

EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMERIQUE EN FRANCE ET ANALYSE PROSPECTIVE

Analyse prospective à 2030 et 2050

RAPPORT 3/3



EXPERTISES

Janv.
2023

REMERCIEMENTS

Pour ce rapport introductif, nous tenons à remercier l'ensemble des personnes ayant participé au projet, notamment les membres du Comité de Pilotage, mais aussi les différents contributeurs sollicités au cours de l'étude.

Membres du Comité de pilotage et de relecture

Erwann Fangeat, ADEME
Raphaël Guastavi, ADEME
Bruno Lafitte, ADEME
David Marchal, ADEME
Ahmed Haddad, Arcep
Charles Joudon-Watteau, Arcep
Edouard Dolley, Arcep
Adrien Haidar, Arcep
Patrick Lagrange, Arcep
Franck TARRIER, Arcep
Anne Yvrande-Billon, Arcep

CITATION DE CE RAPPORT

Auteurs : Etienne Lees Perasso (Bureau Veritas), Caroline Vateau (APL-datacenter), Firmin Domon (Bureau Veritas), avec les contributions de Yasmine Aiouch (Deloitte), Augustin Chanoine (Deloitte), Léo Corbet (Deloitte), Pierrick Drapeau (Deloitte), Louis Ollion (Deloitte), Valentine Vigneron (Deloitte), Damien Prunel (Bureau Veritas), Georges Ouffoué (APL-datacenter), Romain Mahasenga (APL-datacenter), Julie Orgelet (DDemain), Frédéric Bordage (GreenIT.fr) et Prune Esquerre (IDATE). 2022. Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France. 132 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>
www.arcep.fr/actualites/les-publications

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME et l'Arcep

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2020MA000091

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME et l'Arcep par : LCIE Bureau Veritas,
IDATE

Coordination technique :

- **ADEME** : FANGEAT Erwann - Direction/Service : DECD / SER
- **Arcep** : HAÏDAR Adrien - Direction/Unité : DEN/UAE

Arcep

14, Avenue Gerty Archimède
75012 Paris

GLOSSAIRE	9
1. CONTEXTE DU PROJET	11
1.1. Objectif de l'étude	11
1.2. Périmètre de l'étude	12
1.3. Définition du numérique.....	12
2. METHODE DE L'ANALYSE PROSPECTIVE	14
2.1. Objectifs et méthode de l'analyse prospective.....	14
2.2. Analyse prospective 2030.....	14
2.3. Analyse prospective 2050.....	14
3. METHODE DE L'ANALYSE ACV.....	16
3.1. Méthodologie de l'ACV	16
3.2. Périmètre ACV de l'étude	16
3.2.1. Système de produits à étudier	16
3.2.1.1. Frontières technologiques	16
3.2.1.2. Limites temporelles	17
3.2.1.3. Limites géographiques	17
3.2.1.4. Territoires et départements d'outremer.....	17
3.2.2. Périmètre et limites du système	17
3.2.2.1. Phase du cycle de vie considérée	17
3.2.2.2. Inclusion.....	17
3.2.2.3. Exclusion.....	18
Critère de coupure.....	18
Indicateurs retenus	19
4. LES TENDANCES D'EVOLUTION DU NUMERIQUE A MOYEN ET LONG TERME. 20	
4.1. Une croissance des usages du numérique à court et moyen terme... ..	20
4.1.1. Croissance du nombre d'équipements.....	20
4.1.1.1. Internet et connexions au réseau	20
4.1.1.2. Augmentation du nombre d'équipements et durée de vie.....	21
4.1.2. Croissance du nombre d'usages du numérique et du trafic de données induit.....	21
4.1.2.1. Des usages plus consommateurs de données	21
4.1.2.2. Multitasking, parallélisation des usages et temps alloué.....	22
4.2. ...accélérée par la croissance à moyen et long terme des marchés numériques... ..	23
4.2.1.2. E-santé.....	23
4.2.1.3. Industrie.....	23
4.2.1.4. Smart Building.....	23
4.2.2. Les reseaux mobiles xG	24
4.2.2.1. 5G.....	24
4.2.2.2. 6G et au-delà	24
4.2.3. Virtualisation des réseaux	24
4.2.4. Edge computing.....	25
4.2.5. Intelligence Artificielle (IA).....	25
4.2.6. Blockchain.....	26
4.2.7. Réalité augmentée (AR) et réalité virtuelle (VR).....	26
4.2.8. Synthèse des facteurs d'augmentation du trafic au-delà de 2020	26
4.3. ...à l'origine d'une explosion du trafic IP	29

5.	HYPOTHESES DU SCENARIO TENDANCIEL 2030-2050	31
5.1.	Phase d'Utilisation.....	31
5.2.	Tier 1 – Equipement utilisateur.....	32
5.2.1.	Informations générales	32
5.2.1.1.	Quels sont les dispositifs pris en compte dans le périmètre de l'étude ?	32
5.2.1.2.	Quels sont les paramètres considérés liés à ces appareils ?	32
5.2.1.3.	Hypothèses de modélisation.....	33
5.2.2.	Téléphones	33
5.2.2.1.	Téléphone Mobile	33
5.2.2.2.	Smartphone	33
5.2.2.3.	Feature phones	34
5.2.2.4.	Téléphone (ligne fixe)	34
5.2.3.	Tablette	35
5.2.4.	Ordinateur portable.....	36
5.2.5.	Ordinateur fixe.....	36
5.2.6.	Stations d'accueil	37
5.2.7.	Projecteur.....	37
5.2.8.	Ecrans	38
5.2.8.1.	Définition.....	38
5.2.8.2.	Ecrans d'ordinateur	39
5.2.8.3.	Ecrans spécifiques, affichage de signalisation et affichage de signalisation spéciale.....	40
5.2.8.4.	Télévisions	40
5.2.9.	Box TV.....	40
5.2.10.	Consoles de jeux	41
5.2.10.1.	Consoles de jeux vidéo de salon	41
5.2.11.	Casques AR/VR.....	42
5.2.12.	Imprimantes.....	43
5.2.13.	SSD & HDD externes, clés USB	44
5.2.14.	Enceintes connectées	45
5.2.15.	Objets connectés IoT	45
5.2.15.1.	Nombre d'unités.....	51
5.3.	Tier 2 – Réseaux.....	51
5.3.1.	Informations générales	51
5.3.1.1.	Constitution des réseaux et différents réseaux pris en compte dans l'étude.....	51
5.3.1.2.	Différentes technologies des réseaux fixes : xDSL et FTTx	53
5.3.1.3.	Inventaire des utilisateurs des réseaux fixes en France à horizon 2030 et 2050	53
5.3.1.4.	Différentes générations de réseaux mobiles à horizon 2030 et 2050 : 2G, 3G, 4G, 5G, xG.....	53
5.3.1.5.	Approche de modélisation	54
5.3.1.5.1.	Fabrication, distribution et fin de vie	54
5.3.1.5.2.	Utilisation.....	54
5.3.2.	Réseaux fixes.....	54
5.3.2.1.	Modélisation des phases de fabrication, distribution.....	54
5.3.2.2.	Modélisation de la phase d'usage	54
5.3.3.	Réseaux mobiles.....	55
5.3.3.1.	Modélisation des phases de fabrication, de distribution	55
5.3.3.1.1.	Nombre de supports	55
5.3.3.1.2.	Nombre d'opérateurs présents par support	56
5.3.3.1.3.	Le nombre d'équipements radios opérés sur un support tout opérateur et technologie confondus	56
5.3.3.1.4.	Le nombre total d'équipements mobiles déployés sur l'ensemble des points d'antennes hauts déployés à horizon 2030 et 2050	57
5.3.3.2.	Modélisation de la phase d'utilisation	57

5.4. Tier 3 – Centres de données	58
5.4.1. Frontière de l'étude	58
5.4.2. Caractérisation du parc de centres de données.....	58
5.4.3. Méthodologie utilisée pour caractériser le parc de centres de données sur le territoire national	
58	
5.4.3.1. Superficie de salles informatiques	58
5.4.3.2. Consommation d'énergie.....	61
5.4.3.3. Equipements informatiques.....	63
6. RESULTATS DU SCENARIO TENDANCIEL 2030-2050	65
6.1. Principaux enseignements du scénario tendanciel 2030-2050	65
6.2. Interprétation du scénario tendanciel à 2030	70
6.3. Interprétation du scénario tendanciel à 2050	76
6.4. Enseignements du scénario tendanciel 2030-2050 pour chacun des tiers	81
6.4.1. Tier 1 – Equipements utilisateur	81
6.4.2. Tier 2 –réseaux.....	82
6.4.3. Tier 3 – Centres de données.....	83
7. ANALYSE PROSPECTIVE 2030	83
7.1. Présentation des 3 scénarios	83
7.2. Hypothèses retenues pour les 3 scénarios	88
7.2.1. Tier 1 – Equipements utilisateur	88
7.2.1.1. Nombre d'unités.....	88
7.2.1.2. Consommation électrique et durée de vie unitaire des équipements.....	93
7.2.2. Tier 2 – Equipements réseaux.....	93
7.2.2.1. Nombre d'unités des réseaux mobiles.....	93
7.2.2.2. Consommation électrique unitaire des équipements.....	93
7.2.3. Tier 3 – Centres de données.....	93
7.2.3.1. Superficie de centres de données	93
7.2.3.2. Consommation électrique des équipements IT par m2 de centres de données	94
7.3. Résultats	95
8. DECLINAISON AU NUMERIQUE DES SCENARIOS ADEME DE NEUTRALITE CARBONE A 2050	98
8.1. Présentation des 4 scénarios ADEME	98
8.2. Hypothèses retenues pour les 4 scénarios	107
8.2.1. Tier 1 – Equipements utilisateur	107
8.2.1.1. Nombre d'unités.....	107
8.2.1.2. Consommation électrique et durée de vie unitaire des équipements.....	114
8.2.2. Tier 2 – Equipements réseaux.....	114
8.2.2.1. Nombre d'unités des réseaux mobiles.....	114
8.2.2.2. Consommation électrique unitaire des équipements.....	115
8.2.3. Tier 3 –Centres de données.....	115
8.2.3.1. Superficie de centres de données	115
8.2.3.2. Consommation électrique des équipements IT par m2 de centres de données	115
8.3. Résultats	116
9. LIMITES DE L'ETUDE	120
9.1.1. Réseaux et équipements exclus.....	120
9.1.2. Incertitudes sur le nombre d'équipements, leurs caractéristiques, leurs impacts hors phase d'usage, leurs durées de vie et leurs consommations d'énergie	121

9.1.2.	Maintenance et upgrade	121
9.1.3.	Services numériques hors France et services numériques associés à l'usage hors France	121
9.1.4.	Energie verte, obligations vertes, autoconsommation, compensation carbone, neutralité carbone	122
9.1.5.	Détermination des quantitatifs d'équipement des réseaux.....	122
9.1.6.	Calcul de la consommation électrique des réseaux.....	122
9.1.7.	Différentiation métropole / outremer	122
9.1.8.	Objets connectés	122
9.1.9.	Hébergement	123
9.1.10.	Technologies nouvelles.....	123
9.1.11.	Différences entre l'étude sectorielle sur les impacts environnementaux du numérique en France et les travaux transition(s) 2050.....	123
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		125
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....		127
TABLEAUX		127
FIGURES.....		127
SIGLES ET ACRONYMES.....		128

RÉSUMÉ

La dernière décennie a vu s'accélérer l'essor de nouvelles technologies qui ont marqué le paysage de leur apport en rapidité, qualité et connectivité pour les contenus multimédias et les outils de communication. Alors que de nombreux domaines d'activité ont su profiter de ces nombreuses innovations pour se développer (industrie 4.0, e-commerce, télécommunications etc.), cette croissance a été couplée avec une augmentation des pressions sur l'environnement et les ressources naturelles.

L'Agence de la Transition Ecologique (ADEME), a proposé à travers l'étude « Transition 2050, Choisir maintenant, Agir pour le Climat », quatre scénarios pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. « Ils visent à articuler les dimensions technico-économiques avec des réflexions sur les transformations de la société qu'elles supposent ou qu'elles suscitent ».

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'étude intitulée « Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective ». Le présent rapport, relatif à l'« analyse prospective à horizon 2030 et 2050 et pistes d'action à moyen et long terme » fait suite à la tâche 1 sur l'« état des lieux et pistes d'action » et la tâche 2 sur « l'évaluation environnementale des services numériques en France ».

Spécifiquement, la tâche 3 s'attèle à évaluer l'impact environnemental des évolutions du secteur du numérique en France à horizon 2030 et 2050 selon un scénario tendanciel et selon différents scénarios de jugulation de cet impact. Comme la tâche 2, elle consiste en une évaluation des impacts selon la méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie (ACV). Celle-ci porte sur les 3 tiers du numérique : les terminaux utilisateurs, les réseaux et les centres de données.

Les résultats sont présentés à l'échelle France et sont détaillés suivant différents niveaux d'analyse afin de disposer d'une interprétation plus fine et d'une meilleure compréhension des enjeux environnementaux directs associés au numérique en France.

ABSTRACT

The last decade saw the acceleration of new technologies adoption, shaping the digital landscape in terms of speed, quality and connectivity for multimedia contents and communication tools. While many activities have been able to benefit from the numerous innovations (4.0 industry, e-commerce, telecommunications, etc.) to develop, this growth has always been coupled with a significant increase of pressures on the environment and natural resources.

The French Agency for Ecological Transition (ADEME) has proposed four scenarios for achieving carbon neutrality by 2050 in its study "Transition 2050, Choisir maintenant, Agir pour le Climat". They aim to link the technical and economic dimensions with thoughts on the transformations in society that they imply or that they give rise to.

This is the context for the study entitled "Assessment of the environmental impact of digital technology in France and prospective analysis". The present report on the "prospective analysis for 2030 and 2050 and medium- and long-term courses of action", is a continuation of Task 1 on the "state of play and courses of action" and Task 2 on the "environmental assessment of digital services in France".

Specifically, Task 3 aims to assess the environmental impact of the digital sector in France for the 2030 and 2050 timeframes according to a trend scenario and different scenarios for the mitigation of this impact. Like Task 2, it consists of an evaluation of the impacts using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. This methodology focuses on the three thirds of the digital world: user terminals, networks and data centers.

The results are presented at the France-wide scale and are detailed under several levels of analysis in order to get a more acute interpretation and a better comprehension of direct environmental stakes related to digital technologies in France.

Glossaire

- **Analyse de cycle de vie (ACV) complète** : ACV qui tient compte de l'ensemble des aspects du système. Le périmètre d'étude précis et les frontières du système varient d'une ACV à une autre.
- **Analyse de cycle de vie (ACV) hybride** : méthode qui combine l'approche de l'ACV fondée sur l'analyse économique des entrées-sorties avec les spécificités de l'approche ACV process-based (basée sur les processus).
- **Analyse de cycle de vie (ACV) - Screening¹** : il n'existe pas de définition officielle de ce terme, mais de nombreuses études s'accordent pour dire qu'il s'agit d'une ACV dite complète qui n'a pas pour objectif de quantifier les impacts environnementaux, mais d'identifier les zones du système et/ou les aspects clés du cycle de vie qui contribuent de manière significative à l'impact et qui ne doivent pas être négligés dans une étude d'ACV complète. Une ACV screening peut s'appuyer sur des facteurs d'émissions issus de la littérature sans considération d'homogénéité et de base de données d'inventaire du cycle de vie.
- **Analyse de cycle de vie (ACV) simplifiée¹** : il n'existe pas de définition officielle de ce terme, mais il s'agit généralement d'une ACV non complète, dont la portée est plus étroite, incluant moins de processus et/ou moins de catégories d'impact. On peut retrouver en anglais les termes « simplified » ou encore « streamlined » pour qualifier ce type d'ACV.
- **ACV-A, attributionnelle (ou analyse par attributs)²** : ACV dont le système à l'étude est composé de processus élémentaires liés par des flux issus de la technosphère directement attribuables au système. Le système est considéré comme établi (en régime permanent). Les conséquences induites par les alternatives comparées ne remettent pas massivement en cause les chaînes des fournisseurs.
- **ACV-C, conséquentielle (ou analyse par conséquences)²** : ACV dont le système à l'étude est composé de processus élémentaires liés par des flux économiques, mais aussi des processus affectés indirectement par la mise en place du cycle de vie du produit étudié ou par son changement.
- **Ecoconception** : l'écoconception consiste à concevoir un produit, un bien ou un service numérique, qui prend en compte, afin de les réduire, ses effets négatifs sur l'environnement au long de son cycle de vie, en s'efforçant de préserver ses qualités ou ses performances.
- **JRC (Joint Research Center)** : le JRC est le service de connaissances scientifiques de la Commission Européenne, qui emploie des scientifiques pour mener des travaux afin de fournir des avis de indépendants à la Commission.
- **Méthode (d'évaluation environnementale)³** : ensemble des règles et étapes de calcul permettant d'aboutir à l'évaluation de l'impact environnemental d'un système, qui a pour objet de mesurer et d'analyser les effets sur l'environnement.
- **Méthode d'analyse de cycle de vie (ACV)⁴** : compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie.
- **MtoM / M2M** : *Machine to Machine* (de la machine à la machine), se réfère aux communications entre machines, par opposition aux communications entre humains, ou entre humain et machine.
- **PCR - Product Category Rule (Règles spécifiques des catégories de produits)** : ensemble de règles, d'exigences et de lignes directrices spécifiques prévues pour l'élaboration de déclarations environnementales de Type III et de communications d'empreintes carbone pour une ou plusieurs catégories de produits.

¹ Gradin, K.T., Björklund, A. (2021). *The common understanding of simplification approaches in published LCA studies— a review and mapping*. Int J Life Cycle Assess 26, 50–63. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01843-4>

² European Commission Joint Research Center (JRC), ILCD handbook – The International Reference Life Cycle Data System, 2012.

³ ADEME. (2020, 07 Octobre). *L'évaluation environnementale dans l'industrie et les services. Outils et méthodes*.

⁴ International Organization for Standardization (ISO). (2006). *ISO 14040:2006(fr) - Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre*.

- **Référentiel** : ensemble structuré de recommandations, normatives ou non et de bonnes pratiques utilisées pour la mise en œuvre d'une méthode dans un contexte, pour une catégorie de produit, ou pour un objectif particulier.
- **TIC - Technologies de l'Information et de la Communication**⁵ : ensemble d'outils et de ressources technologiques permettant de transmettre, enregistrer, créer, partager l'information, d'accéder à l'internet (sites Web, logiciels, blogs et messagerie électronique), les technologies (centres de données, serveurs, etc.), les appareils de diffusion en direct (radio, télévision et diffusion sur l'internet) et en différé (podcast, lecteurs audio et vidéo et supports d'enregistrement) et la téléphonie (fixe ou mobile, satellite, visioconférence, etc.).
- **Sobriété Numérique** : selon la définition de l'ADEME, la sobriété numérique est une démarche qui consiste, dans le cadre d'une réflexion individuelle et collective, à questionner le besoin et l'usage des produits et services numériques dans un objectif d'équité et d'intérêt général. Cette démarche vise à concevoir, fabriquer et utiliser les équipements et services numériques en tenant compte des besoins sociaux fondamentaux et des limites planétaires.
- **Service Numérique**⁶ : Un service numérique est une association :
 - D'équipements permettant de stocker, manipuler, afficher des octets (serveurs, terminaux utilisateurs, box ADSL, etc.) ;
 - D'infrastructures qui hébergent et relient les équipements (réseaux opérateurs et centres de données notamment) ;
 - De plusieurs logiciels empilés les uns sur les autres, qui s'exécutent au-dessus des équipements ;
 - D'autres services numériques tier éventuels

Il répond à un besoin spécifique exprimé par l'utilisateur via une ou plusieurs fonctionnalités.

⁵ UNESCO. (n.d). *Technologies de l'information et de la communication (TIC)*.

⁶ Western Australian Government. (n.d). *Digital services definition and examples*.

1. Contexte du projet

1.1. Objectif de l'étude

La transition numérique, initialement perçue comme vectrice d'emplois, de croissance et de nouveaux modèles économiques, modifie profondément l'ensemble des secteurs d'activités. Du domicile au travail, en passant par l'entreprise, la ville et les services publics, les services numériques sont au cœur de notre quotidien et ont bouleversé nos comportements et nos modes de consommation.

L'immatérialité des services proposés est de plus en plus remise en cause par la matérialité sous-jacente des équipements et infrastructures nécessaires au secteur numérique (énergie, ressources, etc.). Les parties prenantes (entreprises, grand public, institutions, États, administrations) demandent à présent plus de transparence sur le sujet.

Celle-ci ne pourra cependant être mise en place que par la publication de données robustes et précises.

Les études et projets menés ces dix dernières années ont porté sur des thématiques précises, s'intéressant par exemple aux consommations d'énergie des centres de données, à l'obsolescence prématurée des terminaux ou encore à la gestion des déchets électroniques. D'autres études ont porté sur l'ensemble du cycle de vie des équipements du numérique, mais avec une approche monocritère, ou avec peu de critères environnementaux. Depuis plusieurs années, des publications (Empreinte environnementale du numérique mondial- EENM 2019 et Impacts du numérique en France – iNUM 2020 de GreenIT.fr, Rapport du Shift Project, Étude commandée par le Sénat, Rapport du haut conseil pour le climat sur la 5G, etc.) éclairent le débat.

Au vu de la connaissance accumulée sur le sujet des équipements et infrastructures numériques⁷, est mise en évidence la nécessité d'adopter une approche plus globale, robuste et transparente qui soit à la fois :

- **Multicritère**, car les impacts environnementaux du numérique ne se réduisent pas aux émissions de gaz à effet de serre ;
- **Multi-étapes**, afin d'intégrer les impacts générés lors de toutes les étapes du cycle de vie des équipements et sur les 3 tiers du numérique (terminal, réseau, centres de données) ;
- **Multi composants**, afin d'appréhender ce système complexe qu'est l'association des terminaux utilisateurs, centres de données et réseaux de télécommunications, tous composés d'une multitude d'équipements ayant chacun des cycles de vie propre.

Par rapport à cela, la partie logicielle qui permet le pilotage et le fonctionnement des services détermine le besoin d'équipements ainsi que les consommations électriques associées. Elle est donc considérée de manière implicite, à travers ses impacts sur le cycle de vie des équipements.

C'est là tout l'intérêt et la pertinence de la méthode standardisée que constitue l'analyse du cycle de vie.

Or, pour parvenir à un point de vue global permettant de faire des choix éclairés, il est nécessaire de s'accorder sur les données d'inventaires, les données d'impacts, les flux, les méthodes et les scénarios d'usage liés au déploiement des services du secteur numérique à un instant donné. Cette approche permettra également, de manière dynamique, d'anticiper les évolutions à venir.

Le présent volet de l'étude, s'inscrit dans la continuité des travaux initiés par l'ADEME « Transition 2050, Choisir maintenant, Agir pour le Climat »⁸, intitulée « analyse prospective à horizon 2030 et 2050 et pistes d'action à moyen et long terme ». Son objectif est d'éclairer le débat public, de tracer des scénarii de trajectoires des impacts environnementaux à horizon 2030 et 2050. En effet, ce rapport, qui est le troisième volet de l'étude, se concentre sur l'estimation des impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques à horizon 2030 et 2050. Il

⁷ « Impacts environnementaux des objets connectés et des services bases sur leur utilisation : Ordres de grandeurs et recommandations méthodologiques », 2021, Negaoctet pour ScoreLCA

⁸ Les travaux engagés par l'ADEME à travers l'étude « Transition 2050, Choisir maintenant, Agir pour le Climat » propose quatre scénarios pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. « Ils visent à articuler les dimensions technico-économiques avec des réflexions sur les transformations de la société qu'elles supposent ou qu'elles suscitent ». Site Web de l'ADEME : <https://transitions2050.ademe.fr/>

fait suite à la tâche 1 sur l'« état des lieux et pistes d'action » et la tâche 2 sur « l'évaluation environnementale des services numériques en France ».

La tâche 3 consiste à construire une vision de moyen / long terme des impacts environnementaux du numérique. Des analyses prospectives à horizon 2030 et 2050 ont été réalisées en s'appuyant sur les évolutions technologiques attendues (évolution des équipements terminaux, réseaux et centres de données) et sur les évolutions d'usage.

Pour éclairer les futures tendances, une partie de ce rapport sera dédiée à une analyse de l'évolution des équipements numériques et usages.

Le potentiel de réduction de consommation lié à l'émergence de nouvelles technologies et aux mesures d'efficacité énergétique sera également pris en considération, compte tenu de la multiplication du nombre et du type de nouveaux équipements.

Afin d'étayer les analyses présentées dans ce rapport, des groupes de travail ont été réalisés avec une sélection d'acteurs experts du domaine.

Dans le cadre de ces différents travaux, les analyses sont basées sur des recherches documentaires, des données chiffrées actuelles et de prospective. Par ailleurs des analyses issues d'échanges, d'entretiens avec différents experts des domaines numériques ont également été réalisées afin de partager les orientations, visions et hypothèses. Pour autant, il demeure des incertitudes liées aux échéances lointaines de la réflexion (2030 – 2050). Enfin des limitations sont clairement identifiées et présentées afin de préciser les périmètres de réalisation de ces travaux de prospective. En effet les difficultés sont liées par exemple au changement technologique, aux nouvelles évolutions et technologies qui pourraient se faire jour dans le futur et qui ne peuvent à ce stade être documentées, évaluées, quantifiées à leur plus juste valeur. L'identification des limites de l'analyse (précisions sur les hypothèses, qualité des données, limitations méthodologiques relatives au besoin de raffinement de la modélisation) permettra par ailleurs de déterminer les pistes d'amélioration dans le cadre d'exercices futurs afin de contribuer à forger une estimation de plus en plus robuste et précise de l'évolution de l'impact environnemental du numérique en France.

1.2. Périmètre de l'étude

Cette étude permet de quantifier les impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques en France à horizon 2030 et 2050, conformément aux trois briques présentées ci-dessous :

- Les **terminaux** fixes et mobiles présents en France tels que les téléviseurs, ordinateurs, tablettes, objets connectés, smartphones, etc. ;
- Les **réseaux** déployés ;
- Les **centres de données** tels que définis par les normes ISO 30134 et EN 50 600 et tout ce qu'ils contiennent (notamment les équipements informatiques tels que les serveurs, les équipements réseaux et baies de stockage).

Cette étude couvre l'ensemble des infrastructures et équipements utilisés en France relatifs aux services numériques : ainsi, par exemple, sont uniquement pris en considération les centres de données localisés en France quelles que soient les données qu'ils hébergent. Les données d'entreprises, administrations, collectivités ou grand public qui pourraient être hébergées à l'étranger et les centres de données qui les hébergent ne sont donc pas comptabilisés. Néanmoins, dans une approche cycle de vie, sont aussi pris en considération l'ensemble des impacts environnementaux au-delà des frontières tels que la fabrication des équipements à l'étranger. La partie logicielle (impacts liés aux ressources humaines tels que le transport, le chauffage ou la nourriture, mais aussi l'influence du code sur la consommation de ressources matérielles et énergétiques) n'est pas couverte par cette étude.

1.3. Définition du numérique

En s'inspirant de la recommandation ITU-T L.1450⁹ définissant une méthodologie pour la quantification de l'impact environnemental du secteur de l'information et de la communication (TIC), l'empreinte du numérique dans le cadre de cette étude, comprend les catégories suivantes :

⁹ International Telecommunication Union : <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1450-201809-I/fr>

I. Les biens d'utilisateurs finaux (les terminaux)

Les biens des utilisateurs finaux comprennent :

- 1) les ordinateurs et les périphériques informatiques ;
- 2) l'électronique grand public à des fins de communication comprend entre autres :
 - a) téléphones mobiles, téléphones intelligents, tablettes, ordinateurs fixes et ordinateurs portables,
 - b) les biens du réseau domestique ;
- 3) les appareils IoT.

II. Les biens de réseau TIC (le réseau)

Les biens de réseau TIC comprennent :

- 1) le réseau d'accès filaire, y compris le réseau téléphonique commuté public ;
- 2) le réseau d'accès sans fil ;
- 3) le réseau central des télécommunications et les centres de données connexes ;
- 4) les réseaux d'entreprise ;
- 5) le réseau de base et de transmission de données Metro/Edge/IP et les centres de données de réseau ;
- 6) la télécommunication par satellite

Ces catégories comprennent les activités d'appui relatives à l'ensemble du cycle de vie, y compris les activités d'exploitation et d'entretien :

- 1) infrastructures TIC, par exemple les antennes, pylônes, câbles, étagères ;
- 2) les biens installés sur le site ou dans des installations pour l'alimentation électrique ;
- 3) les biens installés sur place ou dans des installations de refroidissement.

III. Les centres informatiques (les centres de données)

Les centres informatiques comprennent :

- 1) tous les centres de données, à l'exception des centres de données de télécommunication ;
- 2) réseaux d'entreprise.

En cohérence avec les orientations du volet 2 de l'étude, les téléviseurs et autres écrans, les imprimantes et les consoles de jeux vidéos pouvant être reliés au secteur du numérique sont intégrés dans le périmètre d'analyse.

2. Méthode de l'analyse prospective

2.1. Objectifs et méthode de l'analyse prospective

La tâche 3 consiste à construire une vision de long terme sur les impacts environnementaux du numérique.

Des analyses prospectives à horizon 2030 et 2050 ont été réalisées en s'appuyant sur les évolutions technologiques attendues (évolution des équipements terminaux, réseaux et centres de données) et sur les évolutions des modèles de gouvernance, des modèles économiques et territoriaux du numérique.

L'analyse prospective repose sur une démarche pluridisciplinaire et suppose d'intégrer un processus d'intelligence collective. Afin de garantir une vision partagée, un groupe de travail a suivi les étapes d'élaboration de cette analyse prospective. Il était composé d'acteurs du numérique et d'experts du groupement, sur l'ensemble de la chaîne de valeur :

- Opérateurs de réseaux fixes et mobiles (Orange, SFR, Iliad)
- Equipementiers (Apple, Nokia, Ericsson, HPE)
- Syndicats professionnels (FIEEC, AFNUM)
- Acteurs du contenu et du logiciel (Ekimetrics)
- Chercheurs et ingénieurs (Françoise Berthoud, Philippe Bihouix, Gauthier Roussilhe)
- Association (INR)
- Acteur public (DINUM)
- Experts du groupement

Enfin, il convient de noter que les analyses prospectives 2030 et 2050 correspondent à des logiques différentes. Tandis que l'analyse prospective 2030 propose des variations d'inflexion autour du scénario tendanciel, les scénarios 2050 ont pour objectifs de s'inscrire dans les 4 grands scénarios ADEME à horizon 2050 avec pour objectif d'envisager des modèles de sociétés très différentes par scénario mais conduisant tous à la neutralité carbone. Ainsi le seul scénario commun aux deux exercices d'analyse prospective est donc le tendanciel, examiné en 2030 d'une part et 2050 d'autre part.

2.2. Analyse prospective 2030

L'analyse prospective à 2030 a pour objectif d'identifier les potentielles évolutions du numérique et leurs impacts environnementaux. Elle a comme point de départ la modélisation réalisée en tâche 1 et 2 selon une méthode ACV détaillée dans le deuxième des trois volets de l'étude. L'analyse s'est attelée à déterminer les évolutions possibles au travers d'un travail de recherche documentaire soutenu par un travail d'intelligence collective et d'interviews d'experts.

Elle a été menée en 4 étapes :

- Identification des grandes tendances d'usage susceptibles d'exercer une influence à moyen et long terme sur la modélisation établie en tâche 1 et 2 (évolution des usages, des services numériques et des infrastructures).
- Construction des hypothèses du scénario tendanciel 2030 à partir de la littérature et d'interviews d'experts
- Variations du scénario tendanciel en 3 scénarios : 1 scénario basé sur la sobriété numérique reposant sur de nouvelles pratiques dans les modes de consommation et de conception des outils numériques et 2 scénarios de généralisation des pratiques d'écoconception des équipements et services numériques
- Injection des hypothèses dans la modélisation réalisée au cours du volet 2 de l'étude

2.3. Analyse prospective 2050

« Face à l'urgence climatique, les changements à opérer sont d'une telle ampleur qu'il est pourtant indispensable d'accélérer les débats sur les choix de société à conduire mais le chemin pour l'atteindre reste encore flou, voire inconnu,

pour les décideurs et les citoyens. C'est pourquoi l'ADEME a souhaité soumettre au débat quatre chemins « types », cohérents et contrastés pour conduire la France vers la neutralité carbone. Imaginés pour la France métropolitaine, ils reposent sur les mêmes données macroéconomiques, démographiques et d'évolution climatique (+2,1°C en 2100). Cependant, ils empruntent des voies distinctes et correspondent à des choix de société différents ». La présente étude a pour objectif d'alimenter la réflexion de l'ADEME et de l'Arcep sur la place du numérique plus ou moins importante dans ces différentes voies. L'analyse prospective à 2050 a pour objectif d'identifier les potentielles évolutions du numérique et leurs impacts environnementaux en fonction de ces 4 scénarios proposés par l'ADEME. L'analyse prospective à 2050 vise ainsi à dégager des tendances d'évolution du numérique et n'a pas vocation à déterminer des trajectoires normatives/prescriptives en tant que telles du numérique à cet horizon.

Ce deuxième effort de prospective à échéance 2050, date souhaitée de l'atteinte de la neutralité carbone dans le cadre de la Stratégie Nationale Bas Carbone, s'appuiera sur les tendances identifiées dans le cadre de la prospective à 2030. Il n'aura donc pas vocation à identifier de nouvelles tendances.

Il a été mené en 4 étapes :

- Construction des hypothèses du scénario tendanciel 2050 à partir de la littérature, d'interviews d'experts et de la prolongation de tendance quand la donnée n'était pas disponible
- Analyse des inducteurs présentés dans les grands scénarios ADEME « Génération Frugale », « Coopérations Territoriales », « Technologies Vertes » et « Pari Réparateur »
- Variations du scénario tendanciel selon ces 4 scénarios
- Injection des hypothèses dans la modélisation réalisée en tâche 2

3. Méthode de l'analyse ACV

3.1. Méthodologie de l'ACV

La méthodologie de l'ACV est décrite dans le rapport du volet 2 de l'étude.

3.2. Périmètre ACV de l'étude

Dans le cadre de cette étude, l'objectif est d'apporter les dernières connaissances (2019-2020) sur les impacts environnementaux des technologies numériques, en utilisant la méthode ACV décrite dans le cadre de la tâche 2, sur le périmètre français.

Seuls les impacts directs seront comptabilisés. Les impacts indirects, positifs et négatifs (tels que les effets rebond directs ou indirects, la substitution, les changements structurels), ne sont pas pris en compte. Il s'agit ici d'une ACV attributionnelle.

Les paragraphes suivants fournissent des détails sur le périmètre de l'étude, c'est-à-dire :

- Unité fonctionnelle
- Limites du système : inclusion, exclusion, critère de coupure
- Représentativité géographique, temporelle et technologique
- Phase du cycle de vie considérée

3.2.1. Système de produits à étudier

3.2.1.1. Frontières technologiques

Cette étude porte sur les équipements et infrastructures numériques à l'échelle française. Le périmètre des équipements et infrastructures numériques couvre trois catégories d'équipements également appelés « Tier » :

- **1.Tier- Terminaux utilisateur final et IoT** : Cette catégorie comprend les terminaux utilisés par les utilisateurs finaux tels que les ordinateurs, les écrans, les box TV et les objets connectés (notamment les capteurs, la domotique...)
- **2.Tier - Réseau** : Cette catégorie comprend les infrastructures réseau pour les échanges de données entre les terminaux des utilisateurs finaux et les centres de données. Le réseau est composé d'un réseau fixe, d'un réseau mobile et d'un réseau dorsal (backbone)
- **3.Tier - Centres de données** : Cette catégorie comprend les équipements liés à l'hébergement et au traitement des données (serveurs, disques, équipements réseau...)

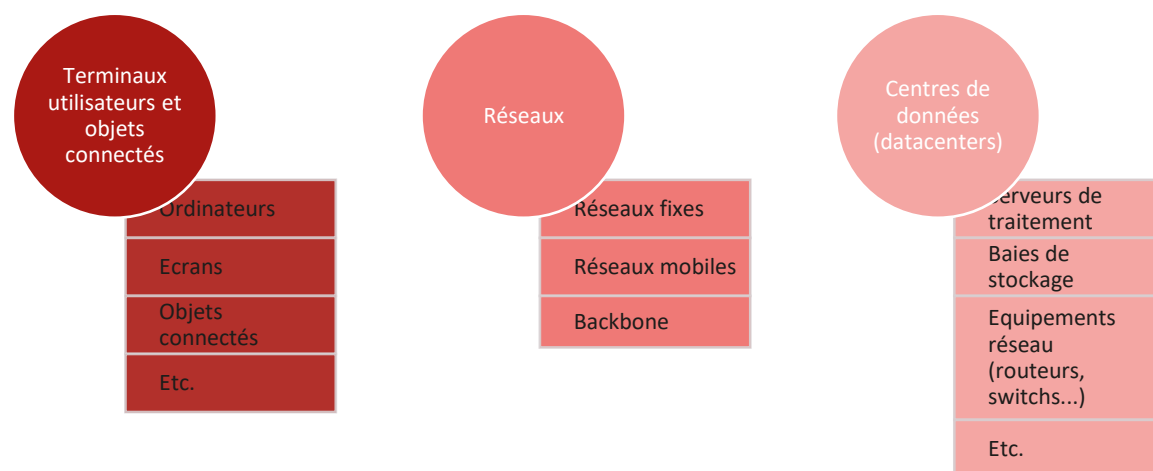


Figure 1 - Illustration des tiers du numérique défini par les 3 principales catégories d'équipement

3.2.1.2. Limites temporelles

Cette étude porte sur l'ensemble des équipements et infrastructures numériques en France à horizon 2030 et 2050. Les données s'appuient sur les travaux de la tâche 2 pour 2020, auxquelles on applique des taux de croissance annuels moyens pour parvenir aux horizons 2030 et 2050. Dans la mesure du possible, les données sélectionnées pour le scénario tendanciel sont sourcées. Si des données sont manquantes, elles seront remplacées et extrapolées avec des données postérieures à 2015.

3.2.1.3. Limites géographiques

Le périmètre géographique considéré dans cette étude est composé d'équipements informatiques situés en France. Les équipements et infrastructures informatiques situés à l'étranger sont exclus, quand bien même associés à des usages français.

Cette approche est une des limites de l'étude, car certaines utilisations des services numériques font appel à des infrastructures (centres de données) situées hors du territoire national ; de même, certains centres de données situés en France sont sollicités pour des usages hors France.

Dans les deux situations, il est difficile d'identifier les ressources physiques (serveurs, kilowattheures, disques de stockage) associées à un usage France ou hors territoire. Par exemple, un centre de données d'un grand groupe français peut héberger les données des utilisateurs et des filiales situés en Europe et une vidéo peut transiter par plusieurs centres de données situés dans plusieurs pays avant d'être visionnée par un utilisateur en France.

Afin de ne pas augmenter les incertitudes des résultats, le périmètre a été restreint aux infrastructures situées sur le territoire national.

3.2.1.4. Territoires et départements d'outremer

Les territoires et départements d'outremer ont des spécificités propres, en termes de mix électrique, de typologies de réseaux, d'équipements, de logistique, etc.

Dans la présente étude, les territoires et départements d'outremer ont été inclus dans le périmètre, mais leur spécificité est absorbée dans les impacts globaux sans distinction particulière : l'ensemble des équipements et leurs impacts associés sont considérés.

