

IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE : TENDANCES À 5 ANS ET GOUVERNANCE DE LA 5G

Mise à jour des scénarios prospectifs
des impacts du numérique mondial et
propositions pour le déploiement d'une
5G raisonnée

NOTE D'ANALYSE

MARS 2021

Comité de rédaction

Auteurs

Hugues Ferreboeuf (The Shift Project, Chef de projet)
Maxime Efoui-Hess (The Shift Project, Coordinateur de projet)
Xavier VERNE (SNCF, Directeur Adjoint Numérique Responsable)

Mise en page et data visualisation

Anaïs Carrière (chargée de communication The Shift Project)
Fanny Breteau (graphiste et designeuse)
Nicolas Hervé et Léa Fourcade (graphistes indépendants)

Relecteurs et relectrices ¹

Sylvain Baudoin (Expert, Product Owner en production informatique)
Bruno Foucras (Aix-Marseille Université, IUT Département Génie Thermique et Énergie, Professeur agrégé)
Arnaud Gueguen (7heures23, Mentor | Darwin-X, Consultant | Enseignant)
Céline Lescop (AXA, Lead Data Architect)
François Maitre (Open Group France, Architecte d'Entreprise)

1 - Et membres du groupe de travail du rapport de The Shift Project « Déployer la sobriété numérique » (The Shift Project, 2020)

The Shift Project

The Shift Project, think tank de la transition carbone, a pour vocation de se saisir des enjeux-clés de la transition carbone. Sa mission est d'apporter les éléments factuels et quantitatifs qui permettront d'effectuer les arbitrages nécessaires à la réussite de la transition. Le développement exponentiel du numérique, et la façon dont ce développement peut interagir avec les objectifs de décarbonation de nos sociétés, constitue l'un des angles essentiels de ces enjeux.

theshiftproject.org

Table des matières

	03	
		La 5G : des questions qui n'ont toujours pas été traitées 26
		A - Le système numérique ne deviendra pas soutenable par automatisme 27
	4	1 - L'évolution de nos réseaux : une histoire d'usages 27
		2 - Panorama du débat sur la 5G : politisation mais polarisation 30
		B - La 5G : simple brique d'une infrastructure à mettre au service de la résilience 31
	5	1 - L'augmentation des impacts est inévitable si les usages ne sont pas encadrés 31
		2 - Des usages qui décrivent un certain futur technologique et sociétal 34
		3 - La priorité est de déployer un réseau robuste qui permet l'accès aux services essentiels 38
	04	
		Conclusion - Pour rendre le système numérique européen résilient, il nous faut un plan 39
		A - Les questions à instruire 40
		B - Les actions à mener 40
		C - Les acteurs à mobiliser 41
		D - Pour construire un numérique européen soutenable 42
	05	
		Annexes 44
01		
L'impact environnemental du numérique : du constat à l'action		
02		
Les impacts du numérique mondial – mise à jour des scénarios prospectifs	7	
A - Consolidation du modèle : l'insoutenable du numérique confirmée	8	
1 - Périmètre de la modélisation	8	
2 - Description du modèle	9	
3 - Consommation énergétique : une croissance problématique	12	
4 - L'empreinte carbone mondiale du numérique	14	
5. Comparaison avec les résultats de 2018, implications et conclusions	16	
B - Les dynamiques de croissance du numérique	17	
1 - L'explosion du trafic de données	18	
2 - La multiplication des terminaux connectés	20	
3 - De nouveaux réseaux pour ces nouveaux services	24	
Infographie bilan	4	

Notre numérique aujourd'hui...

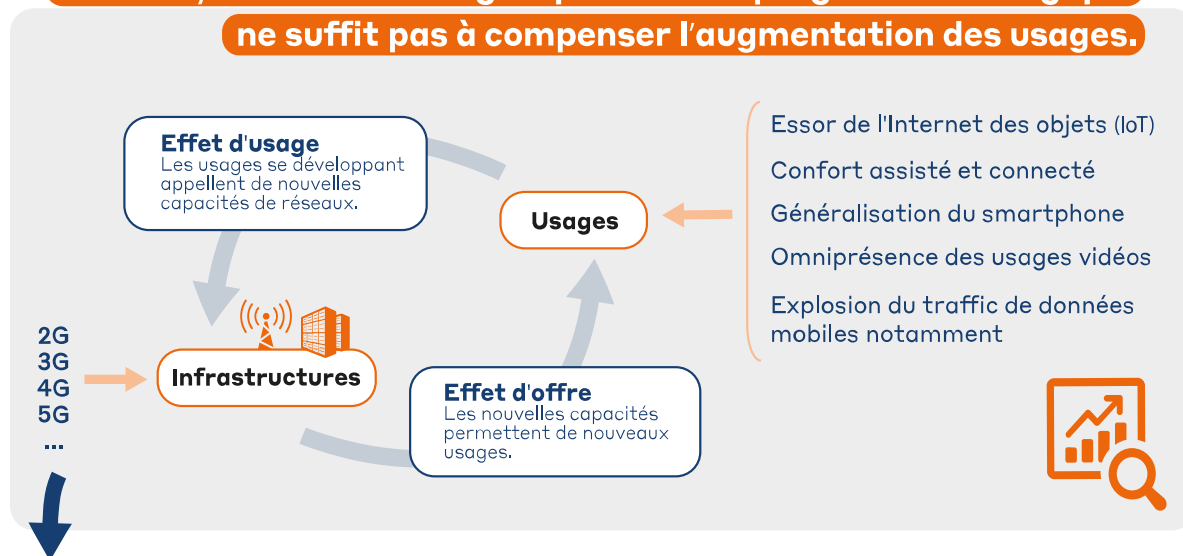
Notre numérique

- au cœur du fonctionnement de nos autres systèmes
- + un atout central pour surmonter les crises à venir

... est incompatible avec une trajectoire 2°C.

Avec **6%** par an de croissance de ses émissions de GES, la part du numérique dans les émissions de GES mondiales est déjà de **3,5%** et pourrait doubler d'ici 2025.

En effet, l'efficacité énergétique issue du progrès technologique ne suffit pas à compenser l'augmentation des usages.



C'est pour cela qu'une 5G raisonnée plutôt que compulsive...

...serait le socle d'un nouveau numérique, soutenable.

Déployée en masse sur les territoires, la 5G va augmenter l'impact du numérique* lors de l'utilisation et de la production.

* Source : HCC, 2020a ; Huawei, 2020 ; GSMA, 2019a

Pour rendre la 5G soutenable, il faut la déployer avec discernement et être capable de répondre à 2 questions :

- 1 Où déployer et pourquoi ?**
- 2 À quels usages se limiter et comment les choisir ?**



Pour cela, nous avons besoin d'un plan :

- 1 Construire une nouvelle gouvernance du numérique avec tous les acteurs** (Régulateurs, société civile et institutions infra et supranationales)
- 2 Inventer des modèles économiques compatibles avec la diminution des impacts** (Opérateurs, Services, Fabricants)
- 3 Développer les outils d'un pilotage soutenable :**
 - Définir des objectifs quantitatifs
 - Développer des outils d'évaluation des impacts
 - Adapter la gouvernance pour les atteindre

01

L'impact environnemental du numérique : du constat à l'action

Notre numérique est l'une des fondations de la stabilité de nos autres systèmes (sociétaux comme physiques) et l'un de nos atouts centraux pour surmonter les crises potentielles des décennies à venir – comme l'a démontré avec force la crise sanitaire liée à la COVID-19. Lui choisir un modèle de fonctionnement résilient et lui donner une trajectoire compatible avec les contraintes sur les émissions carbone, sur l'énergie et sur les matières premières est une condition *sine qua non* pour en faire un support fiable pour notre économie et notre société sur le moyen et long terme.

Le rôle central du numérique et le besoin d'en piloter les évolutions ont alimenté, ces dernières années, une nouvelle politisation large et citoyenne des choix technologiques. Si l'impact environnemental est devenu l'un des points de cristallisation de ces discussions collectives, c'est parce que la matérialité du numérique en fait un système physique comme les autres (il repose sur des infrastructures, des réalités logistiques et des disponibilités en matières et énergie très importantes) : assurer la pérennité du système numérique, donc, passe en tout premier lieu par la diminution de ses impacts physiques et environnementaux. C'est cela que vise la sobriété numérique.

En 2018, nous avons construit des constats chiffrés de l'impact environnemental du numérique mondial, sans lesquels il était impossible d'évaluer objectivement la place du numérique dans la transition énergétique et carbone à grande échelle (The Shift Project, 2018).

En 2019, nous avons construit un socle de réflexion sur les usages numériques, qui permet de connecter les réflexions sociologiques et comportementales avec la matérialité de nos équipements, de nos réseaux et des services en ligne (The Shift Project, 2019).

En 2020, notre rapport « Déployer la sobriété numérique » dépassait les constats pour aborder les questions concrètes de la sobriété en proposant des outils opérationnels qui permettent aux acteurs du secteur de se mettre dès maintenant à l'œuvre (The Shift Project, 2020).

Cette note d'analyse fait suite à ces travaux et remplit deux objectifs :

- **Consolider le travail de chiffrage** de l'impact environnemental mondial du numérique, cadre de ces réflexions, via une mise à jour de nos scénarios de 2018 ;
- **Utiliser le déploiement de la 5G comme illustration grandeur nature** de ce qu'apporteraient les méthodes proposées par la sobriété numérique à la construction et à la gestion de nos choix technologiques.

Les débats sur nos choix technologiques ne concernent pas une adhésion ou non à la technologie en tant que telle. Pour qu'ils soient bénéfiques, les débats doivent questionner ce qui motive les directions que nous donnons à notre système connecté, ce qui les justifie et les actions à mettre en place à l'échelle de la société. Revenir sur la cristallisation du débat concernant la 5G va permettre de démontrer la nécessité de construire une discussion collective plus large et plus efficace sur nos choix technologiques, autour d'une gouvernance concertée au service d'objectifs explicites.

02

Les impacts du numérique mondial

–

Mise à jour des scénarios prospectifs

A - Consolidation du modèle : l'insoutenabilité du numérique confirmée

Le modèle ici présenté [The Shift Project – Forecast Model 2021] est disponible dans son intégralité :

<https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/03/Pdf-Modele.pdf>

1 - Périmètre de la modélisation

Périmètre technologique

Compte-tenu de la rapidité des évolutions technologiques, les frontières du numérique sont mouvantes et nous en avons retenu une définition cohérente avec celle aujourd'hui utilisée par des acteurs de référence du secteur numérique dans leurs approches prospectives (Cisco, Gartner etc.).

Le périmètre des équipements (et des usages associés) que nous avons choisi pour le calcul de l'empreinte énergétique et environnementale est donc le suivant :

-  **Réseaux de télécommunication** (d'accès et de transport, fixes, WiFi et mobiles),
-  **Data centers** (sachant que cette dénomination recouvre des réalités opérationnelles très diverses),
-  **Terminaux et périphériques** : ordinateurs personnels (fixes et portables), tablettes, smartphones, téléphones portables traditionnels, « boxs », équipements audiovisuels connectés (y compris les téléviseurs connectés, les consoles de jeux, les casques de réalité virtuelle), imprimantes, enceintes connectées, caméras de surveillance, écrans,
-  **Modules de connexion IoT** (Internet of Things)².

Ce périmètre exclut les équipements numériques non communicants intégrés dans les automobiles ainsi que les composants numériques des chaînes de production industrielle, les équipements utilisés pour la production audiovisuelle, les satellites de télécommunications³. Il est très similaire au périmètre retenu dans notre rapport d'octobre 2018, même si certaines catégories sont ici un peu plus détaillées.

2 - L'internet des objets (en anglais Internet of Things, ou IoT) est l'infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution (Union Internationale des télécommunications, 2012). Les modules de connexion sont intégrés dans l'objet (une ampoule électrique ou une poêle, par exemple) ou l'équipement (un réfrigérateur ou un four, par exemple). Ces modules comportent plusieurs circuits intégrés leur permettant d'interagir avec l'objet ou l'équipement, de traiter des données et de communiquer via une interface filaire ou une interface radio avec une passerelle ou centrale de gestion, elle-même en général connectée à Internet.

3 - Ces deux derniers secteurs auraient vocation à être intégrés compte tenu de leurs interactions fortes avec les usages et les infrastructures numériques respectivement, mais nous ne disposons pas de données suffisamment fiables pour ce faire.

Phases de vie considérées

Pour tous ces équipements, **nous prenons en compte la phase de production et la phase d'utilisation.**

Nous n'avons pas quantifié les impacts liés à la phase de fin de vie, par manque de données fiables notamment à cause de la faible proportion d'équipements pris en charge dans les filières de traitement (15 % dans le monde, (Baldé et al., 2015)). Cette situation est par ailleurs préoccupante puisqu'elle résulte non-seulement en une perte de matériaux, mais également en une pollution des sols croissante et largement ignorée, venant de sites de traitement inadaptés, ou de décharges sauvages de déchets.

Périmètre géographique

Le périmètre de nos analyses est d'abord mondial, sachant par ailleurs que nous les détaillons sur un plan européen et/ou français, lorsque la granularité des sources primaires d'information le permet.

2 - Description du modèle

Architecture générale : une approche macroscopique

Nous avons indiqué en 2018 qu'**il n'existait pas de chiffres globaux** issus de mesures (même à l'échelle d'un pays) de la consommation d'énergie induite par les usages du numérique. Il n'en existe toujours pas. Les estimations disponibles sont donc toujours obtenues soit par projection de mesures réalisées sur des échantillons (par exemple, un ensemble d'opérateurs⁴), soit par utilisation de modèles plus ou moins sophistiqués, que l'on peut répartir en deux catégories :

- Les modèles dits « **bottom-up** » s'appuyant sur un recensement de tous les équipements présents dans les différents sous-périmètres et une estimation de leur empreinte environnementale unitaire,
- Les modèles dits « **top-down** » recourant, pour ce qui concerne les data centers et les réseaux, au choix d'une variable caractéristique de l'activité (trafic, nombre d'instructions exécutées, volume de données stockées etc.) et à un indicateur d'intensité environnementale (en général, énergétique).

