Sigfox





# QUELLE PLACE DANS LA TRANSITION ?

Usages & bonnes pratiques

# LE BIG DATA

- Caractérisé par les 3 V :
  - Volume, Vitesse, Variété
  - Différence de traitement avec les données classiques (pas de traitement pour les coller à un format, stockage brut (notion de data lake))
- **Permet de nombreuses applications pour la transition**
  - Développement de produits : données massives des clients façonnent le produit
  - Expérience client : données issues des pages Web & réseaux sociaux, proposition d'offres personnalisées
  - Maintenance prédictive : relevés de capteurs avec fort échantillonnage
  - Lutte contre la fraude
  - Innovations : mise en application de la tarification dynamique
  - Efficacité opérationnelle : évaluation et optimisation temps réel de procédés
  - Apprentissage Machine (ML)



# L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

- L'essor des réseaux, des data centers des supercalculateurs et de l'IOT ont permis le développement du big data et de l'IA
- **Applications pour la transition**
  - Prévion de production des énergies renouvelables non pilotables
    - DeepMind apprentissage parc éolien cumulé de 700 MW : 20% d'augmentation de la production annuelle par une meilleure prédiction, adéquation offre/demande et Opex.
  - Prévion des flexibilités (industrie, tertiaire voire résidentiel)
  - Vieillessement des systèmes de stockage dont la physique est complexe, augmentation de leur durée de vie
  - ...

# BLOCKCHAIN

- Souvent associé aux cryptomonnaies avec ses consommations énergétiques colossales (équivalent à la consommation de la Norvège)
- Suivant le type de cryptage, la consommation peut être réduite drastiquement (Passage du Proof of Work au Proof of Stake)
- Sécurisation et partage de l'information se prêtent aux applications à la logistique, l'agro-alimentaire, la santé et au secteur énergétique
  - Pas d'intermédiaires : échange d'énergie sur petites plateformes : prosumers
  - Facilite l'autoconsommation (Ecochain, Ethereum)
  - Incitation à l'usage du solaire (Solarcoin : cryptomonnaie dédiée)
- Si déploiement massif, pilotage du système global plus difficile