3.2.2. Périmètre et limites du système

3.2.2.1. Phase du cycle de vie considérée

Au cours de cette étude, nous considérons les phases de cycle de vie suivantes :

1. **L'étape de fabrication** : comprend l'acquisition de l'extraction des matières premières, les transports en amont et les procédés de fabrication.
2. **L'étape de distribution** : comprend la distribution entre le fabricant et le site d'installation.
3. **L'étape d'utilisation** : comprend au minimum la production d'électricité consommée (incluant le cycle de vie de la production et de la distribution électrique) utilisée par les équipements informatiques.
4. **L'étape de fin de vie** : comprend le traitement de fin de vie des équipements informatiques.

3.2.2.2. Inclusion

Comme présenté précédemment, l'étude couvre les infrastructures et dispositifs de équipements et infrastructures numériques sur les trois niveaux situés en France.

La liste des équipements couverts par l'étude est présentée ci-dessous :

Tier 1 – Appareils de l'utilisateur final et IoT

Téléphones portables : Smartphones, Feature phones, alimentations pour smartphones

Téléphones (ligne fixe)

Tablettes, alimentations pour tablettes

Ordinateur portable, alimentations pour ordinateur portable

Ordinateur fixe (incluant les clients légers), alimentations pour ordinateur fixe

Stations d'accueil ordinateur portable

Projecteur

Afficheurs électroniques : - Ecrans ordinaires, - Ecrans spécifiques, affichage de la signalisation régulière, affichage de la signalisation spéciale
Télévisions
Tv box / décodeur
Console de jeux
Casques AR/VR
Imprimantes
Enceintes connectées
IoT
Tier 2 – Réseau
Équipements informatiques impliqués dans le réseau mobile (2G, 3G, 4G, 5G, 6G et au-delà) et fixe (FFTx, xDSL)
Équipements non informatiques impliqués dans le réseau mobile (2G, 3G, 4G, 5G, 6G et au-delà) et fixe (FFTx, xDSL)
Tier 3 – Centres de données
Equipements informatiques (calcul, stockage, réseau)
Equipements non informatiques impliqués dans l'infrastructure (refroidisseurs, générateurs, UPS, batteries...)

Tableau 1 - Liste des équipements numériques inclus

3.2.2.3. Exclusion

Les flux suivants ont été exclus de l'étude :

- L'éclairage, le chauffage, l'assainissement et le nettoyage des installations produisant les équipements, en raison d'un manque de données
- Le transport des salariés, considéré en dehors des frontières
- La fabrication et la maintenance des outils de production, par manque de données
- La construction et la maintenance des infrastructures liées à la production des équipements, faute de données
- Les flux des services administratifs, de gestion et de R&D, considérés hors des frontières
- La commercialisation des produits, considérée hors des frontières
- La restauration du personnel, considérée hors périmètre
- Les activités de maintenance, réparation, reconditionnement informatique, faute de données homogènes sur tous les tiers concernant les pièces et consommables utilisés pour la maintenance.
- L'impact des salariés des secteurs informatiques et notamment de la conception, du développement, de la distribution et de la maintenance des logiciels : transport, bureau, déjeuner, etc. considérés comme hors champ (ces aspects sont généralement pris en compte dans les approches des sites ISO 14001).
- Centres de données exploitant des données consultées en France, mais situées à l'étranger, le périmètre de l'étude ne faisant référence qu'aux équipements utilisés sur le sol français.
- Réseaux TV/radio, en raison du manque d'informations concernant les équipements constitutifs (données d'inventaire du cycle de vie et quantitatifs d'équipements).
- Réseaux d'entreprise, en raison du manque d'informations concernant les équipements constitutifs (données d'inventaire du cycle de vie et quantitatifs d'équipements).
- RTC (Réseau Téléphonique Public Commuté), en raison du manque d'information sur les équipements constitutifs (données d'inventaire du cycle de vie et quantitatifs d'équipements).
- Certains appareils électroniques grand public comme les lecteurs multimédias, les appareils photo, le GPS, la partie connectée des véhicules en raison du manque d'informations concernant l'équipement constitutif sont considérés comme hors du champ de l'étude.

Critère de coupure

Généralement, la modélisation environnementale doit couvrir un pourcentage défini (supérieur ou égal à 95%) des équipements ou systèmes :

- La masse des flux intermédiaires non pris en compte doit être inférieure ou égale à 5% de la masse des éléments du produit de référence correspondant à l'unité fonctionnelle,
- Les flux énergétiques non pris en compte doivent être inférieurs ou égaux à 5% de l'énergie primaire totale utilisée pendant le cycle de vie du produit de référence correspondant à l'unité fonctionnelle,

Ces 5% exclus ne doivent pas comporter des éléments (composants, matières) générant des impacts environnementaux importants (or, argent, terres rares, processeurs, etc.).

Cependant, pour les équipements et infrastructures numériques, la vérification de ces règles de coupure est difficile. Dans le cadre de l'étude, toutes les informations disponibles ont été prises en considération, compte tenu des exclusions précisées ci-dessus concernant la portée de l'étude.

Indicateurs retenus

Dans cette étude, les indicateurs retenus sont ceux proposés par la Commission Européenne dans le cadre du projet Product Environmental Footprint (PEF), en utilisant le PEF 3.0.¹⁰

Afin d'être le plus compréhensible possible et de concentrer l'analyse sur des sujets appropriés, il est largement admis de réduire le panel complet d'indicateurs à une sélection appropriée. Ces indicateurs ont été sélectionnés sur la base des résultats normalisés et pondérés.

Dans un objectif d'analyse multicritère de l'impact environnemental, les indicateurs sélectionnés pour cette étude concernent :

- **Epuisement des ressources naturelles (minérales et métaux)**
- **Epuisement des ressources abiotiques (fossiles)**
- **Radiations ionisantes**
- **Emissions de particules fines**
- **Création de particules fines**
- **Création d'ozone photochimique**
- **MIPS (« Material per Input Service unit ») -impact sur l'environnement causé par la fabrication ou les services d'un produit**
- **Consommation d'énergie primaire**
- **Consommation d'énergie finale**

¹⁰ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developEF.xhtml> (last retrieved: 19/08/2021)

4. Les tendances d'évolution du numérique à moyen et long terme

Selon une étude CISCO de 2018, l'utilisation de l'internet et des services numériques par les utilisateurs finaux a engendré une augmentation du trafic de données de plus de 20 % chaque année sur la période 2016-2018 au niveau mondial. Dans ses prévisions, CISCO a retenu ce même pourcentage de croissance annuel sur la période 2018-2021. Dans le cadre des projections de l'étude, cette hypothèse de croissance annuelle a été étendue à la période 2022-2030.

Toujours selon la même source CISCO de 2018, la consommation de médias est de loin le plus grand moteur de la croissance des données, notamment la vidéo qui est devrait passer de 75 % du trafic de données en 2017 à 85 % en 2022.

Selon un rapport de 2019 de l'EDNA (Intelligent Efficiency For Data Centres & Wide Area Networks) qui reprend la source CISCO de 2018, d'ici 2022, 72% des données échangées dans le monde transiteront par les CDN. L'EDNA précise que 71% de ces données échangées à travers ces CDN transiteront vers les terminaux sans fil et mobiles. Ce rapport précise également que les domaines de croissance les plus rapides sur la période de 2019 à 2022 seront la réalité virtuelle/augmentée (avec un taux de croissance annuel moyen (TCAM) de 65%), les jeux (avec un TCAM de 55%) et l'IoT (avec un TCAM de 49%). Ces taux de croissance élevés suggèrent que ces usages puissent devenir importants après 2022. Sans amélioration de l'efficacité énergétique, cette croissance des données devrait avoir un impact massif sur la consommation énergétique totale et la quantité de matières mobilisées.

Le groupe de travail mobilisé dans le cadre de la mission a permis d'élaborer les grandes tendances suivantes :

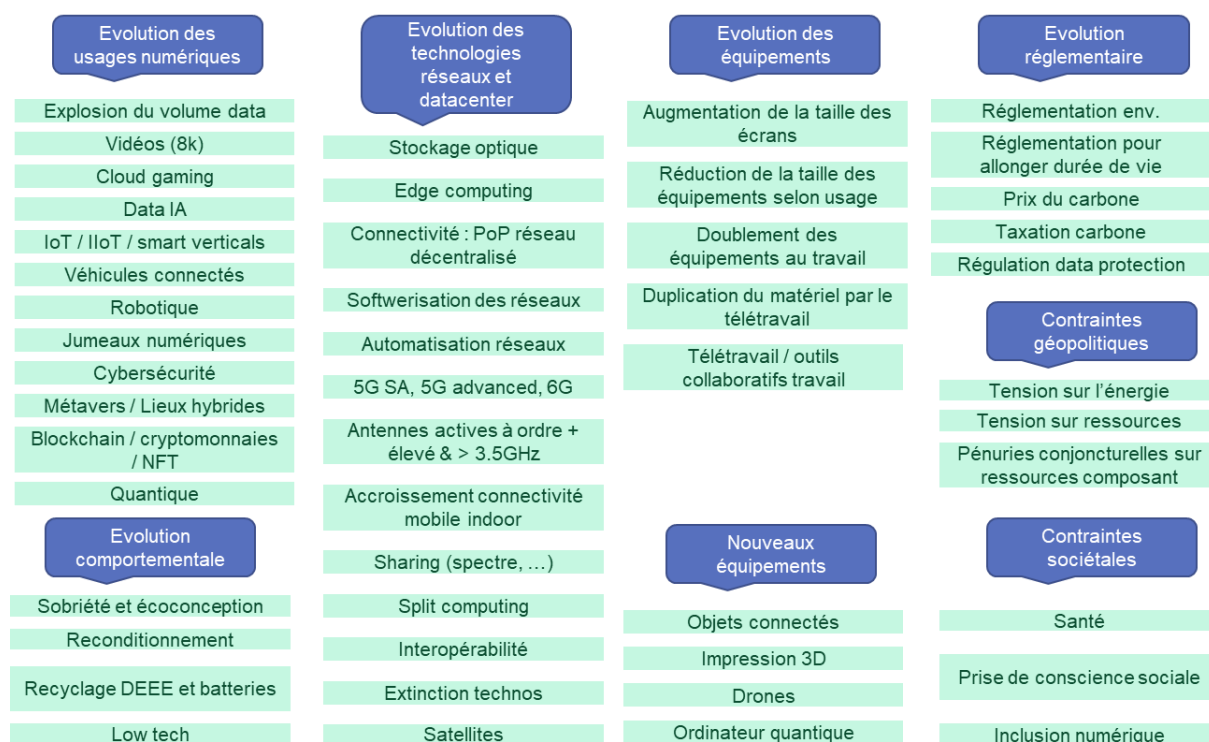


Tableau 2 – Les grandes évolutions du secteur numérique telles qu'identifiées par le groupe de travail

4.1. Une croissance des usages du numérique à court et moyen terme...

4.1.1. Croissance du nombre d'équipements

4.1.1.1. Internet et connexions au réseau

Plusieurs études soulignent la hausse du nombre d'équipements par habitant au fil des années, liée notamment à une utilisation toujours plus massive des smartphones, qui centralisent de nombreux usages. Cette observation au niveau global peut cependant être nuancée dans le cas des pays plus équipés à l'heure actuelle, où l'augmentation du nombre d'équipements sera aussi portée en parallèle par d'autres produits que le smartphone, comme les smart TV, les consoles

de jeux, casques de réalité virtuelle, voire d'autres terminaux nouveaux encore inexistantes aujourd'hui avec un impact environnemental potentiellement important et dont la pénétration pourrait être très rapide et massive, à l'instar du développement des smartphones depuis la fin des années 2000. Cette tendance aura pour conséquence une augmentation significative du nombre de connexions à Internet. Dans ses prévisions de 2018¹¹ en termes de croissance du nombre de dispositifs, Cisco indique un taux de croissance annuel moyen de 9 % (multiplié par 1,6) entre 2017 et 2022 pour les smartphones. Les téléviseurs connectés (qui comprennent les téléviseurs à écran plat, les décodeurs, les adaptateurs de médias numériques [DMA], les lecteurs de disques Blu-ray et les consoles de jeux) suivent dans ces prévisions la deuxième plus forte croissance, avec un TCAM de 7 %, pour atteindre 3,2 milliards d'unités en 2022. Elles indiquent également que le nombre de PC (baisse de 2,5 %) décline au cours de la même période. Cependant, il y aura plus de PC que de tablettes tout au long de la période et d'ici la fin de 2022 (1,2 milliard de PC contre 790 millions de tablettes). Ces chiffres illustrent bien l'omniprésence des outils numériques et particulièrement des objets connectés dans la population mondiale. En 2022, il y aura donc en réalité 4.8 milliards d'utilisateurs Internet (60% de la population mondiale estimée à 8 milliards), ce qui représentera 28.5 milliards d'objets connectés contre 18 milliards en 2017.

Selon le Baromètre du Numérique de l'Arcep¹², en France, les équipements numériques sont de plus en plus ancrés dans la vie des Français, avec en 2019, 95% des Français qui possèdent un téléphone mobile et 77% un smartphone. Cela représente une augmentation de 2% et 1% respectivement par rapport à 2018.

Cette croissance de l'utilisation d'équipements et les nouvelles connexions qui y sont associées vont donc être à l'origine de l'augmentation de l'impact environnemental.

4.1.1.2. Augmentation du nombre d'équipements et durée de vie

L'étude du Baromètre du Numérique 2019 montre une tendance toujours plus importante des Français à posséder leurs propres équipements et notamment un smartphone, dont la pénétration a beaucoup augmenté ces dernières années (+12% entre 2016 et 2019). C'est dans l'achat de ces équipements et l'allongement de leur durée de vie que réside l'enjeu de sobriété (cf. 5.3.1).

L'étude de marché Xerfi¹³ sur les équipements numériques mentionne par exemple une augmentation de 10% de l'achat de matériel informatique de bureau (ordinateurs, composants...) neufs entre 2019 et 2020, principalement due à la généralisation du télétravail.

D'après le baromètre Re-commerce¹⁴, le matériel reconditionné n'est pas encore une option dominante dans le choix des Français, puisque 50% d'entre eux ne sont pas prêts à remplacer l'achat d'un téléphone neuf par un équipement reconditionné (en partie par manque de confiance sur la qualité du produit et sa durée de vie).

Au niveau des pratiques de réparation et selon l'institut de sondage BVA¹⁵, une large majorité des Français (entre les deux tiers et plus de 90 %) déclare prendre régulièrement en compte la capacité à durer, la possibilité de réparer les produits qu'ils achètent et l'impact écologique des composants des produits.

4.1.2. Croissance du nombre d'usages du numérique et du trafic de données induit

4.1.2.1. Des usages plus consommateurs de données

Certains usages, qui étaient déjà intégrés aux pratiques quotidiennes, sont en pleine croissance, comme cela est notamment le cas pour les **usages vidéo**. Selon une étude d'Ericsson de 2021¹⁶, (EMR 11/2021), 69% du trafic mobile est dédié à la vidéo à fin 2021. Cisco ¹⁷, indique quant à lui que 82% de l'ensemble du trafic IP est porté par des flux vidéos. Ces deux sources tendent effectivement à confirmer la prédominance des flux vidéos dans la part du trafic IP.

Parmi ces nouveaux usages, le rapport d'Ericsson¹⁸ résume les raisons pour lesquelles le trafic vidéo mobile croît à un tel rythme :

- des écrans plus grands permettant des flux de meilleure qualité ; un contenu vidéo apparaissant de plus en plus dans le cadre d'autres applications (par exemple, les réseaux sociaux, les informations, la publicité) ;

¹¹ CISCO (VNI 2016-2020)

¹² https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-barometre-numerique-edition-2021.pdf

¹³ Xerfi (2020), *Le marché du matériel informatique et des smartphones*

¹⁴ Baromètre Re-commerce (2021), *Le marché du mobile d'occasion*, Communiqué de presse

¹⁵ BVA Group(2019), *Numérique et Environnement*

¹⁶ Ericsson Mobility Report(2021), <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports>

¹⁷ Cisco (VNI 2017-2022)

¹⁸ Ericsson Mobility Report(2016), Ericsson

- la croissance du streaming vidéo (YouTube représente 50 à 70 % du trafic vidéo de certains réseaux mobiles);
- la croissance de l'adoption de la vidéo à la demande ;
- les changements dans le lieu et l'endroit où la vidéo est consommée ;
- une infrastructure plus rapide facilitant la consommation.

Avec la définition d'image numérique dite 4K (3840 x 2160 pixels) ou ultraHD (4096 x 2160 pixels) la taille – en octets - d'une seule vidéo sera multipliée par 3 à 5 par rapport à une vidéo HD. Le poids des vidéos 8K sera encore multipliée par 3 à 5 par rapport à une vidéo 4K. Dans ce scénario, un utilisateur unique consommera non seulement un volume plus important, mais aussi plus rapidement, ce qui augmentera les besoins en bande passante en heure de pointe pour les opérateurs de réseau.¹⁹

Parmi les usages dont les consommations de données augmentent, il est également pertinent de citer le trafic de données lié aux usages des **jeux vidéos**. Il devrait représenter 4% du trafic global de données en 2022. Le trafic lié au **cloud gaming** (c'est-à-dire au jeu en streaming via Internet) serait multiplié par neuf entre 2017 et 2022. Le trafic lié à l'usage de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée serait quant à lui multiplié par 12 entre 2017 et 2022 à l'échelle mondiale ²⁰.

4.1.2.2. Multitasking, parallélisation des usages et temps alloué

Un autre phénomène est responsable de l'augmentation de la consommation de données dans les usages quotidiens : il s'agit de **l'augmentation du temps consacré à la consommation** de celles-ci. Le rapport de Conseil National du Numérique portant sur l'économie de l'attention paru en janvier 2022, met en avant les éléments positifs et négatifs des « plateformes numériques [qui] ont pris une place croissante dans le quotidien et conditionnent la grande majorité des activités (activités professionnelles, activités culturelles ou de loisir, activités sociales, etc.) ». Deux phénomènes entrent ici en jeu :

- L'augmentation du temps alloué dans une journée à l'utilisation d'outils numériques, sur des plages horaires qui n'intégraient pas auparavant ce type d'usages.
- La parallélisation des tâches associées à des usages numériques, qui permet de multiplier l'utilisation d'équipements et d'applications dans une même plage horaire.

D'après l'étude *Are there limits to growth in data traffic?*²¹ le temps passé en ligne à utiliser des services numériques est en augmentation. En effet, en 2005, au Royaume-Uni, une moyenne de 9,9 heures était passée en ligne au cours d'une semaine « moyenne » à la maison et au travail. Fin 2014, cette moyenne était passée à 20,5 heures par semaine. Aux États-Unis, le temps moyen passé à utiliser les outils numériques est passé de 226 à 364 minutes par jour entre 2011 et 2015 (réseaux sociaux : 71-104 minutes ; radio numérique : 53-65 minutes). La possession de ces appareils, ainsi que la facilité à les transporter et à se connecter à internet, permet aux usages numériques de s'étendre et même de combler les plages horaires auparavant non utilisées. En France, le baromètre du numérique²² de l'Arcep indique que la population de 12 ans et plus passe en moyenne 19 heures par semaine sur internet en 2021 (tout support et lieu de connexion) contre 13 heures en 2012.

D'autre part l'étude fait aussi le constat que 53 % des adultes britanniques pratiquent le multitâche (multitasking en anglais, i.e. deux usages numériques en parallèle : regarder la télévision tout en utilisant son téléphone pour naviguer sur les réseaux sociaux par exemple) en regardant la télévision. Ce multitâche est notamment encouragé par l'augmentation du nombre d'objets connectés du salon. Considérant que les achats d'objets connectés sont passés de 114 millions à 267 millions d'unités dans le monde entre 2015 et 2017, cette tendance est appelée à se renforcer. En appliquant des modèles de comportement à un échantillon représentatif de la population du Royaume-Uni, *l'étude de Suski*²³ a constaté que la parallélisation a été pratiquée pendant un tiers des jours de streaming déclarés.

¹⁹ Hazas, M. et al. (2016), *Are there limits to growth in data traffic?: On time use, data generation and speed*, ResearchGate, 6 pages

²⁰ Cisco (VNI 2017-2022).

²¹ Hazas, M. et al. (2016), *Are there limits to growth in data traffic?: On time use, data generation and speed*, ResearchGate, 6 pages

²² https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/rapport-barometre-numerique-edition-2021.pdf

²³ Suksi, P. (2020), *All you can stream: Investigating the role of user behavior for greenhouse gas intensity of video streaming*

4.2. ...accélérée par la croissance à moyen et long terme des marchés numériques...

La croissance du nombre de connexions et d'équipements est en partie corrélée avec la naissance de nouveaux usages des outils numériques. Dans cette partie, nous exposons les grandes tendances du numérique à venir à horizon 2030-2050 et les perspectives de marché des secteurs du numérique.

4.2.1.1. Internet des objets

Le marché de l'IoT est un marché en forte croissance qui se développe à travers les marchés verticaux, de façon très hétérogène puisque le niveau d'adoption varie selon les cas d'usages. Les secteurs verticaux clés actuels sont les Utilities (gaz, électricité, eau etc.) et l'automobile, favorisés par les régulations et politiques publiques à travers le monde. Les prochains verticaux apparaissent dans les secteurs de la logistique et de la santé.

Selon les données de l'IDATE de 2021, la base mondiale installée de dispositifs connectés, devrait atteindre 6,5 milliards d'unités d'ici 2025. Le principal marché restera celui des utilities avec 2,1 milliards d'unités en 2025, suivi de l'automobile. Le marché de la logistique est également attendu pour les technologies LPWAN avec le suivi logistique des objets (également dénommé « asset tracking »). Plusieurs protocoles sont mobilisés par l'écosystème de l'Internet des objets (Zigbee, LoRA, LTE-m, NB IoT, 5G RedCap etc.). Ces objets IoT et ces protocoles se structurent par vertical /type d'usage sous forme de plateforme IoT.

4.2.1.2. E-santé

Le marché de l'e-santé représente un potentiel de croissance important, compte tenu du vieillissement de la population mondiale et de la forte hausse anticipée des personnes âgées de plus de 65 ans à l'horizon 2050. Les marchés du télésoin et de la télémédecine, les plus attractifs, devraient représenter d'ici cinq ans environ 78,1 millions de dispositifs installés et permettre de réduire les dépenses de santé.

Selon les données issues des observatoires de l'IDATE, à l'échelle mondiale, le nombre de dispositifs de télésoin devrait atteindre 72,4 millions d'unités à l'horizon 2025, avec une montée en puissance des dispositifs de téléassistance de nouvelle génération, représentant ainsi 8 % de la population mondiale de seniors équipée de ces dispositifs. Le nombre de dispositifs de télémédecine dédiés aux seniors (fragiles et dépendants), devrait quant à lui atteindre 5,7 millions d'unités à cette date (soit 1 % de la population mondiale de seniors équipée de ces dispositifs).

4.2.1.3. Industrie

L'implémentation de nouvelles technologies est un facteur de compétitivité et de productivité pour le secteur manufacturier. Très diversifié en termes d'activités, de taille d'entreprise et de maturité technologique, le secteur manufacturier est vaste et complexe, ce qui rend le rythme d'adoption de ces technologies très variable.

Selon les données issues des observatoires de l'IDATE, le potentiel de marché dans le secteur manufacturier en Europe est estimé à plus de 2 millions d'entreprises et 14 % du PIB. Les industries les plus matures, en termes d'adoption de nouvelles technologies sont l'industrie de l'automobile ou l'aérospatiale. Suivront les industries de transformation, telles que la chimie, la pharmacie et l'agroalimentaire, qui sont confrontées à des niveaux de complexité supplémentaires dans l'automatisation des processus.

La numérisation des processus dans le secteur manufacturier passera par la mise en place de réseaux de capteurs permettant de collecter un très grand nombre de données en temps réel. Exploitées par des algorithmes, ces données rendront possible une amélioration de la productivité par un usage plus efficace des ressources. Dans un premier temps, ces outils permettront l'optimisation de la consommation d'énergie et la mise en place de processus de maintenance prédictive. Dans un second temps, le développement de jumeaux numériques facilitera l'accélération des processus d'éco conception.

4.2.1.4. Smart Building

Le secteur du bâtiment est considéré comme l'un des principaux secteurs à s'appuyer sur la numérisation. L'utilisation des nouvelles technologies est très répandue et couvre les processus de construction, d'exploitation et de gestion immobilière. L'IDATE estime un marché en croissance qui passera de 98 millions d'objets en 2019 à plus de 174 millions en 2023.

L'accent dans le smart building est mis sur les bâtiments tertiaires, notamment les commerces, l'immobilier commercial, les bâtiments publics et les lieux d'accueil, à l'exception des bâtiments résidentiels. Les principaux sous-segments du marché sont les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC), de sécurité et les ascenseurs connectés, qui bénéficient d'une large adoption. Aujourd'hui, la majorité des déploiements concernent principalement la

démonstration de technologies destinées aux grands bâtiments - les bureaux commerciaux et les structures d'accueil - et les grands sites. Dans les années à venir, le bâtiment intelligent va se généraliser, les prix baissant et les problèmes d'interopérabilité résolus.

4.2.1.5. Véhicules autonomes

Le marché des véhicules autonomes sera un vecteur important de la transformation du secteur automobile au niveau mondial. Les technologies du système ITS seront déterminantes à cet égard.

Le marché des véhicules autonomes/connectés a un fort potentiel mais il doit relever de nombreux défis pour parvenir à l'autonomie complète. Aucune réelle adoption n'est prévue sur ce marché avant 2030. De nombreux tests restent encore à faire en conditions réelles. La cybersécurité, la capacité à gérer des conditions routières diverses, la réglementation, l'acceptation du public, le coût ou encore l'engagement de la responsabilité des constructeurs au-delà du niveau 3 d'autonomie, sont autant de freins supplémentaires à leur émergence. L'IDATE DigiWorld estime qu'en 2040, les ventes de véhicules autonomes de niveaux 3 et 5 devraient atteindre respectivement 55 millions et 170 millions d'unités. Le développement de véhicules autonomes/connectés devrait contribuer à l'essor de données générées par ces véhicules dont une part devrait passer par le réseau de système ITS (ex. données d'assistance pour le pilotage ou la coordination entre le véhicule et l'infrastructure) pendant qu'une autre part devrait transiter par les réseaux cellulaires/satellites (ex. données d'infotainment et de loisir)

4.2.2. Les réseaux mobiles xG

4.2.2.1. 5G

La 5G qui a pris son essor à la fin de l'année 2018, commence à se diffuser plus largement au niveau mondial, y compris dans des marchés moins avancés. À mi-2021, des services 5G étaient proposés dans près de soixante pays dont vingt-huit pays européens. Plus de vingt d'entre eux ont totalement basculé en 5G, dont la majeure partie en Europe. Il convient d'apporter tout de même une nuance sur les premiers déploiements des réseaux 5G. En effet, actuellement seules les antennes déployées sont basées sur la technologie 5G. Les équipements de cœur de réseau, restent quant à eux basés sur la génération 4G. Les opérateurs français envisagent l'évolution de leurs cœurs de réseau à partir de l'année 2023 pour une bascule vers la 5G StandAlone (SA ou autonome). Cette migration complète des réseaux garantira la mise en œuvre des véritables bénéfices de la technologie 5G (une meilleure latence, *Network Slicing* etc.) et permettre de servir de nouveaux usages, dont ceux notamment de l'industrie 4.0.

Selon l'IDATE, 3,8 milliards de cartes SIM 5G devraient être enregistrées à la fin 2026 contre 800 millions à fin 2021. Le cap du premier milliard d'abonnés 5G devrait être franchi courant 2022 et celui du deuxième milliard courant 2026.

4.2.2.2. 6G et au-delà

Alors que les premiers réseaux 5G démarrent tout juste à travers le monde, la course au développement du réseau mobile de prochaine génération a déjà commencé. Les contours de la 6G sont encore flous. Elles devraient, d'ici dix ans, comme pour les générations précédentes, mener aux premiers déploiements.

La 5G apporte un changement de paradigme par rapport aux générations précédentes de téléphonie mobile, ne se contentant plus de transporter voix et données mais s'intéressant aux besoins de nouveaux acteurs et à de nouveaux modèles économiques. Le standard 6G, bien que devant résoudre d'importants défis technologiques, devrait se situer dans une logique de poursuite de la rupture entamée par la technologie 5G. Il s'agira donc d'accroître les performances en permettant des débits de l'ordre du Térabit/s et une latence de 0,1 ms avec une consommation plus faible, tout en augmentant la fiabilité et en apportant des capacités de localisation 3D de l'ordre du cm. Les défis sont importants car l'exploitation de bandes de fréquences jusqu'à 10THz va poser des problèmes, en raison de la portée plus que limitée de ces fréquences (une dizaine de mètres), qui nécessiteront de nouveaux modèles de déploiements et peut-être l'émergence de nouveaux acteurs économiques.

4.2.3. Virtualisation des réseaux

La virtualisation se présente comme un des éléments majeurs pour les opérateurs télécoms permettant de créer de nouvelles opportunités. Paradigme disruptif, la virtualisation introduit de la flexibilité et de l'agilité aux architectures réseaux nécessaires pour stimuler la création de nouveaux modèles économiques.

La virtualisation devrait connaître une forte croissance d'ici 5 ans. Les opérateurs télécoms sont de plus en plus nombreux à intégrer la virtualisation au sein de leur réseau, dans le cadre de leur stratégie de transformation. Selon les données issues des observatoires de l'IDATE, le marché du SDN (Software Defined Network) et du NFV (Network Functions Virtualization), les deux principales composantes de la virtualisation des réseaux, devrait atteindre 40 milliards EUR d'ici 2023, avec un taux de croissance annuel moyen de 17 % à partir de 2019. La majeure partie de ce marché est générée par les fournisseurs de cloud et les entreprises. La part des opérateurs va continuer à augmenter et, dans l'attente d'un engagement plus fort dans la virtualisation, cette part devrait atteindre 21 % d'ici 2023.

La virtualisation ouvre les portes à de nouveaux modèles économiques aux opérateurs, grâce à une infrastructure réseau orientée logicielle, offrant notamment plus de flexibilité. Dans le cadre de la 5G, la virtualisation est un élément clé pour mettre en oeuvre le *network slicing*, concept permettant d'allouer dynamiquement les ressources nécessaires à un type de services, en fonction de ses besoins de performance (latence, débit, capacité) via la création de réseaux virtuels sur un même réseau physique. Notamment tiré par les besoins de l'IoT, ce nouveau modèle économique est actuellement exploré par une vingtaine d'opérateurs, à travers de nombreuses expérimentations, sur des cas d'utilisation dans les secteurs de l'industrie et de l'automobile, en particulier. En effet, de fortes attentes se trouvent autour du *network slicing*, et donc de la virtualisation des réseaux, pour fournir les performances attendues de la 5G.

4.2.4. Edge computing

En rapprochant le traitement des données de l'utilisateur final, l'intérêt initial de l'edge computing vient de sa capacité à réduire la latence et ainsi améliorer la qualité de service, pour t les contraintes liées aux applications immersives, des véhicules autonomes ou encore de distribution vidéo. Mais il présente également d'autres intérêts comme l'amélioration de la sécurité et la confidentialité des données, associées à sa capacité à traiter et stocker un large volume de données. L'edge computing allège par ailleurs les réseaux des transmissions de données vers le cloud. C'est ainsi qu'il a suscité un intérêt auprès des industriels, notamment dans le cadre de la maintenance prédictive, grâce à l'analyse des données réalisée sur un équipement implémenté au niveau local, limitant les envois dans le cloud aux alertes de dysfonctionnement.

Le concept de l'edge computing est devenu à la mode dans l'industrie des TIC, avec l'explosion des données générées par l'IoT et la volonté de les exploiter, notamment avec l'intelligence artificielle. En complément du cloud computing, son principe est d'effectuer le traitement des données au plus près des utilisateurs en temps réel, améliorant ainsi les performances et la sécurité.

En 2019, l'IDATE DigiWorld a recensé 119 mises en oeuvre d'edge computing dans une vingtaine de secteurs. Le marché, évalué à 2,5 milliards EUR en 2019, devrait atteindre 13,8 milliards EUR en 2024 soit 41% de croissance par an. Cette croissance soutenue des revenus est tirée par le déploiement de logiciels et de services, avec en tête l'Amérique du Nord et l'Europe. La majeure partie de ce marché est aujourd'hui générée par les industriels, qui ont été les premiers à mettre en oeuvre l'edge computing pour améliorer et optimiser leurs processus internes. Ils sont suivis par les fournisseurs de cloud, qui y voient un complément de leur activité traditionnelle et qui y prendront une importante part de marché (50 % en 2024). Les opérateurs télécoms contribuent également à ce marché, avec une part estimée à 8 % en 2024.

4.2.5. Intelligence Artificielle (IA)

La croissance du marché de l'IA est due à l'adoption croissante de l'automatisation dans les processus industriels et à l'utilisation d'applications et de services basés sur le cloud. L'IA est la technologie qui cristallise toutes les attentions à cause de ses impacts à grande échelle dans toutes les industries ; elle mobilise tous les gouvernements.

Selon les données issues des observatoires de l'IDATE, les revenus mondiaux liés à l'intelligence artificielle devraient atteindre 31,2 milliards USD d'ici 2025. L'IA est devenue partie intégrante de toute stratégie numérique d'entreprise et est déjà utilisée dans une grande variété d'applications. Dans des environnements industriels comme l'automobile et l'assemblage, elle est déjà très répandue. L'IA est une discipline ancienne qui profite d'un regain d'intérêt depuis quatre à cinq ans grâce aux nouvelles technologies : reconnaissance vocale et faciale, traitement du langage naturel, apprentissage automatique et apprentissage approfondi (deep learning). Ce dernier suscite en particulier un grand intérêt grâce à ses applications complexes basées sur des formats multimédias (texte, image, son). Selon McKinsey & Company ²⁴, environ 70 % des entreprises devraient adopter l'IA d'ici 2030.

²⁴ Rapport "NOTES FROM THE AI FRONTIER MODELING THE IMPACT OF AI ON THE WORLD ECONOMY"

4.2.6. Blockchain

L'impact de la blockchain ne se limite pas au Bitcoin. Elle promet de transformer le secteur financier et plusieurs autres industries. À court terme, la valeur stratégique de la blockchain réside principalement dans la rationalisation des processus et la réduction des coûts.

Selon les données issues des observatoires de l'IDATE, via des mises en œuvre qui commencent à se développer à grande échelle, le marché mondial de la blockchain devrait atteindre 17 milliards EUR en 2025 (+48 % par an en moyenne entre 2019 et 2025), grâce principalement à l'intérêt croissant du secteur bancaire et des assurances, et à l'utilisation accrue des cryptomonnaies par les particuliers et les commerçants. Pour les banques, la blockchain facilite les processus de financement du commerce, et propose des paiements transfrontaliers plus fiables et plus économiques. D'autres secteurs (télécommunications, médias, santé, services publics...) exploitent également la blockchain, en raison des faibles coûts marginaux et de la nature universelle des registres distribués. Elle est ainsi utilisée pour automatiser les accords d'itinérance des opérateurs télécoms, tracer les produits dans la chaîne d'approvisionnement, effectuer des micro-paiements dans l'industrie de la musique et des jeux vidéo.

4.2.7. Réalité augmentée (AR) et réalité virtuelle (VR)

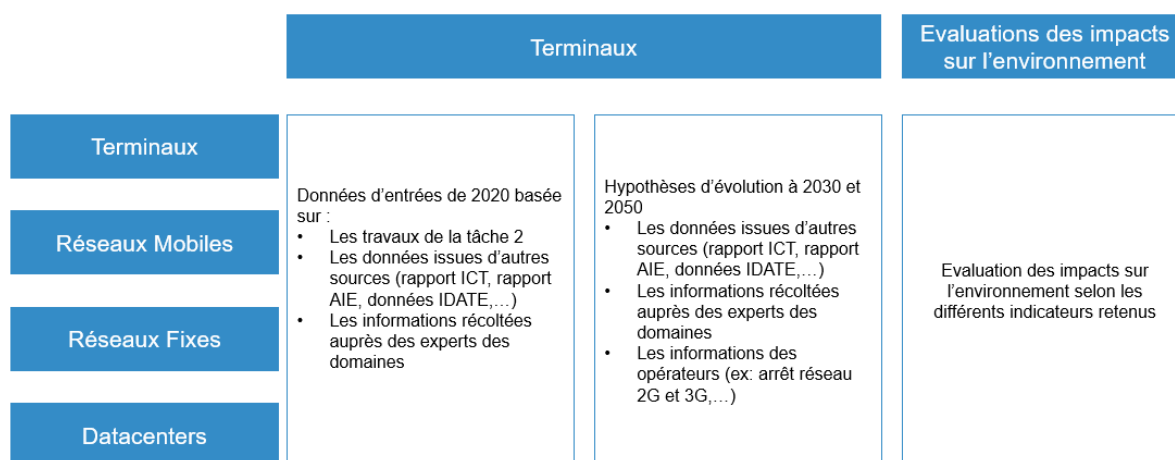
Les solutions d'AR/VR ne cessent de progresser. Des services sont lancés dans de nombreuses industries, mais une phase de structuration de l'offre est nécessaire pour que le potentiel de ces solutions se concrétise. Le relais des réseaux fixes THD, des réseaux Wifi (notamment Wifi 7), et de la 5G seront nécessaires pour permettre de profiter à plein des progrès poussés par l'AR/VR.

Les applications AR/VR sont exploitées dans de nombreux secteurs d'activité, comme le divertissement, l'industrie 4.0, le tourisme, la formation, la santé, le commerce ou le BTP. La réalité virtuelle est aujourd'hui le segment le plus développé, avec les premiers casques de nouvelle génération commercialisés en 2016. La réalité augmentée, qui repose encore principalement sur la tablette et le smartphone, connaît des succès dans le divertissement, notamment au travers du jeu référence Pokémon GO, mais aussi dans le monde de l'entreprise, dans un contexte de transformation numérique de l'industrie, ou dans le commerce. En termes de valeur du marché, le jeu vidéo est l'application numéro un dans les loisirs – individuels ou collectifs – de réalité virtuelle.

De plus, selon les analyses de l'IDATE Digiworld, la standardisation des technologies AR et VR, l'arrivée de la 5G et le développement des casques de deuxième génération seront le socle du développement de services pour de nombreuses industries. Par exemple, les bénéfices de l'AR pour le commerce pourraient être majeurs.