Les modèles « bottom-up » fournissent des résultats d'autant plus pertinents que le périmètre d'étude est circonscrit et que l'ensemble des paramètres de configuration et d'utilisation des équipements est précisément documenté. Notre champ d'analyse étant très global, **nous privilégions une approche « top-down » qui permet d'absorber les disparités** résultant de l'énorme diversité des équipements et des usages, **et de décliner sous forme de scénarios des récits socio-économiques.**

4 - C'est par exemple l'approche retenue par Malmodin et Lunden dans leur étude de 2018 (Malmodin, J. and Lundén, D., 2018)

Mises à jour du modèle par rapport à 2018

Nous avons mis à jour la structure de notre modèle de 2018⁵ afin de la consolider :

- En distinguant au sein des data centers une sous-catégorie, celle de type « **hyperscale** »⁶,
- En prenant en compte une **plus grande diversité de terminaux et périphériques**,
- **En diversifiant les sources** permettant de calculer des valeurs de référence pour un grand nombre de paramètres (empreintes carbone embarquées pour les équipements, ratios d'efficacité énergétique pour les réseaux et les data centers, ..) et leurs taux d'évolution historiques.

Nous avons actualisé le point de passage en 2019 sur la base de données à jour et d'études récentes, relatives aux paramètres dimensionnants du modèle :

- **Le trafic et les parcs installés**

Les données de trafic et de parcs installés ont été mises à jour à partir de rapports publiés annuellement par Cisco :

- Cisco Global Cloud Index, Forecast and Methodology, Whitepaper (Cisco, 2015, 2016, 2017, 2018) décrivant les caractéristiques qualitatives et quantitatives des flux de données traités dans les data centers de l'année précédant le rapport sur un horizon de 5 ans ;
- Cisco Visual Networking Index, Forecasts and Trends (Cisco, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019) puis Cisco Annual Internet Report (Cisco, 2020) décrivant les caractéristiques qualitatives et quantitatives des flux de données écoulés par les réseaux de télécommunication et des parcs de terminaux connectés, de l'année précédant le rapport à un horizon de 5 ans.

Ces chiffres ont été confrontés à ceux issus d'autres rapports, notamment venant de Ericsson (Ericsson Mobility Report, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020), de l'UIT (ITU-R, M2370.0, 2015), du Borderstep Institute for Innovation and Sustainability (2019, 2020) et de l'IEA-EDNA (Intelligent Efficiency For Data Centres & Wide Area Networks, 2019).

- **La production de terminaux**

Pour mettre à jour les données de production de terminaux, nous nous sommes appuyés sur les chiffres publiés trimestriellement par Gartner et l'International Data Corporation (IDC), et sur le site de statistiques Statista⁷.

5 - La structure du modèle de 2018 s'inspire de celle du modèle développé par Andrae et Edler en 2015 (Andrae & Edler, 2015), qui élaborait des scénarios d'évolution de la consommation énergétique du numérique de 2010 à 2030. Les hypothèses de ces scénarios sont disponibles en annexe.

6 - Ce sont des centres informatiques de très grande taille conçus pour réaliser des économies d'échelle et gérés par des opérateurs de services « cloud » publics.

7 - <https://www.statista.com>

- **La consommation globale d'électricité**

Nous avons actualisé les statistiques de consommation globale (tous secteurs) d'électricité à partir de la base de données Headline Energy Data 2018 de l'Agence Internationale de l'Energie (International Energy Agency (IEA), 2018) et des projections que celle-ci a faites (World Energy Outlook, 2019).

Nous avons finalement mis à jour les projections de l'évolution des impacts du numérique mondial, en utilisant notre modèle complet à un horizon 2025 sur la base de quatre nouveaux scénarios.

Quatre nouveaux scénarios d'évolution

Nous avons défini quatre nouveaux scénarios pour effectuer nos simulations à l'échéance 2025⁸. Ils sont essentiellement définis par des hypothèses relatives à deux dynamiques :

- **Les taux de croissance annuels des « volumes » numériques** (production d'équipements, trafic réseau, trafic data centers), significatifs de l'évolution des usages,
- **Les taux de décroissance annuels des ratios d'intensité énergétique** (consommation électrique unitaire des équipements, consommation des réseaux et des data centers par unité de trafic), significatifs du progrès technologique et industriel.

Ils peuvent être ainsi résumés :

- « **Conservative** » : nous avons gardé le même rythme de gain d'efficacité énergétique que celui observé historiquement de 2013 à 2019 et nous avons actualisé les données de trafic uniquement sur la base des chiffres fournis par Cisco, en les moyennant notablement à la baisse en ce qui concerne le trafic mobile en tenant compte d'autres sources (Ericsson).
- « **Growth** » : nous avons gardé le même rythme de gain d'efficacité énergétique que celui observé historiquement jusqu'en 2019 et nous avons actualisé les données de trafic sur la base de l'historique fourni par Cisco, mais en redressant les prévisions d'ici 2025 pour prendre en compte le fait que le taux de croissance historique s'est avéré plus important que les prévisions passées de Cisco (et d'Ericsson en ce qui concerne le trafic mobile).
- « **Growth less EE** » : variante du scénario précédent, il prend en compte un (léger) ralentissement des gains d'efficacité énergétique à partir de 2020 dans les data centers, en raison de la montée en charge de l'edge computing⁹ et au sein des réseaux (mobiles notamment) du fait de l'accroissement de la densité des sites, liée à la montée en gamme de fréquences.

8 - La description des scénarios développés en 2018 est disponible en annexe.

9 - « Edge Computing est une architecture informatique distribuée ouverte qui présente une puissance de traitement décentralisée permettant les technologies de l'informatique mobile et de l'Internet des Objets (IoT). Les données y sont traitées par le périphérique lui-même ou par un ordinateur ou un serveur local au lieu d'être transmises à un datacenter. » (HPE, 2018, www.hpe.com/fr/fr/what-is/edge-computing).

- « **New Sobriety** » : ce scénario suppose une moindre croissance de la production des nouveaux types d'équipements (modules IoT, accessoires vidéo etc.) ainsi que du trafic (maîtrise des usages vidéo et des applications d'Intelligence Artificielle). Les gains d'efficacité énergétique sont les mêmes que dans les deux premiers scénarios. Si ce scénario dénote une rupture significative dans les modes de consommation numérique et permet de stabiliser les émissions de GES, il ne permet toutefois pas à lui seul d'aligner le numérique sur une trajectoire 2°C. Il doit donc s'accompagner d'une priorisation des projets de numérisation permettant de réduire les émissions issues d'autres secteurs (dont la mobilité notamment)¹⁰.

Scénarios	Efficacité énergétique	Trafic de données	Production d'équipements ¹¹
Conservative	Rythme historique	Rythme modéré	Rythme modéré
Growth	Rythme historique	Rythme soutenu	Rythme soutenu
Growth less EE	Léger ralentissement	Rythme soutenu	Rythme soutenu
New sobriety	Rythme historique	Décélération	Décélération

Tableau 1 : Description des scénarios du Forecast Model 2021
(les hypothèses différentes du rythme historique sont appliquées à la période 2020-2025 uniquement)
(The Shift Project, Forecast Model 2021)

3 - Consommation énergétique : une croissance problématique

Il en ressort que **la consommation d'énergie finale** du numérique dans le monde augmente d'environ **6,2 % par an** (période 2015 à 2019). **Ce taux de croissance correspond à un doublement en 11 ans** et est appelé à augmenter dans tous les scénarios n'intégrant pas un changement volontariste dans les pratiques de consommation (trafic, terminaux).

Consommation d'énergie finale (en TWh)	2015	2019	2025	CAGR ¹² 2015/2019	CAGR 2019/2025
Conservative	3289	4181	6041	6,2 %	6,5 %
Growth			6860	6,2 %	8,6 %
Growth less EE			7335	6,2 %	9,8 %
New sobriety			4209	6,2 %	0 %

Tableau 2 : Consommation d'énergie finale mondiale du numérique en TWh (The Shift Project - Forecast Model 2021)

10 - Sélectionner les innovations véritablement pertinentes pour la décarbonation des autres secteurs nécessite des réflexions systémiques, transversales à différents pans de l'économie. C'est cette méthode qui est construite et mise en pratique au sein du Plan de Transformation de l'Economie Française de The Shift Project (The Shift Project PTEF, 2020) annoncé en mai 2020 (<https://theshiftproject.org/article/crise-climat-plan-transformation-economie-chantier-urgence-crowdfunding/>).

11 - Pour les équipements, la différence de rythme entre le scénario Conservative et les scénarios Growth ne concerne que les terminaux dont les marchés sont émergents.

12 - Compounded Annual Growth Rate, (ou taux de croissance composé en français). Ex : une somme qui passe de 100 à 121 en deux ans a cru (CAGR) de 10 % l'an.

En ce qui concerne **la consommation d'énergie primaire, nos nouvelles simulations confirment nos précédents résultats** : la part du numérique dans la consommation d'énergie primaire (elle-même en croissance de 1,5 % par an) pourrait doubler en l'espace de 10 ans et dépasser 9 % ; elle est **déjà supérieure à 5 % en 2020**.

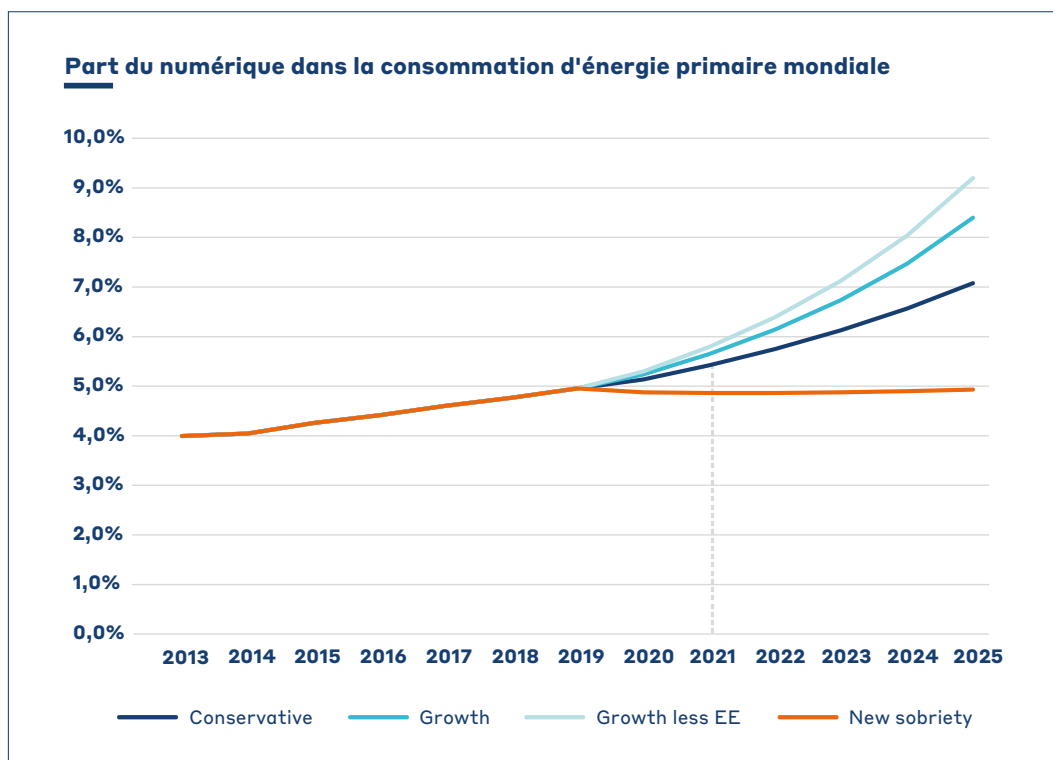


Figure 1 : Évolution 2013-2025 de la part du numérique dans la consommation d'énergie primaire mondiale (The Shift Project - Forecast Model 2021)

Concernant la période 2020 à 2025, la comparaison des différents scénarios montre l'apparition de bifurcations :

- Une **confirmation** de la croissance **même lorsque l'on prolonge la tendance d'efficacité énergétique** (réseaux et data centers) et que l'on fait l'hypothèse d'un ralentissement de la croissance de consommation (trafic, terminaux), menant à un ratio supérieur à **7 % en 2025**, correspondant à 60 % de l'énergie primaire consommée par l'Union Européenne en 2019 (BP, 2020). › Scénario « conservative »
- Une **accélération** de celle-ci **si la croissance des usages ne ralentit pas**. Dans le cas où les progrès en matière d'efficacité énergétique ralentiraient¹³ ne serait-ce que légèrement, le numérique pourrait représenter plus de 9 % de la consommation d'énergie primaire en 2025, soit 25 % de l'énergie consommée par les pays de l'OCDE (BP, 2020). › Scénario « growth less EE »
- Une **stabilisation** de la consommation d'énergie par le numérique **si nous parvenons à maîtriser nos pratiques de consommation** (plus

13 - Ce risque est réel car les technologies actuelles approchent de leurs limites et les technologies futures (processeurs quantiques par exemple) ne seront pas industrialisées à l'échéance 2025 (ni même 2030).

de sélectivité dans les usages vidéo, durée de conservation des smartphones allongée, priorisation des cas d'utilisation de l'IoT, etc). Dans ces conditions, la consommation d'énergie primaire n'augmente quasiment pas et le ratio reste de l'ordre de **5 % jusqu'en 2025**. Or, **il ne s'agit en aucun cas dans ce scénario de museler la transition numérique** : la croissance du trafic reste très élevée (14 % dans les data centers, 23 % sur les réseaux mobiles) et le parc d'objets connectés (modules IoT) augmente de 10% par an. › Scénario « new sobriety »

4 - L'empreinte carbone mondiale du numérique

Tout en tenant compte de l'évolution de l'intensité carbone de la production énergétique (et électrique) mondiale, nous estimons que la part d'émissions de **gaz à effet de serre (GES)** attribuable au numérique est passée de **2,9 % en 2013 à 3,5% en 2019** (1,84 Gt).

Émissions de GES en GtCO ₂ eq	2015	2019	2025	CAGR 2015/2019	CAGR 2019/2025
Conservative	1,5	1,8	2,4	6 %	4,7 %
Growth			2,8	6 %	7,3 %
Growth less EE			3,1	6 %	8,8 %
New sobriety			1,7	6 %	-1,4 %

Tableau 3 : Émissions de GES mondiales du numérique en GtCO₂e
(The Shift Project – Forecast Model 2021)

Ce chiffre est légèrement inférieur à notre estimation faite en 2018 (environ 2,1 Gt) mais il est toujours du même ordre de grandeur que ceux relatifs à des secteurs réputés beaucoup plus consommateurs d'énergie carbonée et dont l'empreinte matérielle est réputée bien plus grande : la part d'émissions de GES des véhicules légers (automobiles, motos...) est d'environ 8 % en 2018, et celle du transport aérien civil d'environ 2,5 % en 2018 (The Shift Project, 2020b).