# AU SERVICE DE LA TRANSITION

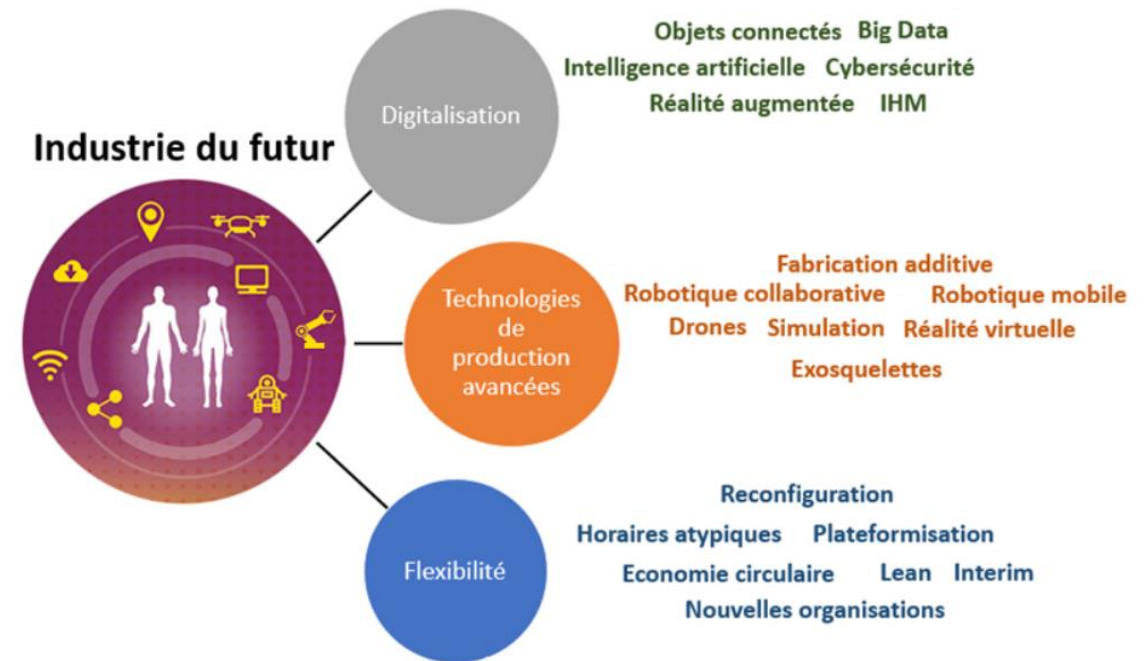
## **Vecteur électrique**

- Besoin de modularité sur les réseaux électriques :
  - Production intermittente, pic de consommation
- Solutions de flexibilités :
  - Effacements (Demand Respons), (Big Data & IA)
  - Pilotage : Recharge VE, stockage ECS et autres, électrolyseurs (Big Data & IA)
  - Gestion des micro réseaux et autoconsommation (Blockchain)
- Usage du numérique
  - Sobriété : Smart metering & Tarification dynamique
  - Efficacité énergétique : comptage intelligent, IoT, GTC

# AU SERVICE DE LA TRANSITION

## Applications & innovations

- Industrie 4.0
  - Vers l'électrification totale...
- Calcul intensifs + IoT
  - Codes performants : CC, Météo...
  - IA pour calcul temps réel & identification des problèmes
  - Maquettes numériques
  - Cloud/Edge computing
  - Maintenance prédictive
- Télétravail, téléconsultation, télé chirurgie, réalité augmentée ...



<https://www.inrs.fr/inrs/themes-travail/industrie-du-futur/ce-qu-il-faut-retenir.html>



# BONNES PRATIQUES

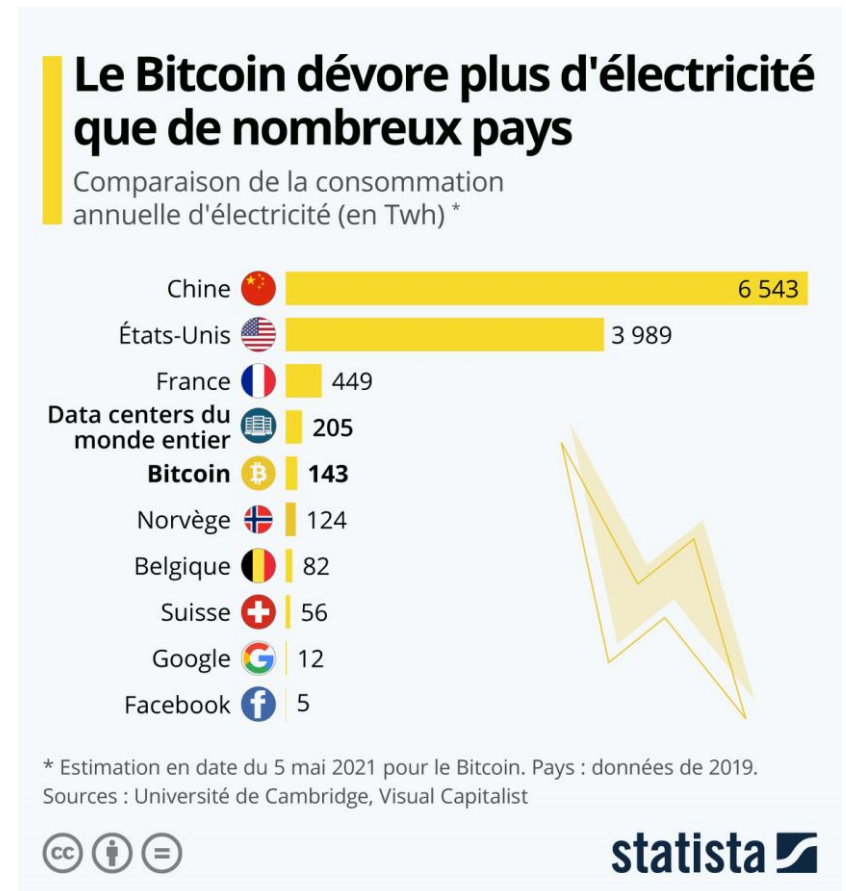
- L'analyse du cycle de vie permet d'identifier les points permettant de réduire l'impact environnemental du numérique (matériel et usage)
  - Acquisition
    - Au regard des labels
      - Publics (l'écolabel, l'ange bleu ou energy star)
      - Privé (EPEAT (Etats Unis, EAT))
    - Au regard des besoins réels
      - Sur équipement/ Sous équipement
      - Neuf ou reconditionné
  - Gestion énergétique
    - 1/4 des consommations des équipements informatiques pourraient être évité
  - Fin de vie
    - Règle des 3 R (Réduire Réutiliser, Recycler)
    - Obsolescence (technique, logicielle, économique)
  - Indice de réparabilité