4.2.8. Synthèse des facteurs d'augmentation du trafic au-delà de 2020

Dans le cadre des travaux de modélisation des impacts, le travail a consisté à travailler selon plusieurs étapes qui sont liées les unes aux autres comme le présente le schéma de principe ci-dessous :

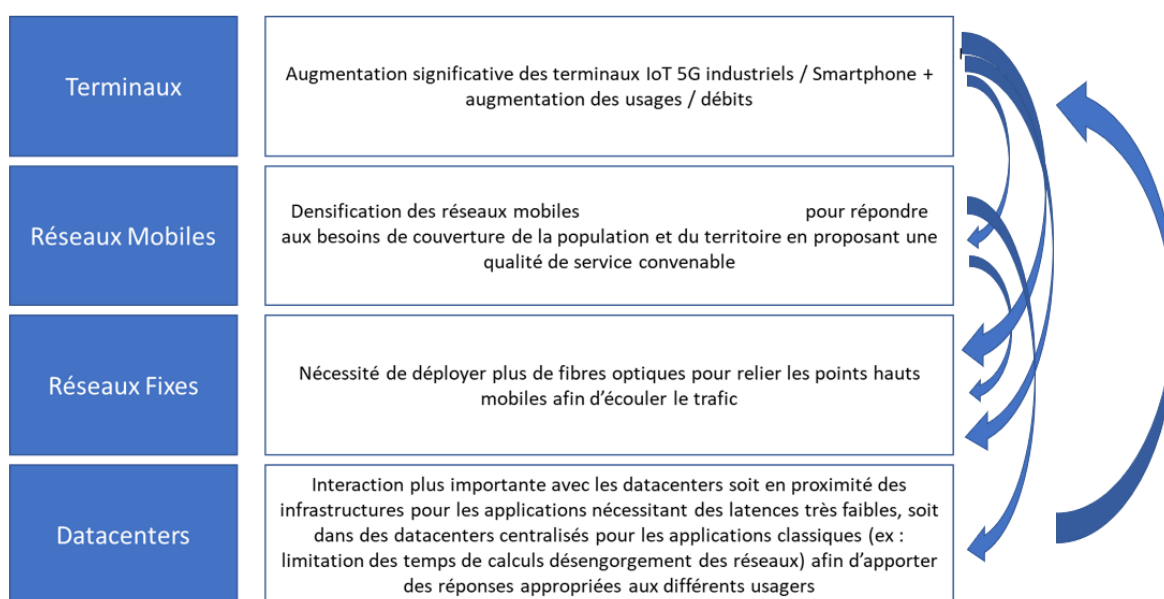


L'objectif de la modélisation est de pouvoir :

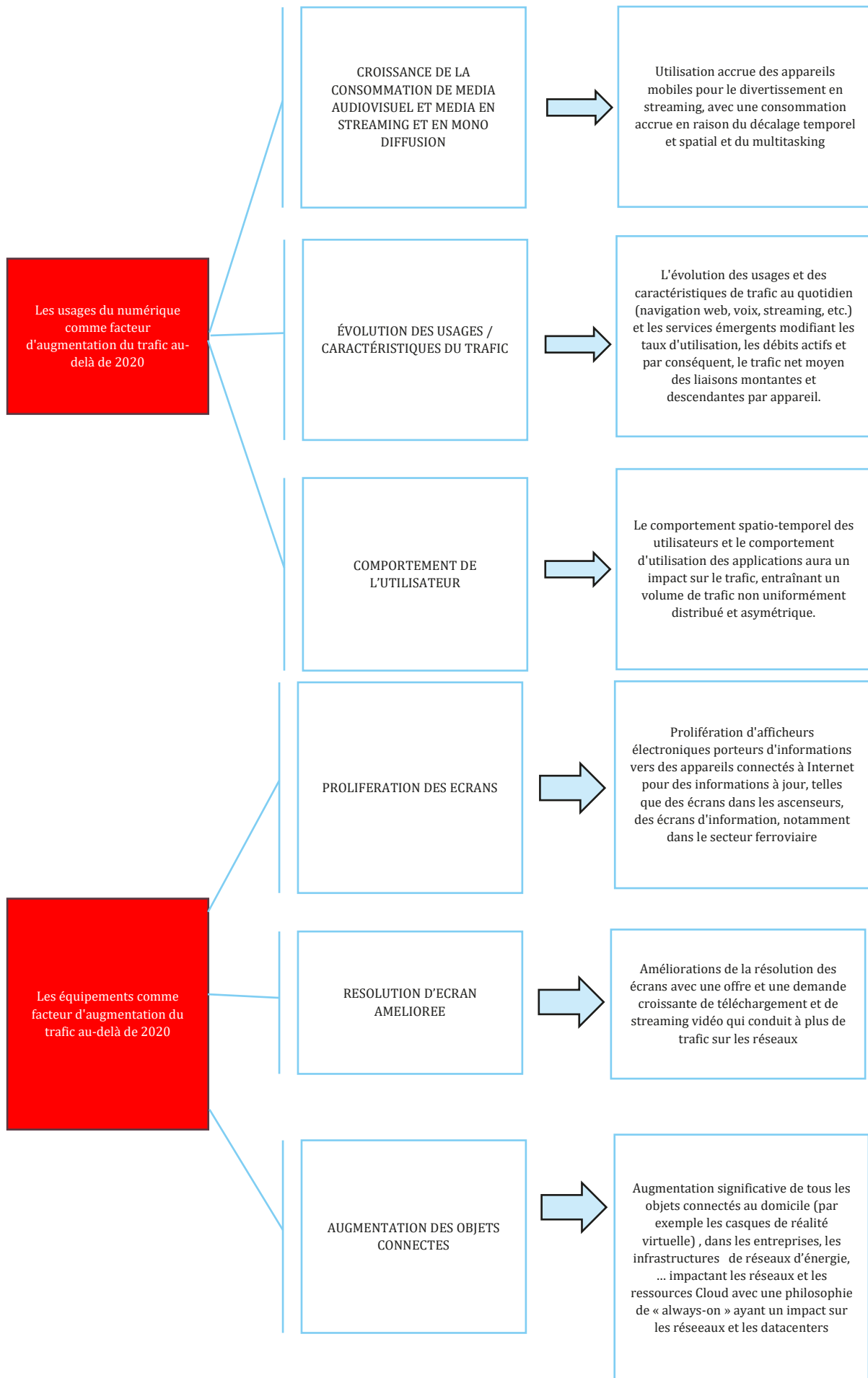
- Identifier et quantifier les équipements qui vont être utilisés dans le champ des usages numériques en se projetant à partir des données constatées en 2020 sur des horizons à 2030 puis à 2050 selon différents scénarios.
- Evaluer les consommations électriques générées par ces différents équipements à ces différents horizons de temps
- Evaluer l'impact environnemental à la fois pour les périodes de fabrication et d'usage selon la durée de vie de ces équipements et selon les indicateurs retenus.

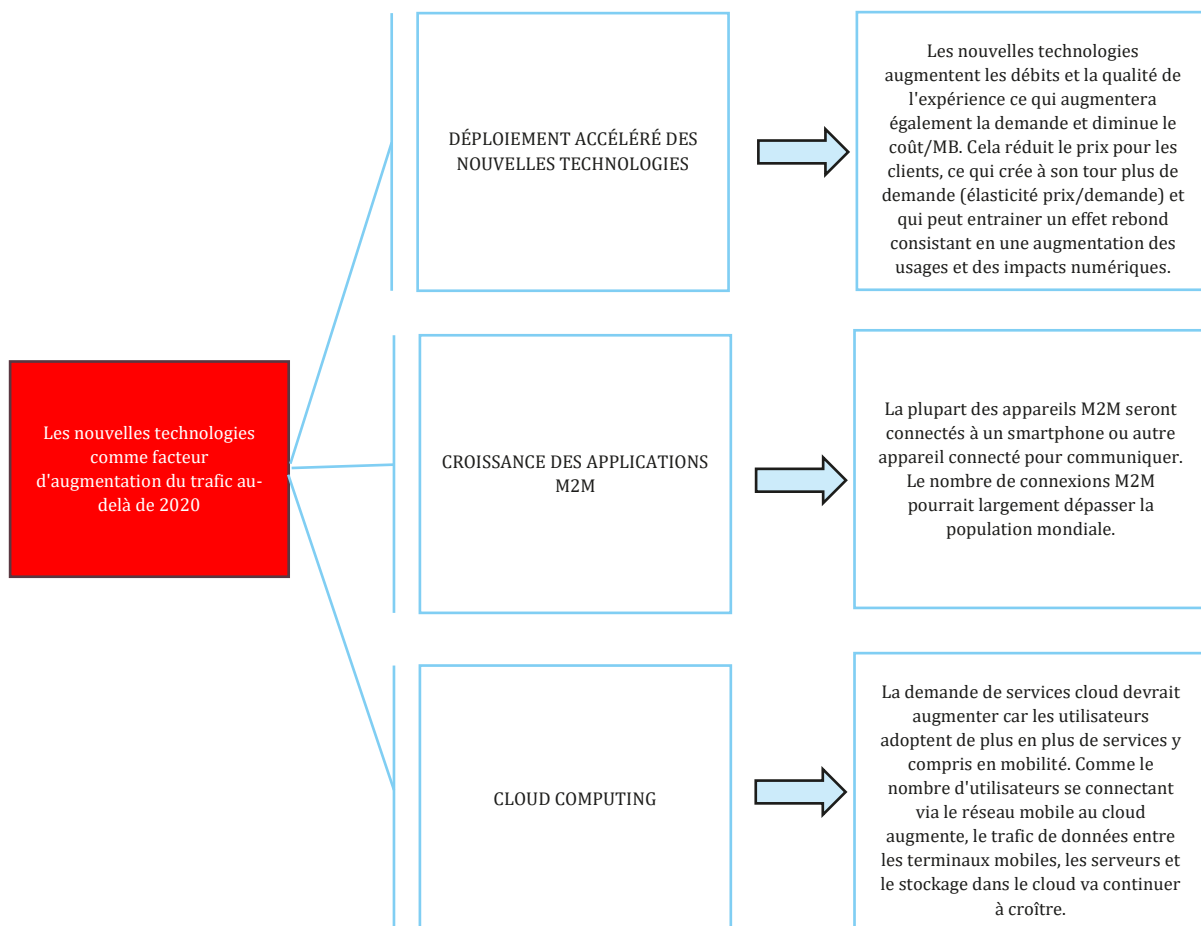
L'ensemble des items sont donc tous en interaction. Les effets volumes (objets connectés) conjugués aux évolutions des technologies, à une société toujours plus connectée (multi-tasking), à la digitalisation croissante, au développement de l'industrie 4.0, etc. peuvent engendrer des consommations énergétiques à la hausse et donc des effets environnementaux à la fois sur les coûts de production des équipements numériques (la phase de fabrication), mais également pour l'alimentation énergétique (la phase d'utilisation).

Le schéma ci-après illustre sur un exemple des interactions possibles entre les différentes familles identifiées précédemment. Il n'a qu'une portée illustrative et ces interactions ne sont pas prises en compte dans la modélisation qui suit (ACV attributionnelle et non conséquentielle) :



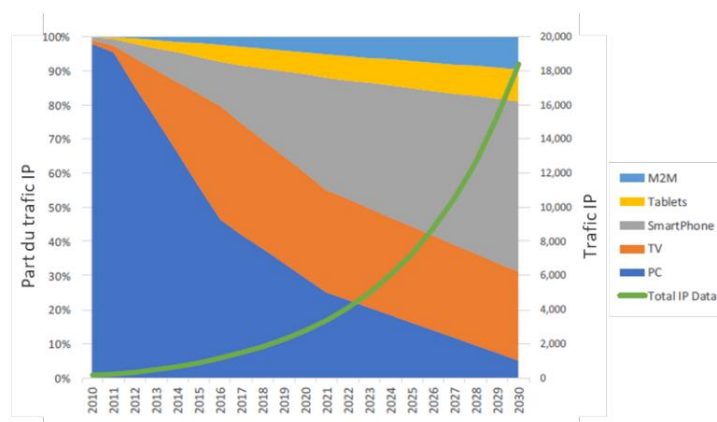
Ainsi, à partir de ces différentes interactions, il est envisageable d'identifier des augmentations de trafic au-delà de 2020. Le tableau suivant illustre ces principaux facteurs d'augmentation du trafic au-delà de cette période : il s'agit d'une illustration synthétique qui a pour objectif d'apporter quelques exemples. Les éléments présentés ici ne sont donc pas exhaustifs.





4.3. ...à l'origine d'une explosion du trafic IP

La projection proposée par l'AIE envisage un taux de croissance annuel du trafic IP de 20% ce qui revient à être multiplié par environ deux tous les quatre ans, donc par environ 6 entre 2020 et 2030 et par plus de 200 entre 2020 et 2050. En extrapolant les résultats à l'échelle française, on passe de 87,86 Eo²⁵ de données en 2020 (avec respectivement 6,94 Eo de données provenant des réseaux mobiles et 80,92 Eo de données pour les réseaux fixes²⁶) à 526 Eo en 2030 (avec respectivement 145,21 Eo de données provenant des réseaux mobiles et 380,88 Eo de données pour les réseaux fixes).



Source : AIE (4E EDNA), Total Energy Model for Connected Devices, 2019

²⁵ 1 Eo = 1 000 000 000 Go

²⁶ Données issues de la tâche 2 de l'étude, basée sur les données ICT report: European Commission, ICT Impact study, Final report, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.73

Figure 2 - Projections d'évolution du trafic IP mondial par catégorie d'équipements connectés et pour le trafic global entre 2010 et 2030 (en pourcentage du trafic total par catégorie et en exactoctets pour le trafic global)

A l'échelle nationale française et selon le taux de croissance du volume de données affiché par l'EDNA, cela pourrait conduire à la répartition suivante :

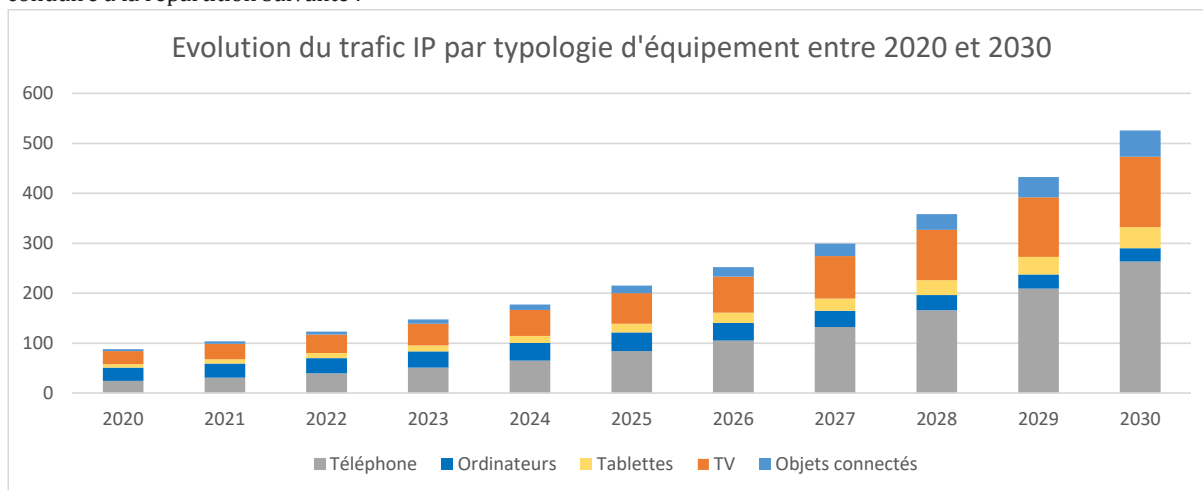


Figure 3 - Evolution du trafic IP en France en Eo (exactoctet) par typologie d'équipement entre 2020 et 2030

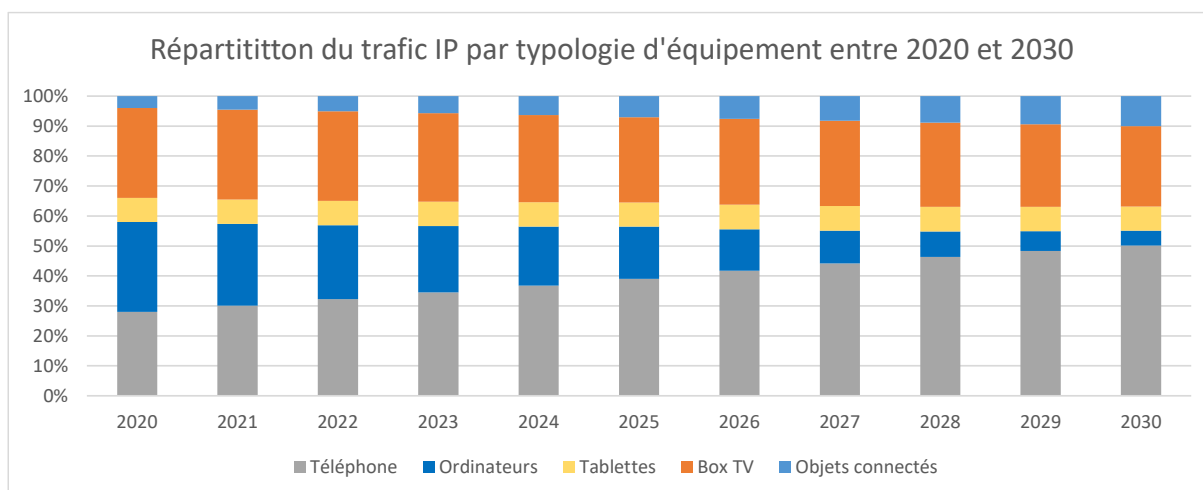


Figure 4 - Répartition du trafic IP par typologie d'équipement entre 2020 et 2030

5. Hypothèses du scénario tendanciel 2030-2050

Cette partie détaille les sources de données, l'évaluation et les hypothèses de l'ACV du scénario tendanciel 2030-2050. Seules les hypothèses sur la phase d'utilisation sont abordées dans cette partie puisque ce sont les seuls éléments qui varient dans la modélisation. Les autres points, tels que la phase de fabrication, de distribution et de fin de cycle de vie, sont abordés dans le rapport du volet 2 de l'étude (rapport ayant fait l'objet d'une revue critique).

5.1. Phase d'Utilisation

Les données électriques sont évaluées comme un mix électrique français aux horizons 2030 et 2050 et proviennent de l'étude Transitions 2050 de l'ADEME²⁷. Plusieurs scénarios ont été définis :

En 2030, le mix de production est comme suit, pour une production totale de 636,5 TWh :

- Nucléaire : 59,73%
- Turbines Gaz : 2,45%
- Autres thermiques : 0,69%
- PV : 8,5%
- Eolien Terrestre : 13,26%
- Eolien en mer : 4,12%
- Hydro : 9,98%
- Autres renouvelables : 1,26%

Il faut également considérer :

- Exports : 122 TWh
- Imports : 40 TWh

En 2050, le mix de production pour le scénario tendanciel est comme suit, pour une production totale de 637,7 TWh :

- Nucléaire : 20,74%
- Turbines Gaz : 2,42%
- Autres thermiques : 0%
- PV : 27,94%
- Eolien Terrestre : 25,1%
- Eolien en mer : 12,58%
- Hydro : 9,96%
- Autres renouvelables : 1,26%

Il faut également considérer :

- Exports : 132 TWh
- Imports : 142 TWh
-

Afin d'être cohérent avec la période de collecte de données du rapport tâche 2 précédent (2019) et en l'absence d'informations supplémentaires pour les parties « Autres thermiques » et « Autres renouvelables » nous avons choisi de suivre la même répartition. A savoir :

- -Autres thermiques : Charbon (0,4%) et Fioul (0,2%) –Non inclus dans le scénario 2050
- -Autres renouvelables : Biogaz et Biomasse (0,4%) et Déchets (0,8%)

La distinction entre les deux types d'énergies éoliennes (terrestre et en mer) n'étant pas disponible du fait d'un manque de données sur les technologies en mer, nous avons choisi de considérer cette technologie comme similaires et utiliser un mix terrestre lors de la modélisation .

²⁷ Les travaux engagés par l'ADEME à travers l'étude « Transition 2050, Choisir maintenant, Agir pour le Climat » propose quatre scénarios pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. « Ils visent à articuler les dimensions technico-économiques avec des réflexions sur les transformations de la société qu'elles supposent ou qu'elles suscitent ». Site Web de l'ADEME : <https://transitions2050.ademe.fr/>

- De plus des pertes en ligne de 2,22% ont été considérées (base, 2019).

Certaines données supplémentaires ont été utilisées pour la phase d'utilisation (consommation de carburant, fuites de fluide frigorigène).

5.2. Tier 1 – Equipement utilisateur

5.2.1. Informations générales

5.2.1.1. Quels sont les dispositifs pris en compte dans le périmètre de l'étude ?

Terminaux utilisateurs
Téléphones portables : Smartphones, Feature phones, alimentations pour smartphones
Téléphones (ligne fixe)
Tablettes, alimentations pour tablettes
Ordinateur portable, alimentations pour ordinateur portable
Ordinateur fixe (incluant les clients légers), alimentations pour ordinateur fixe
Stations d'accueil ordinateur portable
Projecteur
Afficheurs électroniques : <ul style="list-style-type: none"> - Ecrans ordinaires, - Ecrans spécifiques, affichage de la signalisation régulière, affichage de la signalisation spéciale - Télévisions
Tv box / décodeur
Console de jeux
Casques AR/VR
Imprimantes
SSD & HDD externe, clés USB
Enceintes connectées
Objets connectés IoT (hors GPS embarqué, bornes WiFi, récepteur WiFi)

Tableau 3 - Liste des terminaux utilisateurs

Les box internet sont comprises dans la partie Tier 2 – réseaux.

5.2.1.2. Quels sont les paramètres considérés liés à ces appareils ?

Les paramètres considérés liés à ces dispositifs sont :

1. Le Nombre d'unités aux horizons 2030 et 2050 : pour inventorier le stock d'appareils.
2. La consommation énergétique aux horizons 2030 et 2050 : pour reconstituer la consommation énergétique du parc, en se basant sur les travaux de la tâche 2.
3. La durée de vie typique aux horizons 2030 et 2050 : pour attribuer les impacts en fonction de la durée de vie des appareils.

4. Caractéristiques : présentent les principales caractéristiques des modèles retenus permettant la modélisation des impacts relatifs aux équipements concernés. Les caractéristiques de chaque équipement sont présentées en détail dans le rapport 2 et n'ont pas fait l'objet de modifications dans le cadre des travaux prospectifs à 2030 et 2050 excepté pour les écrans d'ordinateurs et les casques VR.
5. Déchets électroniques : Pour évaluer la partie Fin de Vie. *En raison de la forte incertitude des données sur le flux de déchets électroniques, veuillez consulter la partie du chapitre 4.8 du rapport de la tâche 2 portant sur les Déchets électroniques : cette partie est une des limites de l'étude et n'a pas été intégrée dans les travaux.*

5.2.1.3. Hypothèses de modélisation

Chaque équipement est modélisé à l'aide de la base de données Négaoctet à sa version du 11/2021.

Par équipement, des paramètres techniques tels que la taille de l'écran, etc. pour faire une analyse détaillée de l'équipement ont été proposés.

En résumé, les principales sources et hypothèses utilisées pour la modélisation sont récapitulées dans le schéma ci-dessous :

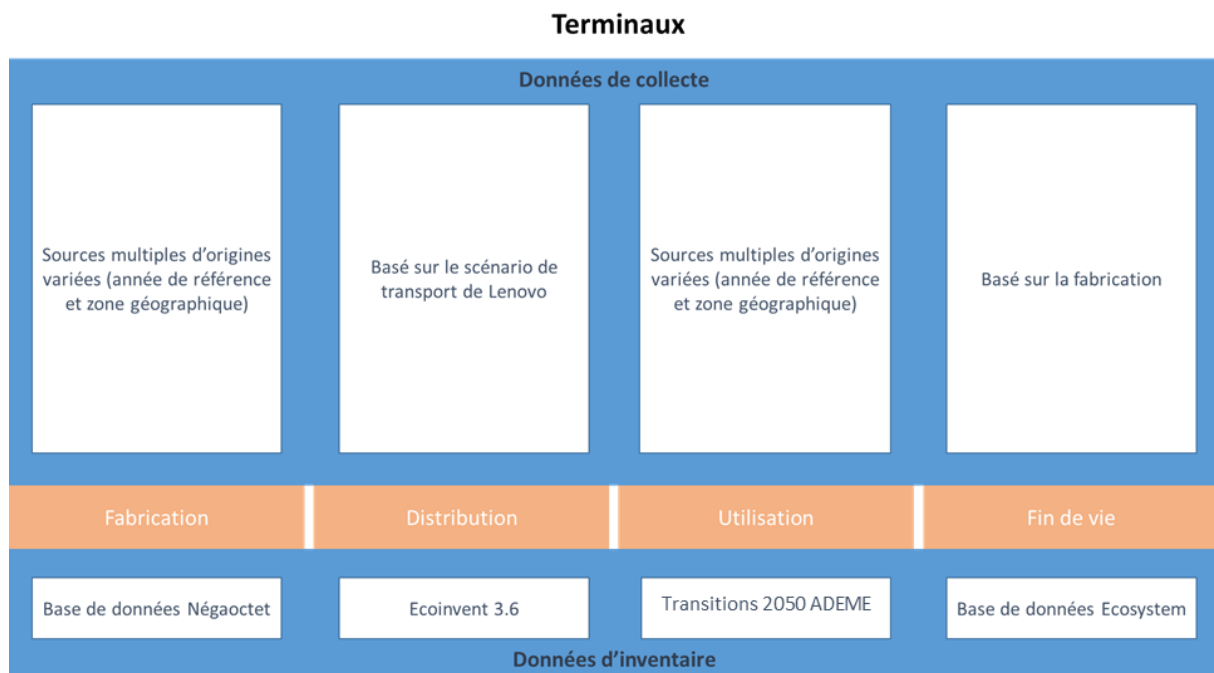


Figure 5 - Récapitulatif des principales hypothèses et sources - Tier 1

5.2.2. Téléphones

5.2.2.1. Téléphone Mobile

Définition: Un téléphone mobile ou cellulaire est un téléphone portable qui peut passer et recevoir des appels sur une liaison radiofréquence pendant que l'utilisateur se déplace dans une zone de service téléphonique. Il existe 2 types de téléphones portables : les smartphones et les téléphones multifonctions. Dans les pays développés, les smartphones ont désormais dépassé l'utilisation des téléphones portables antérieurs.

5.2.2.2. Smartphone

Définition : Un téléphone mobile qui exécute de nombreuses fonctionnalités d'un ordinateur, ayant généralement une interface à écran tactile, un accès Internet à partir des réseaux Wi-Fi et mobiles, une connexion GPS et un système d'exploitation (OS) capable d'exécuter des applications téléchargées.

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de smartphones de 69 600 000 en 2020.

Le nombre de smartphones s'établit à 77 348 600 en 2030. Il est basé sur les taux de croissance annuel moyen 2020-2025 et 2025-2040 (respectivement TCAM de +1,19% et TCAM de +0,94%) déterminés dans le rapport ICT 2020²⁸.

Le nombre de smartphones s'établit à 84 000 000 en 2050 selon l'hypothèse d'un taux multi-équipement de 1,2 déterminé dans le rapport du Sénat²⁹.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 3,7 kWh/an par équipement (moyenne usage personnel et usage professionnel).

En suivant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat (TCAM 2019-2025 de 4,2% et TCAM 2025-2040 de +1,22%), la consommation électrique s'établit à 4,8 kWh/an par équipement en 2030.

En prolongeant ces mêmes hypothèses, il s'établit à 6,2 kWh/an par équipement en 2050.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 2,5 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050, en prolongeant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat.

Le mix et les caractéristiques des configurations sont considérées comme identiques sur la période 2030-2050.

5.2.2.3. Feature phones

Définition : Un téléphone mobile qui conserve le facteur de forme des générations précédentes de téléphones mobiles, ayant généralement un bouton-poussoir, un petit écran LCD non tactile, un microphone, une caméra arrière et des services GPS. Pour les comparer aux smartphones, on parle parfois de téléphones basiques. Les Feature phones offrent des fonctionnalités d'appels vocaux, de messagerie texte et certaines applications mobiles de base : calendrier, calculatrice, applications multimédias et navigateur Web mobile de base.

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de feature phones de 9 665 043 en 2020.

Le nombre de feature phones s'établit à 962 518 en 2030 et à 9 546 en 2050. Il est basé sur le TCAM 2018-2030 de -20,6% constaté dans le rapport ICT 2020³⁰ et correspond à une extinction de ce type de téléphones à horizon 2050.

Consommation électrique :

A partir des hypothèses retenues au cours de la tâche 2, la consommation d'énergie pour des usages personnels ou professionnels a été fixée à 0,09 kWh/an en 2020

Elle est supposée stable aux horizons 2030 et 2050 à dire d'expert.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 2,5 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050 à dire d'expert par hypothèse identique au smartphone.

5.2.2.4. Téléphone (ligne fixe)

²⁸ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p. 113

²⁹ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 94

³⁰ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p. 110

Définition : « Un téléphone connecté à une ligne fixe. Il peut-être soit fixé à un emplacement car il est connecté par câble, soit un combiné sans fil (généralement un téléphone DECT) qui doit être chargé sur un support, qui peut également fonctionner comme une base assurant la connexion entre le combiné et la ligne fixe. ³¹

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de téléphones fixes de 37 313 804 en 2020.

Le nombre de téléphones fixes s'établit à 39 344 722 en 2030. Il est basé sur les taux de croissance annuel moyen 2020-2025 et 2025-2030 (respectivement TCAM de +0,73% et TCAM de +0,34%) déterminés dans le rapport ICT 2020³².

Le nombre de téléphones fixes s'établit à 14 104 529 en 2050, du fait de l'évolution induite par la substitution entre fixe et mobile à cet horizon : cette hypothèse est basée sur des interviews d'experts du domaine : le téléphone fixe devrait effectivement disparaître petit à petit sous l'effet de la convergence fixe-mobile et l'extinction des réseaux RTC. Le rythme de décroissance est estimé à 5% sur la période 2030-2050, alors qu'il est encore en croissance de 0,73% par an entre 2020 et 2025 et de 0,34% par an sur la période 2025-2030.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 24,6 kWh/an par équipement (moyenne usage personnel et usage professionnel).

Le TCAM 2020-2025 de consommation électrique des téléphones fixes a été estimée à -3,6% par un rapport allemand Borderstep³³. Suivant cette donnée entrante de TCAM, projetée jusqu'en 2050 la consommation électrique s'établit à 17,1 kWh/an par équipement en 2030 et à 8,2 kWh/an par équipement en 2050.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 8 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050 à dire d'expert.

5.2.3. Tablette

Définition : « Un produit qui est un type d'ordinateur portable qui comprend à la fois un écran tactile et peut avoir un clavier physique connecté. »³⁴

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de tablettes de 24 074 512 en 2020.

Le nombre de tablettes s'établit à 28 092 227 en 2030. Il est basé sur les taux de croissance annuel moyen 2019-2025 et 2025-2040 (respectivement TCAM de +1,93% et TCAM de +1,18%) déterminés dans le rapport du Sénat³⁵.

Le nombre de tablettes s'établit à 35 503 192 en 2050 en prolongeant l'hypothèse de croissance du rapport du Sénat entre 2025 et 2040.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 12,4 kWh/an par équipement (moyenne usage personnel et usage professionnel).

En suivant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat (TCAM 2019-2025 de +1,77% et TCAM 2025-2040 de +2,27%), la consommation électrique s'établit à 15,2 kWh/an par équipement en 2030.

³¹ Définition du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.129

³² European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p. 113

³³ Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland, Borderstep, 2015, p. 168

³⁴ Définition du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.132

³⁵ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 103

En les prolongeant, elle s'établit à 23,7 kWh/an par équipement en 2050.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 3 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050, en prolongeant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat.

5.2.4. Ordinateur portable

Définition : « Un ordinateur conçu spécifiquement pour la portabilité et pour être utilisé pendant de longues périodes, avec ou sans connexion directe à une source d'alimentation. Il a un écran intégré ». ³⁶ Désigné comme notebook dans le rapport ICT.

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total d'ordinateurs portables de 58 935 780 en 2020.

Le nombre d'ordinateurs portables s'établit à 78 147 511 en 2030. Il est basé sur les taux de croissance annuel moyen 2020-2025 et 2025-2030 (respectivement TCAM de +3,15% et TCAM de +2,57%) déterminés dans l'étude ADEME USES.

En prolongeant les hypothèses de stabilité retenues par le rapport du Sénat³⁷, il reste stable à horizon 2050.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 37,7 kWh/an par équipement (moyenne usage personnel et usage professionnel).

Il s'établit à 30,8 kWh/an par équipement en 2030 et à 20,6 kWh/an par équipement en 2050 en prolongeant l'amélioration de l'efficacité énergétique de 2% utilisée dans le rapport du Sénat³⁸.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 5 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050, en prolongeant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat. Nous garderons dans nos calculs la même répartition configuration personnelle / professionnelle qu'observée en 2020.

5.2.5. Ordinateur fixe

Définition : "Un ordinateur dont l'unité principale est destinée à être dans un emplacement permanent et n'est pas conçu pour la portabilité. Il n'est opérationnel qu'avec des équipements externes tels que l'écran, le clavier et la souris. » ³⁹

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total d'ordinateurs fixes de 37 276 596 en 2020.

Le nombre d'ordinateurs fixes s'établit à 30 916 455 en 2030. Il est basé sur les taux de croissance annuel moyen 2020-2025 et 2025-2030 (respectivement TCAM de -1,7% et TCAM de -2%) déterminés dans l'étude ADEME USES.

³⁶ Définition from the ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.128

³⁷ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 96

³⁸ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 96

³⁹ Définition from the ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.128

En prolongeant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat⁴⁰, il reste stable à horizon 2050.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 127 kWh/an par équipement (moyenne usage personnel et usage professionnel).

En suivant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat (TCAM 2019-2025 de -3,9% et TCAM 2025-2040 de -4,9%), la consommation électrique s'établit à 81 kWh/an par équipement en 2030.

En prolongeant ces mêmes hypothèses, il s'établit à 29,7 kWh/an par équipement en 2050.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 6 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050, en prolongeant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat.

5.2.6. Stations d'accueil

Définition : Une station d'accueil dans laquelle l'ordinateur portable est branché pour fournir un moyen simplifié de connecter différents et multiples équipements (signalisation d'alimentation, souris sans fil, smartphones, ...). Il peut permettre à certains ordinateurs portables de se substituer à un ordinateur de bureau, sans sacrifier la fonctionnalité informatique mobile de la machine.

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total d'ordinateurs fixes de 26 815 780 en 2020.

Aucune donnée n'a été trouvée pour le nombre de stations d'accueil à horizon 2030 et 2050. Par hypothèse de similarité avec la croissance des ordinateurs portables, il s'établit à 35 557 118 en 2030 déterminés dans l'étude ADEME USES.

En prolongeant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat⁴¹, il reste stable à horizon 2050.

Consommation électrique :

La tâche 2 a fixé la consommation électrique 1,3 kWh/an par équipement.

Il est supposé stable à horizon 2050 à dire d'expert par hypothèse de similarité avec les ordinateurs portables.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 5 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050, par hypothèse de similarité avec les ordinateurs portables.

5.2.7. Projecteur

Définition: « Un projecteur est un dispositif optique, pour le traitement des informations d'image vidéo analogiques ou numériques, dans n'importe quel format de diffusion, de stockage ou de mise en réseau pour moduler une source lumineuse et projeter l'image résultante sur un écran externe. Les informations audios, au format analogique ou numérique, peuvent être traitées en tant que fonction optionnelle du projecteur. »⁴²

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de 4 619 971 projecteurs en France en 2020.

⁴⁰ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 97

⁴¹ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 97

⁴² Définition du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.105

Le nombre de projecteurs s'établit à 360 842 en 2030. Il est basé sur les taux de croissance annuel moyen 2020-2025 et 2025-2030 (respectivement TCAM de -15,82% et TCAM de -28,66%) déterminés dans le rapport ICT 2020⁴³.

Selon cette même source, les projecteurs auront disparu après 2030.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 126 kWh/an par équipement (moyenne usage personnel et usage professionnel).

Le TCAM 2020-2025 de consommation électrique des projecteurs a été estimée à -2,4% par un rapport allemand Borderstep⁴⁴. En prolongeant ce TCAM, la consommation électrique s'établit à 99 kWh/an par équipement en 2030.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 5 ans en 2020.

Cette durée de vie basée sur le benchmark GreenIT.fr.⁴⁵ est supposée stable à horizon 2030 à dire d'expert.

Aucune information n'était disponible sur les projecteurs LED, qui ont été considérés comme des projecteurs LCD.

5.2.8. Ecrans

5.2.8.1. Définition

« Un écran d'affichage et l'électronique associée qui, comme fonction principale, affiche des informations visuelles à partir de sources filaires ou sans fil »⁴⁶

Catégorie de produit	Ecran dans le périmètre ⁴⁷
Ecrans ordinaires	Moniteurs de PC (indifférencié que ce soit pour les ordinateurs de bureau, les clients légers ou les deuxièmes écrans d'ordinateurs portables externes)
Ecrans spécifiques, affichage de la signalisation régulière & affichage de la signalisation spéciale	Moniteurs de sécurité, écrans médicaux (y compris intégrés), écrans de diffusion, écrans professionnels (CAD, graphiques) Affichages intérieurs pour commerces et banques (hors guichets automatiques), salles de réunion (y compris vidéoconférence), salles de classe (y compris tableaux intelligents), aéroports/gares/stations de métro affichages de signalisation externes et intégrés réguliers (affichage d'informations avion ou train)*, bars, hôtels (espace public), restaurants, salles d'attente (ex. soins de santé), à l'extérieur Super grand (>100°, mur vidéo), exclusion des projecteurs
Télévisions	Télévision ordinaire, hôtellerie (chambres d'hôtel & autres logements, lits d'hôpitaux)

Tableau 4 – Définitions des catégories d'écran

***Remarque :** Les écrans intégrés répertoriés dans le rapport TIC (tableau 42)⁴⁸ ont été exclus de cet inventaire, d'une part, pour éviter le double comptage des autres catégories (appareils mobiles, ordinateurs portables, tablettes, compteurs intelligents...), d'autre part, puisque le reste des équipements dans cette catégorie est à la limite de ce qui peut être considéré comme un dispositif TIC (DAB, distributeurs automatiques, unités de ventilation, micro-ondes, réfrigération...). Seuls les affichages intégrés dans les moyens de transport (info trafic & affichage publicitaire, TV passagers dans l'avion ou le train) ont été pris en compte, dans le cadre de notre catégorie de produits d'affichage de signalisation régulière, à

⁴³ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.88

⁴⁴ Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland, Borderstep, 2015, p. 135

⁴⁵ GreenIT.fr Benchmark 2021 (professionals)

⁴⁶ COMMISSION REGULATION (EU) 2019/2021 of 1 October 2019 laying down eco-design requirements for electronic displays pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council, amending Commission Regulation (EC) No 1275/2008 and repealing Commission Regulation (EC) No 642/2009

⁴⁷ Cette catégorisation se base sur le tableau 42 du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.97

⁴⁸ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.97

l'exception des écrans LCD inclus dans les voitures, car il n'a pas été possible de distinguer la partie numérique de la partie classique pour ces véhicules.

5.2.8.2. Ecrans d'ordinateur

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de 37 324 278 écrans d'ordinateur en France en 2020.

Le nombre d'écrans d'ordinateur s'établit à 43 926 444 en 2030. Il est basé sur les taux de croissance annuel moyen 2019-2025 et 2025-2040 (respectivement TCAM de +2,28% et TCAM de +1,01%) déterminés dans le rapport du Sénat⁴⁹.

Le nombre d'écrans d'ordinateur s'établit à 53 659 120 en 2050 suivant l'hypothèse de croissance du Sénat entre 2025 et 2040.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 70 kWh/an par équipement (usage personnel et usage professionnel).

Cette consommation électrique est supposée stable à horizon 2030 et 2050, en se basant sur les hypothèses retenues par le rapport du Sénat pour 2030 et en les prolongeant à 2050.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 6 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050, par hypothèse de similarité avec les ordinateurs fixes.