Encore plus préoccupant, le **taux de croissance des émissions de GES dues au numérique est d'environ 6 %**, avec un risque important de passer à 9 % à court terme. En effet, cette croissance doit s'analyser dorénavant au regard des objectifs de réduction des émissions de GES tels que définis lors de la COP 21 et précisés depuis par les rapports du GIEC et de l'UNEP. Ceux-ci indiquent clairement que les émissions annuelles de CO₂ fossiles doivent être réduites de moitié d'ici 2030 pour préserver les chances de maintenir le réchauffement en-deçà de 2°C. Alors que l'on peut donc espérer une baisse graduelle des émissions de GES totales à court terme, **la part du numérique dans ces émissions va continuer à augmenter et pourrait doubler d'ici 2025 pour dépasser 7 %**.

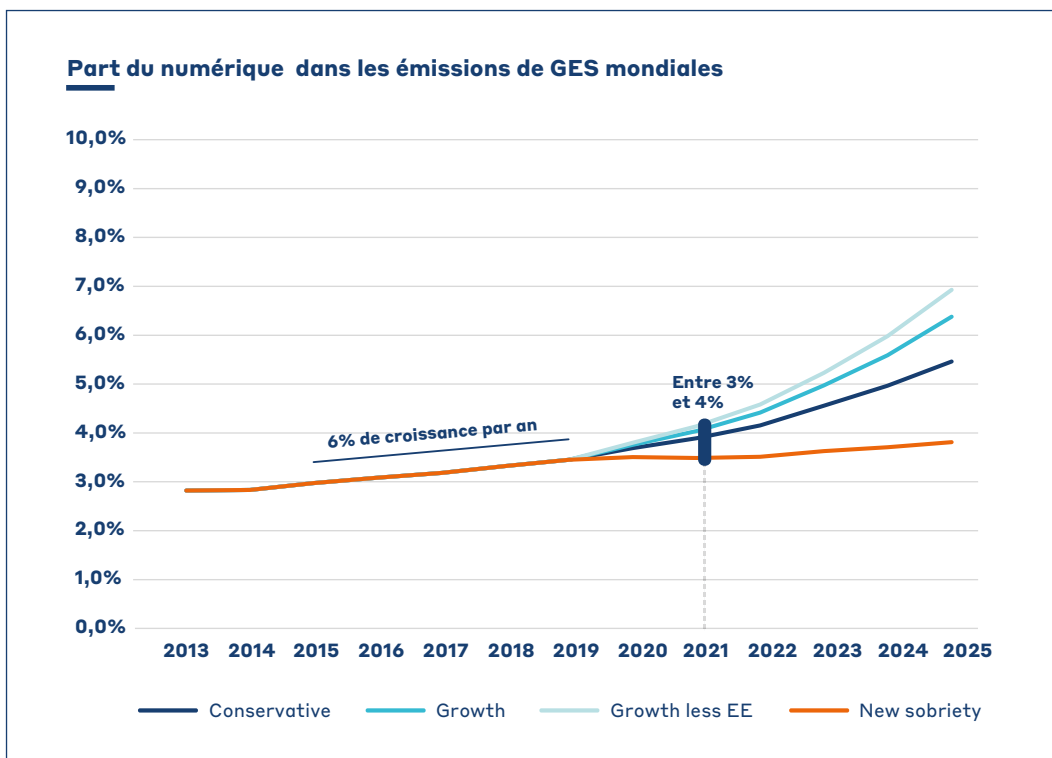


Figure 2 : Évolution 2013-2025 de la part du numérique dans les émissions de GES mondiales (The Shift Project – Forecast Model 2021)

Répartition de l'empreinte carbone entre les phases de production et d'utilisation

La phase de production des équipements occupe une part tout à fait significative, près de 40 % en 2019, dans l'empreinte carbone totale du numérique.

Cette part est d'ailleurs prédominante pour les équipements intégrant un nombre important de fonctionnalités et faisant l'objet d'une utilisation intermittente. Ainsi, un smartphone conservé deux ans voit-il son empreinte carbone se réaliser à plus de 80 % avant sa première minute d'utilisation.

Une bonne partie des enjeux environnementaux du numérique n'est donc pas liée à l'usage que l'on en fait, mais en grande partie au volume de matériel produit, à son processus de production, et à sa durée de vie.

A l'échelle d'un pays comme la France, bénéficiant d'une électricité fortement décarbonée, les émissions embarquées peuvent dépasser 80 % de l'empreinte totale du numérique (Sénat - Citizing - Virtus Management, 2020).

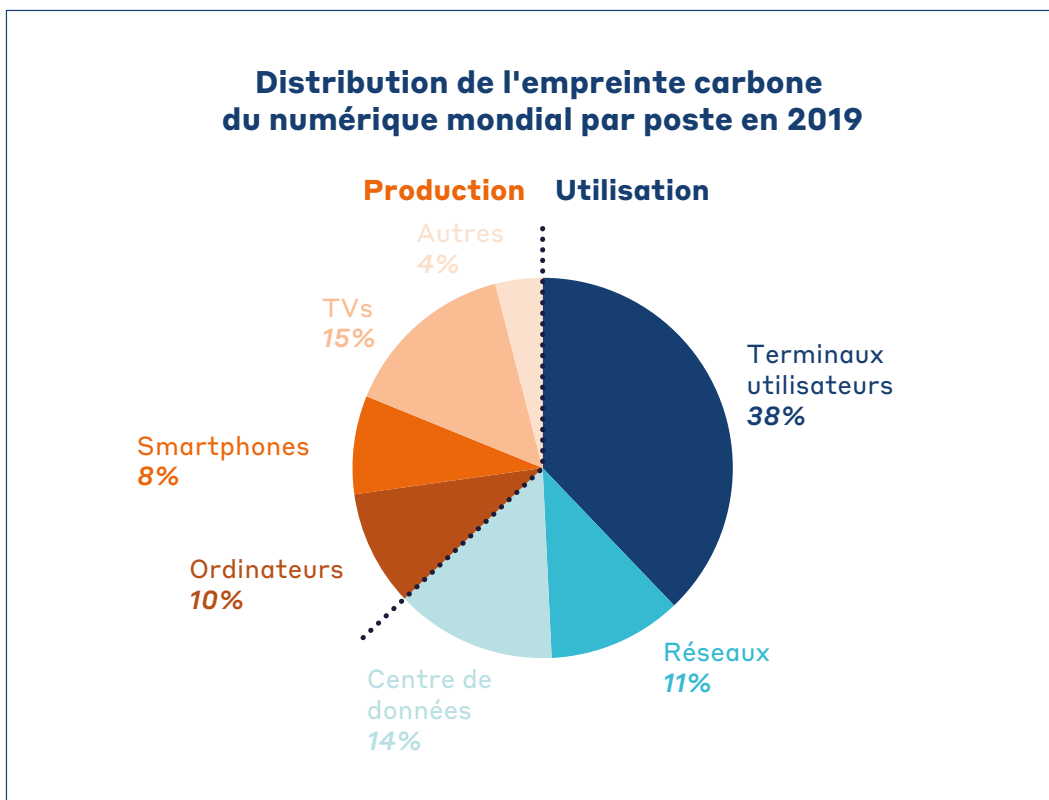


Figure 3 : Distribution de l'empreinte carbone du numérique mondial par poste en 2019 (The Shift Project – Forecast Model 2021)

5 - Comparaison avec les résultats de 2018, implications et conclusions

Consommation d'énergie finale	Part dans la consommation mondiale 2019	Evolution annuelle de la consommation (2015-2019)	Part dans la consommation mondiale 2025
Modèle 2018	3,1% (Expected updated)	+ 9 %/an	4,7 à 6 %
Mise à jour 2021	3,6 %	+ 6,2 %/an	4,8 à 5,9 % (hors New Sobriety)

Tableau 4 : Consommation énergétique du numérique mondial - comparaison des résultats mis à jour avec les résultats de 2018 (The Shift Project - Forecast Model 2021), (The Shift Project - Forecast Model 2018)

Empreinte carbone	Part dans les émissions mondiales 2019	Evolution annuelle des émissions (2015-2019)	Part dans les émissions mondiales 2025
Modèle 2018	4.0 % (Expected updated)	+ 8 %/an	6,9 à 8,8 % (hors Sobriety)
Mise à jour 2021	3,5 %	+ 5,5 %/an	5,5 à 6,9 % (hors New Sobriety)

Tableau 5 : Empreinte carbone du numérique mondial - comparaison des résultats mis à jour avec les résultats de 2018 (The Shift Project - Forecast Model 2021), (The Shift Project - Forecast Model 2018)






L'évolution annuelle de **la consommation d'énergie finale** du numérique dans le monde montre une tendance légèrement inférieure à ce que notre modèle de 2018 indiquait, mais qui reste toutefois supérieure au scénario moyen « expected case » prévu par Andrae et Edler (+ 4 %/an) en 2015¹⁴.

En termes d'empreinte carbone, si l'évaluation des émissions annuelles actuelles est **bien confirmée à environ 3,5 % des émissions mondiales**, les projections de notre modèle mis à jour sont légèrement inférieures à celles de 2018 (5,5 à 7 % en 2025 au lieu de 7 à 9 %).

Ce réajustement ne change en rien les ordres de grandeur des impacts du numérique, aussi bien actuels qu'à horizon 2025. Cette consolidation montre bien que **les tendances restent insoutenables et incompatibles avec le respect des accords de Paris**. Les préconisations de *The Shift Project* quant à la nécessité de reprendre la main sur l'évolution de cette empreinte sont donc confirmées et réaffirmées.

B - Les dynamiques de croissance du numérique

Les sources de la forte croissance de la consommation énergétique du numérique sont multiples mais il est possible, en première analyse, d'identifier **5 facteurs principaux** :

-  L'essor de la vidéo et ses conséquences : TV, écrans publicitaires, moniteurs de grande taille ;
-  Le confort assisté : les enceintes connectées, les caméras de vidéo-surveillance personnelle etc. ;
-  La généralisation du smartphone à travers le monde ;
-  L'essor de l'IoT et de l'IloT;
-  Des besoins de traitement et de transport de données non absorbés par le progrès technologique :
 - L'explosion du trafic de données mobiles,
 - La demande en capacités de calcul (IA, crypto-monnaies),
 - L'edge computing.

14 - Les détails sur ces scénarios sont disponibles en annexe.

1 - L'explosion du volume de données

La **croissance du nombre d'utilisateurs** équipés d'au moins un terminal connecté (essentiellement un smartphone, notamment dans les pays en développement), l'augmentation du **ratio du nombre de terminaux connectés par individu** (de 2,1 en 2015 à 3,6 en 2023 en moyenne mondiale), **l'augmentation du trafic vidéo** couplée à la part croissante des images de qualité HD et UHD et au déport des usages vers de la **consommation à la demande** (streaming, VOD, cloud gaming)¹⁵, sont autant de facteurs qui provoquent une explosion du trafic sur les réseaux (plus de 26 % par an (Cisco, 2018a)) et dans les data centers (+35 % par an, (Cisco, 2018b)). Cette croissance se produit à un rythme qui surpasse celui des gains d'efficacité énergétique des équipements, des réseaux et des data centers. Ces prévisions de trafic sont par ailleurs **régulièrement revues à la hausse**.

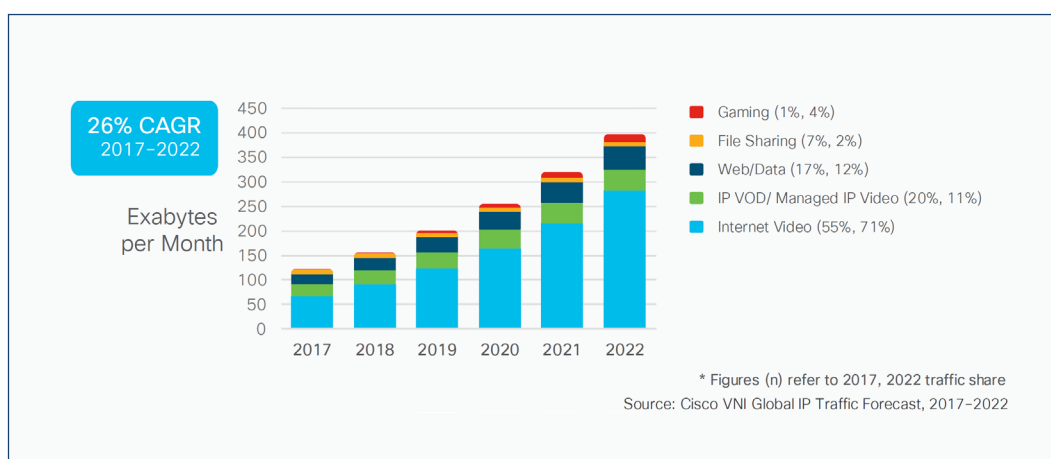


Figure 4 : Évolution des parts de trafic 2017-2022
(Source : (Cisco, 2018a))

L'essentiel de la croissance de ces flux de données est attribuable à la consommation des services fournis par les « GAFAM »¹⁶, à tel point que celle-ci peut représenter 80 % du trafic écoulé sur le réseau de certains opérateurs. Cette augmentation du trafic s'accompagne d'une augmentation du volume de données stockées dans les data centers, tirée par les approches « Cloud » et « Big data », encore plus importante : + 40 % par an, soit 1 Zettaoctet en 2020 (Cisco, 2018b).

Les données stockées dans les data centers devraient représenter ainsi 20 % du volume (5 Zettaoctets) de données stockées dans les terminaux, contre 14 % en 2015, ce qui contribue à faire croître le trafic. A noter que Cisco estime à 67 Zettaoctets en 2020 le volume de données « utiles » produites par les approches IoT et IIoT, soit 35 fois plus que la capacité de stockage prévue dans les data centers à cette échéance. **Afin de garantir la pleine efficacité des approches « Cloud » et « Big data » actuellement mises en œuvre, il sera donc nécessaire :**

15 - La proportion de téléviseurs UHD va passer de 15 % du parc installé en 2016 à 56 % en 2021 (Cisco, 2017a)

16 - Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft, auxquels on ajoute de plus en plus leurs homologues chinois Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi (BATX).