QUELS RISQUES ET LIMITES ?

# EXEMPLE DU BITCOIN

- Validation de la transaction par minage sur la blockchain par « proof of work »
- Une preuve peut demander 700 kWh pour valider une transaction
- Ethereum annonce 140 kWh avant d'effectuer son 'Merge' pour passer à la « proof of stake » pour aboutir à un intervalle de 1 à 10 Wh par transaction
- La preuve d'enjeu avantagerait les gros détenteurs de jetons (oligarchie contraire à la philosophie des blockchains)



# GOUVERNANCE ET SOUVERAINETÉ

- Exemple des GAFAM
  - PPA pour garantir a terme la neutralité carbone
  - Amélioration continue de l'efficacité des data center par l'usage de l'IA
  - Présence sur le marché de l'énergie : outils d'information (empreinte carbone, google Sunroof...)
  - Aide aux énergéticiens dans la prévision
  - Leur hégémonie dans le numérique pourrait s'étendre à la fourniture d'énergie
- Risques
  - Protection des données
  - Extraterritorialité des lois américaines (CLOUD act, promulguée en 2018)
  - Cybersécurité dans l'industrie énergétique



# RESSOURCES

- Essor des technologies bas carbone = usage métaux et terres rares (90% d'export par la Chine)
  - Éolien : Cuivre, Zinc, Nickel, Cobalt, Terres rares
  - PV : Cuivre Silicium, Terres rares
  - VE : Cuivre, Nickel, Lithium, Cobalt
- Conséquences environnementales et sociales
  - Gourmand en espace et en eau :
    - 1 kg Terres rares = 1 tonne de roche et 200m<sup>3</sup> d'eau (rejetée polluée dans la nature)
  - Conditions de travail dangereuses (Ex. cobalt 80% au Congo)
    - Poussières cancérogènes
    - Travail des enfants
    - Mines clandestines
- Autres risques géopolitiques ...

# EFFETS REBONDS

- Usages amplifiés voire compulsifs
  - Streaming vidéo (60% du flux mondial)
    - Exemple mythique des vidéos de chats...
  - Mobilité et télétravail
    - Réduction déplacements domicile /travail entraînent augmentation déplacements personnels et un allongement des trajets (baisse mobilité douce)
  - Economies matières dû à la miniaturisation contrebalancées par la multiplication du nombre d'appareils
  - La Demande de calculs d'IA et cryptomonnaies augmente plus vite que les progrès d'efficacité (hardware, software et énergétique)
- Efficacité énergétique atteint une limite (Landauer) pour le déplacement d'un électron. Limite thermodynamique en nanoscience

# PERSPECTIVES