Caractéristiques :

Le modèle écran est un mélange pondéré de deux configurations. La répartition présentée ici est celle en 2020, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2
Répartition (basé sur les données Statista ⁵⁰)	98,6%	1,4%
Poids de l'appareil (kg)	3,64	11,5
Taille de l'écran (pouces)	24	39
Technologie de l'écran	LCD	OLED
Surface PWB (cm ²)	1 783,68	2 014,01

Tableau 5 - Détail des configurations des écrans d'ordinateur

La répartition présentée ci-après en 2030 devrait connaître une légère évolution. Faute de données précises sur le marché des écrans pour PC, l'étude a retenu une évolution de ce marché qui sera similaire à ceux des écrans de télévision. Ainsi, sur la base du rapport du cabinet d'études Omdia sur le marché TV d'ici 2025, avec une projection des données en 2030, sur la base des TCAM constatés sur la période 2018-2025, l'évolution devrait donc être la suivante, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2
Répartition (basé sur les données Omdia)	88,3%	11,7%
Poids de l'appareil (kg)	3,64	11,5
Taille de l'écran (pouces)	24	39
Technologie de l'écran	LCD	OLED
Surface PWB (cm ²)	1 783,68	2 014,01

Tableau 6 - Détail des configurations des écrans d'ordinateur

⁴⁹ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 99

⁵⁰ Worldwide TV unit shipments in 2019 and 2020, by type (in million units), Statista

5.2.8.3. Ecrans spécifiques, affichage de signalisation et affichage de signalisation spéciale

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de 6 590 897 écrans spécifiques en France en 2020.

Le nombre d'écrans spécifiques s'établit à 9 517 227 en 2030. Il est basé sur les taux de croissance annuel moyen 2019-2025 et 2025-2040 (respectivement TCAM de +2,5% et TCAM de +5%) déterminés dans le rapport du Sénat⁵¹.

Le nombre d'écrans spécifiques s'établit à 25 252 036 en 2050 en prolongeant l'hypothèse de croissance du Sénat.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 420 kWh/an par équipement.

Cette consommation électrique est supposée stable à horizon 2030 et 2050, en se basant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat et en les prolongeant à 2050.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 6 ans en 2020.

En se basant sur les hypothèses retenues par le rapport du Sénat (TCAM 2019-2025 de -2,09% et TCAM 2025-2040 de -0,78%), la durée de vie s'établit à 5,2 ans en 2030 et en les prolongeant, à 4,4 ans en 2050.

5.2.8.4. Télévisions

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de 62 571 429 téléviseurs en France en 2020.

Le nombre de téléviseurs s'établit à 66 348 589 en 2030. Il est basé sur les taux de croissance annuel moyen 2019-2025 et 2025-2050 (respectivement TCAM de +0,84% et TCAM de +0,33%) déterminés dans le rapport du Sénat⁵².

Le nombre de téléviseurs s'établit à 70 922 817 en 2050 en prolongeant l'hypothèse de croissance du Sénat entre 2025 et 2040.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 179 kWh/an par équipement.

En se basant sur les hypothèses retenues par le rapport du Sénat (TCAM 2019-2025 de -3,8% et TCAM 2025-2040 de -5%), la consommation électrique s'établit à 114,1 kWh/an par équipement en 2030 et reste stable à horizon 2050 en les prolongeant.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 8 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050, en se basant sur les hypothèses retenues par le rapport du Sénat et en les prolongeant.

5.2.9. Box TV

Définition : Un boîtier spécifique pour l'utilisateur final utilisé pour décoder les signaux TV à proximité du téléviseur. Il peut s'agir des réseaux de câble, IPTV, terrestre ou satellite.

⁵¹ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 114

⁵² Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 100

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de 20 681 289 box à l'échelle de la France en 2020.

En se basant sur les hypothèses de stabilité retenues par le rapport du Sénat⁵³ et en les prolongeant, il reste stable à horizon 2030 et 2050.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 73 kWh/an par équipement (usage personnel et usage professionnel).

Cette consommation électrique est supposée stable à horizon 2030 et 2050, en se basant sur les hypothèses retenues par le rapport du Sénat et en les prolongeant.

Durée de vie typique :

Aucune information n'était disponible. Une durée de 5 ans a été retenue par hypothèse à dire d'expert.

Caractéristiques :

Note : les modélisations d'équipements n'étaient disponibles que pour les box IPTV. Par extrapolation, il a été considéré toutes les box comme des IPTV afin de ne pas négliger une source d'impact importante.

5.2.10. Consoles de jeux

Définition : Selon le SRI⁵⁴, cité dans le rapport sur les ICT, « La console de jeux est un appareil informatique dont la fonction principale est de jouer à des jeux vidéo. Les consoles de jeux partagent de nombreuses fonctionnalités et composants de l'architecture matérielle que l'on trouve dans les ordinateurs personnels généraux (par exemple, unité(s) centrale(s) de traitement, mémoire système, architecture vidéo, lecteurs optiques et/ou disques durs ou autres formes de mémoire interne). Les consoles de jeux couvertes par ce SRI sont celles qui :

- Utilisent des contrôleurs portables dédiés ou d'autres contrôleurs interactifs conçus pour permettre le jeu (plutôt que la souris et le clavier utilisés par les ordinateurs personnels) ;
- Sont équipées de sorties audiovisuelles pour une utilisation avec des téléviseurs externes comme écran principal ; et
- Utilisent des systèmes d'exploitation de console dédiés (plutôt que d'utiliser un système d'exploitation PC classique) ;
- Peuvent inclure d'autres fonctionnalités secondaires telles qu'un lecteur de disque optique, la visualisation de vidéos et d'images numériques, la lecture de musique numérique, etc. ;
- Sont des appareils alimentés sur secteur qui utilisent plus de 20 watts en mode de jeu actif avec l'un ou l'autre des stocks de vente. »⁵⁵

5.2.10.1. Consoles de jeux vidéo de salon

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de 11 746 044 consoles de jeux de salon à l'échelle de la France en 2020.

Le nombre de consoles de jeux de salon s'établit à 14 811 891 en 2030. Il est basé sur les taux de croissance annuel moyen 2019-2025 et 2025-2040 (respectivement TCAM de +4,23% et TCAM de +0,5%) déterminés dans le rapport du Sénat⁵⁶.

⁵³ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 103

⁵⁴ En Union Européenne, les consoles de jeux vidéo sont soumises à une Self-Regulatory Initiative (SRI) selon la directive eco-design (ENTR lot 3). Les signataires sont les trois principaux fabricants : Microsoft (Xbox), Sony (PlayStation) et Nintendo. La version la plus récente est le SRI 2.6.3 (2018) et le dernier rapport de conformité par un inspecteur indépendant (Intertek) a été publié en octobre 2019 (Intertek, Independent Inspector Annual Compliance Report – Games Consoles Self-Regulatory Initiative, Reporting Period 2018, Oct. 2019). Toutes les informations sur le SRI sont disponibles sur le site dédié : www.efficientgaming.eu.

⁵⁵ Définition du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.128

⁵⁶ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 106

Il s'établit à 16 365 592 en 2050 suivant l'hypothèse de croissance du Sénat entre 2025 et 2040.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 55,88 kWh/an par équipement.

En vertu des hypothèses retenues par le rapport du Sénat (TCAM 2019-2025 de -0,58% et TCAM 2025-2040 de -1,67%), la consommation électrique s'établit à 49,9 kWh/an par équipement en 2030.

En prolongeant ces mêmes hypothèses, il s'établit à 35,7 kWh/an par équipement en 2050.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 6,5 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050, par hypothèse à dire d'expert.

5.2.10.1. Consoles de jeux vidéos portables

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de 6 750 617 consoles de jeux portables à l'échelle de la France en 2020.

Le nombre de consoles de jeux portables s'établit à 6 420 580 en 2030 et à 5 808 124 en 2050. Il est basé sur le TCAM 2019-2040 de -0,5% déterminés dans le rapport du Sénat⁵⁷.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 5,15 kWh/an par équipement.

En se basant sur les hypothèses retenues par le rapport du Sénat (TCAM 2019-2025 de -0,9% et TCAM 2025-2040 de -1,66%), la consommation électrique s'établit à 4,5 kWh/an par équipement en 2030.

En prolongeant ces mêmes hypothèses, elle s'établit à 3,2 kWh/an par équipement en 2050.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 6,5 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050, par hypothèse à dire d'expert.

5.2.11. Casques AR/VR

Définition :

Un casque de réalité virtuelle (ou casque VR) est un dispositif porté sur la tête qui permet au porteur d'être immergé dans une réalité virtuelle. Les casques de réalité virtuelle sont fortement associés aux jeux vidéo mais peuvent également être utilisés dans d'autres contextes, tel que la formation ou la médecine.

Les casques AR, quant à eux, permettent de superposer du contenu numérique au monde réel.

Nombre d'équipements :

L'étude « CITIZING, Empreinte carbone du numérique en France », Juin 2020⁵⁸ indique un nombre de 1 086 735 casques de réalité virtuelle.

Selon cette même source, le nombre de casques AR / VR s'établirait à 8 525 546 en 2030 et à 56 466 912 en 2050, basé sur un taux de croissance moyen sur la période (TCAM) 2020-2025 de +37,4% et un TCAM 2025-2040 de +9,9%.

⁵⁷ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 108

⁵⁸ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 111

Consommation électrique :

La mission du Sénat indique une moyenne de 1,8 kWh/an par équipement.

En se basant sur les hypothèses retenues par le rapport du Sénat (TCAM 2019-2025 de -11%), la consommation électrique s'établit à 1 kWh/an par équipement en 2030 et en les prolongeant, reste stable à horizon 2050.

Durée de vie typique :

La mission du Sénat indique une durée de vie de 3 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050, en prolongeant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat.

Caractéristiques :

Une configuration complémentaire par rapport aux précédents lots a été ajoutée aux modélisations. N'ayant pas accès à la configuration des casques de réalité virtuelle, ceux-ci ont été modélisés par un smartphone haut de gamme OLED avec les caractéristiques suivantes :

Poids de l'appareil (kg)	0,202
Taille de l'écran (pouces)	6,72
Technologie de l'écran	OLED
Processeur	Exynos 990
RAM (GB)	11
Capacité SSD (GB)	341
Surface PWB (cm ²)	122,36
Poids de la batterie (g)	77

Tableau 7 - Détail des configurations des casques AR/VR

5.2.12. Imprimantes

Définition : Le groupe de produits d'équipement d'imagerie considéré ici est le suivant :

Produit	Description ⁵⁹
MFD Mono laser	Imprimante multifonctionnelle, capable de copier, numériser et imprimer, qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électrophotographique) pour imprimer en une seule couleur.
MFD Couleur laser	Une imprimante multifonctionnelle, qui peut copier, numériser et imprimer, qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électrophotographique) pour imprimer en plusieurs couleurs.
Imprimante Mono laser	Imprimante qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électrophotographique) pour imprimer en une seule couleur.
Imprimante Couleur laser	Une imprimante qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électrophotographique) pour imprimer en plusieurs couleurs.
Photocopieuse Mono laser	Produit d'imagerie disponible dans le commerce dont la seule fonction est de produire des copies papier à partir d'originaux graphiques imprimés, en une seule couleur.
Photocopieuse Couleur laser	Un produit d'imagerie disponible dans le commerce dont la seule fonction est la production de copies papier à partir d'originaux graphiques sur papier, en plusieurs couleurs.
MFD à jet d'encre	Une imprimante multifonctionnelle, qui peut copier, numériser et imprimer, qui utilise la technologie de marquage à jet d'encre pour imprimer en plusieurs couleurs.
Imprimante à jet d'encre	Une imprimante qui utilise la technologie de marquage à jet d'encre pour imprimer en plusieurs couleurs.
Imprimante Professionnelle / MFD	Une imprimante ou un MFD professionnel prenant en charge un grammage supérieur à 141 g/m ² ; compatible A3 ; s'il n'imprime que du monochrome, l'IPM

⁵⁹ Définition du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.143

	est égal ou supérieur à 86 ; s'il imprime en couleur, l'IPM est égal ou supérieur à 50 ; résolution d'impression de 600 x 600 ppp ou plus ; poids du modèle de base supérieur à 180 kg et plusieurs autres caractéristiques telles que perforatrice et relieur à anneaux.
Scanner	Un produit dont la fonction principale est de convertir des originaux papiers en images électroniques qui peuvent être stockées, modifiées, converties ou transmises.

Tableau 8 – Définition des imprimantes

Remarque : Conformément aux indications de la tâche 2, les télécopieurs et les imprimantes 3D ont été exclues de notre champ d'application pour deux raisons : il s'agit d'un stock limité d'équipements (imprimantes 3D uniquement : 270 000 imprimantes), deuxièmement, il n'y avait pas assez d'informations sur ces appareils pour les inclure dans notre périmètre.

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de 22 981 575 imprimantes en 2020.

Le nombre d'imprimantes s'établit à 17 597 265 en 2030. Il est basé sur les taux de croissance annuel moyen 2019-2025 et 2025-2040 (respectivement TCAM de -3,57% et TCAM de -1,69%) déterminés dans le rapport du Sénat⁶⁰.

Il s'établit à 12 503 865 en 2050 suivant l'hypothèse de croissance du Sénat entre 2025 et 2040.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 58 kWh/an par équipement (moyenne usage personnel et usage professionnel).

En se basant sur les hypothèses retenues par le rapport du Sénat (TCAM 2019-2025 de +1% et TCAM 2025-2040 de +0,5%), la consommation électrique s'établit à 62,6 kWh/an par équipement en 2030.

En prolongeant ces mêmes hypothèses, elle s'établit à 69,1 kWh/an par équipement en 2050.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 5 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050, en prolongeant les hypothèses retenues par le rapport du Sénat.

5.2.13. SSD & HDD externes, clés USB

Définition : Équipement de disques durs externes utilisé pour stocker et récupérer des données lorsqu'il est connecté à un ordinateur. Il existe deux types de disques durs externes : les HDD (Hard Disk Drive) et les SSD (Solid-State Drive).

- Un HDD est un dispositif de stockage de données électromécanique utilisant un stockage magnétique et un ou plusieurs plateaux rigides à rotation rapide recouverts d'un matériau magnétique.
- Un SSD utilise des assemblages de circuits intégrés pour stocker des données dans des cellules semi-conductrices.
- Une clé USB, ou une clé USB basée sur la mémoire, ou une clé USB utilise des assemblages de circuits intégrés pour stocker des données dans des cellules semi-conductrices comme un SSD, mais avec des capacités inférieures.

Les HDD sont progressivement remplacés par des disques SSD, moins sensibles aux chocs physiques, fonctionnant en silence, ayant un temps d'accès plus rapide et une latence plus faible.

Nombre d'équipements :

La tâche 2 indique un nombre total de 36 350 222 HDD externes, de 7 860 552 SSD et de 66 138 165 Clés USB & Micro SD en 2020.

Il s'établit à 13 898 162 HDD externes, 3 005 407 SSD et 25 287 300 Clés USB & Micro SD en 2020 et à 2 031 693 HDD externes, 439 34 SSD et 3 696 605 Clés USB & Micro SD en 2050, par hypothèse de baisse de 9% par an à dire d'expert.

Consommation électrique :

⁶⁰ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 109

La tâche 2 indique une moyenne de 0,37 kWh/an par équipement.

La consommation électrique est supposée stable à horizon 2050 à dire d'expert par hypothèse.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 5 ans en 2020.

Cette durée de vie est supposée stable à horizon 2050 à dire d'expert.

5.2.14. Enceintes connectées

Définition : Un haut-parleur connecté ou un haut-parleur intelligent est un type de haut-parleur et d'appareil de commande vocale. Il intègre un assistant virtuel offrant une activation vocale et une interaction grâce à l'utilisation de mots clés. Les enceintes connectées s'appuient sur le Wi-Fi, le Bluetooth et d'autres normes de protocole pour proposer des interactions telles que les appareils domotiques ou Internet.

Nombre d'équipements :

L'étude « CITIZING, Empreinte carbone du numérique en France », Juin 2020⁶¹ indique un nombre de 2 484 956 enceintes connectées en France.

Selon cette même source, le nombre d'enceintes connectées s'établit à 11 912 117 en 2030 et à 51 904 918 en 2050, basé sur un TCAM 2020-2025 de +27,11% et un TCAM 2025-2040 de +7,64%.

Consommation électrique :

La tâche 2 indique une moyenne de 23 kWh/an par équipement.

Cette consommation électrique est supposée stable à horizon 2030 et 2050, en se basant sur les hypothèses retenues par le rapport du Sénat et en les prolongeant.

Durée de vie typique :

La tâche 2 indique une durée de vie de 5 ans en 2020.

En se basant sur les hypothèses retenues par le rapport du Sénat (TCAM 2019-2025 de -2,09% et TCAM 2025-2040 de -0,78%), la durée de vie s'établit à 4,3 ans en 2030 et 3,7 ans en 2050.

5.2.15. Objets connectés IoT

Description: « Les objets qui deviennent compatibles avec Internet (appareils IoT) interagissent généralement via des systèmes intégrés, une forme de communication réseau, ainsi qu'une combinaison d'informatique de pointe et de cloud computing. Les données des appareils connectés à l'IoT sont souvent (mais pas exclusivement) utilisées pour créer de nouvelles applications pour les utilisateurs finaux. »⁶²

Les ordinateurs, tablettes ou smartphones ne sont pas considérés comme IoT. La RFID⁶³ peut être considérée comme un exemple extrêmement simplifié et précoce de l'IoT, mais il a été impossible de déterminer le stock et les ventes de puces en France en 2020. Ainsi dans les projections à 2030 – 2050 nous avons également exclu la RFID de notre périmètre.

Par ailleurs, la présence d'IoT entraîne souvent une maintenance accrue des objets (remplacement de batteries, réparation). Le transport des employés et la maintenance n'étant pas considéré dans la présente étude, ce point n'est pas étudié, mais il serait intéressant de l'intégrer.

⁶¹ Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020, p 112

⁶² Définition de l'IoT développée par IoT Analytics : <https://iot-analytics.com/our-coverage/> (en date du 29/06/2021)

⁶³ Le sigle RFID signifie *Radio Frequency Identification* ou radio-identification. Il désigne une méthode utilisée pour stocker et récupérer des données à distance en utilisant des balises métalliques, les « Tags RFID ». Ces balises, qui peuvent être collées ou incorporées dans des produits, réagissent aux ondes *radio* et transmettent des informations à distance.

Catégories d'appareils IoT

Nous avons basé notre inventaire d'appareils IoT sur le rapport IEA 2019⁶⁴ pour obtenir les catégories et sous-catégories suivantes :

Catégorie d'objets connectés	Sous-Catégorie - Groupe - Appareil
<i>Objets connectés Sécurité</i>	Sécurité - Vidéo
<i>Objets connectés Sécurité</i>	Sécurité – Contrôle – Serrures intelligentes
<i>Objets connectés Smart home / Smart building</i>	Automatisation – Chauffage de l'eau – Chauffe-eau
<i>Objets connectés Smart city</i>	Automatisation - Lampadaires
<i>Objets connectés Smart home / Smart building</i>	Automatisation – Conditionnement de l'espace – Thermostat Intelligent et climatiseurs
<i>Objets connectés Smart home / Smart building</i>	Automatisation – Lumières
<i>Objets connectés Smart home / Smart building</i>	Automatisation – temps de cuisson - Four + Table de cuisson + Hotte aspirante
<i>Objets connectés Smart home / Smart building</i>	Automatisation – Audio – Assistants vocaux
<i>Objets connectés Smart home / Smart building</i>	Automatisation – Appareils électroménagers – Réfrigérateur, Congélateur, Machine à laver, Sèche-linge, Lave-vaisselle, Petit électroménager
<i>Objets connectés Smart city</i>	Compteurs intelligents eau/gaz/électricité
<i>Objets connectés Smart home / Smart building</i>	Capteurs: Res - Wi-Fi
<i>Objets connectés Smart home / Smart building</i>	Capteurs: Res - LE
<i>Objets connectés Smart industry</i>	Capteurs: Industrie - LE
<i>Objets connectés E-Health</i>	Capteurs: Santé - LE
<i>Objets connectés Smart industry</i>	Passerelle: Bus
<i>Objets connectés Smart home / Smart building</i>	Passerelle: LE to Wi-Fi
<i>Objets connectés Smart industry</i>	Communication de contrôle de bâtiment
<i>Objets connectés Smart home / Smart building</i>	Stores + Fenêtres

Tableau 9 – Liste des catégories d'IoT

Nombre d'équipements :

Le nombre d'objets connectés en UE-28 a été estimé à partir des données mondiales en 2020 fournies par le rapport IEA 2019⁶⁵ et au rapport Data Bridge Market Research.

L'extrapolation à l'UE-28 s'est faite en considérant qu'en 2019, l'Europe était responsable de 23% des dépenses sur l'IOT, selon le « IDC's Worldwide Internet of Things Spending Guide »⁶⁶. Comme ce rapport considère l'Europe au niveau global, en incluant la Russie et la Turquie, une soustraction de 17,8% a été effectuée pour estimer le marché de l'UE-28, basée sur le PIB des régions considérées (le choix de l'allocation basée sur le PIB a été retenu considérant que le développement économique, et numérique, de la zone UE est plus important que la Russie et la Turquie, ramené à la population). L'extrapolation à 2030 se fait selon les mêmes règles.

Pour la France, une extrapolation a été établie, basée sur le nombre d'habitants (considérant un taux d'équipement identique sur tout le territoire européen⁶⁷).

⁶⁴ IEA, *Total Energy Model for Connected Devices*, IEA 4E EDNA, 2019, p.33-34, 53-60, 62-68

⁶⁵ IEA, *Total Energy Model for Connected Devices*, IEA 4E EDNA, 2019, 53-60

⁶⁶ <https://www.cbi.eu/market-information/outsourcing-itobpo/industrial-internet-things/market-potential>

⁶⁷ Cette approche entraîne une incertitude, cependant il n'a pas été trouvé de données à l'échelle française. Il est hypothétique d'affirmer que le taux de ces équipements est le même dans toute l'UE, cependant l'indicateur DESI (Digital Economy and Society Index) développé par la Commission Européenne indique que la France est très proche de la moyenne de l'UE (autour d'un score de 52)

Voir : <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>

Catégories	Nombre dans le monde en 2020	Nombre en UE-28 (extrapolation) en 2020	Nombre en France (extrapolation) en 2020	Nombre dans le monde en 2030	Nombre en UE-28 (extrapolation) en 2030	Nombre en France (extrapolation) en 2030	Nombre en France (extrapolation) en 2050
Security - Video	300 000 000	53 536 207	6 986 293	1 070 000 000	190 945 805	24 917 778	92 537 340
Security - Control	500 000 000	89 227 011	11 643 821	600 000 000	107 072 413	13 972 585	16 781 042
Automation - Water Heating	300 000 000	53 536 207	6 986 293	518 000 000	92 439 184	12 062 999	20 984 691
Automation - Street Lights	300 000 000	53 536 207	6 986 293	300 000 000	53 536 207	6 986 293	6 986 293
Automation - Space Conditioning	300 000 000	53 536 207	6 986 293	907 000 000	161 857 799	21 121 893	61 235 245
Automation - Lightning	800 000 000	142 763 218	18 630 113	3 222 000 000	574 978 860	75 032 780	317 206 543
Automation - Cooking	300 000 000	53 536 207	6 986 293	423 000 000	75 486 052	9 850 673	13 930 502
Automation - Audio	1 000 000 000	178 454 022	23 287 642	1 700 000 000	303 371 837	39 588 991	45 000 000
Automation - Appliances	400 000 000	71 381 609	9 315 057	2 486 000 000	443 636 700	57 893 079	300 000 000
Smart Meters	1 250 000 000	223 067 528	29 109 552	2 100 000 000	374 753 447	48 904 047	82 713 421
Sensors: Res - Wi-Fi	50 000 000	8 922 701	1 164 382	250 000 000	44 613 505	5 821 910	31 054 812
Sensors: Res - LE	260 000 000	46 398 046	6 054 787	3 050 000 000	544 284 770	71 027 309	969 190 280
Sensors: Industry - LE	450 000 000	80 304 310	10 479 439	2 600 000 000	463 980 458	60 547 870	377 763 981
Sensors: Health - LE	660 000 000	117 779 655	15 369 844	2 400 000 000	428 289 655	55 890 342	211 878 474
Gateway: Bus	55 000 000	9 814 971	1 280 820	550 000 000	98 149 710	12 808 200	146 192 808
Gateway: LE to Wi-Fi	50 000 000	8 922 701	1 164 382	350 000 000	62 458 907	8 150 674	62 710 315
Comm Building Control	3 500 000 000	624 589 079	81 506 746	9 800 000 000	1 748 849 421	228 218 889	656 167 319
Blinds + Windows	25 000 000	4 461 351	582 191	1 000 000 000	178 454 040	23 287 640	140 000 000

Tableau 10 – Nombre d'objets connectés

A horizon 2050, le TCAM considéré pour chacun des équipements est celui constaté entre 2020 et 2030 divisé par deux, selon la courbe de maturité de nouveaux équipements informatiques. Par ailleurs, certains objets connectés ont été limités à des seuils (nombre d'assistants vocaux limité à 45 millions d'unités à horizon 2050, nombre d'équipements de conditionnement de l'espace limités à trois fois le nombre de chauffe-eau, nombre d'appareils électroménager limités à 6 équipements par logement, nombre de compteurs intelligents eau/gaz/électricité limité à 100 millions d'unités, nombre de capteurs Wi-fi limité à 50 millions d'équipement).

Consommation électrique des appareils IoT

La consommation d'énergie pour 2020 a été établie pour chaque équipement en tâche 2 suivant le rapport IEA 2019⁶⁸.

Suivant ce même rapport, l'amélioration de l'efficacité énergétique des objets connectés est de 5% par an entre 2020 et 2030. A dire d'expert interrogé par IDATE, une amélioration de l'efficacité énergétique des objets connectés de 2,5% par an a été appliquée entre 2030 et 2050.

Durée de vie des appareils IoT

La durée de vie pour 2020 a été établie pour chaque équipement en tâche 2 suivant le rapport IEA 2019⁶⁹.

Par hypothèse de similarité avec les enceintes connectées, les TCAM 2019-2025 de -2,09% et TCAM 2025-2040 de -0,78% ont été appliqués à la durée de vie de chacun des équipements IoT.

Profils matériel IoT

⁶⁸ IEA, *Total Energy Model for Connected Devices*, IEA 4E EDNA, 2019, p.33-34, 53-60, 62-68

⁶⁹ IEA, *Total Energy Model for Connected Devices*, IEA 4E EDNA, 2019, p.33-34, 53-60, 62-68

Les objets connectés IoT se caractérisent par leurs conceptions diverses, ce qui rend la performance de l'ACV pour un objet connecté spécifique loin d'être représentative de la variété des conceptions et des applications dans le domaine de l'IoT. L'approche méthodologique retenue ici est une approche bottom-up, développée par Thibault Pirson et David Bol⁷⁰.

Cette approche consiste en différentes étapes, pour chaque objet connecté :

- Etape 1 : identification de 12 blocs fonctionnels
- Etape 2 : pour chaque bloc fonctionnel, identification de niveaux de spécification de hardware (Hardware Specification levels, HSL) avec une note pour chacun de 0 à 3 (voir figure suivante)

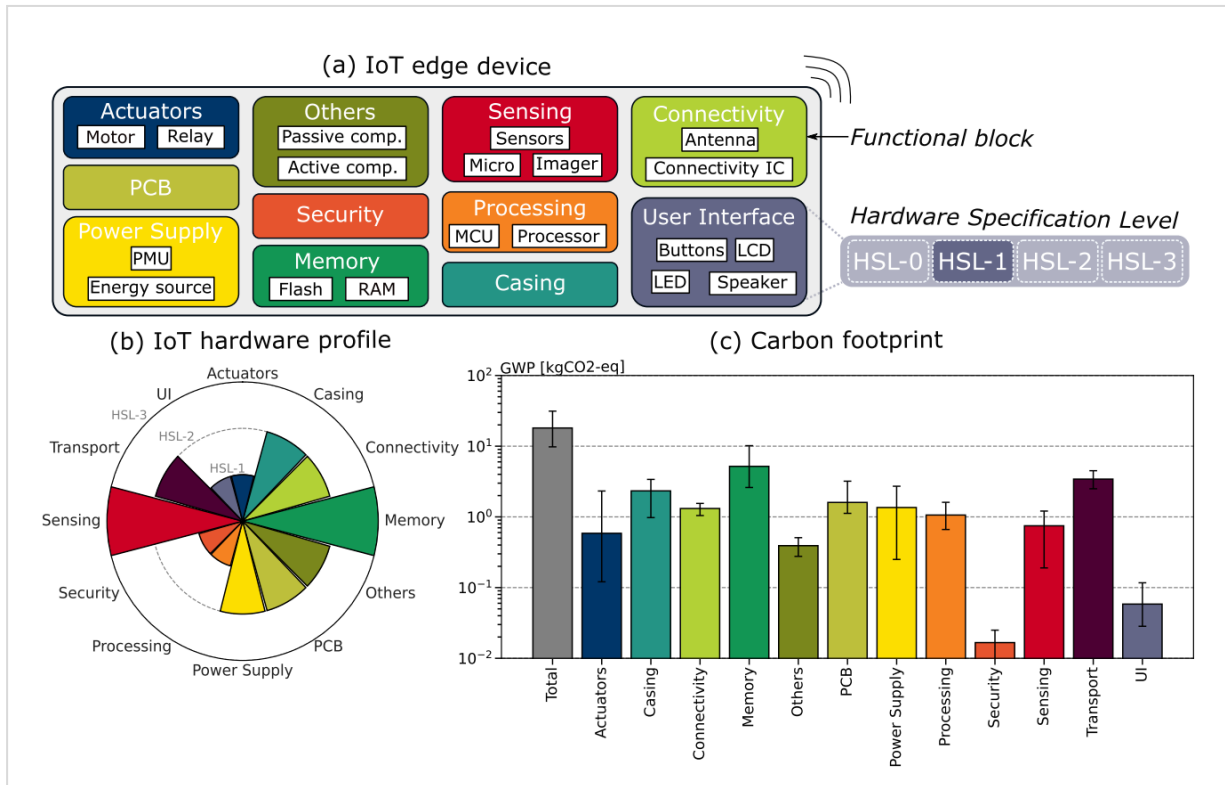


Figure 6 - (a) L'architecture générale d'un dispositif de périphérie IoT avec le concept de blocs fonctionnels et le niveau de spécification matérielle, (b) un exemple de profil matériel IoT, (c) l'empreinte carbone résultante obtenue par le cadre pour le profil

- Etape 3 : Chaque niveau de spécification hardware de chaque bloc fonctionnel est relié à une modélisation technique définie dans la même étude qui peut être modélisée pour en définir les impacts environnementaux. Ces modélisations sont indiquées dans la table ci-dessous :

⁷⁰ « Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach », 2021, Thibault Pirson et David Bol

Table 1: Detailed life-cycle inventory (LCI) for IoT hardware profiles. For each *Hardware Specification Level*, lower/typical/upper parameters considered are given.

Functional Block		HSL-1	HSL-2	HSL-3
Actuators	No actuator	Vibration motor (1g) 1/2/4	Relay (SSR) 1/2/4	DC motor (50g) 1/4/6 Motor driver † 1/2/5 mm ² Motor driver transistor 1/4/6
Casing	No casing	ABS plastic granulate 10/50/100 g Aluminium 1/10/30 g Steel 1/10/30 g	ABS plastic granulate 200/400/500 g Aluminium 20/80/150 g Steel 20/80/150 g	ABS plastic granulate 700/800/900 g Aluminium 70/160/300 g Steel 70/160/300 g
Connectivity	Embedded in <i>Processing</i> (share of the die area) Printed antenna (embedded in <i>PCB</i>)	Connectivity IC * 5/10/20 mm ² Printed antenna (embedded in <i>PCB</i>)	Connectivity IC * 20/30/45 mm ² External whip-like antenna 10/15/20 g	Connectivity IC * 45/50/60 mm ² External whip-like antenna 10/15/30 g
Memory	Embedded in <i>Processing</i> , Flash + RAM (≈ kB)	DRAM ° (32/128/512 MB) 2/7.9/31.5 mm ² Flash † (32/128/512 MB) 0.2/0.8/3.2 mm ²	DRAM ° (0.5/1/2 GB) 31.5/61.5/123.1 mm ² Flash † (1/4/8 GB) 6.3/25/50 mm ²	DRAM ° (0.5/1/2 GB) 31.5/61.5/123.1 mm ² Flash † (8/16/32 GB) 50/100/200 mm ²
Others	Capacitors and resistors 5/10/15 Diodes 2/2/2, transistors 1/2/3 Tantalum capacitors 0/0/2, crystals 0/1/1	Capacitors and resistors 15/20/25 Diodes 2/4/6, transistors 2/4/6 Tantalum capacitors 0/0/3, crystals 1/1/2 Steel metal shield 0.5/1/2 g, cables 1/2/5 cm	Capacitors and resistors 40/50/60 Diodes 2/4/6, transistors 4/7/9 Tantalum capacitors 0/0/4, crystals 1/2/4 Steel metal shield 0.5/1/2 g, cables 1/2/5 cm	Capacitors and resistors 75/85/100 Diodes 2/6/10, transistors 7/10/15 Tantalum capacitors 0/2/4, crystals 1/2/4 Steel metal shield 0.5/1/2 g, cables 1/2/5 cm
PCB	FR4 (4 layers) 8/10/15 cm ² Solder Paste (SAC305) 4/8/13 mg	FR4 (4 layers) 15/35/50 cm ² Solder Paste (SAC305) 38/53/98 mg	FR4 (8 layers) 35/50/100 cm ² Solder Paste (SAC305) 99/155/249 mg	FR4 (8 layers) 80/120/150 cm ² Solder Paste (SAC305) 178/265/454 mg
Power Supply	Mains powered Power transistor 2/3/4 Diodes power 0/1/2, radial capacitor 2/3/4 Miniature coil 2/3/4, ring core coil 0/1/1 Power cable 0.5/1/1.5 m CEE 7/4 Schuko plug 0/1/1	1 Coin cell Li-Po/2 AAA alkaline/2 AA alkaline Solder Paste (SAC305) 38/53/98 mg	Li-ion battery 10/50/100 g Power transistor 0/1/2 Diodes power 0/1/2, radial capacitor 0/1/2 Miniature coil 0/1/2	Li-ion battery 10/50/100 g Power transistor 0/1/2 Diodes power 0/1/2, radial capacitor 0/1/2 Miniature coil 0/1/2 External IC † 5/15/25 mm ²
Processing	MCU * 5/10/17 mm ²	Application processor ° 20/30/45 mm ² Auxiliary MCU * 5/10/17 mm ²	Application processor ° 50/60/75 mm ² Auxiliary MCU * 5/10/17 mm ²	Application processor ° 75/100/125 mm ² Auxiliary MCU * 5/10/17 mm ²
Security	Embedded in <i>Processing</i> or non-existent	External IC † 1/2/3 mm ²	N/A	N/A
Sensing	No sensor	Electret microphone 0.05/0.1/0.2 g	Single-multiple sensors ° 0/3/5 mm ²	Single-multiple sensors ° 0/3/5 mm ² Single CMOS imager † (1/4" to 2/3") 8/20/58 mm ²
Transport	No transport	Transport from China to Europe Truck distance : 100/300/600 km Plane distance : 6100/6775/7400 km Total weight = 50/100/300 g	Transport from China to Europe Truck distance : 100/300/600 km Plane distance : 6100/6775/7400 km Total weight = 300/650/900 g	Transport from China to Europe Truck distance : 600/900/1200 km Plane distance : 6100/6775/7400 km Total weight = 900/1500/2000 g
User Interface	No user interface	Switch-button 0/1/2 LED 1/2/4	Switch-button 0/2/3 LED 2/4/6, LED driver † 0/1/2 mm ² Speaker 2/10/40 g, audio driver † 1/2/5 mm ²	Switch-button 2/3/4 LED 3/5/8, LED driver † 0/1/2 mm ² 1 LCD screen 5/25/100 cm ² , driver † 0/1/2 mm ² .

° CMOS 0.25 μm † CMOS 0.13 μm * CMOS 90nm ° CMOS 22nm ° CMOS 14 nm † Flash 45nm ° DRAM 57nm

Figure 7 - Détail sur les profils matériels des objets connectés, extrait de 71

71 « Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach », 2021, Thibault Pirson et David Bol

Sur la base de cette proposition de méthodologie, nous avons modélisé les 18 types d'appareils IoT répertoriés pour notre étude. Le choix des niveaux 0 à 3 pour chaque catégorie (cf. figure 7 pour plus de détail sur ces niveaux) a fait l'objet de discussions avec Thibault Pirson, co-auteur de l'étude utilisée. Ces discussions ont mis en avant les points suivants :

- Il serait nécessaire de réaliser un démontage systématique de quelques appareils dans chaque catégorie afin d'améliorer la qualité, et notamment la représentativité technologique, de l'approche.
- Il faudrait surtout une définition plus précise des équipements : par exemple un réfrigérateur connecté peut juste avoir quelques fonctionnalités basiques ou bien être un réfrigérateur d'avantage connecté avec un écran plat et une "gestion du stock" et le hardware associé est très différent. C'est le cas aussi par exemple pour des luminaires sur la route : il peut s'agir de capteurs IR ou bien d'un dispositif LIDAR.

Ce choix engendre donc un certain niveau d'incertitude à la fois sur la situation actuelle, point de départ des travaux, mais également sur la vision prospective. A cet égard, les caractéristiques de chaque objet considéré dans l'étude restent inchangées à l'horizon 2030 et 2050.

Les résultats sont comme suit :

	Actionneur	PCB	Bloc d'alimentation	Autres	Sécurité	Mémoire	Détection	Traitement	Boîtier	Connectivité	Interface utilisateur
IoT - Sécurité - Vidéo	0	2	0	2	1	3	3	2	3	3	1
IoT - Sécurité - Contrôle	2	0	1	0	1	0	2	0	1	0	1
IoT - Automatisation - Chauffage de l'eau	2	1	0	1	0	1	2	0	1	1	1
IoT - Automatisation - Lampadaires	2	3	0	3	0	1	2	1	3	2	1
IoT - Automatisation - Climatisation	2	2	0	2	0	1	2	0	2	1	1
IoT - Automatisation - Lumières	2	1	0	1	0	1	2	0	1	1	0
IoT - Automatisation - Cuisson	2	1	0	1	0	1	2	1	0	1	0
IoT - Automatisation - Audio	0	2	0	3	0	2	1	1	2	1	2
IoT - Automatisation - Appareils électroménagers	2	1	0	1	0	1	2	1	1	1	0
IoT - Compteurs intelligents	2	3	0	3	0	1	2	1	3	1	3
IoT - Capteurs: Res - Wi-Fi	0	1	2	1	0	0	2	0	0	1	0
IoT - Capteurs: Res - LE	0	1	2	1	0	0	2	0	0	1	0
IoT - Capteurs: Industrie - LE	0	1	2	1	0	0	2	0	0	1	0
IoT - Capteurs: Santé - LE	0	1	2	1	1	0	2	0	0	1	0
IoT - Passerelle: Bus	0	3	0	3	0	3	0	3	3	3	1
IoT - Passerelle: LE to Wi-Fi	0	3	0	3	0	3	0	3	3	3	1
IoT - Communication de Contrôle bâtiment	0	3	0	3	0	1	0	3	3	2	0
IoT - Stores + Fenêtres	3	1	0	1	0	1	2	0	2	1	1

Tableau 11 – Profil matériel des objets connectés

La grande variété d'équipements rend impossible une évaluation détaillée. L'approche retenue permet une comptabilisation plus exhaustive des impacts, au détriment de la précision. De plus, les profils matériels IoT font l'objet de discussions.