- Que de **nouvelles architectures déportant les capacités de traitement et de stockage des données au plus près des capteurs** soient mises en place pour que les services basés sur l'IoT et l'IIoT se développent effectivement (edge computing¹⁷, fog computing). Ceci devrait entraîner une augmentation supplémentaire du parc d'équipements actifs, ainsi que de la dépense énergétique via la décentralisation d'instances d'intelligence artificielle et la multiplication de data centers d'agrégation.
- De développer des **capacités de stockage supplémentaires** basées sur la technologie SSD¹⁸ (notamment 3D NAND¹⁹). Ceci va entraîner une augmentation de l'intensité énergétique de ces équipements liée à la phase de fabrication.

A noter par ailleurs que **cette croissance est si forte qu'une question se pose quant à la capacité même d'assurer une production industrielle suffisante en termes d'équipements de stockage** (Techradar, 2015).

Malgré le fait que les hyperdatacenters, à l'efficacité énergétique bien meilleure que les data centers traditionnels, captent une proportion croissante du trafic (environ 50% en 2020, et près des 2/3 en 2025) et de la charge informatique associée, la consommation d'électricité des data centers augmente du fait notamment du déploiement de l'edge computing à partir de 2020 mais aussi en raison de **l'essor des crypto-monnaies** telles que le Bitcoin.

Celui-ci, basé sur une approche de vérification dite « proof of work », nécessite l'exécution de calculs complexes, dont le niveau de difficulté est en quelque sorte le garant de la sécurité de la transaction. Ce niveau de difficulté est régulièrement rehaussé puisque la rapidité de résolution des algorithmes va augmenter en fonction de la puissance informatique consacrée à cette résolution, puissance informatique qui est elle-même dopée par la hausse des cours et l'espoir de gains pour les « mineurs ». Il s'ensuit une course à la puissance informatique qui, malgré l'utilisation de processeurs conçus spécifiquement pour ce type d'usages, résulte en une augmentation massive de la consommation d'électricité.

Selon l'observatoire de Cambridge (Cambridge Center for Alternative Finance, 2021), le rythme annuel de consommation électrique du Bitcoin en mars 2021 est de l'ordre de 130 TWh et **augmente d'environ 40% par an**. Bien qu'une partie de cette consommation soit due à des mineurs individuels travaillant en réseau pour partager la puissance informatique de leurs serveurs, la majorité des calculs (plus des 2/3) se fait au sein de « fermes spécialisées » (crypto-mining farms) (Stoll, C. et al., 2019). Sur la base d'une consommation de l'ordre de 70 TWh en 2020, on peut donc

17 - « Edge Computing est une architecture informatique distribuée ouverte qui présente une puissance de traitement décentralisée permettant les technologies de l'informatique mobile et de l'Internet des Objets (IoT). Les données y sont traitées par le périphérique lui-même ou par un ordinateur ou un serveur local au lieu d'être transmises à un datacenter. » (HPE, 2018, www.hpe.com/fr/fr/what-is/edge-computing). Le Fog computing rapproche encore plus le traitement des données de leur point d'émission, en intégrant dans l'infrastructure tout objet connecté.

18 - SSD ou Solid State Disk : le stockage est réalisé dans des puces informatiques.

19 - NAND : type de technologie mémoire Flash

estimer que le Bitcoin contribuerait déjà à hauteur de 10% à la consommation totale des data centers (45 TWh sur 438 TWh) et est l'un des principaux facteurs d'inflation dans ce domaine.

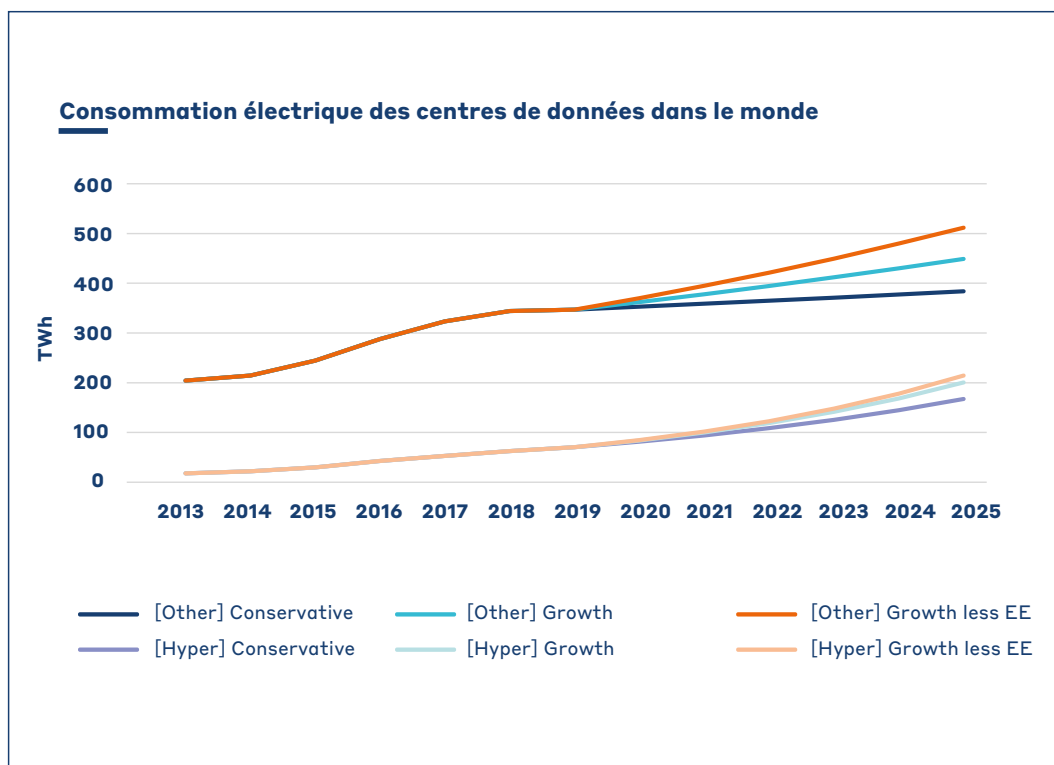


Figure 5 – Evolution 2013-2025 de la consommation électrique des centres de données dans le monde.
 Préfixes « [Hyper] » : scénarios de la consommation des centres de données « hyperscale »
 Préfixes « [Other] » : scénarios de la consommation des autres centres de données

2 - La multiplication des terminaux connectés

Le phénomène smartphone

Non seulement **le parc croît rapidement** (4 milliards en 2017, 6,7 milliards en 2023, soit **9 % par an** (Cisco, 2020)), mais **la richesse des fonctionnalités** du smartphone ne cesse d'augmenter, ce qui entraîne une consommation d'énergie plus importante lors de sa production, notamment du fait de l'extraction des métaux, toujours plus diversifiés.

La consommation d'énergie du terminal lors de son utilisation augmente également à cause de l'utilisation d'applications plus nombreuses : un marqueur de cette dernière tendance est le fait que la fréquence de rechargement de nos smartphones reste à peu près constante alors que la puissance moyenne de la batterie a augmenté de 50 % en 5 ans.

Bien que ce dernier phénomène soit un remarquable exemple d'effet rebond, il n'en reste pas moins que l'essentiel de la consommation d'énergie se situe en phase de production : **90 % contre 10 % pour son utilisation**,

selon les données synthétiques issues du Référentiel Environnemental du Numérique (The Shift Project, 2018)²⁰.

Or, les volumes de ventes (1,4 milliard d'unités en 2018²¹) sont tirés non seulement par l'**équipement progressif des pays en développement** mais aussi par des **habitudes de consommation « inflationnistes » dans les pays développés** (fréquence de renouvellement inférieure à 2 ans), en partie alimentées par des constats d'obsolescence plus ou moins programmée (les versions successives des systèmes d'exploitation ne sont compatibles avec les terminaux de générations antérieures qu'au prix de la dégradation des performances et/ou d'une réduction importante de la capacité utile de la batterie), et par des changements de génération technologique ainsi, la vente de smartphones qui avait **ralenti** depuis quelques années est repartie à la hausse fin 2020 avec le déploiement de la 5G et devrait croître de 3,5% par an jusqu'en 2025 selon IDC.

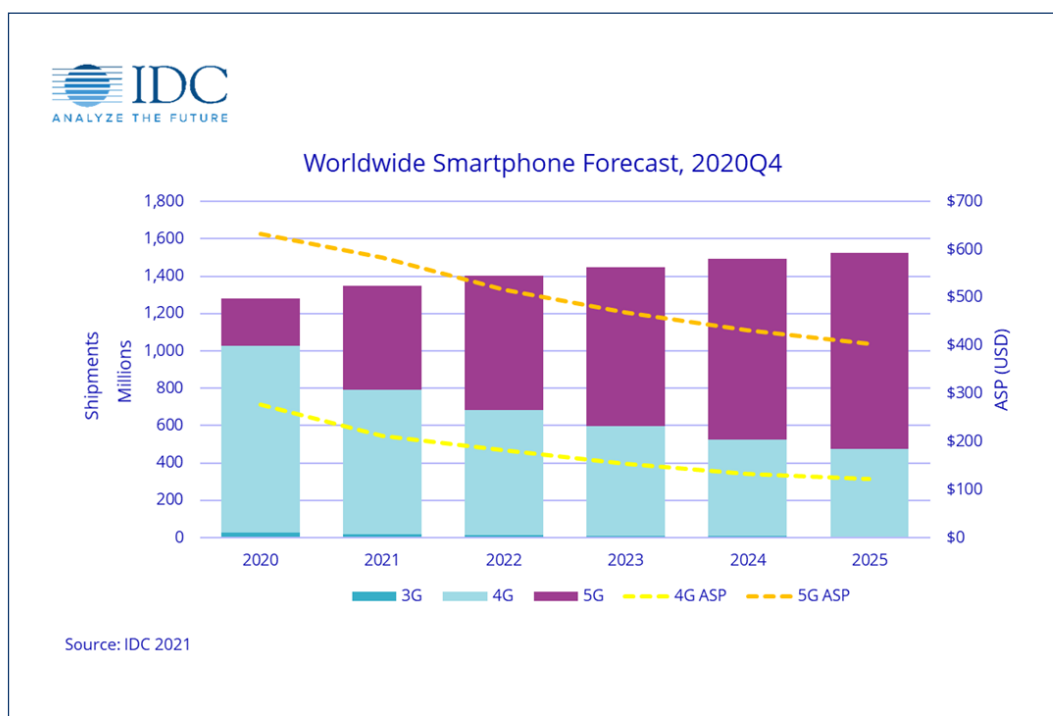


Figure 6 : Projection des productions annuelles de smartphones et évolution du prix moyen d'un smartphone
(Source : IDC)
L'Internet des Objets (IoT) et la multiplication des équipements connectés de la vie quotidienne

De nouveaux périphériques apparaissent (bracelets mesurant l'activité physique, enceintes Bluetooth portables, etc.) et des équipements existant dans tous les foyers deviennent communicants (télévisions, réfrigérateurs, machines à café, systèmes d'alarme et de surveillance, thermostats, éclairage etc.). Cette tendance est si forte qu'il est prévu qu'elle entraîne un doublement du nombre des équipements numériquement connectés dans les dix ans qui viennent (voir Figure 8 ci-dessous).

20 - On néglige ici l'énergie consommée lors de la fin de vie compte tenu du faible taux de prise en charge dans les filières de recyclage et de l'absence de données correspondantes.

21 - <https://www.statista.com>

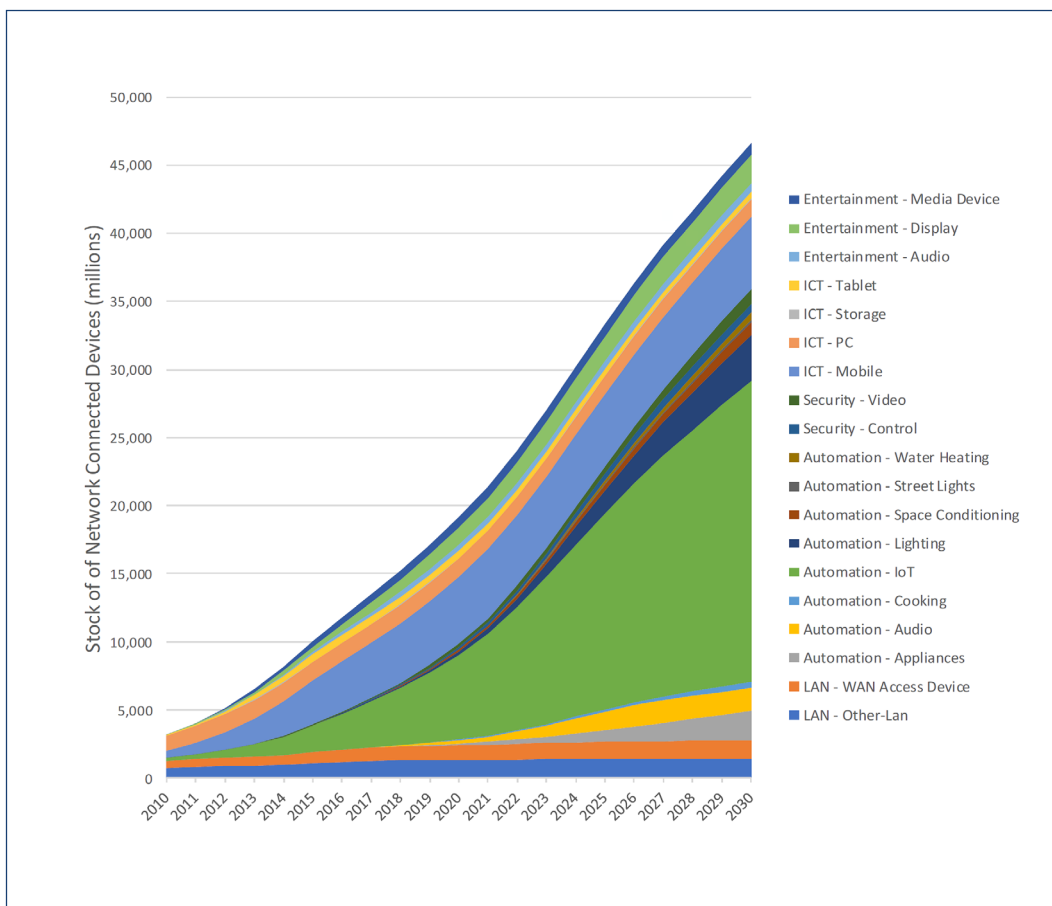


Figure 7 : Evolution des parcs d'équipements connectés dans le monde
(Source : (IEA 4E EDNA, 2019))

Cette prolifération d'équipements connectés du quotidien se produit toutefois essentiellement au sein des pays développés et conduit ainsi à accroître le différentiel de taux d'équipements numériques avec le reste du monde : alors que le taux d'équipement augmente effectivement dans toutes les régions, la croissance du taux d'équipement attendue de 2018 à 2023 dans les pays développés déjà suréquipés devrait être cependant largement supérieure à celle des pays en développement : +75% aux Etats-Unis contre +30% pour le continent africain, accentuant ainsi l'écart existant, pourtant déjà considérable.