Tableau récapitulatif – Equipements de l'utilisateur

5.2.15.1. Nombre d'unités

Catégorie d'appareil	2020	2030	2050	
Téléphones	116 578 847	117 655 840	98 114 075	↓
Smartphones	69 600 000	77 348 599	84 000 000	↑
Feature phones	9 665 043	962 518	9 546	↓
Téléphones (ligne fixe)	37 313 804	39 344 722	14 104 529	↓
Tablettes	24 074 512	28 092 227	35 503 192	↑
Ordinateur portable	58 935 780	78 147 511	78 147 511	↑
Ordinateur fixe	37 276 596	30 916 455	30 916 455	↓
Station d'accueil	26 815 780	35 557 118	35 557 118	↑
Projecteurs	4 619 971	360 842	-	↓
Afficheurs électroniques	106 486 604	119 792 260	149 833 972	↑
Ecrans d'ordinateur	37 324 278	43 926 444	53 659 120	↑
Ecrans spécifiques	6 590 897	9 517 227	25 252 036	↑
Télévisions	62 571 429	66 348 589	70 922 817	↑
Box TV (décodeurs)	20 681 289	20 681 289	20 681 289	=
Consoles de jeux	18 496 661	21 232 471	22 173 716	↑
Consoles bureau	11 746 044	14 811 891	16 365 592	↑
Consoles mobiles	6 750 617	6 420 580	5 808 124	↓
Casques AR/VR	1 086 735	8 525 546	56 466 912	↑
Imprimantes	22 981 575	17 597 265	12 503 865	↓
Disques Externes	110 348 939	42 190 869	6 167 641	↓
SSD	7 860 552	3 005 407	439 343	↓
HDD	36 350 222	13 898 162	2 031 693	↓
Clés USB	66 138 165	25 287 300	3 696 605	↓
Enceintes connectées	2 484 956	11 912 117	51 904 918	↑
Objets connectés IoT	244 520 241	776 083 961	3 552 333 067	↑
IoT - Sécurité - Vidéo	6 986 293	24 917 782	92 537 340	↑
IoT - Sécurité - Serrures intelligentes	11 643 821	13 972 585	16 781 042	↑
IoT - Smart City - Compteurs intelligents	29 109 552	48 904 047	82 713 421	↑
IoT - Smart City - Automatisation - Lampadaires	6 986 293	6 986 293	6 986 293	=
IoT - Smart Building - Automatisation - Chauffe-eau	6 986 293	12 063 001	20 984 691	↑
IoT - Smart Building - Automatisation - Thermostat et climatiseur	6 986 293	21 121 896	61 235 245	↑
IoT - Smart Building - Automatisation - Lumières	18 630 113	75 032 780	317 206 543	↑
IoT - Smart Building - Automatisation - Cuisson	6 986 292	9 850 673	13 930 502	↑
IoT - Smart Building - Automatisation - Assistants vocaux	23 287 642	39 588 991	45 000 000	↑
IoT - Smart Building - Automatisation - Electroménagers	9 315 057	57 893 079	300 000 000	↑
IoT - Smart Building - Stores et fenêtres	582 191	23 287 640	140 000 000	↑
IoT - Smart Building - Capteurs - Rés WiFi	1 164 382	5 821 910	31 054 812	↑
IoT - Smart Building - Capteurs - Rés LE	6 054 787	71 027 309	969 190 280	↑
IoT - Smart Building - Passerelle - LE to WiFi	1 164 382	8 150 674	62 710 315	↑
IoT - Smart Industry - Capteurs - LE	10 479 439	60 547 870	377 763 981	↑
IoT - Smart Industry - Passerelle - Bus	1 280 820	12 808 200	146 192 808	↑
IoT - Smart Industry - Communication de contrôle de bâtiments	81 506 747	228 218 889	656 167 319	↑
IoT - E-Health - LE	15 369 844	55 890 342	211 878 474	↑
Nombre d'équipements – hors IoT	548 383 289	520 749 693	546 065 748	↓
Nombre d'équipements – avec IoT	795 388 486	1 308 745 772	4 150 303 732	↑

Tableau 12 - Récapitulatif terminaux - nombre d'unités

5.3. Tier 2 – Réseaux

5.3.1. Informations générales

5.3.1.1. Constitution des réseaux et différents réseaux pris en compte dans l'étude

Il existe une large variété de réseaux. Dans cette étude sont considérés les réseaux suivants :

Réseaux fixes
xDSL
FTTx (fibre)
Réseaux mobiles
2G
3G
4G
5G

Tableau 13 – Types de réseaux

Les autres réseaux (ex : TV/radio, téléphone fixe, satellite, réseaux d’entreprise, Wifi public et LPWAN) ne sont pas considérés du fait d’un manque de données.

Du fait de la mutualisation de nombreux équipements, il n’a pas été possible de distinguer les impacts de chaque technologie individuellement. Les résultats sont séparés entre :

- Les réseaux mobiles
- Les réseaux fixes.

Le périmètre de l’étude exclut tous les équipements passifs, à savoir les pylônes pour les réseaux mobiles, les infrastructures de génie civil (fourreaux et chambres pour les réseaux enterrés, poteaux pour les réseaux en déploiement en aérien, ...). Le périmètre inclut les équipements IT, les câbles (cuivre et fibre optique) et les consommations électriques du :

- Réseau d’accès (incluant les box chez les utilisateurs)
- Réseau de collecte et d’agrégation
- Réseau cœur/dorsal (transport)

Les réseaux sont constitués des équipements suivants :



Figure 8 - Equipements constitutifs des réseaux

5.3.1.2. Différentes technologies des réseaux fixes : xDSL et FTTx

Les deux principales technologies de réseaux fixes sont le xDSL et le FTTx.

xDSL : les abonnés sont connectés via les lignes téléphoniques (cuivre) pour leur accès internet. Cela permet des vitesses de transfert jusqu'à 100 Mbit/s.

FTTx : "Fibre To The x", aussi appelé "fibre", se base sur les fibres optiques pour l'accès internet jusqu'à soi :

- FTTH : home (la maison)
- FTTB : building (l'immeuble)

Elle permet, à date, des vitesses de transfert de l'ordre de 1 Gbit/s.

5.3.1.3. Inventaire des utilisateurs des réseaux fixes en France à horizon 2030 et 2050

Pour bâtir le référentiel du nombre de lignes fixes en France à l'horizon 2030-2050 il est nécessaire de comptabiliser le nombre total de lignes fixes qui feront l'objet d'une activation d'une ligne et donc d'un abonnement avec une consommation électrique.

Pour cela, il est important de considérer le nombre total de lignes fixes en France en 2020, soit 36 959 500 lignes supportant le service téléphonique ⁷². Ce volume est à répartir de la façon suivante :

- FTTx supérieur à 100 Mbps : 11 607 000 abonnés (incluant les abonnements FttH et câble coaxial)
- Accès supérieur à 30 Mbps et inférieur à 100 Mbps : 3 020 000 abonnés incluant VDSL2, terminaison en câble coaxial et 4G fixe. Cette catégorie en termes de consommation électrique est plutôt associée à la suivante
- xDSL : 15 983 000 abonnés haut débit
- accès RTC en ligne unique : 6 917 000 abonnés : ces abonnés RTC devront migrer vers une solution IP ou mobile pour continuer à accéder aux services téléphoniques fixes.

En 2030, avec la finalisation de l'extinction des réseaux cuivre annoncée par Orange, les abonnés utiliseront les réseaux fixes en fibre et, en complément, les réseaux mobiles, pour accéder au service téléphonique. L'étude considère que le FTTx se substituera à la quasi-totalité des accès fixes "historiques". Ainsi, le nombre de lignes FTTx s'établira à 35 434 000 en 2030 et à 40 445 000 en 2050 sur la base d'un taux de croissance moyen des lignes de 0.7% par an entre 2020 et 2025 puis de 0.6% entre 2030 et 2050 qui est une hypothèse de croissance du parc installé des résidences principales selon l'INSEE⁷³.

5.3.1.4. Différentes générations de réseaux mobiles à horizon 2030 et 2050 : 2G, 3G, 4G, 5G, xG

Les trois principaux réseaux mobiles en France en exploitation en 2020 sont la 2G, la 3G, la 4G.

Réseau mobile 2G : Aussi appelé Global System for Mobile Communications (GSM)

Réseau mobile 3G : Aussi appelé Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)

Réseau mobile 4G : Aussi appelé Long Term Evolution (LTE-Advanced),

Les déploiements de la 5G demeurent dans des proportions marginales en 2020, mais ils sont bien intégrés pour la période 2030 et au-delà. Les normes internationales pour les futures générations xG ne sont pas encore définies : elles seront considérées dans l'analyse sous l'item xG (6G et générations futures). Pour rappel, le réseau 5G utilise un grand nombre de fréquences radio, parmi lesquelles 3,4-3,8 GHz (bande-cœur).

⁷² ARCEP fichier : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/observatoire-des-communications-electroniques/> fichier : Indicateurs annuels 1998-2021p

⁷³ INSEE ministère de la Transition écologique et solidaire, Service de la donnée et des études statistiques (SDES) ; estimations annuelles du parc de logements au 1er janvier 2020. : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4985385> . L'estimation de taux de croissance moyen sur la période 2021/2025 puis à partir de 2026 jusqu'en 2050 est basée sur une analyse INSEE du taux de croissance moyen des résidences principales depuis 2005 qui diminue de 0.1% pour chaque période de 5 ans depuis 2005.

Taux de croissance des résidences	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Résidences principales	1,0%	0,9%	0,8%

5.3.1.5. Approche de modélisation

5.3.1.5.1. Fabrication, distribution et fin de vie

Par opposition à l'approche des tier 1 et 3, les impacts des équipements réseaux n'ont pas pu se baser sur le nombre d'équipements installés et leurs durées de vie en 2020. L'approche choisie a été de considérer tous les équipements installés sur une année donnée (2020), et de prendre en compte les impacts de leur fabrication, distribution et fin de vie comme s'ils intervenaient dans le courant de l'année.

Dans la continuité de la tâche 2, la tâche 3 reprend cette logique en flux.

5.3.1.5.2. Utilisation

Pour ce qui concerne les réseaux mobiles, les amplificateurs de puissance dans les sites macro-cellules, équipement qui convertit un signal radiofréquence de faible puissance en un signal de puissance plus élevé, sont les inducteurs les plus consommateurs d'un réseau mobile d

La tâche 3 s'attèle à identifier l'évolution de ces seuls équipements à horizon 2030 et 2050. En outre, l'approche intègre de l'incertitude. En effet, la consommation électrique dépend de nombreux facteurs : architecture et configuration de modèles des amplificateurs, densité de population, technologies de réseaux, type de terrain, consommation de données, etc.

Pour ce qui concerne les réseaux fixes, la consommation électrique a été extrapolée à partir du nombre d'abonnés pour déterminer une consommation pour 2030 et 2050.

5.3.2. Réseaux fixes

5.3.2.1. Modélisation des phases de fabrication, distribution

Le nombre d'abonné xDSL étant nul à partir de 2030, le nombre de box xDSL, DSLAM et câble en cuivre associés a été aussi considéré comme nul. Les anciens abonnés xDSL devenant des abonnés FTTx, le nombre de câbles en cuivre ajoutés au réseau en 2020 est additionné au nombre de fibres optiques pour les modélisations de 2030/2050. Seule la box fibre FTTH, cumulant en 2020 plus des 2/3 des utilisateurs, a été conservée par manque de précision des données. Les box IAD avec ONT intégré et IAD/CPE sans ONT intégré ayant les mêmes impacts, la box IAD/CPE sans ONT intégré est celle conservée. A partir des données de 2020, un taux de remplacement des box par abonné a été calculé (prenant en compte le nombre total d'abonnés fibre et de box fibre sur l'année 2020).

Le nombre d'équipements de l'accès est supposé identique à 2020 puisque c'est principalement du renouvellement d'équipements. Le nombre d'équipements des parties agrégation et backbone reste aussi identique à 2020 pour la même raison. Nous avons considéré dans la modélisation que cette partie des réseaux resterait identique et son effet est très marginal sur la consommation de ressources.

5.3.2.2. Modélisation de la phase d'usage

La consommation unitaire d'une box FTTx a été fixée dans la tâche 2 à 82 kWh par an, celle d'une box xDSL à 98 kWh. Elle conduit, selon les hypothèses de nombre d'abonnés, à 2,4 TWh en 2020, 3,1 TWh en 2030 et 3,5 TWh en 2050.

La consommation du réseau fixe hors box a été évaluée à 2,7 TWh en 2020 : cette donnée d'entrée est basée sur une allocation proportionnelle au trafic, sur la base des travaux du rapport ICT Impact Study⁷⁴ également basé sur les travaux de l'AIE ⁷⁵ comme donnée d'entrée de base.

Les études et retours d'expériences et benchmark internes IDATE DigiWorld conduisent à évaluer les réseaux en fibres optiques comme trois fois moins consommateurs par abonné que les réseaux cuivre⁷⁶ (comme décrit ci-dessous, cette estimation inclut les box des abonnés). Selon les hypothèses de nombre d'abonnés, la consommation du réseau fixe hors box s'établit alors à 1,8 TWh en 2030 et 2 TWh en 2050.

⁷⁴ European Commission, ICT Impact study, Final report, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020

⁷⁵ AIE (4E EDNA), Total Energy Model for Connected Devices, 2019

⁷⁶ Commission IDATE DigiWorld 2021

La consommation totale en 2030 s'établit à :

- Box : 3,1 TWh
- Réseau : 1,8 TWh
- Total : 4,9 TWh

La consommation totale en 2050 s'établit à :

- Box : 3,5 TWh
- Réseau : 2 TWh
- Total : 5,6 TWh

5.3.3. Réseaux mobiles

5.3.3.1. Modélisation des phases de fabrication, de distribution

Les modélisations liées à la tâche 3 ont conduit à évaluer :

- le nombre de supports, c'est à dire l'infrastructure pylône accueillant les équipements radios d'un ou plusieurs opérateurs toute technologie confondue,
- le nombre d'opérateurs présent par support, toutes technologies confondues permettant de déterminer le nombre total de points hauts mobiles toute technologie et tout opérateur confondu
- Le nombre d'équipements radios opérés sur un support par opérateur toutes technologies confondues
- Le nombre total d'équipements mobiles déployés sur l'ensemble des points hauts déployés tous opérateurs, toutes technologies confondues à horizon 2030 et 2050.

Elles s'appuient sur les données de l'ANFR (Agence Nationale des Fréquences), s'occupant de délivrer les autorisations nécessaires pour l'installation d'antennes relais, et autres dispositifs de radio-émission, dans sa vue historique et sur une modélisation projective reposant sur des hypothèses IDATE DigiWorld pour les horizons 2030 et 2050.

Pour l'item « access », un ratio des impacts totaux en 2020 par le nombre de nouveaux équipements radios installés cette année-là a été déterminé. L'impact par équipement radio installé est réutilisé pour les modélisations de 2030 et 2050

Le nombre d'équipements pour les parties agrégation et backbone est identique à 2020 car on suppose un renouvellement des équipements pour la projection 2030-2050.

5.3.3.1.1. Nombre de supports

Le nombre de supports a évolué de manière relativement stable depuis la construction du réseau :

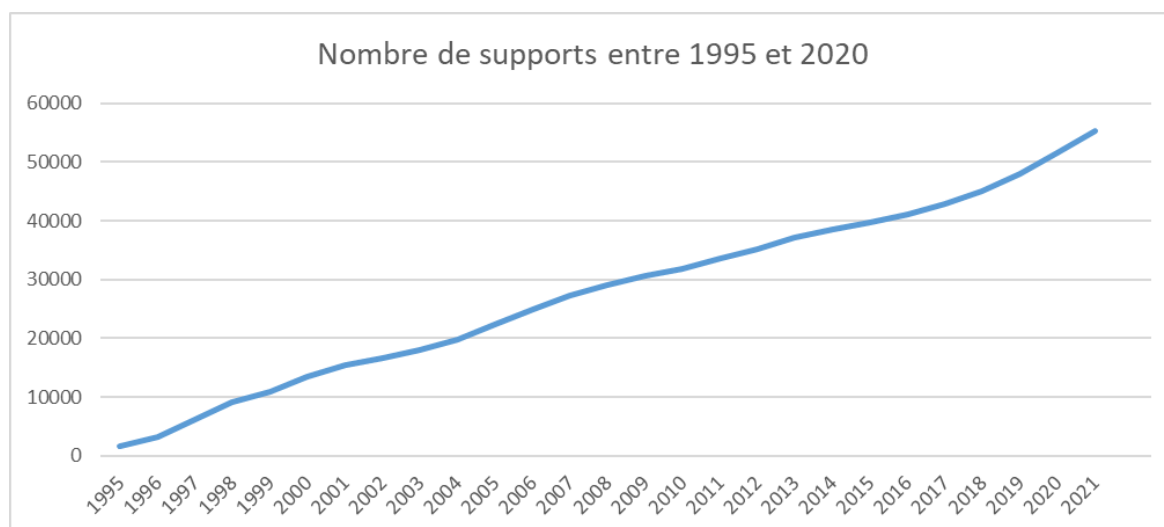
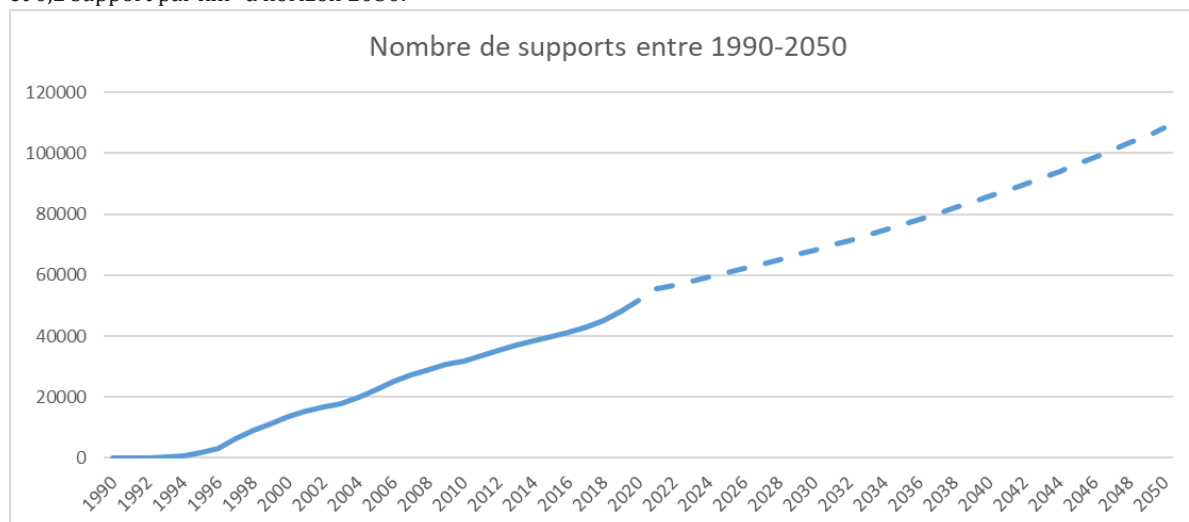


Figure 9 - Evolution du nombre de supports entre 1990 et 2020

Suivant une projection linéaire, le nombre de supports s'établirait à 68 145 en 2030 et 108 149 en 2050, ce qui correspond à 0,09 support par km² en 2020 en considérant une superficie de 547 030 km², 0,1 support par km² en 2030 et 0,2 support par km² à horizon 2050.



L'approche intègre de l'incertitude, ces hypothèses étant amenées à varier en fonction des volumes de données⁷⁷ ou des contraintes réglementaires de couverture, comme par exemple, celles liées au développement d'infrastructures aux alentours des réseaux routiers, ou des contraintes spatiales (par exemple le manque de place en urbain dense due au resserrement de la grille du réseau, plaidant pour un taux de projection plus faible en urbain qu'en rural).

Afin d'éviter une incertitude trop grande quant à la capacité d'absorption du réseau mobile selon les quantités de données attendues, le modèle intègre le calcul des données potentiellement écoulables par le réseau ainsi modélisé suivant l'efficacité spectrale des différentes générations de réseau.

5.3.3.1.2. Nombre d'opérateurs présents par support

Le nombre d'opérateurs présents par support a été reconstruit sur la base de données de déploiement des sites mobiles depuis 1990.

Le nombre d'opérateurs par support évolue de manière stable et par palier, chaque palier correspondant à l'entrée d'un opérateur sur le marché mobile. Par hypothèse, le marché mobile à 4 opérateurs est supposé stable à horizon 2030 et 2050. Par conséquent, une régression linéaire a été appliquée entre 2018 et 2021 conduisant à un nombre de points hauts mobiles qui passerait de 93 183 en 2020 à 126 381 en 2030 et à 212 211 en 2050.

5.3.3.1.3. Le nombre d'équipements radios opérés sur un support tout opérateur et technologie confondus

Le nombre d'équipements radios opérés sur un support tout opérateur et technologie confondus est lié au nombre de bandes de fréquence. Par hypothèse, le nombre de bandes de fréquence est supposé stable à horizon 2030 et 2050. Le nombre moyen de bandes de fréquence par équipement radio est supposé stable à 3,9 (donnée 2021) à ces horizons. Suivant cette hypothèse, le nombre d'équipements radios (346 272 en 2020) s'établirait à 490 534 en 2030 et à 828 106 en 2050. Cette hypothèse est une modélisation moyenne et est basée sur un scénario qui pourrait nécessiter une modélisation plus fine dans le futur.

⁷⁷ Chaque site peut transmettre plus de données en ajoutant de la capacité jusqu'à un seuil de saturation qui nécessitera alors la construction d'un nouveau site.

5.3.3.1.4. Le nombre total d'équipements mobiles déployés sur l'ensemble des points d'antennes hauts déployés à horizon 2030 et 2050

Le nombre total d'équipements mobiles déployés sur l'ensemble des points déployés à horizon 2020 par génération a évolué comme suit depuis 1990 :

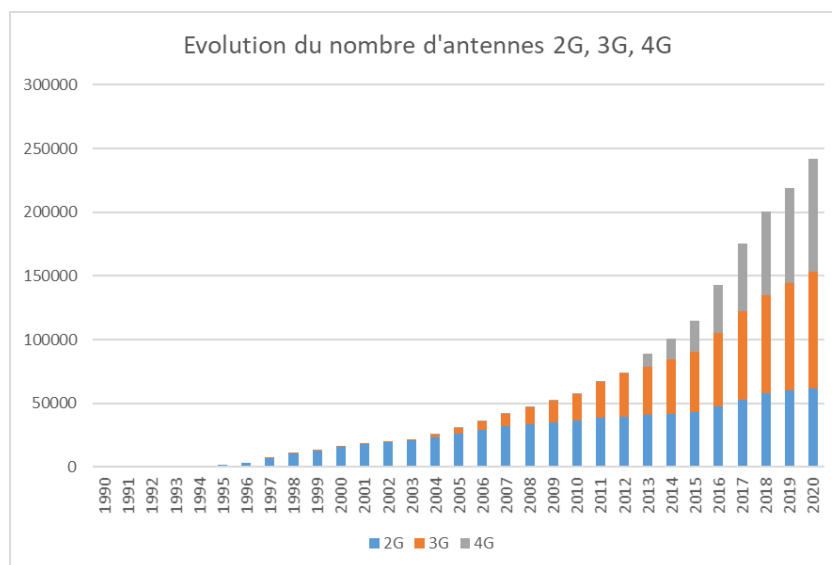


Figure 10 – Evolution du nombre d'antennes par génération entre 1990 et 2020

Chaque nouvelle génération arrive tous les 10 ans. C'est l'hypothèse retenue pour la 5G, et la 6G et au-delà. Par ailleurs, l'extinction des réseaux 2G et 3G, suite aux annonces faites par Orange, est prise en compte dans la modélisation pour 2030.

Un arrêt des fréquences 4G à l'horizon 2045 au plus tard semble être une hypothèse crédible.

A dire d'expert interrogé par IDATE, le nombre total d'équipements mobiles déployés sur l'ensemble des points hauts déployés à horizon 2030 et 2050 pour l'ensemble des différentes technologies a été calculé par rapport au nombre d'opérateurs présents sur un point haut. Il s'établit comme suit :

Quantité	2020	2030	2050
Technologie 2G	61 564	-	-
Technologie 3G	91 608	-	-
Technologie 4G	88 996	120 702	
Technologie 5G	-	183 992	526 942
Technologie XG (6G et génération futures)	-	-	202 676

5.3.3.2. Modélisation de la phase d'utilisation

La consommation du réseau mobile est de 1,64 TWh pour 346 272 amplificateurs de puissance (éléments les plus consommateurs du réseau) en 2020. Considérant un nombre de 490 534 amplificateurs de puissance pour 2030, le réseau mobile consommera 2,32 TWh en 2030 et 3,92 TWh en 2050. Cette modélisation se base sur une consommation moyenne par amplificateur considéré indépendamment du géotype, de la nature de l'amplificateur et à isoler la variable de progrès technologique permettant de réduire la consommation unitaire en l'absence d'élément probant.

5.4. Tier 3 – Centres de données

5.4.1. Frontière de l'étude

Le périmètre inclut un large périmètre de centres de données depuis les petites salles serveurs jusqu'aux centres de données hyperscales et intègre les deux niveaux « environnement technique et bâtimentaire » et « parc informatique ».

5.4.2. Caractérisation du parc de centres de données

Le périmètre des centres de données couvre un large scope d'infrastructures pour lesquelles il est plus ou moins facile d'accéder à des données documentées de caractérisation.

Depuis les plus petites salles serveurs utilisées par les entreprises et les entités publiques jusqu'aux centres de données géants, les données disponibles sont très hétérogènes et la caractérisation du parc de centres de données nécessite de recourir à des hypothèses soit :

- Issues du terrain, des constats et des retours d'expériences qui peuvent être extrapolés,
- Issues de données macro de marché associées à des modèles de fonctionnement généralisés à l'ensemble d'un territoire,
- Issues d'une combinaison des deux solutions précédentes.

A titre d'exemple les données relatives aux centres de données de colocation ayant une vocation commerciale sont relativement bien documentées, pas toujours homogènes selon les opérateurs mais néanmoins existantes, tandis que les données relatives aux centres de données internes, qu'ils soient opérés par des entités publiques ou privées, sont très rarement publiées.

Cette difficulté d'accéder aux données nécessite de recourir à des approximations qui représentent une limite dans la précision des résultats d'évaluation des impacts environnementaux du parc de centres de données. Pour plus de détails sur cette caractérisation un panorama d'études sur les parcs de centres de données est disponible dans le rapport de la tâche 2 de l'étude.

5.4.3. Méthodologie utilisée pour caractériser le parc de centres de données sur le territoire national

Dans le cadre de l'étude, nous avons concilié une approche basée sur

- Des données publiques (sur la caractérisation des centres de données Cloud)
- Les études et retours d'expériences et benchmark internes APL Data Center, NégaOctet et IDATE DigiWorld
- Des statistiques issues d'études qui seront citées, notamment issue du modèle Borderstep.

La méthodologie retenue est basée sur l'évaluation des besoins en salle informatiques (salles blanches) par typologie d'entités.

5.4.3.1. Superficie de salles informatiques

Dans le cadre de l'étude, les centres de données ont été classés et caractérisés selon 5 catégories :

- **Public local** : centres de données internes dédiés à l'hébergement du système d'information des organisations publiques des territoires (Conseils Régionaux, Conseils Départementaux, SDIS, COMUE, Communautés d'Agglomération, Communautés Urbaines, Métropoles, mairies de plus de 30 000 habitants, CHRU, CHU et centres hospitaliers)
- **Public national** : centres de données internes dédiés à l'hébergement du système d'information de l'Etat, des Ministères, des Administrations centrales (ODAC) et des entreprises publiques (EPIC)
- **Entreprises** : centres de données internes dédiés à l'hébergement du système d'information des entreprises
- **Centres de données à vocation commerciale** : centres de données opérés par un tier, pouvant héberger le système d'information de plusieurs entités clientes dans un centre de données propre d'un opérateur Cloud ou en colocation.
- **HPC ou High Performance Computing**: centres de données aussi appelés supercalculateurs dédiés aux opérations de calcul intensif
- **Edge Computing** : centres de données cloud de proximité qui consiste à traiter les données à la périphérie du réseau, près de la source des données. La définition étant encore relativement floue, l'hypothèse retenue pour évaluer la superficie en m2 de centres de données Edge Computing est liée à l'évolution des équipements IoT

Chaque type d'organisation dispose d'un parc informatique dont la partie centralisée hébergée en centres de données a des caractéristiques liées à son activité. La volumétrie d'équipements dépend du secteur d'activité, de son niveau de digitalisation et de son niveau de migration vers le Cloud et la stratégie d'hébergement.

Plusieurs études aux résultats très variables sont publiées sur le parc de centres de données et ses consommations d'énergies. Le point de vue de cette étude est d'avoir un périmètre le plus large possible et de compléter les données manquantes par des données issues de benchmarks, statistiques et retours d'expériences.

Les centres de données à vocation commerciale et les HPC sont référencés. Les données sur leurs caractéristiques sont souvent accessibles et publiques. Cette partie du parc de centres de données est construite sur des données publiques complétées par des données de benchmark et retours d'expériences.

Les inventaires des centres de données publics (local et national) et des entreprises sont rarement publiés ; cette partie a été estimée sur la base des besoins en espace d'hébergement et taux de migration vers le cloud.

Les hypothèses et données utilisées dans la tâche 2 sont synthétisées dans le tableau suivant pour 2020.

Type de centre de données	Organisation	Nombre d'entités sur le territoire	Besoin en espaces informatiques m2	% de migration vers de l'hébergement externe (Cloud)	Superficie de salles informatiques m2
Public local	Conseil régionaux	13	50 m2	70%	81 390 m2
	Conseils départementaux	97	50 m2	70%	
	SDIS	97	50 m2	70%	
	COMUE (Communauté Universitaire et d'établissements)	69	200m2	10%	
	Agglomérations	258	100 m2	30%	
	Mairie (plus de 30 000 habitants)	277	50 m2	70%	
	CHRU	29	250 m2	10%	
	CHU et Centres Hospitaliers	550	75 m2	10%	
Public national	Ministères	80	250 m2	0%	65 000 m2
	EPIC	30	500 m2	10%	
	ODAC	700	50 m2	10%	
Entreprises (hors acteur digital)⁷⁸	MIC (1 -9 salariés)	3 700 000	0 m2	100%	311 800 m2
	PME (10-49 salariés)	172 600	5 m2	90%	
	PME (50-99 salariés)	18 100	10 m2	80%	
	PME (100- 249 salariés)	10 800	15 m2	80%	
	ETI (250-5000 salariés)	5 700	50 m2	70%	
	Grandes Entreprises (> 5000 salariés)	238	1 000 m2	70%	
Cloud	centres de données Cloud	264			414 175 m2

⁷⁸ INSEE

HPC	centres de données HPC ⁷⁹	18	10 800 m ²
------------	--------------------------------------	----	-----------------------

Tableau 14 - Evaluation des superficies de salles informatiques en France en 2020

Pour 2030 et 2050, des taux de croissance moyen de la superficie des salles informatiques, à dire d'experts, ont été appliqués pour faire évoluer ces inducteurs. Pour ce qui concerne les centres de données traditionnels, ils sont de 4% pour les centres de données publics et les entreprises de moins de 250 salariés, de 6% pour les ETI et de 8% pour les grandes entreprises. Pour les centres de données à vocation commerciale, il est de 8% entre 2020 et 2030, comprenant les projets de centre de données Interxion (80 km²), Data 4 (12 centres de données de 25Km²) et OVHCloud(80 km²). Il passe à 3% entre 2030 et 2050. Les centres de données HPC évoluent sur la tendance constatée de 4%. Enfin, par hypothèse, la superficie de centres de données Edge, en l'absence de définition consensuelle et en vertu de son usage dédié à la proximité, a été adossée à l'évolution du nombre d'objets connectés à horizon 2030 et 2050. Il est considéré ici que ce type d'équipements serait plutôt en lien avec les stratégies locales des territoires connectés visant à apporter du service de calcul informatique aux projets embarquant de l'IoT dans les territoires. Cette hypothèse est valorisée à partir des visions partagées avec des experts du domaine du centre de données et de l'IoT. Elle est certes discutable mais elle permet de poser une première tendance d'évolution de cette brique nouvelle.

Les hypothèses et données utilisées pour la modélisation 2030 sont synthétisées dans le tableau suivant.

Type de centre de données	Organisation	Besoin en espaces informatiques m ²	% de migration vers de l'hébergement externe (Cloud)	% de migration vers de l'hébergement externe (Edge)	Superficie de salles informatiques m ²
Public local	Conseil régionaux	74	90%	5%	26 755 m ²
	Conseils départementaux	74	90%	5%	
	SDIS	74	90%	5%	
	COMUE (Communauté Universitaire et d'établissements)	296	70%	5%	
	Agglomérations	148	90%	5%	
	Mairie (plus de 30 000 habitants)	74	90%	5%	
	CHRU	370	70%	5%	
	CHU et Centres Hospitaliers	111	70%	5%	
Public national	Ministères	370	30%	5%	37 746 m ²
	EPIC	740	70%	5%	
	ODAC	74	70%	5%	
Entreprises (hors acteur du digital)	MIC (1 -9 salariés)	-	100%	0%	0 m ²
	PME (10-49 salariés)	7	100%	0%	
	PME (50-99 salariés)	15	95%	5%	
	PME (100- 249 salariés)	22	95%	5%	
	ETI (250-5000 salariés)	90	95%	5%	
	Grandes Entreprises (> 5000 salariés)	2 159	90%	10%	
Cloud	centres de données Cloud				894 173 m ²

⁷⁹ https://www.eib.org/attachments/pj/financing_the_future_of_supercomputing_en.pdf

HPC	centres de données HPC	15 987 m2
Edge	centres de données Edge Computing	111 365 m2

Les hypothèses et données utilisées pour la modélisation 2050 sont synthétisées dans le tableau suivant.

Type de centre de données	Organisation	Besoin en espaces informatique m2	% de migration vers de l'hébergement externe (Cloud)	% de migration vers de l'hébergement externe (Edge)	Superficie de salles informatiques m2
Public local	Conseil régionaux	162	90%	10%	0 m2
	Conseils départementaux	162	90%	10%	
	SDIS	162	90%	10%	
	COMUE (Communauté Universitaire et d'établissements)	649	70%	30%	
	Agglomérations	324	90%	10%	
	Mairie (plus de 30 000 habitants)	162	90%	10%	
	CHRU	811	70%	30%	
Public national	CHU et Centres Hospitaliers	243	70%	30%	0 m2
	Ministères	811	70%	30%	
	EPIC	1 622	70%	30%	
	ODAC	162	70%	30%	
Entreprises (hors acteur du digital)	MIC (1 -9 salariés)	-	100%	0%	0 m2
	PME (10-49 salariés)	16	100%	0%	
	PME (50-99 salariés)	32	95%	5%	
	PME (100- 249 salariés)	49	95%	5%	
	ETI (250-5000 salariés)	287	95%	5%	
	Grandes Entreprises (> 5000 salariés)	10 063	90%	10%	
Cloud	centres de données Cloud				1 465 206 m2
HPC	centres de données HPC				35 029 m2
Edge	centres de données Edge Computing				509 375 m2

5.4.3.2. Consommation d'énergie

La principale source d'énergie utilisée par les centres de données est l'électricité fournie par le réseau national. En cas de rupture de cette source d'alimentation principale, la continuité de service est assurée par des groupes électrogènes alimentés par des réserves de fioul domestique.

Au sein des centres de données, les consommations d'électricité sont réparties entre celles directement liées à la consommation des équipements informatiques hébergées (serveurs, équipements de stockage et équipements réseaux) et celles associées au fonctionnement des équipements de l'environnement technique (climatisation et traitement d'air, distribution et sécurisation de l'électricité).

Le niveau de performance énergétique est généralement évalué au travers de l'indicateur Power Usage Effectiveness (PUE). Le PUE est standardisé par la norme ISO 30134-2 :2016. Il est défini comme le ratio entre les consommations d'énergie de l'ensemble du centre de données et la consommation d'énergie des équipements informatiques, exprimés sur une période de 12 mois afin de s'abstraire des variations climatiques

Plus la valeur du PUE est proche de 1, plus le site est considéré comme performant d'un point de vue énergétique.

Cependant, cet indicateur présente des limites dans le sens où il est tributaire de nombreux autres paramètres tels que les technologies de climatisation, la localisation géographique, les caractéristiques de construction du bâtiment pour son isolation, le niveau de résilience du centre de données ou encore le taux de charge électrique du centre de données. Plus les salles informatiques sont remplies, plus la valeur du PUE diminue.

Par ailleurs, le PUE est centré sur la mesure de l'efficacité énergétique de la partie environnement technique et ne permet pas d'apprécier l'efficacité globale du centre de données car des serveurs peu performants, sous utilisés ou mal utilisés peuvent être hébergés dans un centre de données affichant un très bon PUE.

Dans le cadre de l'étude, la modélisation des consommations d'énergie des centres de données repose sur la caractérisation des critères suivants pour chaque catégorie de centre de données.

- Densité : représente la puissance électrique installée par unité de surface de salle informatique, ici exprimé en kW par baie (sources : données issues du benchmark interne APL Data Center⁸⁰ pour 2020 auquel on applique un taux de croissance basé sur les évolutions 2015-2020 constatées dans le rapport Trends in data centre energy consumption under the European Code of Conduct for Data Centre Energy Efficiency ⁸¹)
- PUE : niveau de performance énergétique (source : ICT Impact Study⁸² pour les données 2020 et hypothèses à dire d'experts pour 2030 et 2050)
- Taux de charge électrique : représente le taux d'utilisation de la puissance électrique disponible installée dans le centre de données, exprimé selon le ratio entre la puissance électrique réellement appelée sur la puissance électrique disponible en salle informatique (source : données issues du benchmark interne APL Data Center pour 2020 et évolutions du taux de charge issues du benchmark interne IDATE DigiWorld)

Les consommations d'électricité sont évaluées en considérant que le centre de données fonctionne 24/7 sans interruption, en cas de coupure de l'alimentation principale, les groupes électrogènes prennent le relais. Les groupes électrogènes fonctionnent quasiment tous au fioul domestique, le réseau électrique français étant considéré comme très fiable et les politiques de prévention de la pollution atmosphérique ayant interdit l'effacement dans les métropoles, le fonctionnement sur groupes électrogènes est très rare.

Seuls persistent les tests mensuels des groupes électrogènes. Dans l'étude, nous avons considéré que l'alimentation des centres de données par les groupes électrogènes représentait 0,5% des consommations annuelles d'énergies des centres de données (4h de test mensuel) et une consommation moyenne des groupes électrogènes de 0,2 litres par kWh.

Nous avons utilisé la répartition des consommations d'énergies au sein des centres de données publiée dans le modèle Borderstep et les caractéristiques des équipements définis dans le même modèle (puissance moyenne, scénario d'utilisation) pour évaluer le parc d'équipements informatiques hébergés en centre de données.

Par défaut, nous avons considéré que les répartitions des consommations d'énergies étaient les mêmes selon les types de centre de données. Cette hypothèse doit être considérée comme purement indicative, la répartition converge avec plusieurs études à l'échelle globale mais peut représenter une limite à l'échelle locale.