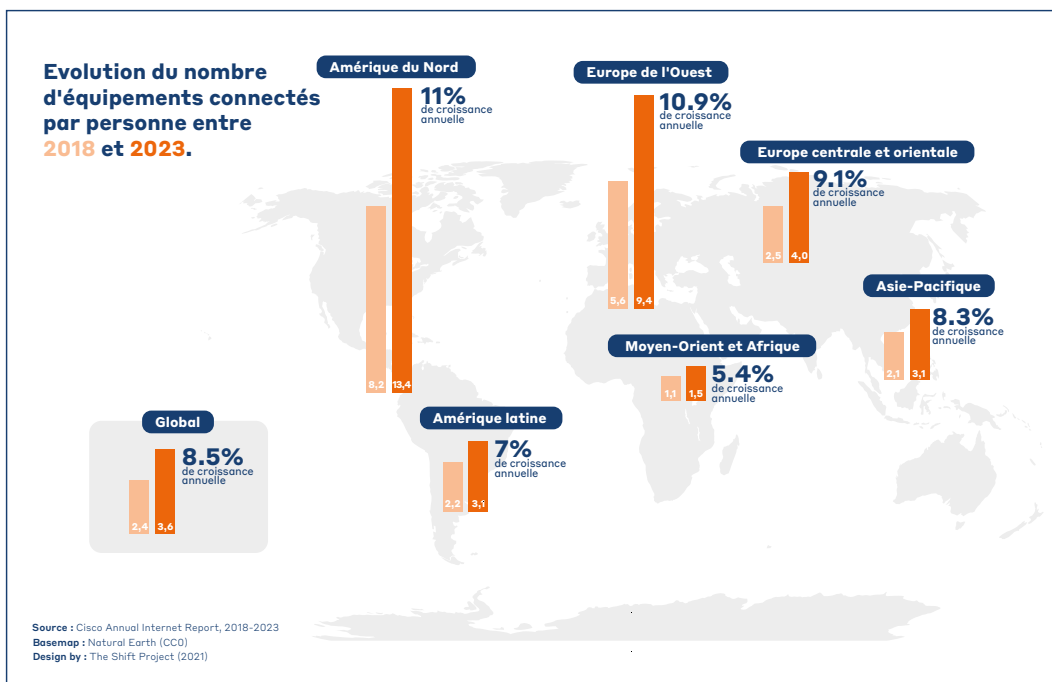


Figure 8 : Nombre d'équipements par habitant (Source : Cisco, 2020)

2012	2017	2022
2 smartphones	4 smartphones	4 smartphones
2 laptops / computers	2 laptops / computers	2 laptops / computers
1 tablet	2 tablets	2 tablets
1 DSL/Cable/Fibre/Wifi Modem	2 DSL/Cable/Fibre/Wifi Modem	3 DSL/Cable/Fibre/Wifi Modem
1 Printer / scanner	1 Printer / scanner	1 Printer / scanner
1 Game console	1 Game console	1 Game console
	1 connected television	3 connected television
	2 network attached storage	1 network attached storage
	2 eReaders	2 eReaders
	1 smart metre	1 smart metre
	2 connected stereo systems	3 connected stereo systems
	1 energy consumption display	1 energy consumption display
	1 Internet connected car	2 Internet connected car
	1 pair of connected sport shoes	3 connectes sport devices
	1 pay as you drive device	2 pay as you drive devices
		1 digital camera
		7 smart light bubbles
		5 internet connected power socker
		1 weight scale
		1 eHealth device
		1 intelligent thermostat
		4 home automation sensors

Figure 9 : Équipements numériques dans un foyer de 4 personnes dans un pays de l'OCDE (Source : (GSMA, 2015))

Essor de l'IloT (Internet des Objets Industriels)

L'Internet des Objets Industriels (IIoT – Industrial Internet of Things) consiste, grâce à une technologie embarquée (capteurs, actionneurs, puces RFID...) à identifier et faire communiquer entre eux tous les maillons des chaînes de valeur (machines, produits en cours de fabrication, finis et en cours d'utilisation, collaborateurs, fournisseurs, clients, infrastructures...), que l'on peut désigner comme des « objets ».

Les objets connectés permettent alors de collecter des informations – qui n'étaient jusqu'à présent fournies que via des actions manuelles humaines – sous forme de données, données qui peuvent ensuite être stockées puis analysées. C'est **l'un des piliers technologiques de l'Industrie 4.0**, avec la robotique et l'intelligence artificielle.

L'IloT conduit les entreprises à procéder à des investissements considérables en technologies numériques communicantes (de l'ordre de 965 milliards de dollars en 2017 avec une forte croissance d'environ 21% par an) (Gartner, 2017). Selon Gartner, le nombre d'interfaces de communication de ce type va augmenter de 55% par an jusqu'à atteindre **7,5 milliards en 2020** (Gartner, 2017).

3 - De nouveaux réseaux pour ces nouveaux services

La croissance des terminaux connectés et des usages associés, entraîne celle des données générées, stockées et traitées. Ainsi les dynamiques décrites ici, engendrent une **nécessité continue d'augmenter les capacités de nos infrastructures réseaux**. Ce mouvement se traduit d'une part par le remplacement des réseaux d'accès fixe en « cuivre » par des réseaux en fibre optique et, d'autre part, par le recours simultané à de nouvelles générations de télécommunications mobiles et à des bandes de fréquences de plus en plus hautes.

Si le remplacement des réseaux « cuivre » par des réseaux de fibre optique s'avère incontestablement bénéfique en termes de consommation énergétique, il n'en est pas de même en ce qui concerne les réseaux mobiles.

Le rythme de croissance annuel du trafic mobile (plus de 60% ces 5 dernières années), l'augmentation de la densité de sites radio rendue nécessaire par la montée en fréquences (plus la fréquence utilisée est élevée, plus la portée du signal est réduite) et la couverture de nouveaux territoires pour résorber les fractures numériques ont conduit à une augmentation de 25% par an de leur consommation électrique depuis 2015, en dépit de gains d'efficacité énergétique massifs de l'ordre de 20% par an. La consommation des réseaux mobiles est ainsi devenue supérieure à celle des réseaux fixes dès 2018. Si la croissance du trafic ralentit considérablement (37% par an dans notre scénario « conservative » proche des prévisions affichées d'Ericsson), la consommation d'électricité n'augmentera plus « que » de 10% par an, mais, si elle se maintient à un taux plus élevé (50%, soit l'hypothèse moyenne apparaissant dans les scénarios de l'UIT ²²), la consommation d'électricité continuera à croître à un rythme proche de 25% par an.

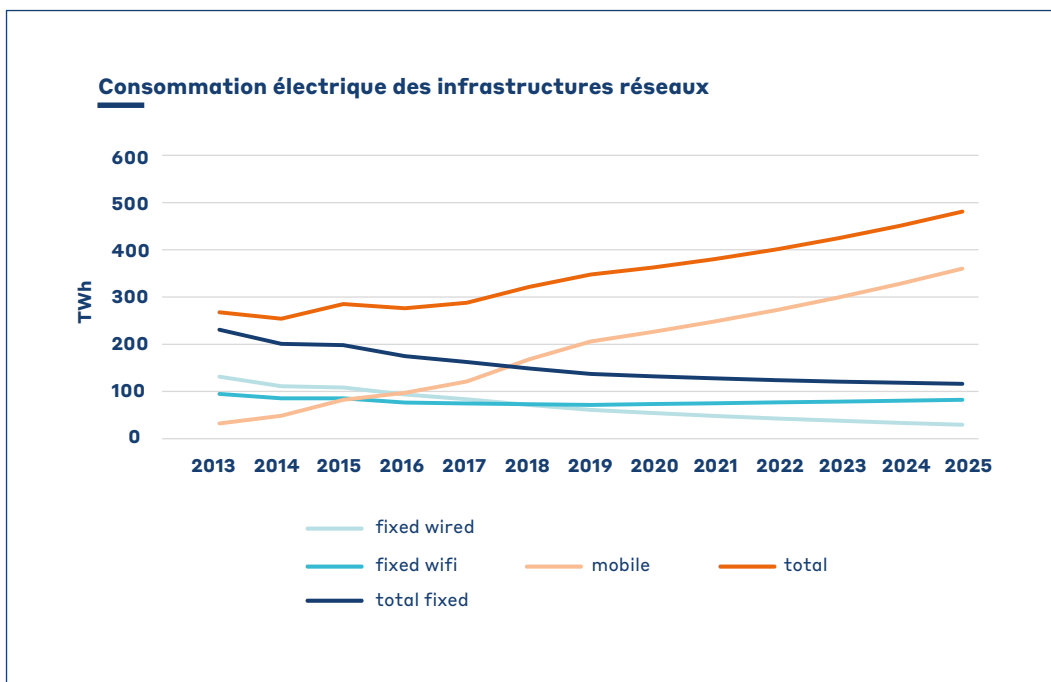


Figure 10 : Évolution 2013-2025 de la consommation électrique des réseaux dans le monde (scénario Conserva-tive)
(The Shift Project – Forecast Model 2021)

La consommation énergétique associée à nos usages mobiles dans le monde représente d'ores et déjà 1,5 fois celle de nos usages fixes. Ils sont ainsi au cœur des enjeux posés par les tendances insoutenables déjà identifiées en 2018 (confirmées dans cette mise à jour), or ce sont bien elles qui motivent aujourd'hui le déploiement de notre 5ème génération de réseaux mobiles.

02- 3- Les dynamiques de croissance du numérique - Les chiffres à retenir

<p>L'explosion du volume de données</p> <ul style="list-style-type: none"> + 26% par an Explosion du trafic sur les réseaux. + 35% par an Explosion du trafic dans les data centers. + 40% par an Augmentation du volume de données stockées dans les data centers. 	<p>La multiplication des terminaux connectés</p> <ul style="list-style-type: none"> +9% par an Croissance du parc de smartphones. 3.6 équipements connectés par personne dans le monde en 2023. 7.5 milliards d'interfaces connectées industrielles en 2020. 	<p>Nouveaux réseaux pour ces nouveaux services</p> <ul style="list-style-type: none"> 60% par an par an d'augmentation du trafic mobile La consommation énergétique de nos usages mobiles est 1.5 fois supérieure à celle de nos usages fixes.
--	---	---

03

**La 5G :
des questions
qui n'ont
toujours pas
été traitées**

A - Le système numérique ne deviendra pas soutenable par automatisme

Le constat est indéniable : l'impact du numérique ne fera qu'augmenter, comme le reste de l'empreinte de l'économie, si nous ne nous donnons pas les moyens de le piloter. Depuis plusieurs décennies, **les améliorations technologiques permettant des progrès unitaires sur la consommation énergétique de nos terminaux et de nos réseaux, sont systématiquement compensées par les évolutions de nos usages**²³ :

- Nous produisons toujours davantage de terminaux,
- Chaque personne et chaque foyer voit son nombre d'équipements individuels augmenter,
- Nos usages sont de plus en plus consommateurs en données,
- Nos usages de plus en plus nomades font appel de manière croissante à des réseaux mobiles, davantage consommateurs que les réseaux fixes (4G plutôt que WiFi par exemple).

Les progrès technologiques n'ont donc historiquement jamais eu pour effet de diminuer les impacts environnementaux **totaux** (c'est-à-dire en prenant en compte la phase de production de nos équipements, leur phase d'utilisation, et ce pour tous les pays du monde) de notre système numérique²⁴.

Poser sérieusement la question de la place de nos réseaux dans la course au respect de l'objectif 2°C, donc, c'est comprendre qu'il nous est nécessaire de **piloter nos réseaux et nos usages, pour passer d'un numérique compulsif à un numérique réfléchi**.

1 - L'évolution de nos réseaux : une histoire d'usages

L'avenir de nos réseaux doit être construit autour de nos choix d'usages : les uns n'évoluent pas sans les autres. C'est la proposition de nouveaux services et la croissance de leur utilisation qui va motiver et justifier le déploiement de nouvelles capacités pour nos réseaux, dont la disponibilité va à son tour faire émerger de nouveaux usages.

23 - Comme développé dans la partie précédente de cette note au travers des scénarios prospectifs.

24 - Or, dans le cadre des défis énergie et carbone, c'est bien la quantité d'énergie (et d'émissions) totale qui compte : la problématique étant physique (l'enjeu est très concrètement d'émettre moins de molécules de CO2 dans l'atmosphère), nos réflexions ne peuvent se cantonner à des raisonnements relatifs qui s'arrêteraient à un périmètre restreint ou à des impacts directs – comme le rappellent les récentes recommandations du HCC (HCC, 2020b).

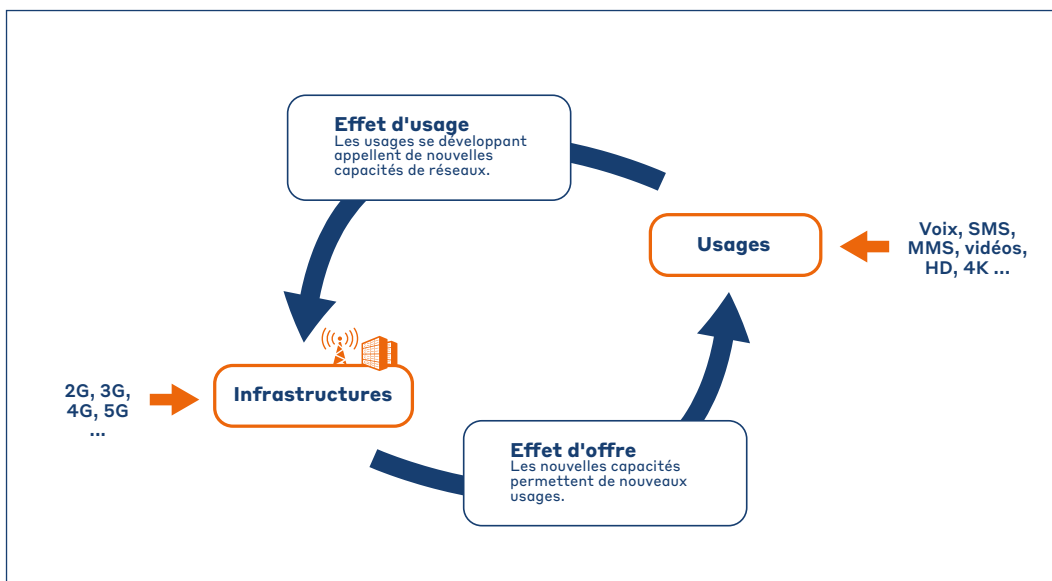


Figure 11 : Nos usages et nos réseaux sont les deux faces d'une même dynamique (Source : The Shift Project, 2020)

Considérer que nos usages évoluent de manière autonome et endogène, ou « naturellement », est une erreur stratégique. Nous faisons aujourd'hui évoluer nos infrastructures réseaux **comme si le rôle de notre gouvernance numérique se limitait à gérer les conséquences d'une croissance automatique des usages.** Or **notre gouvernance doit inclure le pilotage des causes de cette croissance,** dont les dynamiques sont aujourd'hui identifiées.