Pour 2020, les données utilisées sont présentées dans le tableau suivant :

Type de centre de données	Public Local	Public National	Entreprises	Centres de données commerciaux	HPC	TOTAL
---------------------------	--------------	-----------------	-------------	--------------------------------	-----	-------

⁸⁰ L'hypothèse moyenne considérée en termes d'occupation au sol est de 2,5m2 par baie informatique

⁸¹ JRC Technical reports : Trends in data centre energy consumption under the European Code of Conduct for Data Centre Energy Efficiency, 2017, p.5

⁸² European Commission, ICT Impact study, Final report, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020

Superficie de salles informatiques m2	81 390 m2	65 000m2	311 800 m2	414 174 m2	10 800 m2	883 165 m2
Densité kW/baie	3	4,5	4	5	15	
Taux de charge	40%	35%	50%	50%	60%	
PUE	1,93	1,93	1,93	1,55	1,17	1,69
Consommations de fioul m3	66	69,2	422	562	40	1 159
Consommations électriques totales TWh	0,66	0,69	4,22	5,62	0,40	11,59

Tableau 15 - Evaluation des consommations annuelles d'énergie des centres de données par type pour 2020

Pour 2030, les données utilisées sont présentées dans le tableau suivant :

Type de centre de données	Public Local	Public National	Entreprises	Centres de données commerciaux	HPC	Edge	TOTAL
Superficie de salles informatiques m2	26 755 m2	37 746 m2	0 m2	894 173 m2	15 987 m2	111 365 m2	1 086 026 m2
Densité kW/baie	3,5	5,3	4,7	5,9	17,6	4,7	
Taux de charge	45%	40%	55%	55%	65%	45%	
PUE	1,55	1,55	1,55	1,32	1,11	1,6	1,52
Consommations de fioul m3	22,5	41,7	0	1340	72,7	162	16 38
Consommations électriques totales TWh	0,23	0,42	0	13,4	0,73	1,62	16,38

Tableau 16 - Evaluation des consommations annuelles d'énergie des centres de données par type pour 2030

Pour 2050, les données utilisées sont présentées dans le tableau suivant :

Type de centre de données	Public Local	Public National	Entreprises	Cloud	HPC	Edge	TOTAL
Superficie de salles informatiques m2	0 m2	0 m2	0 m2	1 465 206 m2	35 029 m2	509 375 m2	2 009 610 m2
Densité kW/baie	4,8	7,3	6,5	8,1	24,2	6,5	
Taux de charge	55%	50%	70%	70%	80%	65%	
PUE	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,02
Consommations de fioul m3	0	0	0	2 852	245,5	798	3 896
Consommations électriques totales TWh	0	0	0	28,52	2,46	7,98	38,96

Tableau 17 - Evaluation des consommations annuelles d'énergie des centres de données par type pour 2050

Les consommations d'électricité des centres de données situés sur le territoire national sont évaluées à 11,59 TWh pour 2020, 16,38 TWh pour 2030 et 38,96 TWh pour 2050.

5.4.3.3. Equipements informatiques

Les équipements informatiques sont dispatchés entre les types de centre de données selon la répartition des consommations d'énergies de la partie IT, c'est-à-dire que le profil des parcs informatiques est considéré comme similaire selon les types de centre de données. Cette hypothèse converge avec d'autres études à l'échelle globale, mais peut représenter une limite à l'échelle locale.

A partir des résultats de 2020, le nombre d'équipements IT et non-IT est ramené au m² permettant ainsi de déterminer le nombre d'équipements des modélisations de 2030 et 2050 à partir de la surface des salles informatiques. Les centres de données Edge ont été modélisés suivant la configuration des centres de données HPC. En effet, il n'était pas possible

de déterminer la configuration spécifique des centres de données Edge, leurs impacts ont donc été pénalisés via l'utilisation de la configuration HPC.

6. Résultats du scénario tendanciel 2030-2050

6.1. Principaux enseignements du scénario tendanciel 2030-2050

Les résultats du scénario tendanciel 2030-2050 sont la conséquence d'un mode de consommation du numérique sans réelle remise en cause des modes de production et de consommation des biens et services numériques. Cette situation ne peut donc répondre aux enjeux entre autres de maîtrise énergétique, de maîtrise de l'impact carbone répondant aux orientations fixées notamment par le GIEC, ou encore de la consommation de ressources naturelles. Si le numérique constitue un vecteur d'amélioration et de progrès, il ne doit pas pour autant être une source de contribution négative sur l'environnement.

Si les choix technologiques et modes de consommation restaient sur une tendance équivalente à notre mode de vie actuel, alors les impacts du numérique se traduiraient de la façon suivante :

- L'empreinte carbone du numérique en France, qui s'établit à 17,2 Mt eq CO₂ en 2020⁸³ (i.e. environ 2,5 % de l'empreinte carbone nationale), est estimée à 25 Mt eq CO₂ en 2030 et pourrait être de plus de 49 Mt eq CO₂ en 2050. Ainsi dans le scénario tendanciel le numérique voit son empreinte carbone suivre une augmentation d'environ 45% sur la période 2020 à 2030 et quasiment tripler de 2020 à 2050.
 - Cette évolution resterait très largement dominée par les terminaux et les centres de données qui représenteraient respectivement 80% et 17% de l'empreinte carbone en 2030 et 75% et 22% en 2050. L'augmentation de la part des centres de données s'explique notamment en partie par une évolution importante du nombre de centres de données pour répondre à l'accroissement des usages et du volume de données et donc du nombre d'équipements techniques et des serveurs qui y seront hébergés.
 - Tous ces facteurs d'évolutions ont un impact résultant notamment de la nécessité de production d'équipements numériques nécessitant toujours plus de ressources pour les produire, les piloter, les superviser ...
 - A noter une stabilisation de l'impact des réseaux dans l'empreinte carbone passant de 0,94 Mt eq CO₂ en 2020 à 0,87 Mt eq CO₂ en 2030 pour augmenter ensuite dans la période 2030 à 2050 passant à 1,36 Mt eq CO₂ en 2050. La part des réseaux dans le global est par contre en diminution passant de 5 % en 2020 à 3 % en 2030 et 2050. L'évolution des technologies réseaux, notamment dans la production des équipements, leurs distributions sur le territoire et leur mode de fonctionnement plus optimisé diminuera donc la part de l'impact carbone de ce tiers du numérique. Ces évolutions résultent de technologies réseaux nouvelles, plus optimisées et rationalisées et avec un effet moins important sur l'environnement. En effet, par exemple « l'empilement » des équipements des réseaux mobiles 2G, 3G 4G et 5G serait rationalisé à l'horizon 2050 avec au maximum 2 technologies radios (5G et 6G). Pour les réseaux fixes, la disparition des réseaux en cuivre (réseaux de distribution) en plus des réseaux en fibres optiques (collecte et transport) au profit des seuls réseaux en fibres optiques de bout en bout (FttH / Fttx) devraient également se traduire par une dynamique de réduction de l'empreinte carbone associée. Cette optimisation est par contre compensée par l'augmentation du nombre d'abonnés et donc de box et l'augmentation du volume de données transitant par les réseaux.
 - Le vrai enjeu se situe donc dans la maîtrise des deux piliers qui constituent les principales sources d'impacts à savoir l'optimisation du parc de terminaux et également celui des centres de données et du volume de données.
- La consommation électrique de l'ensemble du numérique est estimée à environ 52⁸⁴ TWh en 2020. Elle serait de 54 TWh en 2030 et pourrait quasiment doubler à l'horizon 2050 (près de 80% d'augmentation

⁸³ Les données issues de la modélisation présentées dans le rapport de tâche 2 ont été corrigées en raison d'une anomalie détectée dans les calculs sur la partie centre de données. L'empreinte carbone en 2020 estimée à 16,9 Mt eq CO₂ a par exemple été corrigée à 17,2 Mt eq CO₂.

⁸⁴ Les données issues de la modélisation présentées dans le rapport de tâche 2 ont été corrigées en raison d'une anomalie détectée dans les calculs sur la partie centre de données. La consommation électrique du numérique en 2020 estimée à 48,7 TWh a par exemple été corrigée à 52 TWh.

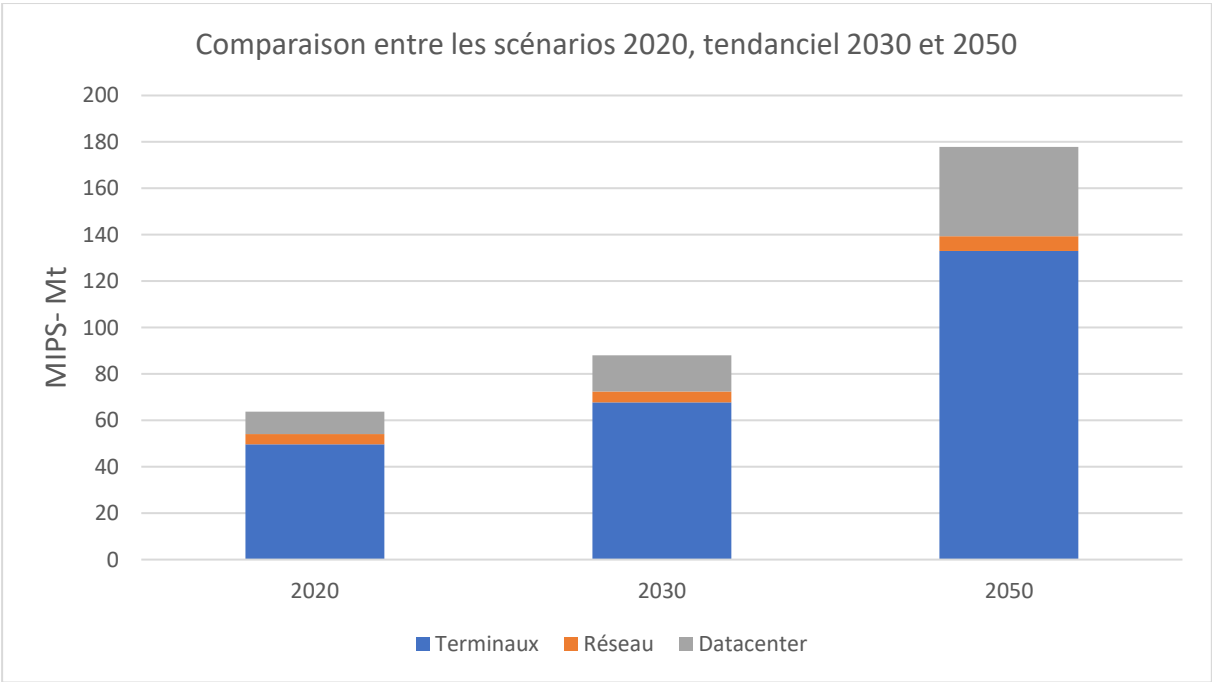
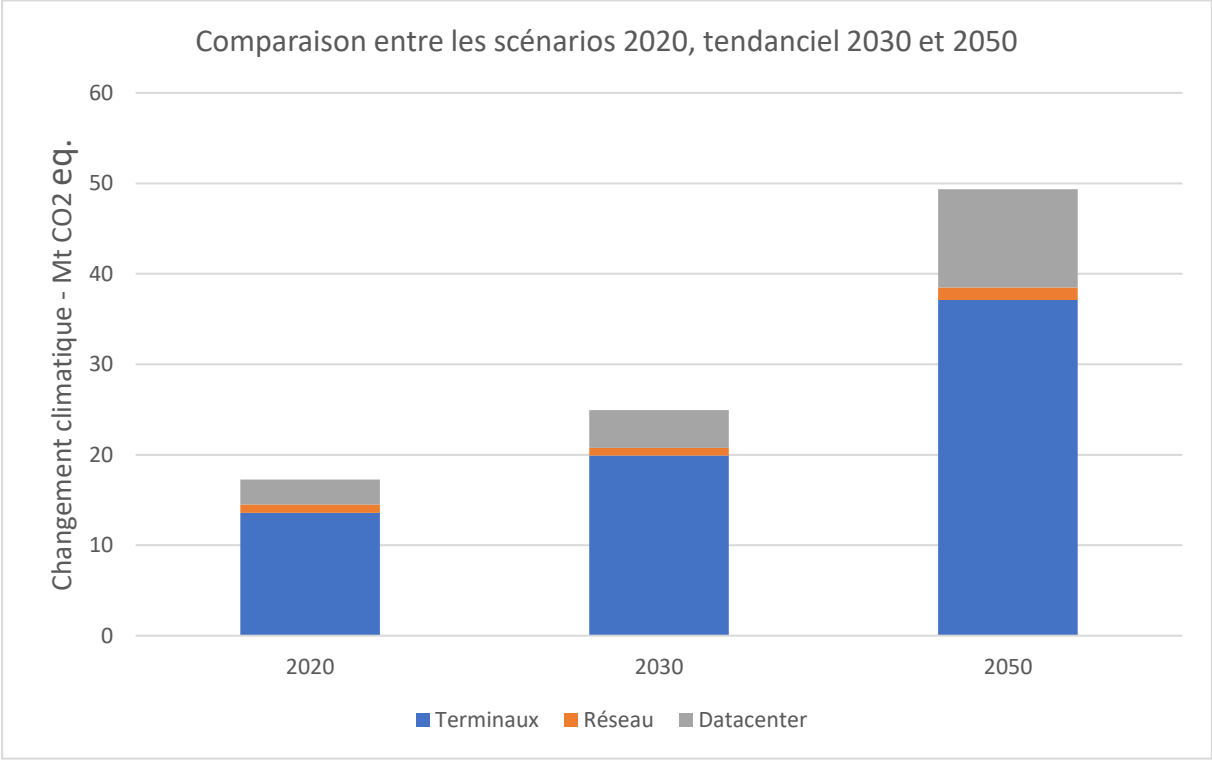
sur la période 2020-2050) pour atteindre environ 93 TWh, dans des conditions d'utilisation du numérique sans réelles remises en question.

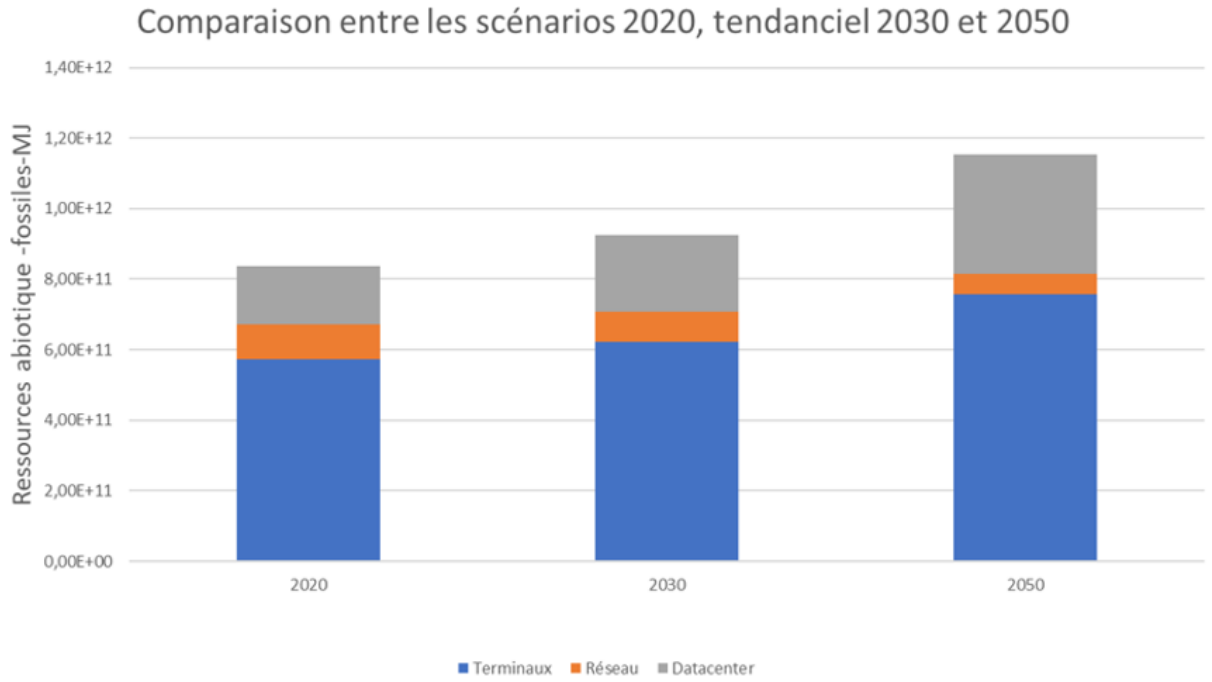
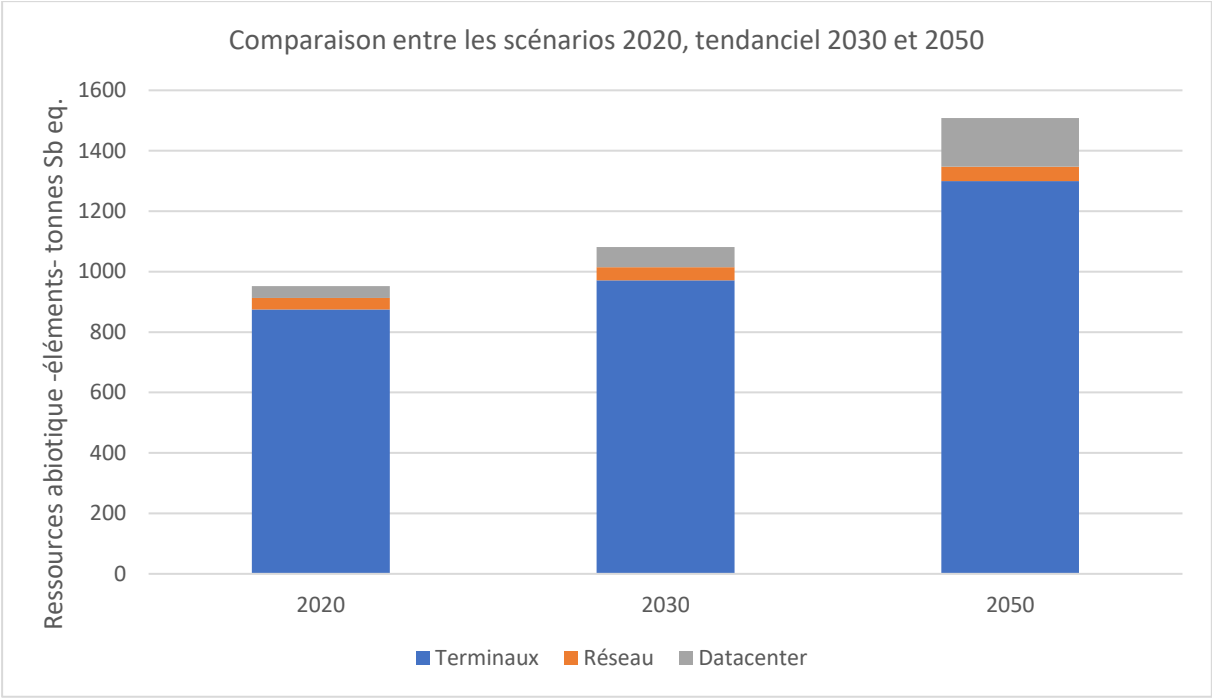
- Ce sont surtout les centres de données qui devraient connaître la plus forte progression de consommation électrique sur la période 2020-2050. La part des centres de données devrait passer d'environ 23% de la consommation électrique du numérique à plus de 42% sur cette période ce qui correspondrait à une multiplication par 3,6 entre leur consommation de 2020 et celle de 2050. Une analyse temporelle plus précise montre une accélération de cette consommation sur la période 2030-2050 avec un taux de croissance moyen de 4,4% par an contre 3,5% par an sur la période 2020-2030.
- Concernant les technologies réseaux, de façon globale, il est intéressant de noter une augmentation moyenne de 31% de leur consommation électrique sur cette période de 30 ans. La part des réseaux télécoms devrait en outre diminuer dans la consommation électrique passant de 14% à 10% entre 2020 et 2050. Une analyse plus fine permet tout de même de distinguer d'une part les réseaux fixes et d'autre part les réseaux mobiles qui n'auront pas les mêmes évolutions.
 - Les réseaux fixes sont ceux qui devraient connaître la plus faible évolution de leur consommation énergétique sur cette période de 30 ans, avec une augmentation de 0,2%. La migration vers la fibre optique, les changements prévus dans les cœurs de réseaux devraient effectivement assurer une relativement bonne maîtrise énergétique par rapport aux autres réseaux.
 - Quant aux réseaux mobiles, il est tout de même important de constater qu'ils devraient y avoir une multiplication de leur consommation énergétique par 2,4 sur cette période de 30 ans. Cette augmentation est à mettre en lumière de l'évolution du nombre d'équipements mobiles qui seront opérationnels. Ainsi, même si la consommation énergétique vient à augmenter, elle serait tout de même mieux maîtrisée de façon unitaire que pour les équipements actuellement opérationnels.
- Enfin les terminaux, qui représentent 64% de la consommation électrique en 2020, ne devraient plus peser que moins de la moitié de la consommation électrique en 2050 (48%). La croissance de la consommation électrique des terminaux devrait en effet être légèrement inférieure à la moitié de celle de l'ensemble du numérique sur 30 ans.
- La consommation de ressources va également croître de manière importante passant par exemple pour l'indicateur MIPS de 63,7 millions de tonnes en 2020 à 88 millions de tonnes en 2030 et 178 millions de tonnes en 2050. L'indicateur épuisement des ressources abiotiques minérales, marqueur notamment de la dépendance du numérique aux métaux stratégiques suit également une progression croissante qui s'accélère (cf. tableau ci-dessous) accentuant la pression sur les ressources et ainsi augmentant les risques de pénurie dans les années à venir.

Les résultats environnementaux globaux pour 1 an de services numériques en France sont présentés dans le tableau suivant :

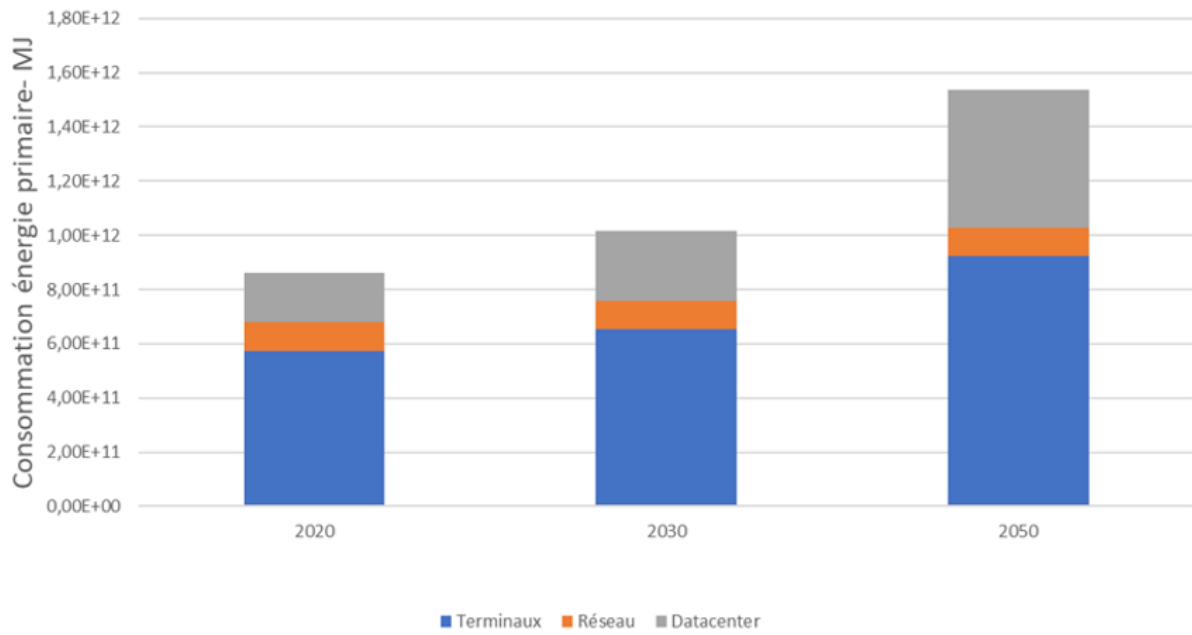
	Épuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Épuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ
2020	9,52E+05	8,38E+11	1,72E+10	1,04E+11	6,37E+10	2,02E+10	8,63E+11
2030	1,08 E+06	9,26 E+11	2,50 E+10	1,02 E+11	8,80 E+10	2,52 E+10	1,02 E+12
2050	1,51+06	1,15 E+12	4,94 E+10	9,98 E+10	1,78 E+11	4,89 E+10	1,54 E+12

Dans les résultats environnementaux globaux, les plus fortes croissances annuelles entre 2020 et 2050 peuvent être constatées sur les émissions de CO₂, le MIPS et la production de déchets avec des taux de croissance annuel moyen entre 3% et 3,6%. L'épuisement des ressources abiotiques naturelles et la consommation d'énergie primaire croissent à un rythme plus modéré entre 1 et 2% par an. Enfin, le seul résultat affichant une décroissance sur la période 2020-2050 sont les radiations ionisantes qui présentent une baisse de 0,14% par an durant la période en raison de la diminution de la part du nucléaire dans le mix électrique.

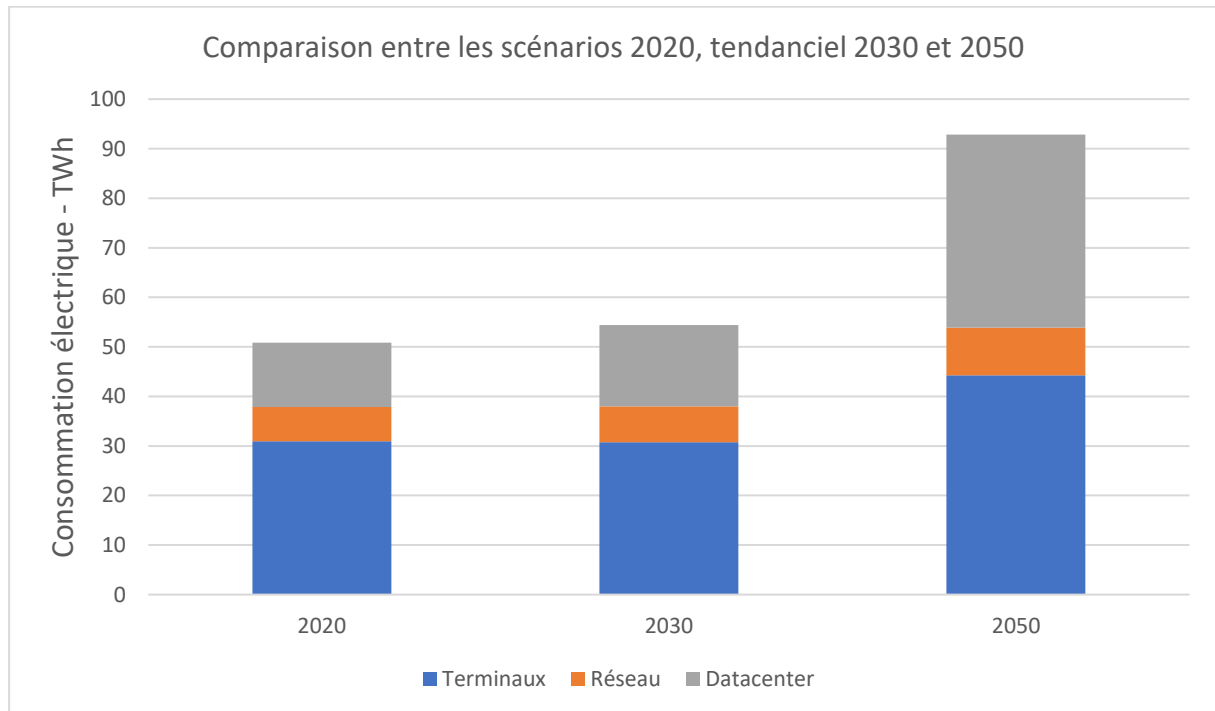




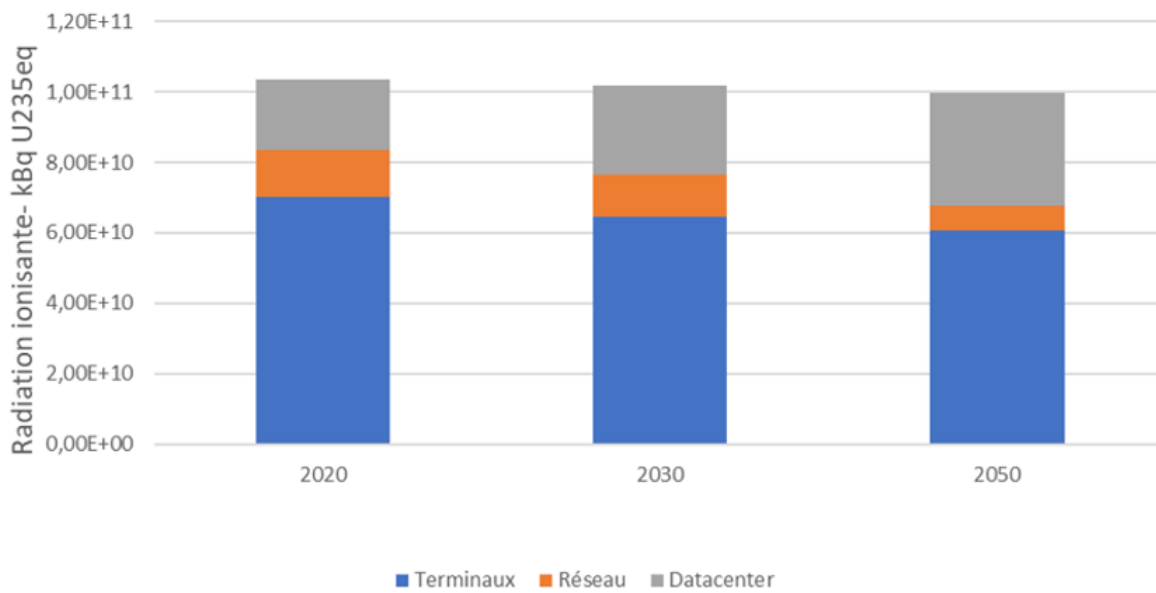
Comparaison entre les scénarios 2020, tendanciel 2030 et 2050



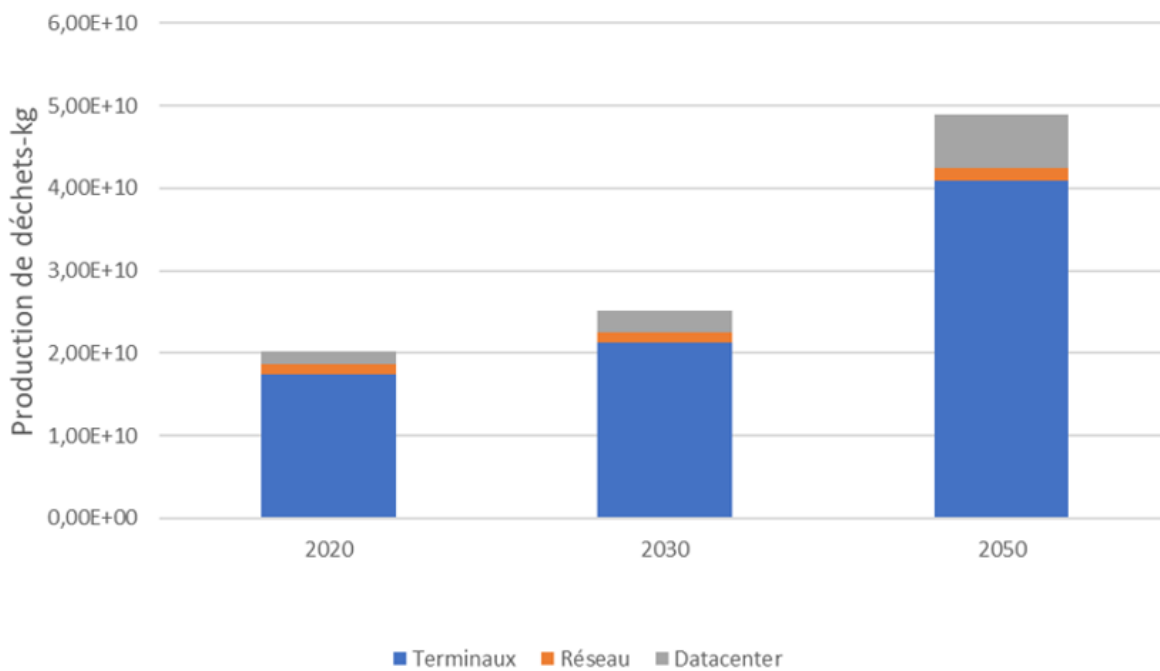
Comparaison entre les scénarios 2020, tendanciel 2030 et 2050



Comparaison entre les scénarios 2020, tendanciel 2030 et 2050



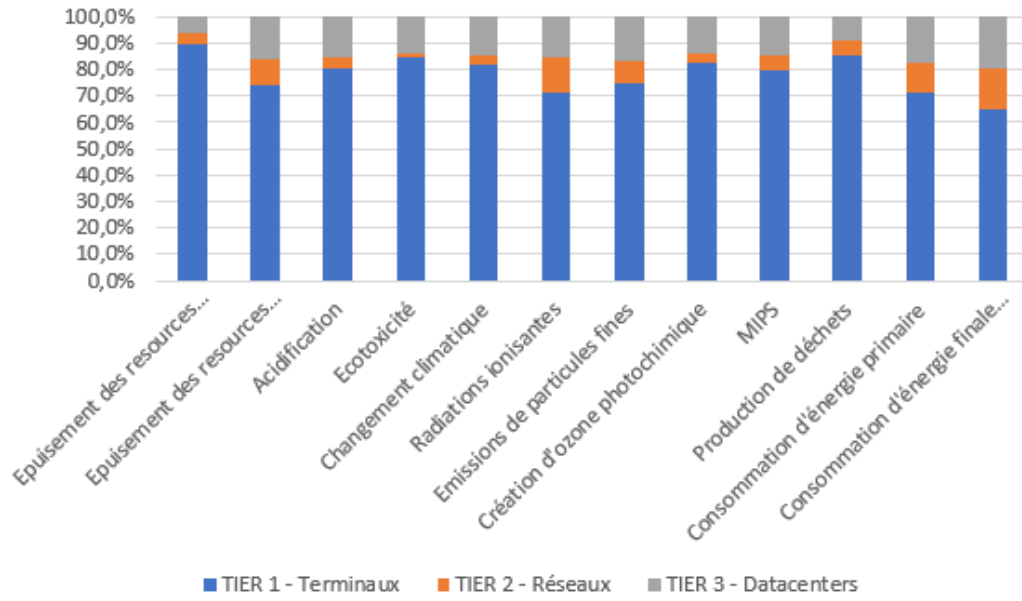
Comparaison entre les scénarios 2020, tendanciel 2030 et 2050



6.2. Interprétation du scénario tendanciel à 2030

Répartition de l'impact entre les trois briques du numérique en 2030 :

Répartition des impacts selon les 3 tiers

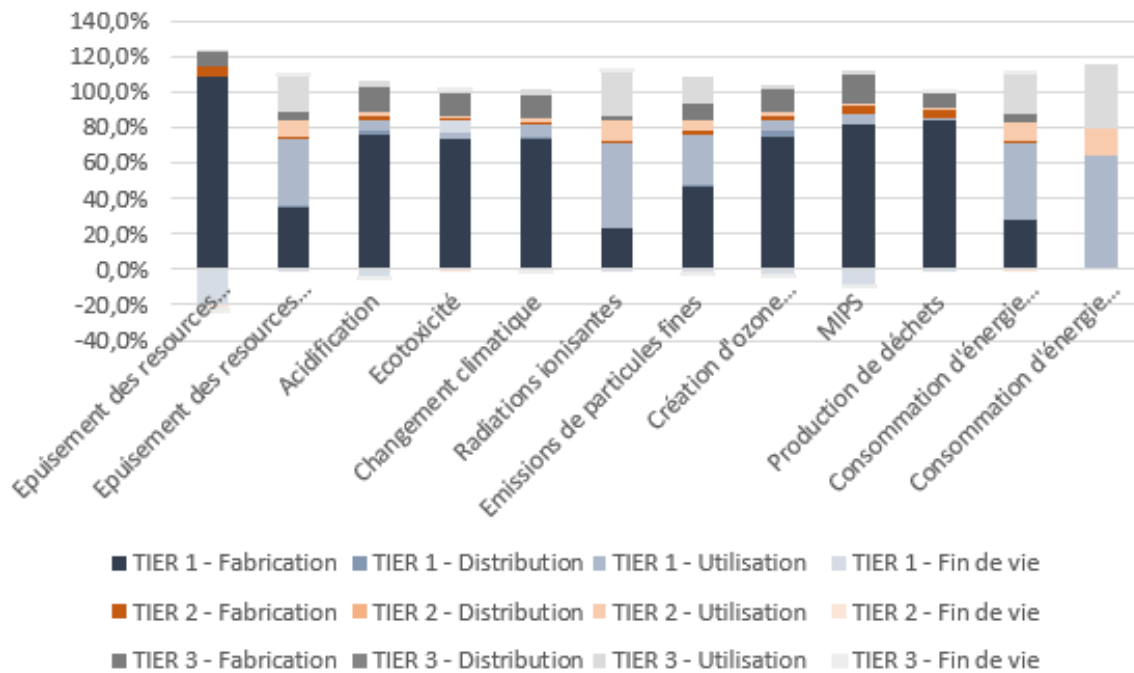


	Épuisement des ressources abiotiques - éléments	Épuisement des ressources abiotiques - naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
TIER 1 - Terminaux	89,8%	67,1%	79,0%	82,9%	79,8%	63,1%	69,7%	80,7%	77,0%	84,2%	64,1%	56,5%
TIER 2 - Réseaux	4,0%	9,3%	3,7%	1,9%	3,5%	11,9%	7,7%	3,6%	5,5%	5,3%	10,3%	13,4%
TIER 3 - Datacenters	6,2%	23,5%	17,4%	15,2%	16,8%	24,9%	22,6%	15,6%	17,6%	10,5%	25,6%	30,1%

Ainsi, de la même manière qu'en 2020, le tier terminaux serait la source principale d'impact environnemental ; quel que soit l'indicateur, suivis du tier centres de données. Les terminaux représenteraient entre 63% et 90% des impacts selon l'indicateur considéré (excepté la consommation d'énergie finale pour laquelle ils représentent 56,5 % de celle-ci).