La sociologie des usages, les études comportementales des usages numériques et l'étude des designs des plateformes ont démontré que si les individus consomment de plus en plus de données ce n'est pas simplement « par réflexe » mais bien en grande partie parce que les mécanismes sur lesquels sont structurés nos outils sont orientés en ce sens²⁵ (The Shift Project, 2020). **Ce qui a principalement guidé le déploiement de nos infrastructures depuis les années 2000** (au moment de l'essor des modèles économiques actuels des GAFAM²⁶ et de la donnée), c'est **la nécessité de rendre disponibles de nouveaux services connectés** introduits et promus notamment par les acteurs outre-Atlantique et leurs homologues (The Shift Project, 2019).

La rentabilité de ces services, construite sur la monétisation des volumes de données et la vente de biens et de terminaux connectés, entraîne **une augmentation permanente des besoins techniques de nos infrastructures** : débits disponibles, objets simultanément connectés²⁷, omniprésence de la connexion dans les espaces publics etc. (The Shift Project, 2020)

25 - Les plateformes, les applications, les réseaux sociaux, sont construits sur la base de modes de présentation de leurs contenus sollicitant des mécanismes et biais cognitifs afin de maximiser la quantité de contenus consommés par les utilisateurs (autoplay ou défilement infini, notifications etc.) : c'est ce que l'on appelle souvent les designs addictifs.

26 - Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft

27 - Les objets connectés sont essentiellement des capteurs : ils permettent d'acquérir des données, parfois pour l'usage direct (comme un capteur de présence), mais quasi-systématiquement avec un système de concentration et de traitement des données acquises pour des usages indirects (via par exemple les assistants connectés de type Alexa ou Google Home).

Les usages reposant sur les **infrastructures mobiles sont avant tout les usages nomades**, en itinérance. Ainsi, le déploiement d'une infrastructure mobile en France sert **le développement de cette catégorie de services et d'activités, qui ne s'appuie pas sur les offres d'accès fixes comme celles permises par la fibre raccordée au foyer.**

C'est bien cette famille d'usages qui s'est développée conjointement aux apparitions des générations successives de réseaux mobiles²⁸ :

- ↳ La 2G, déployée dans les années 1990, permet notamment les premières transmissions mobiles numériques pour la voix et les messages écrits (les SMS) ;
- ↳ La 3G, déployée dans les années 2000, permet notamment des usages mobiles liés à la navigation internet, comme le visionnage d'images voire de vidéos en définition limitée ;
- ↳ La 4G, déployée dans les années 2010, permet la généralisation des usages nomades connectés, comme la visualisation de vidéo HD ou l'utilisation d'un terminal mobile comme point d'accès.

Chaque génération de réseaux mobiles s'accompagne ainsi d'une augmentation de l'intensité en données des usages nomades : d'une part parce qu'elle s'effectue en parallèle de l'apparition de nouveaux terminaux devenus plus puissants, mais également parce qu'elle rend possible des services bien plus gourmands en octets, à terminal équivalent (Cisco, 2019). Or nous l'avons vu, de par l'absence d'effet de substitution entre les réseaux²⁹, la consommation plus importante des réseaux mobiles par rapport aux réseaux fixes³⁰ et les effets rebonds³¹, la consommation totale de nos usages numériques augmente de manière continue depuis plusieurs dizaines d'années malgré les améliorations technologiques très importantes de l'efficacité énergétique unitaire au fil des générations de réseaux.

Il n'existe **aucune raison objective pour que la 5G produise des effets différents** de ceux engendrés par les générations précédentes si les dynamiques qui la pilotent et la rentabilisent restent les mêmes. Notre gouvernance numérique se doit donc de prendre en compte la question des **modèles économiques du numérique qui permettront de rentabiliser des évolutions compatibles avec les contraintes énergie-climat.**

28 - Est ici présenté une synthèse schématique de la succession des différentes générations et des fonctionnalités associées, en lissant les détails des générations/versions intermédiaires.

29 - Depuis la 2G et jusqu'ici, le déploiement d'une génération de réseau supplémentaire n'a pas eu pour effet d'en supprimer une plus ancienne.

30 - cf. partie précédente de ce rapport.

31 - Les travaux universitaires récents confirment que les gains de performance des technologies numériques continuent d'être entièrement absorbés par l'effet rebond (Bol, D., Prison, T., Dekimpe, R., 2020).

2 - Panorama du débat sur la 5G : politisation mais polarisation

La technologie est une question politique

La technologie engage certains choix de société, et cela est en fait de facto une question politique. Le système numérique a un comportement de système (il possède ses dynamiques propres) et interagit avec les autres sous-systèmes de notre économie³². **Ainsi, déployer un service ou une infrastructure connectée sur un territoire, c'est choisir de développer certaines dynamiques précises**, qui vont influencer sur celles déjà en place et conditionner celles pouvant être développées ensuite (The Shift Project, 2020).

L'enjeu de cette décennie étant de viser juste pour ne pas manquer notre ultime coup d'essai vers la résilience, nous devons **faire du numérique l'outil et l'atout qu'il peut devenir**. Nous sommes aujourd'hui en mesure de comprendre ses dynamiques propres et les implications de nos choix technologiques sur le reste des composantes de la société. **Il est donc temps, et indispensable, d'intégrer ces dimensions dans son pilotage**.

Le débat sur la 5G en France

Le débat sur la 5G, qui est la manifestation d'une entrée concrète des problématiques technologiques dans la discussion publique, s'est construit en 2020 autour de la question du moratoire. La discussion autour d'un moratoire n'est pas synonyme d'un positionnement « pour » ou « contre » la technologie en elle-même : elle ne vise qu'à **choisir si certaines évaluations seront réalisées en amont du déploiement de l'infrastructure afin de pouvoir juger de sa pertinence**.

La procédure de consultation publique sur les enjeux de la 5G a été initiée il y a plusieurs années, avec entre autres la consultation publique de l'Arcep « De nouvelles fréquences pour les territoires, les entreprises, la 5G et l'innovation » (Arcep, 2017). Bien qu'elles soient aujourd'hui l'un des axes centraux des débats sur l'avenir de notre numérique, les problématiques environnementales sont totalement absentes du spectre des sujets adressés à cette époque³³ et ce malgré l'existence, déjà, d'études et d'acteurs positionnés sur le sujet³⁴. Confirmé par la manière dont s'est cristallisé le débat courant 2020, cela démontre **l'incapacité de nos mécanismes actuels de gouvernance du numérique à mettre en place le pilotage étayé et collectif que *The Shift Project* et d'autres acteurs préconisaient en 2018 (The Shift Project, 2018), en impliquant les pouvoirs publics, les régulateurs, les fournisseurs et designers de services numériques, les opérateurs réseaux et les communautés d'utilisateurs**.

32 - Des services issus d'un écosystème fondamentalement numérique (comme les services de VTC, de vélos, de trottinettes électriques, de livraison, de mise en relation pour des achats ou la location d'habitation etc.) ont eu et continuent d'avoir des impacts absolument dimensionnants sur les formes que prennent - et peuvent prendre dans le futur - nos systèmes alimentaire, de mobilité, de grande consommation, d'urbanisme et d'aménagement des territoires etc.

33 - Le lancement de la démarche « Pour un numérique soutenable » par l'Arcep date de juin 2020. <https://www.arcep.fr/nos-sujets/numerique-et-environnement.html>, <https://www.arcep.fr/actualites/les-communiqués-de-presse/detail/n/environnement-151220.html>.

34 - Par exemple, le groupement de services du CNRS EcoInfo existe depuis 2006, la communauté GreenIT.fr depuis 2004, la Fing depuis l'année 2000, l'Alliance Green IT depuis 2011 etc.

Le débat sur le moratoire et son résultat ont déclenché le déploiement des premières briques d'infrastructures³⁵, mais n'ont pas répondu aux deux questions qui doivent structurer nos choix : **le « pourquoi » et le « comment » déployer la 5G**. Traiter ces questions, du cadre de pertinence et des modalités de déploiement, est indispensable à rendre la 5G soutenable :

- **Le « pourquoi »** pose la question des usages et **besoins auxquels doit et peut répondre la technologie une fois déployée**. Il s'agit d'identifier **ses apports potentiels argumentés et chiffrés** au vu des objectifs stratégiques qui motivent son déploiement.
- **Le « comment »** pose celle des **modalités de son déploiement** (sur quels territoires, à quels niveaux de service/densité etc.) **qui assurent le respect de son cadre de pertinence**. Il s'agit a minima d'assurer que le déploiement choisi permette la diminution effective des empreintes carbonées et consommations énergétiques des activités concernées et du territoire.

B - La 5G : simple brique d'une infrastructure à mettre au service de la résilience

1 - L'augmentation des impacts est inévitable si les usages ne sont pas encadrés

Les études des multiples acteurs (institutionnels publics (HCC, 2020a), associations d'acteurs économiques (GSMA, 2019a), retours d'expérience des industriels (Huawei, 2020) etc.) **s'accordent : le déploiement de la 5G, s'il est fait de manière large et dense et sans maîtrise de certains usages, va s'accompagner d'une augmentation considérable de la consommation d'énergie et des émissions associées à nos usages numériques.**

D'après le Haut Conseil pour le Climat, le déploiement de **la 5G devrait engendrer une augmentation de 18 à 44 % de l'empreinte carbone du numérique** à horizon 2030 (HCC, 2020a) (Citizing - Virtus Management, 2020). D'après le GSMA, les coûts associés à la **consommation d'énergie** pour les opérateurs devraient augmenter de quelques dizaines de % voire **être jusqu'à multipliés par 2 ou 3** (GSMA, 2019a), **en dépit de l'amélioration de l'efficacité énergétique unitaire.**

35 - Suite à la vente aux enchères pour l'attribution des fréquences de la bande 3,4 – 3,8 GHz, finalisée en novembre 2020 (Arcep, 2021).

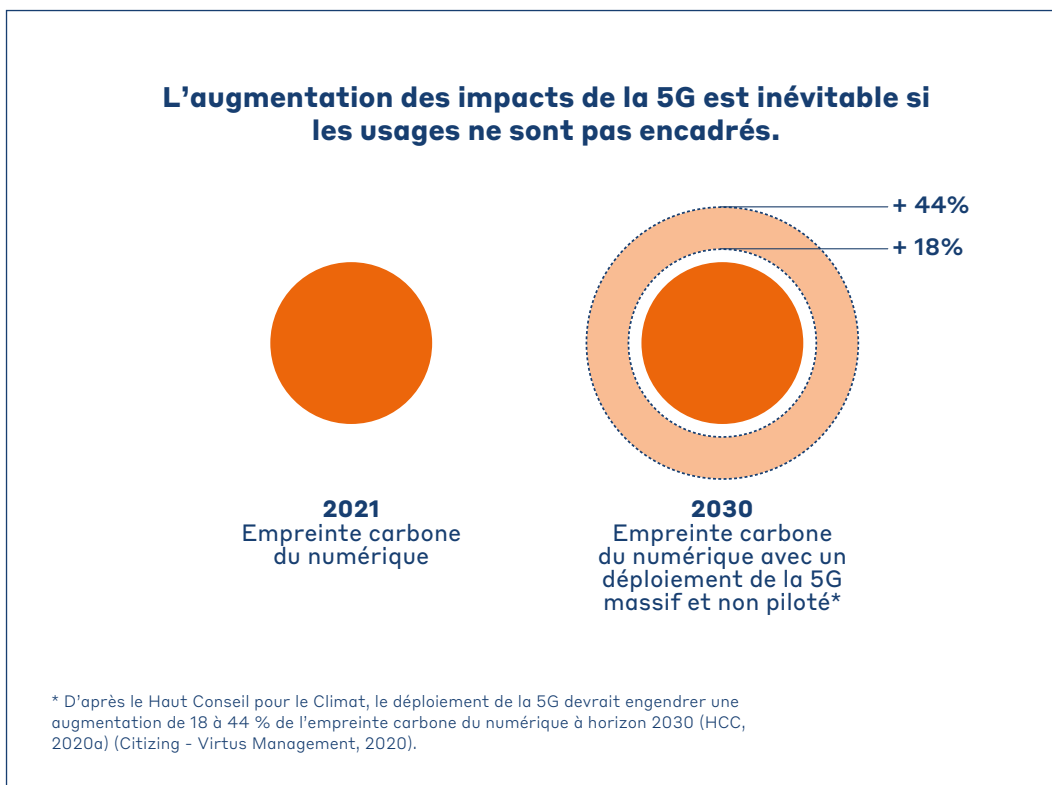


Figure 12 : L'augmentation des impacts de la 5G est inévitable si les usages ne sont pas encadrés

Cette augmentation est à la fois due au déploiement d'un nouveau réseau, à son utilisation et aux ventes de terminaux que cela engendre (HCC, 2020a)³⁶. Or puisqu'elle éloigne notre système numérique de ses objectifs de résilience, **il convient de comprendre deux choses** :

- Le budget carbone supplémentaire (et l'énergie additionnelle) consommé par cette nouvelle génération d'usages mobiles doit être compensé par une diminution du budget carbone d'autres secteurs (mobilité, alimentaire etc.)³⁷;
- La consommation de ce budget carbone supplémentaire pour ces nouveaux usages doit se justifier **par la pertinence sociétale** (notamment au vu des enjeux énergie-climat) des services déployés³⁸.

36 - La phase de production des terminaux et des infrastructures réseau représente plus de 60 % de l'impact carbone du numérique dans le monde (cf. partie précédente sur l'impact environnemental du numérique mondial) et de l'ordre de 70 % de l'impact carbone à venir de la 5G en France (HCC, 2020a).

37 - L'augmentation de l'empreinte carbone du numérique mondial ne s'est en effet historiquement jamais accompagnée d'une diminution nette de l'empreinte du reste de l'économie (cf. partie précédente de cette note sur l'impact du numérique mondial), ce qui rend non-démontrée l'assertion selon laquelle les impacts du numérique seraient systématiquement compensés par ses effets de réduction sur les activités qu'il transforme (HCC, 2020a).

38 - Tout comme pour un budget économique contraint, il est en effet stratégique de s'assurer de la pertinence d'une augmentation des dépenses.

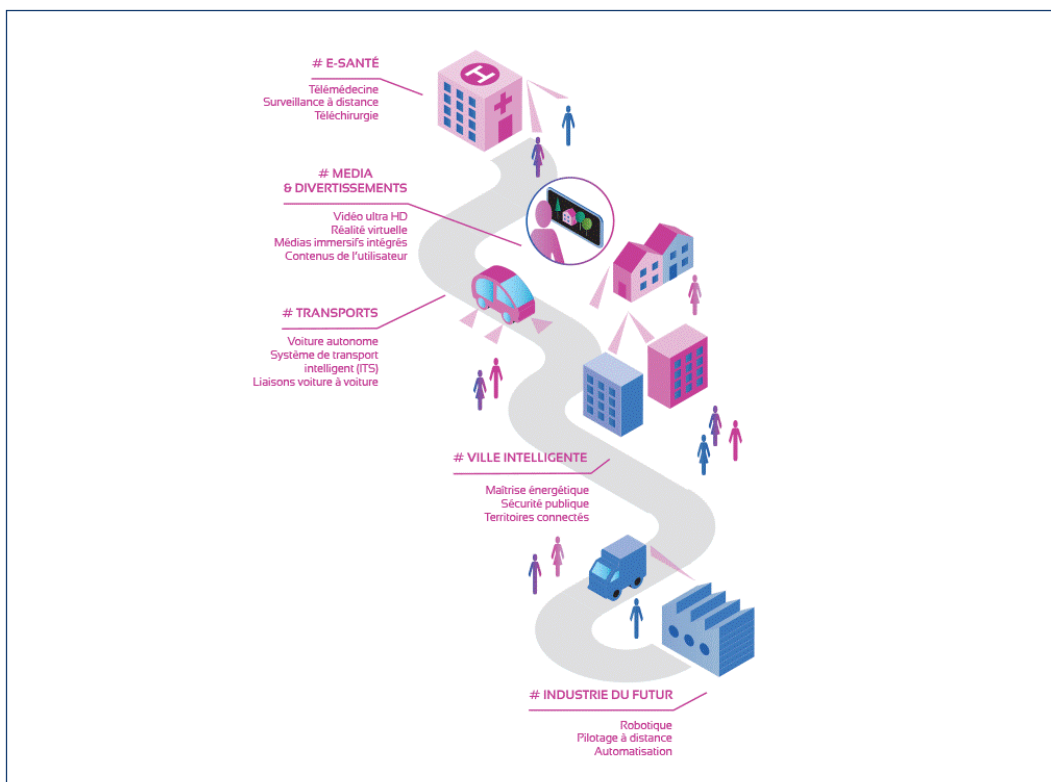


Figure 13 – Les usages de la 5G (Source : (ANFR, 2021))

Plusieurs familles de nouveaux usages sont promises par la 5G (Orange, 2020) (MEFR, Arcep, 2018) (SFR, 2020), chacune soulevant néanmoins des questions essentielles quant à leurs conditions de faisabilité et de pertinence :

- La visioconférence**, dont la généralisation s'est drastiquement accentuée avec la crise sanitaire, notamment pour des services essentiels comme le télétravail, les cours à distance, les consultations médicales etc. La 5G permettrait d'éviter la congestion du réseau 4G en zones denses, mais pose la question de l'harmonisation du déploiement pour mettre à niveau les zones peu denses³⁹, qui pourrait être très coûteuse sur le plan énergétique (HCC, 2020a).
- Les technologies de voiture autonome** aujourd'hui à l'étude nécessitent une connectivité homogène, fortement maillée et avec des capacités de débits et de fiabilité très importantes là où évoluent les véhicules. La 5G est décrite par certains acteurs du secteur comme l'infrastructure qui permettrait d'assurer ce maillage en milieu urbain. Se posent malgré cela des questions relatives à la maturité de la technologie (au vu des échéances de la 5G), aux apports effectifs de cette technologie en termes de diminution drastique des émissions carbonées de notre mobilité⁴⁰, ainsi qu'aux besoins

39 - Cette question fait bien entendu partie du cahier des charges de l'Arcep pour le déploiement de la 5G, qui y a intégré une obligation pour les opérateurs de déployer à terme 25 % des sites en bande 3,5 GHz en zones peu denses ou industrielles hors des principales agglomérations (Arcep, 2020).

40 - Notamment, la nécessité de volumes de données trop importants pourrait contrebalancer les apports potentiels de la conduite autonome (Gawron, J. H. et al., 2018).

réels en supports matériels. La mobilité autonome requiert a priori des capacités d'acquisition, de traitement et de communication de données hors du commun par rapport aux usages actuels⁴¹, ce qui implique une densité d'équipements réseaux et d'équipements embarqués bien supérieure aux standards d'aujourd'hui. Cette densité nouvelle pose à la fois la question de nos capacités de déploiement à grande échelle et des impacts carbone associés à la production et au fonctionnement de ces outils.



La vidéosurveillance figure également parmi les activités identifiées par les acteurs du secteur comme étant à développer grâce à la 5G (GSMA, 2019b) (Ericsson, 2018). Sa généralisation et son développement dans les espaces publics et privés pourraient s'appuyer sur les capacités de la 5G en termes de débits de données et de nombre d'objets pouvant être simultanément connectés au réseau. Les flux vidéo ainsi générés 24 heures sur 24 viendraient doper la croissance du trafic à écouler par les réseaux mobiles mais également par les data centers.

Cette liste n'est bien entendu pas exhaustive et ne prétend pas apporter de réponse figée à la question de la pertinence de ces familles d'usages. La chaîne de gouvernance de nos choix technologiques doit permettre de déterminer les conditions de déploiement adaptées aux particularités des services visés, et **l'objectif est ici de montrer le type de questions soulevées par une réflexion sur le cadre de pertinence**. La partie suivante illustre cette démarche en développant certaines de ces questions pour deux cas d'étude très présents dans le débat public : les usages de divertissement pour les particuliers, et des usages professionnels spécifiques, comme la téléchirurgie et l'industrie connectée.

2 - Des usages qui décrivent un certain futur technologique et sociétal


Une nouvelle offre de divertissement prolongeant les tendances insoutenables


Les usages de divertissement pour les particuliers, comme le **cloud gaming**⁴², la **vidéo en résolution 4K** sur des terminaux mobiles ou encore la **réalité virtuelle** (VR) sont des services que la 5G pourrait permettre grâce à l'augmentation drastique des débits de données accessibles sur des terminaux mobiles.

Deux principales offres de divertissement peuvent être évoquées, en ce qu'elles ont des impacts significatifs et macroscopiques sur les tendances de consommation de données et d'intensification des usages :

41 - La conduite autonome pourrait vraisemblablement nécessiter des traitements de données atteignant jusqu'à 4 TB/h, dont une partie serait traitée au sein de la voiture et une autre envoyée sur le réseau (Intel newsroom, 2017).

42 - Technologie déportant les capacités de calculs sur le réseau – dans le cloud – plutôt que dans une console de jeux ou un ordinateur. Cela permet de les augmenter, par exemple pour améliorer la qualité des graphismes, sans nécessiter de terminaux utilisateurs puissants, la charge étant délocalisée sur l'infrastructure réseau.

 **Le cloud gaming** : le joueur dispose d'un terminal de puissance limitée (par exemple une simple manette ou un téléphone) et joue à un jeu qui est exécuté à distance dans un centre de données. En fonction des commandes envoyées par le joueur (mouvement du personnage par exemple), les images à afficher sont calculées sur un serveur distant (plutôt que par le terminal) puis sont transférées sur l'écran de l'utilisateur via le réseau. Pour que le joueur ne s'aperçoive de rien et que le jeu maintienne l'impression de réagir « en temps réel », le réseau doit à la fois offrir de très bons débits et une latence très faible.

 **Le streaming vidéo ultra haute résolution** promet d'offrir des flux de streaming d'une résolution et fluidité toujours plus importante y compris sur des terminaux mobiles, avec la 4K aujourd'hui proposée (progressivement en 90 voire 120 images par seconde) puis la 8K prévue à court ou moyen terme.

Ces usages vont prolonger les tendances décrites par nos scénarios prospectifs **en alimentant une nouvelle mise à jour de tout l'écosystème**, des infrastructures et matériels réseaux, des équipements et matériels utilisateurs, des typologies d'usages, de nos habitudes numériques :


- **Le renouvellement des smartphones va de nouveau s'accélérer⁴³, annulant les progrès de ces dernières années** sur l'augmentation de leur durée de vie en poussant à l'achat d'un smartphone à empreinte environnementale potentiellement plus importante que les générations précédentes⁴⁴ (Roussilhe, G., 2020b),
- Du côté des fournisseurs de cloud gaming, la construction d'un service à la hauteur de la demande nécessite une **intensification des capacités de calcul, du nombre de serveurs⁴⁵**.
- La généralisation de ces usages en mobilité entraîne une modification des habitudes des utilisateurs et utilisatrices. Typiquement, **la connectivité haut débit dans les transports est devenue une commodité et non plus un service à valeur ajoutée**, alimentant la saturation dans les zones denses.


43 - Voir partie précédente de cette note : « Le phénomène smartphone »

44 - Le parc de smartphone actuel n'est globalement pas compatible avec la 5G, qui va nécessiter son renouvellement. Le développement d'usages plus intenses comme le gaming la vidéo très haute résolution vont de plus entraîner une augmentation de la capacité des batteries et donc des impacts liés à leur production.

45 - Les impacts énergétiques de cet effet pourraient être en partie compensés par la diminution du nombre de consoles fixes côté utilisateur.

Les usages professionnels spécifiques : un déploiement chirurgical ?

- 
La téléchirurgie consiste à permettre la réalisation d'une opération chirurgicale à distance, le chirurgien se trouvant dans un endroit différent du patient et du personnel support à l'opération (infirmiers, anesthésistes, assistants etc.). Cet usage serait rendu possible par la commande d'automates, pilotés par le chirurgien grâce à une connexion à très haute fiabilité et très faible latence.

- 
L'industrie 4.0 décrit notamment l'intégration de l'IoT et de l'Intelligence Artificielle dans les chaînes de conception et production des industries. Ces nouvelles technologies permettraient, en intensifiant drastiquement le degré de connectivité des différentes composantes des chaînes de valeur, d'optimiser et réinventer les processus logistiques, de production, et de conception.

Ces usages professionnels spécifiques sont annoncés en déploiement à grande échelle notamment grâce à la très faible latence (de l'ordre de 1 ms) de la 5G et à sa capacité à gérer un grand nombre de connexions simultanées d'objets . Deux grandes questions se posent alors :

- Celle de la **faisabilité opérationnelle du cas d'usage au-delà de la solution technologique,**
- Celle des **modalités de déploiement** (ciblé ou sur tout le territoire, avec quelle densité etc.) **nécessaires à rendre ces services possibles.**

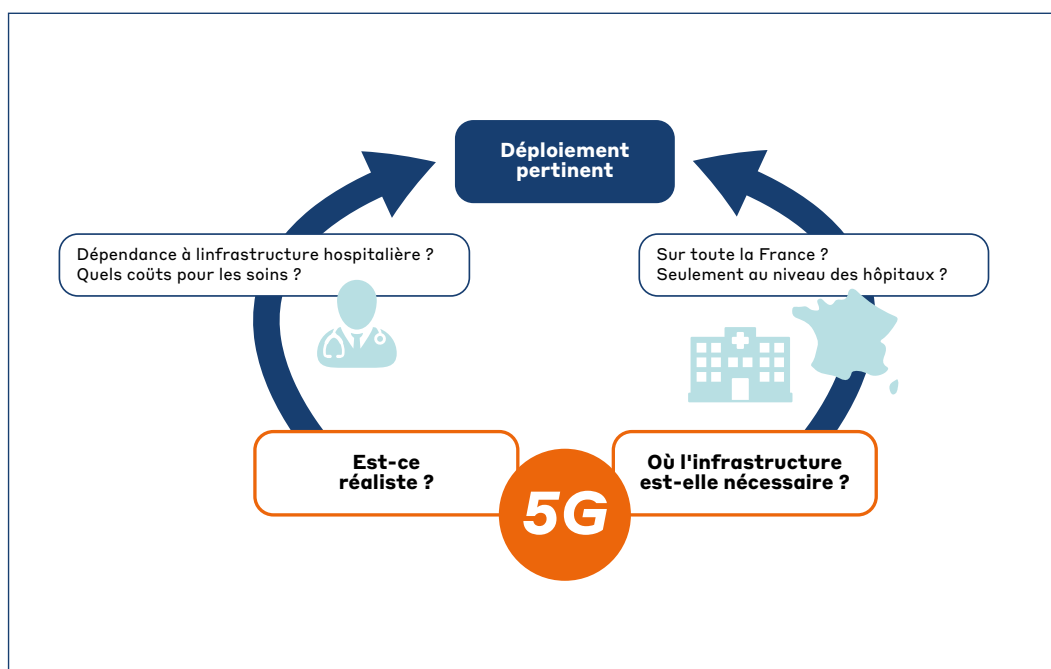


Figure 14 – Une première étape : dimensionner le déploiement pour répondre au besoin de manière optimisée – avant de mettre ce besoin en regard des contraintes physiques.
Exemple de la téléchirurgie. (Source : The Shift Project)

Il est essentiel d'intégrer la réalité opérationnelle des usages pour évaluer le degré de pertinence des usages qui justifient le déploiement de la nouvelle infrastructure. Par exemple, le récit parfois évoqué selon lequel le développement de la téléchirurgie permettra d'effectuer des opérations « en mobilité », c'est-à-dire directement au domicile du patient ou dans des zones dépourvues d'infrastructures hospitalières, reste peu probable à grande échelle. **Les défis posés par ce cas d'usage sont en effet loin d'être entièrement résolus par la 5G :**

- Pour une opération non bénigne, une perte de connexion signifie la mise en danger de la vie du patient. Un autre système de communication (appuyé à une autre infrastructure physique) sera donc nécessaire, permettant de la redondance et la continuité de l'opération en toute circonstance ;
- Une opération ne peut être totalement indépendante des réalités hospitalières : les soins et suivis attenants à une opération chirurgicale mobiliseront bien du personnel et matériel médical et la disponibilité des chirurgiens restera un facteur limitant ;
- Les zones rurales ou isolées ne pourront avoir accès à cette technologie qu'à la condition d'être équipées d'une infrastructure 5G raccordée à un cœur de réseau performant (comme la fibre optique) et de disposer des robots médicaux nécessaires à l'opération (technologies potentiellement très coûteuses (SIA Partners, 2019)).