Détail de la répartition de l'impact en fonction des phases du cycle de vie :

Répartition des impacts selon les phases du cycle de vie



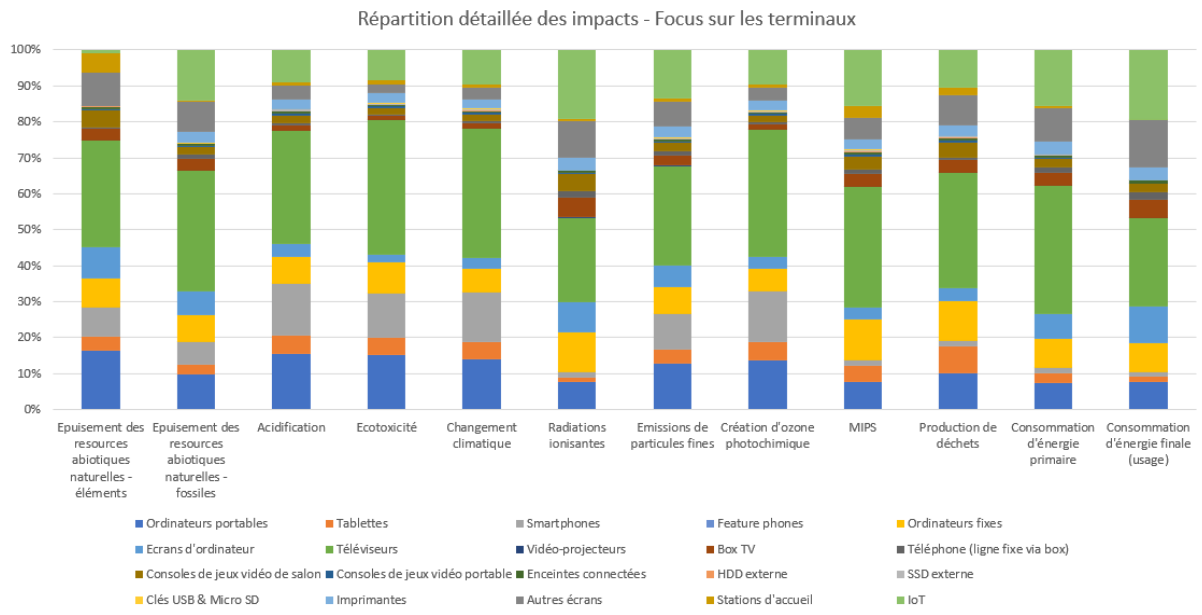
	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
TIER 1 - Terminaux	89,8%	67,1%	79,0%	82,9%	79,8%	63,1%	69,7%	80,7%	77,0%	84,2%	64,1%	56,5%
TIER 1 - Fabrication	109,0%	32,3%	74,3%	72,2%	72,9%	20,7%	43,6%	73,2%	79,6%	82,9%	24,9%	0,0%
TIER 1 - Distribution	0,3%	0,3%	2,4%	0,5%	0,9%	0,0%	0,6%	4,0%	0,2%	0,2%	0,3%	0,0%
TIER 1 - Utilisation	0,1%	34,5%	6,3%	3,0%	6,1%	42,5%	26,8%	5,7%	5,5%	1,2%	39,0%	56,5%
TIER 1 - Fin de vie	-19,5%	0,0%	-4,0%	7,2%	-0,1%	-0,1%	-1,3%	-2,2%	-8,4%	-0,1%	-0,1%	0,0%
TIER 2 - Réseaux	4,0%	9,3%	3,7%	1,9%	3,5%	11,9%	7,7%	3,6%	5,5%	5,3%	10,3%	13,4%
TIER 2 - Fabrication	6,1%	1,1%	2,3%	1,4%	2,0%	1,9%	1,4%	2,1%	4,7%	4,9%	1,1%	0,0%
TIER 2 - Distribution	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
TIER 2 - Utilisation	0,0%	8,2%	1,5%	0,7%	1,4%	10,1%	6,3%	1,4%	1,3%	0,3%	9,2%	13,4%
TIER 2 - Fin de vie	-2,1%	0,0%	-0,3%	-0,3%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,2%	-0,5%	0,1%	0,0%	0,0%
TIER 3 - Datacenters	6,2%	23,5%	17,4%	15,2%	16,8%	24,9%	22,6%	15,6%	17,6%	10,5%	25,6%	30,1%
TIER 3 - Fabrication	8,1%	5,1%	14,3%	13,1%	13,2%	2,3%	8,4%	12,6%	15,4%	9,8%	4,9%	0,0%
TIER 3 - Distribution	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,0%	0,2%	0,3%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
TIER 3 - Utilisation	0,1%	18,3%	3,2%	1,5%	3,4%	22,6%	14,2%	3,0%	2,8%	0,6%	20,7%	30,1%
TIER 3 - Fin de vie	-2,0%	0,0%	-0,3%	0,6%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,2%	-0,7%	0,0%	0,0%	0,0%
Fabrication - Total	123,2%	38,6%	90,9%	86,8%	88,2%	24,9%	53,4%	87,9%	99,6%	97,6%	30,9%	0,0%
Distribution - Total	0,3%	0,4%	2,7%	0,6%	1,1%	0,0%	0,8%	4,6%	0,3%	0,3%	0,4%	0,0%
Utilisation - Total	0,2%	61,0%	11,0%	5,2%	10,9%	75,2%	47,3%	10,0%	9,7%	2,1%	68,9%	100,0%
Fin de vie - Total	-23,7%	0,0%	-4,6%	7,5%	-0,1%	-0,1%	-1,5%	-2,6%	-9,6%	0,1%	-0,1%	0,0%

La phase d'utilisation génère le plus d'effets sur les indicateurs de radiations ionisantes et ceux liés à la consommation d'énergie des équipements et infrastructures numériques présents sur le sol français.

En effet cette consommation d'énergie est principalement d'origine électrique et le mix de production électrique utilisé en France est principalement composé de nucléaire ce qui a donc une influence sur l'indicateur radiations ionisantes. Celui-ci étant présent de manière substantielle dans le mix français, cela explique que la phase d'utilisation d'un produit a généralement un fort impact sur cet indicateur.

L'impact de la phase de fabrication des terminaux pour l'indicateur d'épuisement des ressources fossiles est à peu près égal à l'impact de l'utilisation des terminaux. La phase d'utilisation (qui a donc lieu en France) va utiliser une électricité en grande partie d'origine nucléaire qui est une énergie bas carbone utilisant de l'uranium. Or, l'uranium appartient aux groupes des ressources dites fossiles et son utilisation induite par la phase d'utilisation va donc également jouer sur l'indicateur d'épuisement des ressources fossiles.

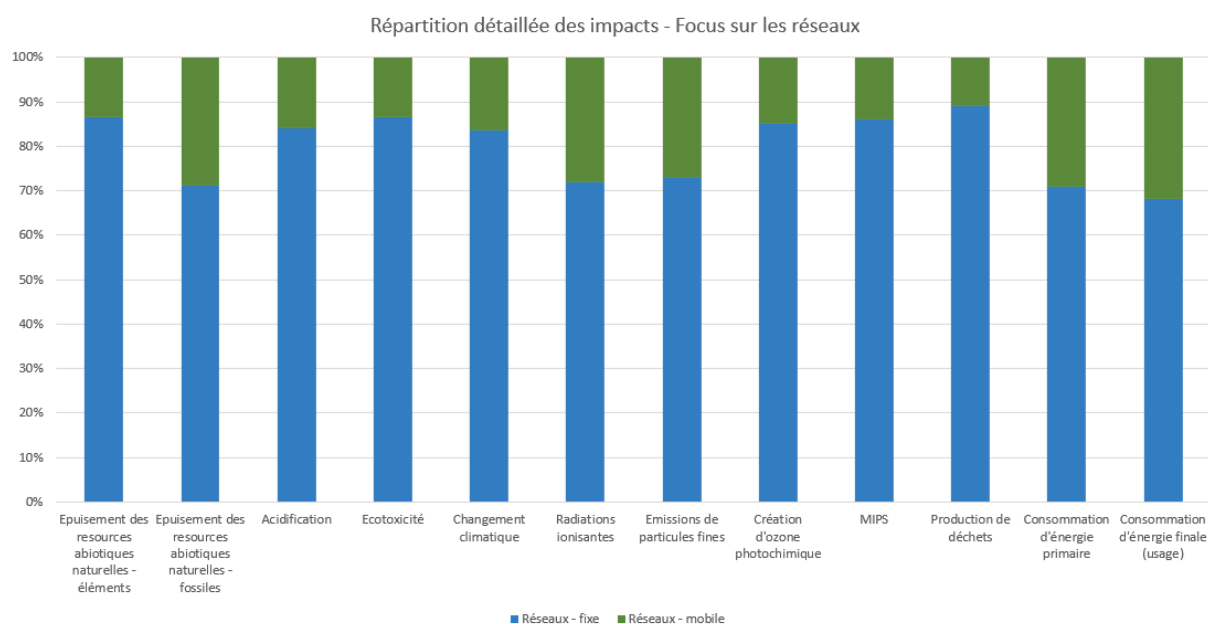
Détail de la répartition de l'impact au sein de la brique des terminaux :



	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Ordinateurs portables	16,2%	9,7%	15,5%	15,2%	14,1%	7,6%	12,9%	13,5%	7,7%	10,0%	7,3%	7,8%
Tablettes	3,9%	2,7%	5,2%	4,7%	4,8%	1,4%	3,8%	5,3%	4,6%	7,5%	2,8%	1,4%
Smartphones	8,2%	6,3%	14,4%	12,2%	13,5%	1,5%	9,7%	13,9%	1,3%	1,4%	1,4%	1,2%
Feature phones	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%
Ordinateurs fixes	8,1%	7,5%	7,3%	8,8%	6,6%	10,9%	7,6%	6,2%	11,4%	11,1%	8,2%	8,1%
Ecrans d'ordinateur	8,6%	6,7%	3,6%	2,2%	3,2%	8,4%	5,8%	3,4%	3,2%	3,5%	6,9%	10,0%
Téléviseurs	29,7%	33,4%	31,4%	37,3%	35,7%	23,5%	27,8%	35,3%	33,7%	32,1%	35,7%	24,6%
Vidéo-projecteurs	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%
Box TV	3,2%	3,1%	1,7%	1,2%	1,6%	5,6%	2,8%	1,5%	3,5%	3,5%	3,6%	4,9%
Téléphone (ligne fixe via box)	0,3%	1,3%	0,6%	0,3%	0,5%	1,7%	1,1%	0,5%	1,1%	0,7%	1,5%	2,2%
Consoles de jeux vidéo de salon	4,9%	2,0%	2,1%	1,9%	1,9%	4,7%	2,3%	1,9%	3,8%	4,3%	2,2%	2,4%
Consoles de jeux vidéo portable	0,2%	0,3%	0,6%	0,5%	0,5%	0,3%	0,4%	0,5%	0,5%	0,4%	0,3%	0,1%
Casque réalité virtuelle	0,7%	0,7%	1,7%	1,4%	1,6%	0,1%	1,1%	1,6%	1,4%	1,2%	0,7%	0,0%
Enceintes connectées	0,5%	0,6%	0,4%	0,2%	0,3%	0,8%	0,5%	0,3%	0,6%	0,6%	0,7%	0,9%
HDD externe	0,4%	0,0%	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,4%	0,0%	0,0%
SSD externe	0,0%	0,2%	0,5%	0,4%	0,5%	0,0%	0,3%	0,4%	0,4%	0,1%	0,2%	0,0%
Clés USB & Micro SD	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,0%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%
Imprimantes	0,1%	3,1%	2,5%	2,6%	2,3%	3,3%	3,1%	2,6%	2,7%	2,9%	3,4%	3,6%
Autres écrans	9,2%	8,2%	3,8%	2,4%	3,3%	10,4%	7,0%	3,5%	6,2%	8,5%	9,4%	13,0%
Stations d'accueil	5,4%	0,5%	1,0%	1,2%	0,9%	0,5%	0,8%	0,9%	3,2%	2,0%	0,5%	0,1%
IoT	0,9%	14,1%	9,1%	8,5%	9,7%	19,1%	13,6%	9,8%	15,5%	10,6%	15,7%	19,4%

Dans le détail des terminaux, les téléviseurs resteraient le vecteur d'impacts le plus important suivi par les ordinateurs, les smartphones et l'IoT. L'empreinte environnementale associée aux téléviseurs est principalement liée à la taille des écrans. Les smartphones et ordinateurs portables ont une empreinte environnementale importante mais plutôt liée à un effet volume.

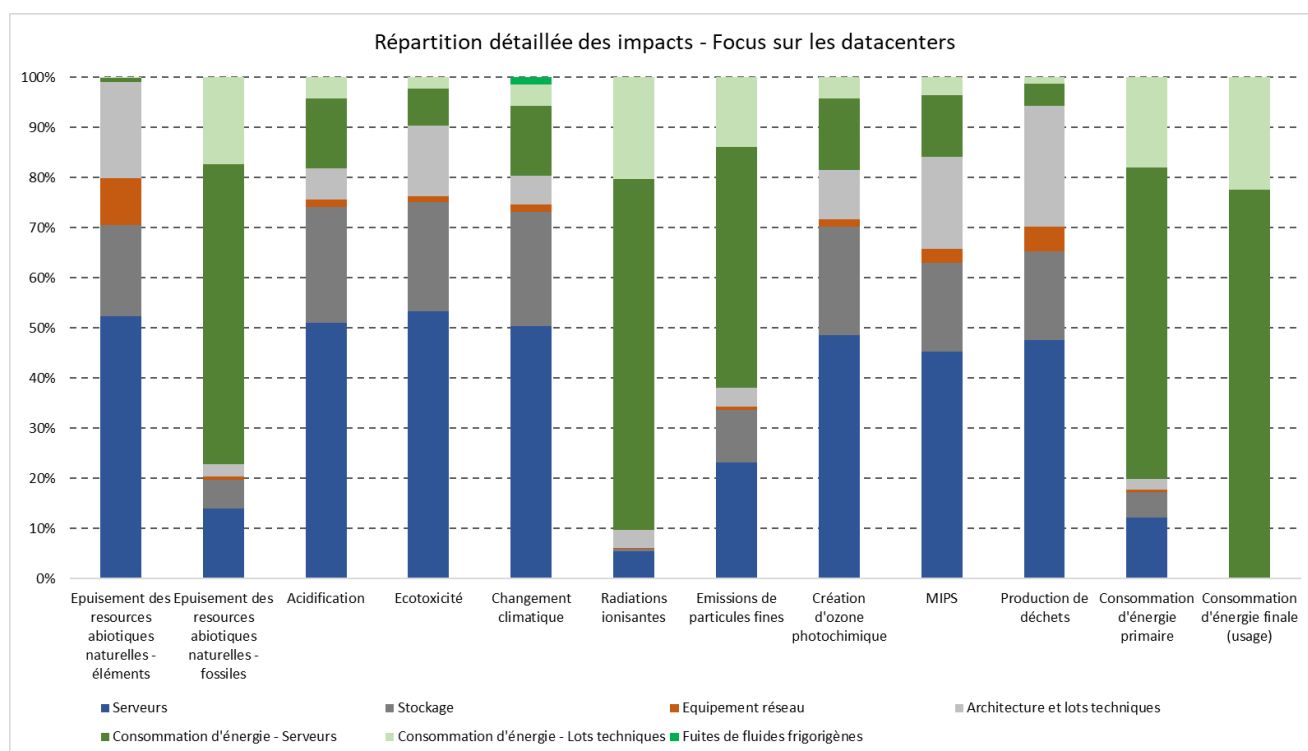
Détail de l'impact au sein de la brique réseau entre les réseaux fixe et mobile :



	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Réseaux - fixe	86,5%	71,3%	84,1%	86,5%	83,7%	72,0%	72,9%	85,0%	86,2%	89,0%	70,8%	68,1%
Réseaux - mobile	13,5%	28,7%	15,9%	13,5%	16,3%	28,0%	27,1%	15,0%	13,8%	11,0%	29,2%	31,9%

Concernant les réseaux, le réseau fixe génère la majorité des impacts pour l'ensemble des indicateurs. Cependant, le réseau fixe traite 380.88 Eo (Exa octet) tandis que le réseau mobile en traite seulement 145.21.

Détail de l'impact au sein de la brique centres de données :



	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Serveurs	52,3%	13,9%	51,0%	53,3%	50,4%	5,4%	23,1%	48,5%	45,2%	47,6%	12,1%	0,0%
Stockage	18,1%	5,9%	23,1%	21,8%	22,8%	0,5%	10,5%	21,7%	17,7%	17,7%	5,1%	0,0%
Equipement réseau	9,4%	0,5%	1,4%	1,1%	1,4%	0,2%	0,6%	1,5%	2,8%	4,9%	0,4%	0,0%
Architecture et lots techniques	19,1%	2,5%	6,3%	14,2%	5,7%	3,5%	3,8%	9,7%	18,4%	24,1%	2,2%	0,0%
Consommation d'énergie - Serveurs	0,8%	59,8%	13,9%	7,4%	14,0%	70,0%	47,9%	14,3%	12,2%	4,4%	62,1%	77,5%
Consommation d'énergie - Lots techniques	0,2%	17,4%	4,2%	2,3%	4,2%	20,3%	14,0%	4,3%	3,6%	1,3%	18,1%	22,5%
Fuites de fluides frigorigènes	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

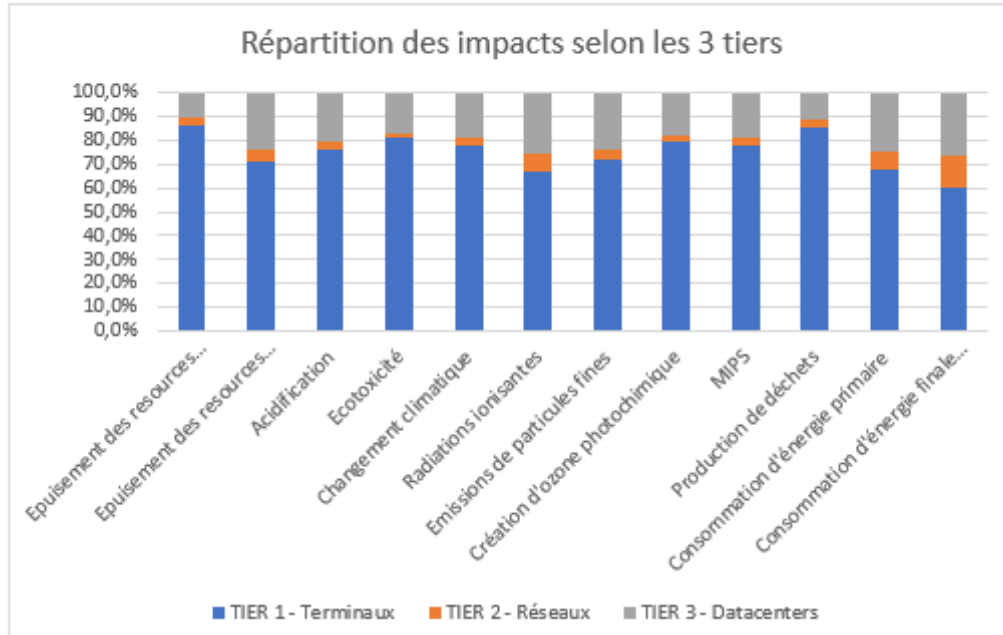
Les serveurs et leurs consommation associée, sont les principales sources d'impact au sein des diverses catégories composant le détail de la brique centres de données.

Comme attendu, la consommation des serveurs a beaucoup d'impacts sur les indicateurs d'épuisement des ressources fossiles, de radiations ionisantes et de consommation d'énergie finale pour les mêmes raisons qu'évoquées précédemment. Le stockage est également un des postes au sein des centres de données avec le plus d'effets sur l'environnement.

6.3. Interprétation du scénario tendanciel à 2050

Répartition de l'impact parmi les trois briques du numérique :

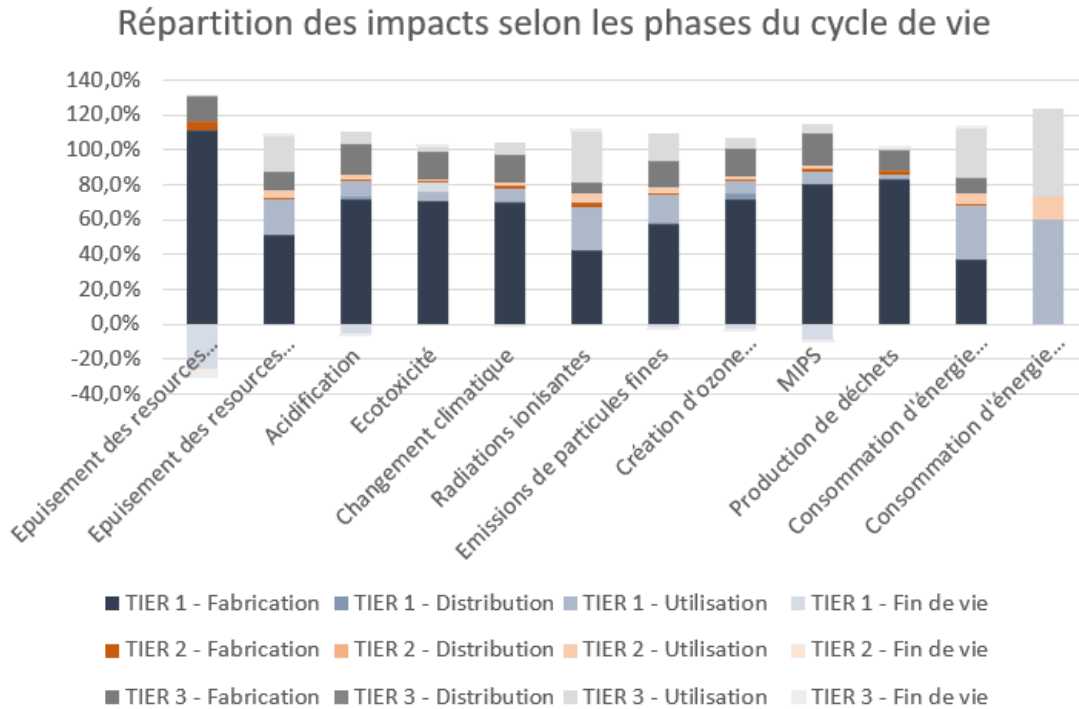
REPARTITION DES IMPACTS SELON LES 3 TIERS



	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
TIER 1 - Terminaux	86,2%	65,7%	73,5%	79,0%	75,2%	60,7%	67,3%	76,7%	74,7%	83,7%	60,2%	47,7%
TIER 2 - Réseaux	3,1%	4,9%	3,0%	1,7%	2,7%	7,0%	4,3%	2,7%	3,6%	3,2%	6,7%	10,4%
TIER 3 - Datacenters	10,7%	29,4%	23,5%	19,3%	22,1%	32,3%	28,4%	20,6%	21,7%	13,1%	33,1%	42,0%

Les terminaux restent le premier vecteur d'impact et représentent 60 à 85% des impacts sur tous les indicateurs (excepté la consommation d'énergie finale dont il représente près de 50 % de celle-ci) suivis des centres de données. Bien que les ordres de grandeurs restent similaires par rapport à 2020, l'impact des terminaux diminue légèrement en moyenne au profit de celui des centres de données.

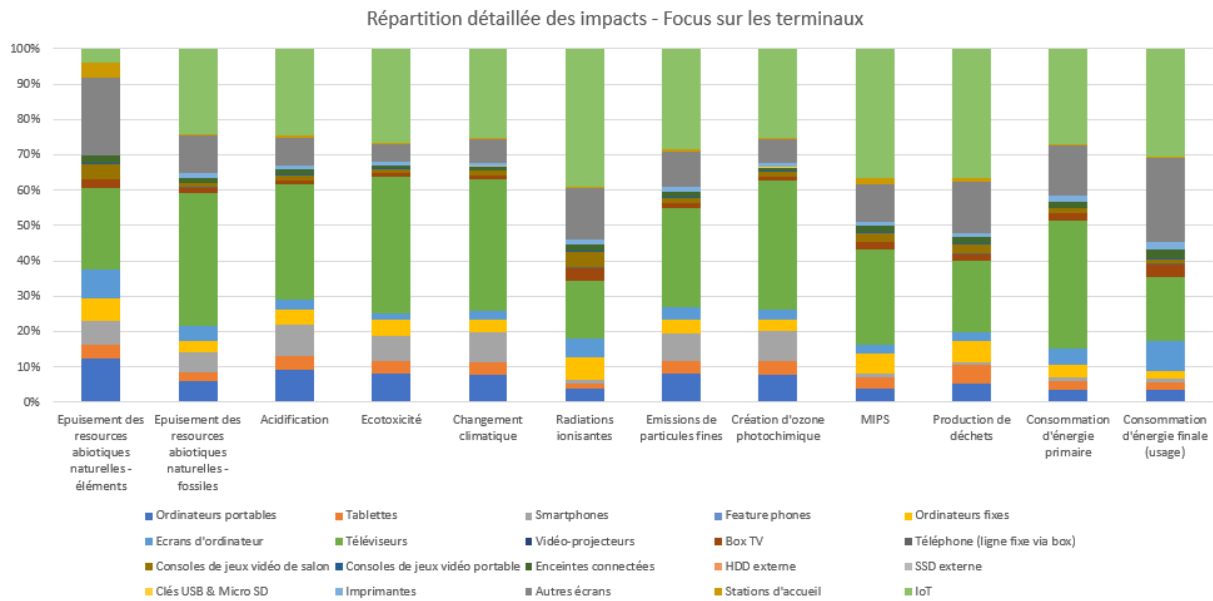
Détail de la répartition de l'impact en fonction des phases du cycle de vie :



	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
TIER 1 - Terminaux	86,2%	65,7%	73,5%	79,0%	75,2%	60,7%	67,3%	76,7%	74,7%	83,7%	60,2%	47,7%
TIER 1 - Fabrication	110,9%	47,2%	68,4%	68,4%	67,1%	38,3%	53,7%	68,9%	77,2%	81,7%	32,8%	0,0%
TIER 1 - Distribution	0,3%	0,4%	2,2%	0,4%	0,7%	0,0%	0,8%	3,6%	0,2%	0,2%	0,3%	0,0%
TIER 1 - Utilisation	0,1%	18,1%	8,3%	4,8%	7,5%	22,5%	14,8%	6,7%	6,3%	1,8%	27,2%	47,7%
TIER 1 - Fin de vie	-25,2%	-0,1%	-5,4%	5,4%	-0,2%	-0,1%	-2,0%	-2,5%	-8,9%	-0,1%	-0,2%	0,0%
TIER 2 - Réseaux	3,1%	4,9%	3,0%	1,7%	2,7%	7,0%	4,3%	2,7%	3,6%	3,2%	6,7%	10,4%
TIER 2 - Fabrication	4,8%	1,0%	1,3%	0,8%	1,1%	2,1%	1,1%	1,2%	2,5%	2,7%	0,8%	0,0%
TIER 2 - Distribution	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
TIER 2 - Utilisation	0,0%	3,9%	1,8%	1,0%	1,6%	4,9%	3,2%	1,5%	1,4%	0,4%	5,9%	10,4%
TIER 2 - Fin de vie	-1,7%	0,0%	-0,2%	-0,2%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,1%	-0,3%	0,1%	0,0%	0,0%
TIER 3 - Datacenters	10,7%	29,4%	23,5%	19,3%	22,1%	32,3%	28,4%	20,6%	21,7%	13,1%	33,1%	42,0%
TIER 3 - Fabrication	14,0%	9,7%	17,5%	15,0%	15,9%	5,5%	13,7%	15,3%	17,6%	11,8%	7,7%	0,0%
TIER 3 - Distribution	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%	0,2%	0,0%	0,2%	0,4%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
TIER 3 - Utilisation	0,1%	19,5%	6,2%	3,5%	6,0%	26,8%	14,7%	5,2%	4,9%	1,3%	25,4%	42,0%
TIER 3 - Fin de vie	-3,5%	0,0%	-0,4%	0,7%	0,0%	0,0%	-0,2%	-0,3%	-0,8%	0,0%	0,0%	0,0%
Fabrication - Total	129,7%	57,9%	87,1%	84,2%	84,1%	45,8%	68,5%	85,4%	97,3%	96,3%	41,2%	0,0%
Distribution - Total	0,4%	0,6%	2,4%	0,5%	0,9%	0,0%	1,0%	4,1%	0,2%	0,3%	0,4%	0,0%
Utilisation - Total	0,3%	41,6%	16,3%	9,3%	15,2%	54,3%	32,7%	13,4%	12,5%	3,5%	58,6%	100,0%
Fin de vie - Total	-30,4%	0,0%	-5,9%	6,0%	-0,2%	-0,1%	-2,2%	-2,9%	-10,1%	0,0%	-0,1%	0,0%

C'est la fabrication des terminaux (le Tier 1) qui est la phase de vie la plus structurante dans l'empreinte environnementale du numérique. D'autre part, la phase d'utilisation des terminaux et des centres de données ainsi que la phase de fabrication des centres de données sont des phases également substantielles de l'empreinte environnementale du numérique.

Détail de la répartition de l'impact au sein de la brique des terminaux :

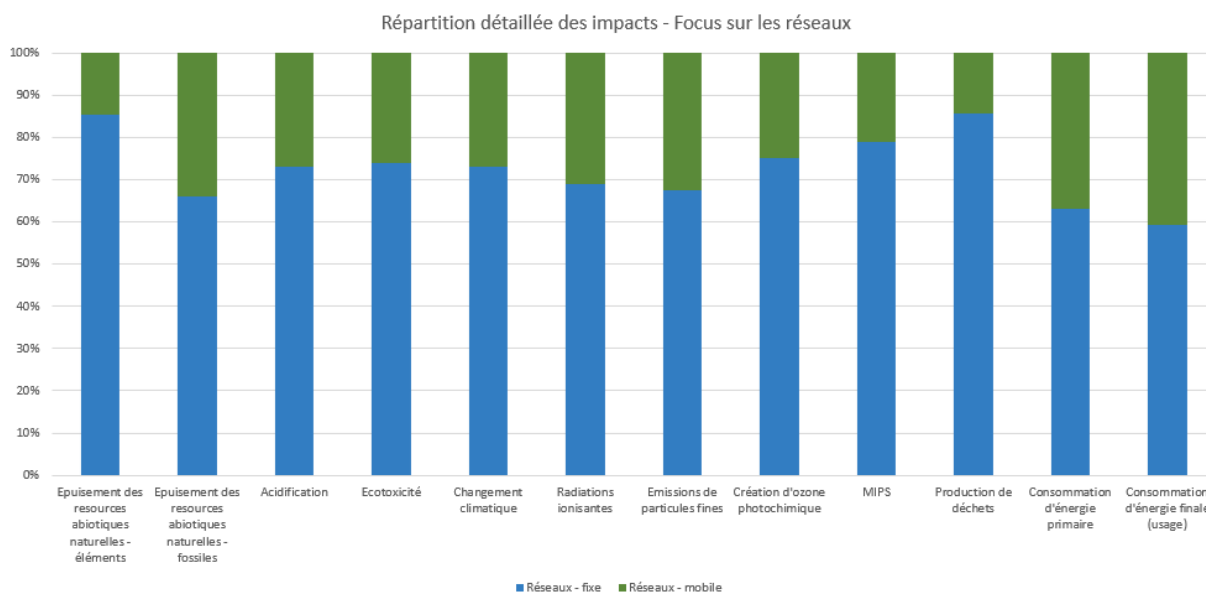


	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Ordinateurs	12.5%	5.9%	9.0%	8.3%	7.9%	3.9%	8.2%	7.7%	4.1%	5.4%	3.5%	3.6%
Tablettes	3.8%	2.7%	3.9%	3.3%	3.5%	1.3%	3.6%	3.9%	3.2%	5.1%	2.7%	1.9%
Smartphone	6.8%	5.5%	9.1%	7.2%	8.3%	1.2%	7.8%	8.6%	0.8%	0.8%	1.0%	1.2%
Feature phone	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Ordinateurs	6.2%	3.4%	4.1%	4.7%	3.6%	6.5%	3.8%	3.4%	5.9%	5.9%	3.3%	2.1%
Ecrans d'ordi	8.1%	4.0%	3.0%	1.8%	2.6%	5.3%	3.7%	2.7%	2.3%	2.4%	4.7%	8.5%
Téléviseurs	23.0%	37.8%	32.5%	38.8%	37.2%	16.0%	27.8%	36.6%	27.1%	20.4%	36.3%	18.3%
Vidéo-proje	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Box TV	2.5%	1.5%	1.2%	0.8%	1.1%	3.7%	1.5%	1.0%	2.0%	1.9%	2.0%	3.4%
Téléphone (0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	0.3%
Consoles de	4.5%	1.2%	1.5%	1.2%	1.3%	4.4%	1.5%	1.3%	2.4%	2.7%	1.3%	1.3%
Consoles de	0.2%	0.2%	0.3%	0.2%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%	0.0%
Casque réali	3.7%	3.8%	6.5%	5.1%	5.9%	0.4%	5.4%	6.0%	4.7%	4.4%	3.3%	0.1%
Enceintes co	2.1%	1.3%	1.2%	0.7%	1.0%	1.9%	1.4%	1.0%	1.6%	1.7%	1.7%	2.7%
HDD externe	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
SSD externe	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Clés USB & M	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Imprimantes	0.1%	1.3%	1.2%	1.1%	1.0%	1.4%	1.3%	1.1%	1.1%	1.1%	1.5%	2.0%
Autres écran	22.0%	10.7%	7.8%	4.8%	6.6%	14.4%	10.0%	6.8%	10.7%	14.4%	14.4%	24.0%
Stations d'ac	4.2%	0.4%	0.6%	0.6%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	1.7%	1.1%	0.3%	0.1%
IoT	3.9%	24.0%	24.5%	26.5%	25.0%	38.9%	28.5%	25.1%	36.6%	36.6%	26.9%	30.6%

Dans le détail, les téléviseurs représentent le poste principal d'empreinte environnementale (pour la plupart des indicateurs considérés). L'impact des téléviseurs s'explique par leur écran, qui est le composant à l'origine d'une empreinte environnementale importante pour la plupart des terminaux.

Le seconde type de terminal emportant le plus d'empreinte environnementale (sur tous les critères retenus à l'exception de l'épuisement de ressources abiotiques métaux et minéraux) est l'IoT. Cette catégorie s'est fortement développée sur l'horizon de modélisation contrairement à 2020 où sa contribution était négligeable. Cette évolution de l'empreinte s'explique principalement par l'effet volume induit par une forte pénétration de l'IoT dans l'économie française.

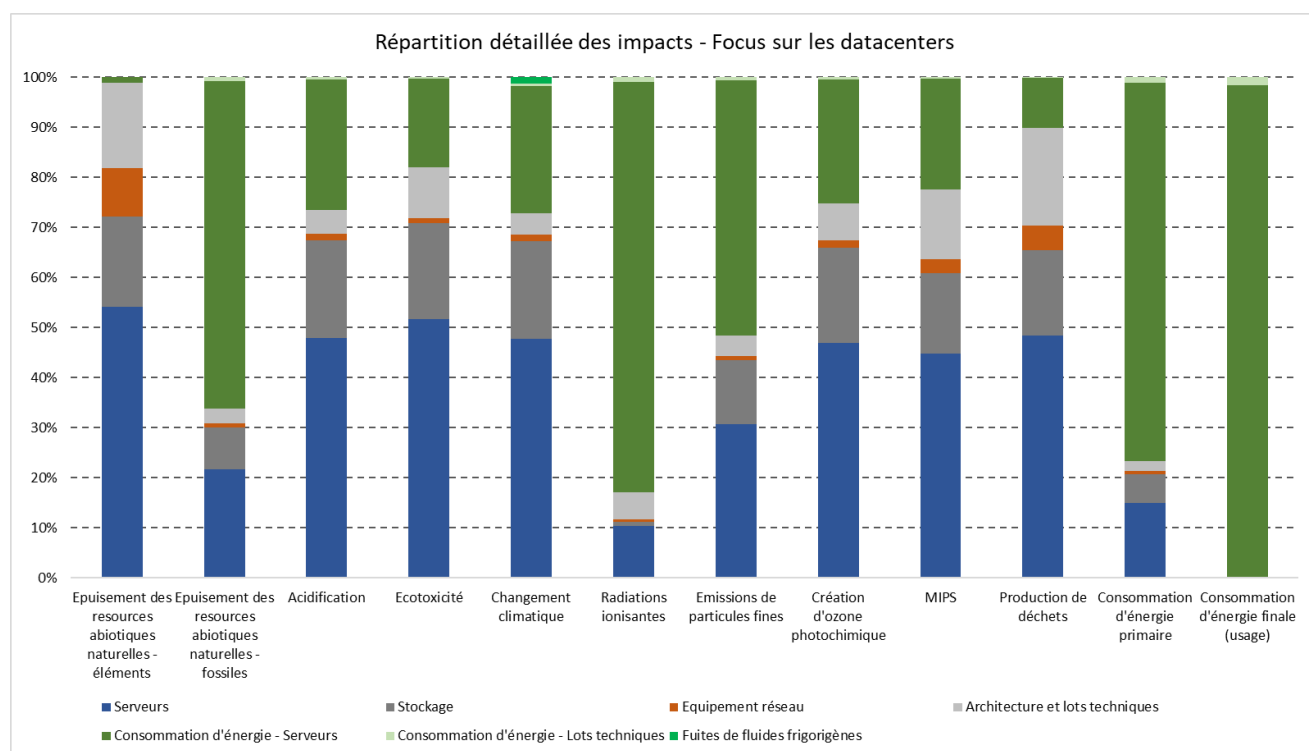
Détail de l'impact au sein de la brique réseau entre les réseaux fixe et mobile :



	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Réseaux - fixe	85.4%	65.9%	73.2%	74.1%	73.1%	69.0%	67.6%	75.2%	79.0%	85.7%	63.1%	59.3%
Réseaux - mobile	14.6%	34.1%	26.8%	25.9%	26.9%	31.0%	32.4%	24.8%	21.0%	14.3%	36.9%	40.7%

Le réseaux fixe représente 60 à 85% des impacts du réseau. De plus, il faut noter que le réseau fixe traite 7 174 Eo tandis que le réseau mobile en traite 11 802. Malgré son utilisation plus importante, le réseau mobile a moins d'impacts que le réseau fixe.

Détail de l'impact au sein de la bricole centres de données :



	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Serveurs	54,0%	21,7%	47,9%	51,6%	47,7%	10,4%	30,7%	46,9%	44,9%	48,4%	15,0%	0,0%
Stockage	18,2%	8,3%	19,6%	19,1%	19,5%	0,8%	12,7%	19,0%	16,0%	17,1%	5,8%	0,0%
Equipement réseau	9,7%	0,8%	1,3%	1,1%	1,4%	0,4%	0,8%	1,4%	2,8%	5,0%	0,5%	0,0%
Architecture et lots techniques	17,0%	3,1%	4,7%	10,1%	4,1%	5,5%	4,1%	7,4%	14,0%	19,4%	2,1%	0,0%
Consommation d'énergie - Serveurs	1,1%	65,3%	26,0%	17,7%	25,5%	81,9%	50,9%	24,8%	22,0%	10,0%	75,5%	98,4%
Consommation d'énergie - Lots techniques	0,0%	0,9%	0,5%	0,3%	0,5%	1,0%	0,7%	0,5%	0,4%	0,2%	1,1%	1,6%
Fuites de fluides frigorigènes	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Les serveurs (phase de fabrication et phase d'utilisation) restent les principaux vecteurs d'impact sur la majorité des indicateurs.

La consommation d'énergie des équipements non-IT représente 0% à 1,6% des impacts. Les centres de données sont donc très efficaces du point de vue des équipements non-IT bien qu'au global leur part dans l'impact du numérique augmente légèrement par rapport à ce qui est observé en 2020. Ainsi, l'efficacité de ces derniers ne compense pas l'expansion du parc nécessaire à nos usages.

6.4. Enseignements du scénario tendanciel 2030-2050 pour chacun des tiers

Ce chapitre a pour but de proposer une analyse selon les trois tiers (terminaux utilisateurs, réseaux et centres de données).

6.4.1. Tier 1 – Equipements utilisateur

Parmi les différents terminaux, ceux qui en 2020 présentent le plus fort impact carbone sont les Smartphones, les téléviseurs, les ordinateurs portables et les ordinateurs fixes. Pour autant cette photographie devrait connaître une évolution dans le temps avec des habitudes de consommations des équipements numériques qui pourraient modifier ces différents impacts. En effet, c'est surtout des objets connectés que viendront les mutations des impacts concernant les émissions eq CO₂ à l'horizon 2050. Cette tendance devrait déjà être amorcée et visible dès 2030.

Si l'ensemble des objets connectés représente environ 5% des 13,6 Mt eq CO₂ des terminaux en 2020, leur part devrait plus que doubler à l'horizon 2030 pour représenter 10% des 19,9 Mt eq CO₂ en 2030 et devrait atteindre près du quart des 37,1 Mt eq CO₂ en 2050.