Dans le cas de la téléchirurgie comme de l'industrie 4.0, **la démarche doit être de déterminer les modalités de déploiement qui permettent les cas d'usage véritablement pertinents.** La téléchirurgie, même si elle sollicite l'imaginaire et un futur désirable, est une réalité hospitalière et non nomade, tout comme les usages industriels qui concernent uniquement les sites de production. **Les conditions optimales de déploiement doivent répondre aux trois questions suivantes :**

- 1. Quels sont les cas d'usages pertinents, au vu de leurs apports et de leur faisabilité opérationnelle ?**
- 2. En quoi les infrastructures et protocoles de communication existants ne répondent-ils pas déjà à ces usages** (la stabilité du réseau fibré pour la téléchirurgie par exemple) ?
- 3. Dans quelles zones et à quel niveau de service doit être déployé la 5G pour rendre possible ces usages** (uniquement dans les hôpitaux, dans les zones industrielles par exemple) ?

3 - La priorité est de déployer un réseau robuste qui permet l'accès aux services essentiels

Il est crucial de comprendre qu'il n'y a aucune raison pour que la 5G produise des effets différents des générations de réseaux précédentes, si nous ne mettons pas en place un pilotage efficace des dynamiques qui vont rentabiliser et orienter ses évolutions au cours des 5 à 10 prochaines années. Déployer le réseau 5G à large échelle va pousser les utilisateurs vers des usages mobiles de masse⁴⁶, davantage consommateurs d'énergie que leurs équivalents fixes⁴⁷.

Le déploiement de la 5G, s'il veut être compatible avec nos impératifs de résilience, devra ainsi être **sélectif**⁴⁸, limité aux zones et aux cas où il permet des usages pertinents. Un déploiement qui pourrait être « chirurgical » pour les usages spécifiques du domaine de la santé ou de l'industrie.

Cette sélectivité ne peut se construire que grâce à la concertation des parties prenantes, dont la société civile fait partie intégrante. Déployer des usages de téléchirurgie et de télémédecine n'est pas une simple étape logique dans la marche du progrès technologique, mais bien un choix sociétal⁴⁹. C'est l'un des éléments qui explique en quoi le déploiement de l'infrastructure a soulevé un débat puissant, qui démontre **l'absolue nécessité de rénover notre gouvernance nationale et européenne du numérique.**

46 - Les utilisateurs ayant un réseau mobile disponible vont avoir tendance à y rester connectés par défaut, quand bien même un réseau fixe serait à disposition (on garde souvent son smartphone connecté en 4G même à domicile, par exemple).

47 - Les réseaux mobiles consomment davantage d'énergie que les réseaux fixes à usage égal (cf. partie précédente de cette note sur les impacts du numérique mondial).

48 - Un tel scénario a été étudié par le Haut Conseil pour le Climat et montre qu'il permet d'engendrer une empreinte carbone du numérique 30 % plus faible que celle du scénario « la vraie 5G pour tous ».

49 - Se posent – à titre purement illustratif – des questions attenantes au modèle de sécurité sociale associée à une médecine qui se voudrait plus mobile par exemple, ou bien du degré de nécessité du présentiel pour les praticiens et le bien-être des patients.

04

Conclusion

—

**Pour rendre
le système
numérique
européen
résilient, il
nous faut un
plan**

A - Les questions à instruire

Le déploiement de la 5G, de par sa temporalité, est un cas d'étude obligé pour traiter à temps les questions qui peuvent nous permettre de construire une trajectoire numérique viable. **Produire un numérique européen résilient aux risques des 20 à 30 prochaines années, c'est ainsi instruire les quatre grandes problématiques suivantes :**

1 Comment les transformations des autres secteurs vers une économie décarbonée se traduisent-elles dans les usages et besoins numériques ?

Quelles disponibilités de services, quelles priorisations, quels circuits d'achats et d'après-première vie etc. ?

2 Quels sont les usages essentiels à préserver en cas de contrainte exogène forte ?

Contrainte carbone, contrainte énergétique, contrainte sur les matières premières etc. ?

3 Quels objectifs donner au système numérique pour le rendre compatible avec ces contraintes exogènes ?

Quelle trajectoire définir et donner au système numérique ?

4 Comment inventer et implémenter les modèles économiques qui permettront de structurer un numérique répondant à ce cahier des charges ?

Quels objectifs, quels mécanismes et dynamiques, quelle gouvernance ?

B - Les actions à mener

Le déploiement 5G aujourd'hui acté, nous avons besoin de mettre en place les bons **mécanismes de pilotage environnemental** afin **d'orienter correctement le développement de l'infrastructure**. Cela consiste à construire **dès maintenant et de manière suivie pour les décennies à venir, une gouvernance bâtie sur trois composantes pour nos réseaux**.⁵⁰

⁵¹ ⁵²

50 - Des seuils de consommation énergétique pour l'infrastructure ; des trajectoires de diminution de l'empreinte carbone annuelle pour nos activités numériques (autrement dit fixer un budget carbone pour nos activités numériques) ; des obligations de résultat sur les émissions directes et indirectes évitées afin d'assurer la diminution de l'empreinte carbone totale des activités concernées et du territoire.

51 - Ces indicateurs n'existent pas encore aujourd'hui de manière standardisée et opérationnelle, bien que ce travail ait été initié ces dernières années notamment par des acteurs comme l'ADEME (HCC, 2020a).

52 - L'implication des mairies lors du déploiement des antennes sur leur territoire, qui peut se limiter à être tenues informées de la décision par les opérateurs avec des marges limitées pour organiser la concertation, n'inclue aujourd'hui pas encore le cadre environnemental (MEFR, 2020). Ces déploiements se décident donc à un niveau de gouvernance national, qui ne peut pas être corrélé à une évaluation des besoins sur le terrain au cas par cas.



C - Les acteurs à mobiliser

Pour mettre en œuvre ces actions et une stratégie de pilotage de manière efficace et concrète, **les acteurs à impliquer, interpeler et mobiliser sont** : ⁵³



53 - Dont l'Arcep, qui a initié sa saisie de ces problématiques ces dernières années.

D - Pour construire un numérique européen soutenable

Rendre notre numérique soutenable réclame de questionner la manière dont nous rentabilisons et justifions nos choix technologiques. Le cas de la 5G l'a fait apparaître en toute clarté : **les nouvelles générations de technologies peuvent rendre possibles des innovations importantes dans certains secteurs et pour certains usages essentiels de la société, mais ces usages sont pilotés par des dynamiques insoutenables.** Ce sont elles qui ne permettent à nos sociétés **d'avoir accès aux innovations pertinentes et stratégiques, qu'à la condition de déployer les infrastructures en masse.**

Bâtir une gouvernance européenne qui partirait des **besoins essentiels**, de la **réalité physique des chaînes de valeurs à mobiliser** et des **risques stratégiques des décennies à venir** : là est le socle nécessaire à la construction de **choix technologiques soutenables et résilients pour nos réseaux européens.**

Ethique numérique, souveraineté, gestion des données personnelles ... Les questionnements sur le modèle et la gouvernance du numérique au sein du continent européen se multiplient depuis plusieurs années sur de nombreux sujets : **les infrastructures et services numériques, désormais composantes à part entière de nos usages essentiels** (communiquer, nous déplacer, gouverner nos démocraties etc.) sont devenus **des sujets sociétaux dépassant les simples technologies en elles-mêmes.** Or **nos mécanismes de pilotage actuels ne sont pas capables de gérer des questionnements de cette ampleur, c'est ce qu'a démontré la cristallisation du débat sur la 5G en 2020.**

Inventer et déployer un pilotage des impacts environnementaux de la 5G, pourrait être le socle d'une gouvernance à la hauteur des enjeux des prochaines décennies. La mettre en place **dans les trois à cinq prochaines années** sur la bande cœur des 3,5 GHz permettra de s'armer pour construire des décisions éclairées et concertées sur la bande des 26 GHz – avec **une stratégie étayée, bâtie sur l'évaluation des cas d'usage prometteurs pour notre résilience et notre transformation vers une économie décarbonée.**

Ce sont **les choix technologiques et sociétaux des quelques prochaines années** qui vont déterminer la capacité ou non de nos systèmes à être compatibles avec les contraintes physiques. Or on le constate, **la 6G a déjà entamée sa phase de normalisation pour un déploiement à horizon 2030 structuré sur les logiques insoutenables du numérique actuel**⁵⁴. Ne pas se saisir de la 5G pour bâtir une gouvernance à la hauteur, ce serait assurer de nouvelles cristallisations des débats technologiques dans les 3, 5 et 10 prochaines années. **Ne pas se saisir de cette occasion, ce serait perdre une opportunité – de plus ? – de construire un nouveau numérique, compatible avec les impératifs de résilience de la France et de l'Europe.**

54 - La vision à peine émergente de cette nouvelle génération reste en effet pour l'instant bien dans la continuité des tendances inflationnistes en données et terminaux (L'OBS, 2021) (Analysis Mason, 2021) (Hexa-X, 2021) (Samsung, 2020).

05

Annexes

Description des scénarios du Forecast Model 2018

En 2018, nous avons défini quatre scénarios pour effectuer nos simulations à l'échéance 2025 :

- « **Expected updated** » : nous avons gardé le même rythme de gain d'efficacité énergétique que dans le scénario « expected case », et nous avons actualisé les données de trafic uniquement sur la base des chiffres fournis par Cisco, en prolongeant les tendances au-delà de 2021.
- « **Higher growth higher EE** » : nous avons fait l'hypothèse que l'efficacité énergétique s'améliorerait plus rapidement à partir de 2015 et nous avons actualisé les données de trafic sur la base de l'historique fourni par Cisco mais en appliquant aux prévisions d'ici 2025 le taux de croissance historique, qui s'avérait plus important que dans le scénario précédent.
- « **Superior growth peaked EE** » : variante du scénario précédent, il prenait en compte une légère augmentation de la croissance du trafic après 2020 par rapport à celui-ci et un pic des gains d'efficacité énergétique en 2020, notamment dans les data centers. Cette hypothèse s'appuyait sur les craintes de plafonnement de la performance énergétique une fois appliquées toutes les bonnes pratiques (par exemple, United States Data Center Energy Usage Report, 2016, page 47).
- « **Sobriety** » : il était identique au scénario « Higher growth higher EE » jusqu'en 2020, puis supposait un ralentissement de la croissance du trafic et de la production permis par la mise en œuvre de pratiques de sobriété. Ce scénario intégrait également une décélération des gains d'efficacité énergétique des data centers après 2020 afin de tester la robustesse de l'approche.

La structure du modèle et des scénarios de 2018 s'inspire de celle du modèle développé par Andrae et Edler en 2015 (Andrae & Edler, 2015), qui élaborait trois **scénarios d'évolution de la consommation énergétique du numérique de 2010 à 2030** :

- **Le scénario « Best case »** : les gains d'efficacité énergétique (des équipements, des plateformes technologiques) s'accélèrent et la croissance du trafic ralentit ;
- **Le scénario « Expected case »** : les gains d'efficacité énergétique et le taux de croissance du trafic sont conformes à l'historique 2010/2013 ;
- **Le scénario « Worst case »** : les gains d'efficacité énergétique sont moindres et la croissance du trafic s'accélère.

Résultats des scénarios du Forecast Model 2018

Consommation d'énergie finale en Twh	2015	2020	2025	CAGR55 2015/2020	CAGR 2020/2025
Expected - 2015	2312	2878	4350	4,5 %	8,7 %
Worst - 2015	3677	5976	12 352	10 %	15,5 %
Expected updated	2389	3834	6254	9,9 %	10,2 %
Higher growth higher EE	2373	3622	5716	8,9 %	9,5 %
Superior growth peaked EE	2373	3622	7096	8,9 %	14,5 %
Sobriety	2373	3622	3909	8,9 %	1,6 %

Tableau annexe 1 : Consommation d'énergie finale mondiale du numérique en TWh (The Shift Project, Forecast Model 2018)

Émissions de GES en GtCO ₂ e	2015	2020	2025	CAGR 2015/2020	CAGR 2020/2025
Expected - 2015	1,4	1,7	2,5	4 %	8 %
Worst - 2015	2,3	3,6	7,6	9,4 %	16 %
Expected updated	1,5	2,3	3,6	9,2 %	9,9 %
Higher growth higher EE	1,5	2,1	3,3	8 %	9,2 %
Superior growth peaked EE	1,5	2,1	4,1	8 %	14 %
Sobriety	1,5	2,1	2,3	8 %	1,2 %

Tableau annexe 2 : Émissions de GES mondiales du numérique en GtCO₂e (The Shift Project, Forecast Model 2018)

55 - Compounded Annual Growth Rate, (ou taux de croissance composé en français). Ex : une somme qui passe de 100 à 121 en deux ans a cru (CAGR) de 10 % l'an.

The Shift Project est un think tank qui œuvre en faveur d'une économie post-carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, notre mission est d'éclairer et influencer le débat sur la transition énergétique en Europe. Le développement exponentiel du numérique, et la façon dont ce développement peut interagir avec les objectifs de décarbonation de nos sociétés, constitue l'un des angles essentiels des enjeux de la transition carbone.

Nos membres sont de grandes entreprises qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité.

www.theshiftproject.org

Contact presse :

Ilana Toledano

Responsable Communication

+33 (0) 6 01 19 64 04

ilana.toledano@theshiftproject.org

Contacts projet :

Maxime Efoui-Hess

Coordinateur de projet

Numériques et Industrie

+ (0) 6 35 13 08 37

maxime.efoui@theshiftproject.org

Hugues Ferreboeuf

Chef de projet Numériques

hugues.ferreboeuf@theshiftproject.org