Typologie de terminaux	2020	2030	2050
Afficheurs électroniques (TV, écrans ordinateurs, vidéoprojecteurs, ...)	26%	41%	44%
Box TV	3%	2%	1%
Consoles de jeux	3%	4%	7%
Enceintes connectées	0%	0%	1%
Objets connectés	5%	10%	24%
Ordinateurs (fixes et portables, tablettes)	35%	25%	14%
Périphériques externes (imprimantes, SSD, HDD, ...)	8%	4%	1%
Téléphone (Smartphone, Feature phone,...)	20%	14%	8%

Tableau 18 – Part des impacts de CO₂ par typologie de terminaux pour les années 2020, 2030 et 2050

Parmi les différents terminaux, ceux qui en 2020 présentent le plus fort impact énergétique sont les afficheurs électroniques qui devraient conserver a priori cette position jusqu'en 2050. Si les ordinateurs représentent en 2020 la deuxième famille de consommation d'énergie, leur part dans l'impact énergétique devrait considérablement s'atténuer. A l'inverse les usages liés aux objets connectés devraient considérablement augmenter pour représenter le tiers de l'énergie consommée par le numérique à l'horizon 2050. Les stratégies liées au Smart building / Smart Home et également aux problématiques de Smart Industries devraient considérablement impacter la consommation énergétique en 2050. En effet, si l'ensemble des objets connectés représente environ 11% des 32,7 TWh d'énergie consommée par les terminaux en 2020, leur part devrait atteindre le tiers des 44,3 TWh d'énergie consommée par les terminaux en 2050.

Typologie de terminaux	2020	2030	2050
Afficheurs électroniques (TV, écrans ordinateurs, vidéoprojecteurs, ...)	52%	48%	51%
Box TV	5%	5%	3%
Consoles de jeux	2%	3%	1%
Enceintes connectées	0%	1%	3%
Objets connectés	11%	19%	31%
Ordinateurs (fixes et portables, tablettes)	22%	17%	8%
Périphériques externes (imprimantes, SSD, HDD, ...)	4%	4%	2%
Téléphone (Smartphone, Feature phone,...)	4%	3%	1%

Tableau 19 – Part des consommations énergétiques par typologie de terminaux pour les années 2020, 2030 et 2050

La part détaillée des impacts environnementaux par type d'équipement selon différents indicateurs est la suivante :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments			Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles			Changement climatique			MIPS			Consommation d'énergie finale (usage)		
	2020	2030 Tend.	2050 Tend.	2020	2030 Tend.	2050 Tend.	2020	2030 Tend.	2050 Tend.	2020	2030 Tend.	2050 Tend.	2020	2030 Tend.	2050 Tend.
Ordinateurs	28%	28%	22%	26%	20%	11%	35%	25%	14%	32%	23%	13%	22%	17%	8%
Ordinateurs portables	13%	16%	12%	9%	10%	6%	16%	14%	7%	8%	8%	4%	7%	8%	4%
Ordinateurs fixes	11%	8%	6%	14%	7%	3%	13%	7%	3%	19%	11%	6%	14%	8%	2%
Tablettes	4%	4%	4%	2%	3%	3%	6%	5%	3%	5%	5%	3%	1%	1%	2%
Téléphones	10%	9%	7%	9%	8%	5%	20%	14%	8%	4%	2%	1%	4%	3%	1%
Smartphones	8%	8%	7%	6%	6%	5%	18%	13%	8%	2%	1%	1%	1%	1%	1%
Feature phones	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
Téléphones (lignes fixes)	0%	0%	0%	2%	1%	0%	1%	0%	0%	2%	1%	0%	3%	2%	0%
Ecrans et matériel	51%	50%	54%	48%	51%	52%	29%	43%	45%	41%	46%	40%	57%	53%	54%
Ecrans d'ordinateurs	8%	9%	8%	7%	7%	4%	4%	3%	2%	4%	3%	2%	8%	10%	8%
Téléviseurs	33%	29%	22%	29%	33%	36%	17%	35%	35%	27%	33%	26%	34%	25%	18%
Vidéo-projecteurs	0%	0%	0%	2%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%	0%	3%	0%	0%
Box TV	4%	3%	2%	4%	3%	1%	3%	2%	1%	5%	3%	2%	5%	5%	3%
Autres écrans	6%	9%	21%	7%	8%	10%	3%	3%	6%	5%	6%	10%	8%	13%	24%
Consoles	5%	6%	8%	2%	3%	5%	3%	4%	7%	5%	6%	7%	2%	3%	1%
Consoles de jeux vidéo de salon	5%	5%	4%	2%	2%	1%	2%	2%	1%	4%	4%	2%	2%	2%	1%
Consoles de jeux vidéo portables	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
Casque de réalité virtuelle	0%	1%	4%	0%	1%	4%	0%	2%	6%	0%	1%	5%	0%	0%	0%
Stockage	1%	0%	0%	1%	0%	0%	3%	1%	0%	3%	1%	0%	0%	0%	0%
HDD externes	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
SSD externes	0%	0%	0%	1%	0%	0%	2%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
Clés USB & Micro SD	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
Autres	5%	5%	4%	5%	4%	2%	5%	3%	1%	8%	6%	3%	4%	4%	2%
Imprimantes	0%	0%	0%	5%	3%	1%	4%	2%	1%	5%	3%	1%	4%	4%	2%
Stations d'accueil	5%	5%	4%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	3%	3%	2%	0%	0%	0%
IoT	0%	1%	6%	9%	15%	24%	5%	10%	25%	7%	16%	36%	11%	20%	33%
Enceintes connectées	0%	1%	2%	0%	1%	1%	0%	0%	1%	0%	1%	2%	0%	1%	3%
Objets connectés E-santé	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%	1%	2%	0%	0%	0%
Objets connectés Sécurité	0%	0%	0%	1%	1%	2%	0%	1%	2%	0%	1%	2%	1%	1%	2%
Objets connectés Smart building	0%	1%	4%	3%	6%	10%	2%	4%	11%	3%	7%	17%	4%	9%	13%
Objets connectés Smart city	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	1%
Objets connectés Smart industry	0%	0%	-1%	3%	6%	10%	2%	4%	10%	2%	5%	13%	3%	7%	14%

6.4.2. Tier 2 –réseaux

Comme évoqué précédemment, les équipements des réseaux fixes et mobiles devraient connaître une diminution de leur empreinte carbone à l'horizon 2050.

C'est essentiellement la phase de fabrication qui sera la principale source de baisse des impacts de carbone, notamment pour les équipements des réseaux fixes.

Données en Mt eq CO ₂	2020	2030	2050
TOTAL	0,94	0,87	1,36

Tableau 20 – Evolution de l'empreinte de CO₂ pour les équipements de réseaux suivants les phases de fabrication et d'utilisation pour les années 2020, 2030 et 2050

S'agissant de l'impact énergétique, l'évolution de la consommation énergétique des réseaux sera surtout portée par les réseaux mobiles pour lesquels la consommation énergétique devrait être multipliée par 2,4 entre 2020 et 2050. Cette évolution est surtout le résultat du nombre croissant d'équipements mobiles déployés dans le réseau, notamment au niveau des points hauts avec les bandes 5G et XG. C'est cet effet volume qui explique la croissance de consommation énergétique car unitairement la consommation des équipements des réseaux mobiles est améliorée.

Les réseaux fixes conserveraient une consommation énergétique relativement stable sur cette même période.

Consommation énergétique en TWh	2020	2030	2050
Réseau Mobile -	1,64	2,32	3,92
Réseau Fixe	5,70	4,95	5,71
TOTAL	7,34	7,27	9,63

Tableau 21 – Evolution des consommations énergétiques pour les équipements de réseaux suivants pour les années 2020, 2030 et 2050

6.4.3. Tier 3 – Centres de données

Concernant les centres de données, c'est principalement la phase de fabrication qui devrait rester la source principale d'impact carbone à l'horizon 2050. En phase d'utilisation, dans le cadre de projet d'écoconception et donc plus efficient en matière d'utilisation d'énergie, les centres de données devraient limiter leurs impacts.

Données en Mt eq CO ₂	2020	2030	2050
Centres de données - Emissions en phase de fabrication	1,87	3,28	7,84
Centres de données - Emissions en phase d'utilisation	0,84	0,85	2,96
TOTAL	2,74	4,18	10,9

Tableau 22 – Evolution de l'empreinte de CO₂ pour les centres de données suivants les phases de fabrication et d'utilisation pour les années 2020, 2030 et 2050

L'évolution vers une externalisation totale de l'hébergement chez des prestataires soit via des offres de Cloud, soit pour des offres de colocation devrait à terme engendrer une forte évolution de la consommation énergétique des centres de données. Les différentes technologies d'efficacité énergétique devraient permettre d'absorber une partie de la forte évolution des besoins de stockage de l'information, mais elles ne seront pas suffisantes pour absorber l'effet volume lié à l'augmentation des usages. Ainsi sur la période 2020 – 2050, la consommation énergétique sera multipliée par 3,3. L'accélération serait surtout visible après 2030. En effet, sur la période 2020-2030, cette consommation énergétique connaîtrait une évolution de 41% tandis que sur la période 2030-2050 elle atteindrait environ 137 %.

7. Analyse prospective 2030

7.1. Présentation des 3 scénarios

Le scénario tendanciel décrit précédemment a ensuite été comparé à 3 scénarios alternatifs permettant d'infléchir la dynamique de croissance de la data (vidéo, cloud gaming, IA, IoT, métavers, blockchain) ou le nombre d'équipements terminaux, réseaux et data center.

Ces 3 scénarios alternatifs sont basés sur deux grandes options que sont la sobriété et l'écoconception (modérée et généralisée).

Ces 3 scénarios ont été construits sur la base d'hypothèses posées par la suite dans le modèle et qui portent sur les paramètres relatifs au nombre d'équipements, à leur durée de vie, à la consommation électrique unitaire de ces derniers (concernant les centres de données en particulier, la surface et la densité de puissance sont également des paramètres affectés).

La description de chacun des scénarios est réalisée ci-dessous.

7.1.1. Description d'un scénario sobriété numérique

Définir un scénario de sobriété numérique nécessite de questionner les modes de vie et de consommation qui conduiraient à maîtriser la demande de biens et de services numériques et identifier les sources d'efficacité énergétique qui permettraient de réduire la quantité d'énergie consommée nécessaire à leur production mais également à leur utilisation.

Les évolutions des modes de vie et de consommation et l'amélioration de l'efficacité énergétique du numérique peuvent être favorisées par des dispositifs incitatifs pour changer rapidement les mentalités. La sobriété vise à atteindre tous les segments du numérique. Plusieurs mesures en faveur notamment d'une réduction de l'empreinte carbone ont déjà fait l'objet de directives ou lois, soit au niveau européen, soit au niveau français. Souvent de nature générale, leur application concerne également le secteur du numérique.

Selon les trois segments étudiés dans le cadre des travaux de la présente étude (équipements des utilisateurs, réseaux et centres de données), il est possible de tracer quelques contours visant à préciser les orientations de ce que pourrait être une stratégie de sobriété numérique :

- Pour les équipements utilisateurs : la sobriété passe par des changements des modes de fabrication et de comportements d'usages des équipements installés au sein des ménages, des entreprises ou des administrations. Ces changements de comportements visent à stabiliser ou à diminuer le nombre d'équipements mis sur le marché et à adopter un usage plus sobre du numérique en France. A titre d'exemple, voici quelques pistes d'actions possibles pour limiter les effets du numérique pour les terminaux qui représentent l'essentiel des impacts environnementaux : Pour les Box Internet, une généralisation des technologies de mise en veille pourrait présenter un intérêt pour diminuer les consommations énergétiques
- La limitation du nombre d'équipements à travers des principes de mutualisation d'usages ou d'adoption de comportements plus sobre de la part des usagers et des entreprises.
- Dans la production de services numériques et leurs diffusions des évolutions seront nécessaires pour éviter des engorgements des centres de données et des réseaux sur des services par exemple non sollicités et poussés vers les usagers (exemple de flux vidéos lancés automatiquement qui utilisent les ressources réseaux et les puissances des serveurs qui les hébergent)
- Généralisation des pratiques d'éco-conception des installations, équipements et systèmes (voir ci-dessous)
- Allongement de la durée de vie des équipements via notamment le développement du réemploi, d'utilisation de produits reconditionnés, de la mutualisation et de l'économie de la fonctionnalité ou de la réparation
- Limitation de l'affichage publicitaire via des écrans numériques
- La sobriété numérique passe également par des actions de formation et de sensibilisation des différents publics, notamment des programmes d'actions de formation et de sensibilisations collectives visant à construire un cadre méthodologique (les données, référentiels et outils) destiné à mesurer et piloter la sobriété numérique, ou encore soutenir l'intégration de la sobriété numérique dans les stratégies des collectivités et des organisations publiques, privées ou des ménages.

Pour les réseaux : les gains énergétiques déjà observés pourraient être obtenus grâce au passage à la fibre optique de bout en bout (FttH) à l'horizon 2030 avec l'extinction du cuivre programmée par l'opérateur historique. Des projets pilotes sont déjà en cours dans certains territoires pour la préparation de cette migration vers la fibre

Pour les centres de données : Ce sont les évolutions dans la conception des services numériques qui sont ou seront hébergés dans ces infrastructures et dans leurs usages qui auront un impact sur le recours aux centres de données, au volume de données hébergées et donc au trafic écoulé.

7.1.2. Description d'un scénario d'éco-conceptions des installations, équipements et systèmes :

Cette démarche multicritère a pour objectifs de minimiser l'utilisation des matières, de faciliter la réparabilité, de renforcer le réemploi et le recyclage, de minimiser les déchets en fin de vie⁸⁵ et d'améliorer les performances (énergétiques via une amélioration de la maîtrise des consommations, durabilité, etc.) ainsi que la maîtrise des émissions de GES en phase d'exploitation⁸⁶, pour l'ensemble des équipements de la chaîne de valeur du numérique, en partant des usagers (terminaux grand public, objets connectés, box internet, téléphone mobile, ...), et en remontant au cœur des réseaux et des infrastructures centralisées (centres de données, cœur de réseau, ...).

Dans le cadre d'une stratégie d'éco-conception des biens et services numériques, il est nécessaire de repenser les modes de production des biens et services. Cela peut se traduire à travers les trois segments du numérique étudiés par les aspects suivants :

Pour les équipements utilisateurs et les services qui y sont proposés, des pistes sont évoquées dans le rapport du Sénat, mais également par divers organismes œuvrant pour une évolution des consommations des biens et services numériques afin de limiter les impacts environnementaux. Sans être exhaustif, quelques pistes peuvent être évoquées, comme par exemple, des mesures telles que :

- L'écoconception des sites et services numériques, qui pourrait être rendue obligatoire à moyen terme pour les administrations et les grandes entreprises : il s'agit d'avoir un impact sur les principes par exemple de codage informatique afin de limiter les impacts énergétiques, la sollicitation des serveurs dans la conservation des données ou leurs utilisations,
- ou encore encourager à la sobriété des forfaits téléphoniques incitant des bascules automatiques vers les réseaux Wifi et donc les réseaux fixes.
- Une adaptation des contenus aux différents terminaux comme par exemple pour la définition des flux vidéos.
- L'allongement de la durée de vie, le recyclage des équipements, et l'adaptation de leurs fonctionnalités aux besoins réels de l'utilisateur :
 - Le recyclage des équipements en fin de vie
 - Leur réemploi via le don
 - L'achat d'équipements reconditionnés ou issus du réemploi
 - Garder le plus longtemps possible ses équipements en les protégeant ou en les réparant
 - S'équiper léger, avec un nombre de fonctionnalités correspondant à des usages quotidiens
- Réduire le nombre d'objets connectés tout en gardant en tête ou du moins en limitant les niveaux de connexions et en ayant recours aux ressources réseaux et stockage de données les plus optimisées
- Mettre en place des politiques d'écoconception fortes afin que les fabricants réduisent les impacts environnementaux unitaires (impact embarqué) de leurs équipements ou infrastructures⁸⁷

Des lois engagent les évolutions vers ces actions. Pour mémoire, la loi de réduction de l'empreinte environnementale du numérique (REEN) prévoit la définition du contenu d'un référentiel générale d'écoconception pour les sites web à partir de 2024.

Le champ des possibles est donc très large et les pistes d'optimisation tout autant. Il s'agit de revoir en profondeur les modes de production et de consommation des biens et services en ayant toujours une base de réflexion sur la minimisation de l'impact environnemental de la production numérique.

- Pour les réseaux :
 - La généralisation de l'adduction des points hauts mobiles par des réseaux fibres afin de faciliter les écoulements de données en évitant d'utiliser des réseaux de faisceaux hertziens peut constituer une première piste d'optimisation des données.

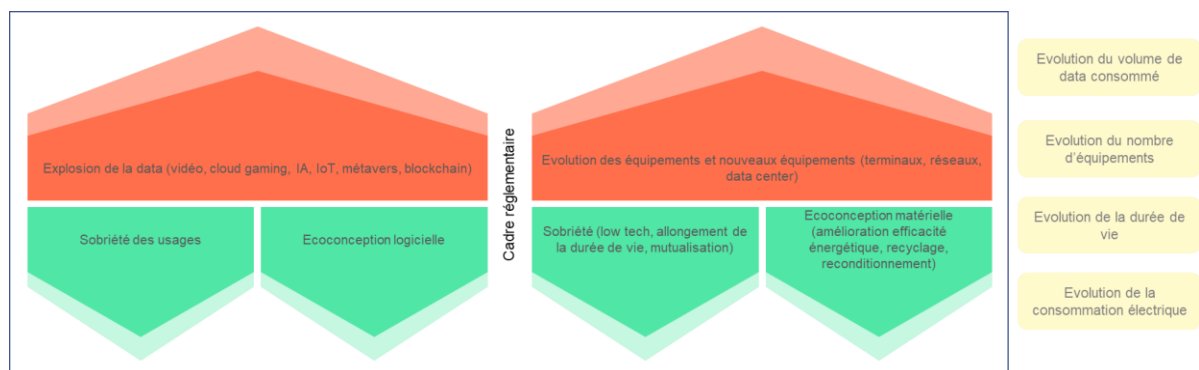
⁸⁵ La non prise en compte de l'augmentation du taux de recyclage fait partie des limites de l'étude : les impacts n'ont pas été étudiés à l'horizon 2030 et 2050.

⁸⁶ Remarque : dans le cadre des deux scénarios d'éco-conception la variation des impacts liés à la fin de vie n'a pas été étudiée. Il s'agit d'une limite de l'exercice de modélisation.

⁸⁷ La diminution des impacts environnementaux unitaires (impact embarqué) par équipement n'a pas été prise en compte dans la modélisation

- La virtualisation des réseaux, la gestion intelligente des ressources réseaux constitueront autant de pistes d'optimisation limitant les impacts environnementaux.
- Pour les centres de données :
 - La mise en œuvre de procédés de refroidissement innovants et intelligents constitue une première brique qui s'impose d'elle-même aux industriels et usagers de centres de données. Des certifications sur la maîtrise énergétique sont déjà implémentées par des centres de données à vocation commerciale. Elles ne sont pas obligatoires. Un infléchissement en ce sens pourrait permettre une transformation et une mutation des pratiques de l'hébergement informatique afin de s'appuyer sur des infrastructures moins énergivores individuellement et plus optimisées.

Ainsi, les 3 scénarios proposés visent à infléchir la trajectoire des impacts du numérique.



Les trois scénarios construits pour évaluer l'analyse des impacts environnementaux du numérique en 2030, en comparaison du scénario tendanciel sont les suivants :

Nom du scénario	Scénario 1 - sobriété numérique
Principes généraux	<p>Ce scénario met en œuvre des pratiques de sobriété numérique adoptées par tous les acteurs de la chaîne de valeur du numérique. A l'issue des constats réalisés précédemment sur les scénarios tendanciels 2030-2050, il apparaît important d'agir sur certaines briques, et notamment sur les terminaux qui concentrent l'essentiel des impacts environnementaux. Dans le cadre d'une stratégie de sobriété numérique, cela implique des comportements des différents acteurs de la chaîne de valeur (usagers dans leurs consommations de ces équipements à la fois en nombre, en durée de vie, mais également du côté de l'offre des biens et services du numérique).</p>
Hypothèses générales	<ul style="list-style-type: none"> • Tier 1 – Equipements des usagers : <ul style="list-style-type: none"> ○ Une nécessité de stabilisation du volume des équipements des usagers à son niveau de 2020 ; ○ Une substitution vers des équipements moins consommateurs en énergie : une hypothèse de réduction forte des consommations d'énergie est effectivement évaluée à travers une division par deux de la consommation pour ces équipements numériques. ○ Un rallongement de la durée de vie des équipements de l'ordre de deux ans ○ Une baisse du parc des téléviseurs au profit des vidéoprojecteurs • Tier 2 – réseaux : <ul style="list-style-type: none"> ○ Une stabilisation des équipements réseaux, notamment au niveau des équipements des réseaux mobiles : le nombre de sites mobiles (supports) n'évolue pas par rapport à 2021. En conséquence, le nombre d'antennes baisse par rapport à 2020.

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Une substitution vers des équipements moins consommateurs en énergie : une hypothèse de réduction forte des consommations d'énergie est effectivement évaluée à travers une division par deux de la consommation énergétique pour ces équipements numériques. • Tier 3 - centres de données : pour les centres de données, ce sont surtout les consommations énergétiques des équipements de refroidissements et des serveurs hébergés avec une hypothèse de réduction forte des consommations à travers une division par deux de la consommation énergétique pour ces équipements.
--	---

Nom du scénario	Scénario 2 – écoconception modérée
Principes généraux	<p>Ce scénario met en œuvre des pratiques d'éco-conception de façon partielle sans pour autant modifier les prévisions sur l'évolution du nombre d'équipements. Cela se traduit notamment par une capacité à proposer des équipements présentant dans leur phase de production et d'utilisation un impact environnemental moindre que les orientations identifiées dans un scénario tendanciel sans pour autant atteindre une efficacité optimale.</p> <p>Cette situation peut résulter notamment d'un manque d'évolution des équipements technologiques pour arriver à limiter suffisamment les impacts..</p>
Hypothèses générales	<ul style="list-style-type: none"> • Tier 1 – Equipements des usagers : <ul style="list-style-type: none"> ○ Une croissance du nombre d'équipements usagers en conformité avec les hypothèses du scénario tendanciel 2030 ; ○ Une consommation électrique unitaire réduite d'un tiers tandis que leur durée de vie est allongée de 1 an. • Tier 2 – réseaux : <ul style="list-style-type: none"> ○ Une évolution du nombre d'équipements réseaux en conformité avec les hypothèses du scénario tendanciel 2030 ; ○ Une consommation électrique unitaire réduite d'un tiers. • Tier 3 - centres de données : pour les centres de données, ce sont surtout les consommations énergétiques des équipements de refroidissements et des serveurs hébergés avec une hypothèse de réduction modérée des consommations à travers une consommation électrique unitaire réduite d'un tiers.

Nom du scénario	Scénario 3 - - écoconception généralisée
Principes généraux	<p>Ce scénario met en œuvre des pratiques d'éco-conception globale sans pour autant modifier les prévisions sur l'évolution du nombre d'équipements. Cela se traduit notamment par une capacité à proposer des équipements, des biens et des services numériques présentant dans leur phase de production et d'utilisation un impact environnemental optimisé et généralisé.</p> <p>Cette situation peut résulter notamment soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • D'une vision générale des industriels du numérique qui s'orientent pour des raisons financières et/ou écologiques, vers des biens et services numériques tendant à minimiser les impacts du numérique ou du moins à les contenir dans leur niveau le plus strict, compte tenu des évolutions technologiques actuelles et futures. • D'une réglementation qui impose aux industriels du numérique d'être en conformité avec des standards sur les mesures d'impacts environnementaux les plus strictes.
Hypothèses générales	<ul style="list-style-type: none"> • Tier 1 – Equipements des usagers :

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Une croissance du nombre d'équipements usagers en conformité avec les hypothèses du scénario tendanciel 2030 ; ○ Substitution vers des équipements moins consommateurs en énergie : une hypothèse de réduction forte des consommations d'énergie est effectivement posée (division par deux de la consommation énergétique pour ces équipements numériques). ○ Un rallongement de la durée de vie des équipements de l'ordre de deux ans. <ul style="list-style-type: none"> ● Tier 2 – réseaux : <ul style="list-style-type: none"> ○ Une évolution du nombre d'équipements réseaux en conformité avec les hypothèses du scénario tendanciel 2030 ; ○ Une substitution vers des équipements moins consommateurs en énergie : une hypothèse de réduction forte des consommations d'énergie est effectivement posée (division par deux de la consommation énergétique pour ces équipements numériques). <ul style="list-style-type: none"> ● Tier 3 – centres de données : pour les centres de données, ce sont surtout les consommations énergétiques des équipements de refroidissements et des serveurs hébergés avec une hypothèse de réduction forte des consommations (division par deux de la consommation énergétique pour ces équipements).
--	--

Pour rappel, les paramètres relatifs au nombre d'équipements, à leur durée de vie et à la consommation électrique unitaire de ces derniers (pour les centres de données en particulier, la surface et la densité de puissance sont également des paramètres affectés) sont les paramètres qui évoluent en fonction du scénario considéré.

7.2. Hypothèses retenues pour les 3 scénarios

7.2.1. Tier 1 – Equipements utilisateur

7.2.1.1. Nombre d'unités

Dans le cadre des différents scénarios étudiés, par rapport au scénario tendanciel, les volumes d'équipements des usagers seront :

- Soit conformes aux volumes de 2020 pour le scénario de sobriété numérique, avec une particularité concernant uniquement les téléviseurs qui cèdent relativement la place aux vidéoprojecteurs, moins consommateurs en énergie. Ainsi sur la période 2020-2030, une baisse d'environ 4,3% par an du parc de télévisions est envisagée. Sur cette même période, une augmentation du parc de vidéoprojecteurs de l'ordre de 19% par an est également envisagée.
- Soit conforme au scénario tendanciel pour les deux scénarios d'éco-conception. En effet, ce ne sont pas tant les volumes d'équipements mais plutôt leur mode de production et leur évolution dans la consommation énergétique qui sont modifiés par des politiques d'écoconception.

Le tableau ci-dessous présente les volumes d'équipements par grande famille.

Nombre d'unités	2020	2030 ST	2030 S1	2030 S2	2030 S3
Téléphone	116 578 847	117 655 840	116 578 847	117 655 840	117 655 840
Ordinateurs	147 102 668	172 713 311	147 102 668	172 713 311	172 713 311
Afficheurs électroniques	111 106 575	120 153 102	110 542 121	120 153 102	120 153 102
Consoles de jeux	19 583 396	29 758 017	19 583 396	29 758 017	29 758 017
Box TV	20 681 289	20 681 289	20 681 289	20 681 289	20 681 289

Périphériques externes	133 330 514	59 788 134	133 330 514	59 788 134	59 788 134
Objets connectés	247 005 197	787 996 079	247 005 197	787 996 079	787 996 079
TOTAL	795 388 486	1 308 745 772	794 824 032	1 308 745 772	1 308 745 772

Le tableau-ci-après détaille les évolutions des volumes d'équipements retenus pour l'année 2020, pour le scénario tendanciel et pour les 3 scénarios étudiés visant à optimiser l'impact du numérique en 2030 avec une précision sur les taux de croissance annuels moyens (TCAM) retenus pour les périodes 2020-2025 et 2025-2030.

		Année 2020	Scénario 2030 tendanciel			Scénario 1 : sobriété numérique			Scénario 2 : éco-conception modérée			Scénario 3 : éco-conception global		
		Unités	TCAM 2020- 2025	TCAM 2025- 2030	Unités	TCAM 2020- 2025	TCAM 2025- 2030	Unités	TCAM 2020- 2025	TCAM 2025- 2030	Unités	TCAM 2020- 2025	TCAM 2025- 2030	Unités
Téléphone	Smartphones	69 600 000	1,2%	0,9%	77 348 599			69 600 000	1,2%	0,9%	77 348 599	1,2%	0,9%	77 348 599
Téléphone	Feature phones	9 665 043	-20,6%	-20,6%	962 518			9 665 043	-20,6%	-20,6%	962 518	-20,6%	-20,6%	962 518
Téléphone	Téléphone (ligne fixe via box)	37 313 804	0,7%	0,3%	39 344 722			37 313 804	0,7%	0,3%	39 344 722	0,7%	0,3%	39 344 722
Ordinateurs	Ordinateurs portables	58 935 780	3,2%	2,6%	78 147 511			58 935 780	3,2%	2,6%	78 147 511	3,2%	2,6%	78 147 511
Ordinateurs	Ordinateurs fixes	37 276 596	-1,7%	-2,0%	30 916 455			37 276 596	-1,7%	-2,0%	30 916 455	-1,7%	-2,0%	30 916 455
Ordinateurs	Tablettes	24 074 512	1,9%	1,2%	28 092 227			24 074 512	1,9%	1,2%	28 092 227	1,9%	1,2%	28 092 227
Ordinateurs	Stations d'accueil	26 815 780	3,2%	2,6%	35 557 118			26 815 780	3,2%	2,6%	35 557 118	3,2%	2,6%	35 557 118
Afficheurs électroniques	Téléviseurs	62 571 429	0,8%	0,3%	66 348 589	-4,3%	-4,3%	40 317 672	0,8%	0,3%	66 348 589	0,8%	0,3%	66 348 589
Afficheurs électroniques	Vidéo-projecteurs	4 619 971	-15,8%	-28,7%	360 842	19,0%	19,0%	26 309 274	-15,8%	-28,7%	360 842	-15,8%	-28,7%	360 842
Afficheurs électroniques	Ecrans d'ordinateur	37 324 278	2,3%	1,0%	43 926 444			37 324 278	2,3%	1,0%	43 926 444	2,3%	1,0%	43 926 444
Afficheurs électroniques	Ecrans publicitaires (téléviseurs)	6 590 897	2,5%	5,0%	9 517 227			6 590 897	2,5%	5,0%	9 517 227	2,5%	5,0%	9 517 227
Consoles de jeux	Consoles de jeux vidéo de salon	11 746 044	4,2%	0,5%	14 811 891			11 746 044	4,2%	0,5%	14 811 891	4,2%	0,5%	14 811 891
Consoles de jeux	Consoles de jeux vidéo portable	6 750 617	-0,5%	-0,5%	6 420 580			6 750 617	-0,5%	-0,5%	6 420 580	-0,5%	-0,5%	6 420 580
Consoles de jeux	Casque AR/VR	1 086 735	37,4%	9,9%	8 525 546			1 086 735	37,4%	9,9%	8 525 546	37,4%	9,9%	8 525 546
Box TV	Box TV	20 681 289			20 681 289			20 681 289	0,0%	0,0%	20 681 289	0,0%	0,0%	20 681 289
Périphériques externes	Imprimantes	22 981 575	-3,6%	-1,7%	17 597 265			22 981 575	-3,6%	-1,7%	17 597 265	-3,6%	-1,7%	17 597 265
Périphériques externes	HDD externe	36 350 222	-9,2%	-9,2%	13 898 162			36 350 222	-9,2%	-9,2%	13 898 162	-9,2%	-9,2%	13 898 162
Périphériques externes	SSD externe	7 860 552	-9,2%	-9,2%	3 005 407			7 860 552	-9,2%	-9,2%	3 005 407	-9,2%	-9,2%	3 005 407
Périphériques externes	Clés USB & Micro SD	66 138 165	-9,2%	-9,2%	25 287 300			66 138 165	-9,2%	-9,2%	25 287 300	-9,2%	-9,2%	25 287 300

Enceintes connectées	Enceintes connectées	2 484 956	27,1%	7,6%	11 912 117			2 484 956	27,1%	7,6%	11 912 117	27,1%	7,6%	11 912 117
Objets connectés Sécurité	Objets connectés (Sécurité - Vidéo)	6 986 293	13,6%	13,6%	24 917 782			6 986 293	13,6%	13,6%	24 917 782	13,6%	13,6%	24 917 782
Objets connectés Sécurité	Objets connectés (Sécurité - Serrures intelligentes)	11 643 821	1,8%	1,8%	13 972 585			11 643 821	1,8%	1,8%	13 972 585	1,8%	1,8%	13 972 585
Objets connectés Smart city	Objets connectés (Automatisation - Lampadaire)	6 986 293	0,0%	0,0%	6 986 293			6 986 293	0,0%	0,0%	6 986 293	0,0%	0,0%	6 986 293
Objets connectés Smart city	Objets connectés (Compteurs intelligents)	29 109 552	5,3%	5,3%	48 904 047			29 109 552	5,3%	5,3%	48 904 047	5,3%	5,3%	48 904 047
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Chauffe-eau)	6 986 293	5,6%	5,6%	12 063 001			6 986 293	5,6%	5,6%	12 063 001	5,6%	5,6%	12 063 001
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Thermostat intelligent et climatiseur)	6 986 293	11,7%	11,7%	21 121 896			6 986 293	11,7%	11,7%	21 121 896	11,7%	11,7%	21 121 896
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Lumières)	18 630 113	14,9%	14,9%	75 032 780			18 630 113	14,9%	14,9%	75 032 780	14,9%	14,9%	75 032 780
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Cuisson)	6 986 292	3,5%	3,5%	9 850 673			6 986 292	3,5%	3,5%	9 850 673	3,5%	3,5%	9 850 673
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Assistants vocaux)	23 287 642	5,4%	5,4%	39 588 991			23 287 642	5,4%	5,4%	39 588 991	5,4%	5,4%	39 588 991
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Appareils électroménagers)	9 315 057	20,0%	20,0%	57 893 079			9 315 057	20,0%	20,0%	57 893 079	20,0%	20,0%	57 893 079
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Capteurs: Res - WiFi)	1 164 382	17,5%	17,5%	5 821 910			1 164 382	17,5%	17,5%	5 821 910	17,5%	17,5%	5 821 910
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Capteurs: Res - LE)	6 054 787	27,9%	27,9%	71 027 309			6 054 787	27,9%	27,9%	71 027 309	27,9%	27,9%	71 027 309

Objets connectés Smart building	Objets connectés (Passerelle: LE to WiFi)	1 164 382	21,5%	21,5%	8 150 674			1 164 382	21,5%	21,5%	8 150 674	21,5%	21,5%	8 150 674
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Stores et fenêtres)	582 191	44,6%	44,6%	23 287 640			582 191	44,6%	44,6%	23 287 640	44,6%	44,6%	23 287 640
Objets connectés Smart industry	Objets connectés (Capteurs: Industry - LE)	10 479 439	19,2%	19,2%	60 547 870			10 479 439	19,2%	19,2%	60 547 870	19,2%	19,2%	60 547 870
Objets connectés Smart industry	Objets connectés (Passerelle: Bus)	1 280 820	25,9%	25,9%	12 808 200			1 280 820	25,9%	25,9%	12 808 200	25,9%	25,9%	12 808 200
Objets connectés Smart industry	Objets connectés (Communication de contrôle de bâtiments)	81 506 747	10,8%	10,8%	228 218 889			81 506 747	10,8%	10,8%	228 218 889	10,8%	10,8%	228 218 889
Objets connectés E-santé	Objets connectés (Capteurs: Health - LE)	15 369 844	13,8%	13,8%	55 890 342			15 369 844	13,8%	13,8%	55 890 342	13,8%	13,8%	55 890 342
TOTAL		795 388 486			1 308 745 772			794 824 032			1 308 745 772			1 308 745 772

7.2.1.2. Consommation électrique et durée de vie unitaire des équipements

Dans le scénario 1 de sobriété numérique et le scénario 3 d'écoconception généralisée, la consommation électrique unitaire de chaque équipement est divisée par 2 par rapport à 2020 tandis que leur durée de vie est allongée de 2 ans. En effet dans ces deux scénarios, l'hypothèse retenue consiste à maximiser les économies d'énergie des équipements. Par ailleurs, l'hypothèse du rallongement de la durée de vie de ces équipements s'inscrit dans une logique de mise en place de politiques visant à promouvoir de réemploi, le reconditionnement, l'économie de la fonctionnalité, la réparation ou bien la mutualisation des équipements.

Le scénario 2 prend en compte une consommation électrique unitaire réduite d'un tiers tandis que leur durée de vie est allongée de 1 an.

7.2.2. Tier 2 – Equipements réseaux

7.2.2.1. Nombre d'unités des réseaux mobiles

Dans les scénarios projetés, l'arrêt de la 2G et de la 3G serait effectif à l'horizon 2030.

Le scénario 1 de sobriété numérique considère un déploiement de la 5G infléchi, et une stabilisation du nombre de déploiement de points haut à son niveau de 2020 par rapport au scénario tendanciel.

Les scénarios d'écoconception modérée et généralisée n'induisent pas de différence en termes de nombre d'équipements réseaux par rapport au scénario tendanciel.

Nombre d'unités	2020	2030 ST	2030 S1	2030 S2	2030 S3
Nombre de points hauts	51 572	68 145	55 372	68 145	68 145
Nombre d'équipements radios opérés	346 272	490 534	388 080	490 534	490 534

7.2.2.2. Consommation électrique unitaire des équipements

Dans le scénario 1 de sobriété numérique et le scénario 3 d'écoconception généralisée, la consommation électrique de chaque équipement est réduite d'environ 45% par rapport à 2020, tandis que le scénario 2 prend en compte une consommation électrique unitaire réduite d'un tiers.

Réseau mobile	2020	2030 ST	2030 S1	2030 S2	2030 S3
Consommation électrique unitaire des équipements réseau mobile (en kWh)	4736	4 736	2 637	3 149	2 637
Consommation électrique unitaire des équipements réseau fixe (en kWh)	186	129	64	85	64

7.2.3. Tier 3 – Centres de données

7.2.3.1. Superficie de centres de données

L'évolution du marché de l'hébergement repose sur les infrastructures qui sont estimées en 2020 à partir des informations collectées et analysées à la suite de différents échanges avec des experts du domaine. L'évolution des données à l'horizon 2030 est liée aux changements des modes d'utilisation des ressources d'hébergement en propre versus l'appui sur des offres proposées par les centres de données commerciaux. Les acteurs économiques qui sont les plus susceptibles d'opter pour l'externalisation sont les entreprises qui migreront soit vers des offres Cloud

(notamment les TPE / PME), soit vers des offres hybrides (Cloud et colocation). Ce sont principalement les charges d'exploitation liée à l'énergie, la nécessité de réaliser des investissements importants qui pourraient inciter ces acteurs à ce type de comportement. S'agissant des acteurs publics, les orientations sont soit une migration vers les acteurs du marché, soit un appui sur des structures publiques qui pourraient mutualiser des moyens techniques, humains et financiers.

Dans le cadre de cette approche, les orientations retenues pour le scénario tendanciel et pour les 3 scénarios à l'horizon 2030 sont équivalentes sur les évolutions des surfaces. Ainsi la différence au niveau portera davantage comme expliqué par la suite sur les niveaux de consommation électrique des équipements qui seront hébergés au sein de ces infrastructures.

Superficie (en m ² IT)	2020	2030 ST	2030 S1	2030 S2	2030 S3
DC traditionnels	458 190	64 502	64 502	64 502	64 502
DC à vocation commerciale	414 175	894 173	894 173	894 173	894 173
DC HPC	10 800	15 987	15 987	15 987	15 987
DC Edge	-	111 365	111 365	111 365	111 365
TOTAL	883 165	1 086 026	1 086 026	1 086 026	1 086 026

7.2.3.2. Consommation électrique des équipements IT par m2 de centres de données

Dans le scénario 1 de sobriété numérique et le scénario 3 d'écoconception généralisée, la consommation électrique de chaque équipement est divisée par 2 par rapport à 2020, tandis que le scénario 2 prend en compte une consommation électrique unitaire réduite d'un tiers.

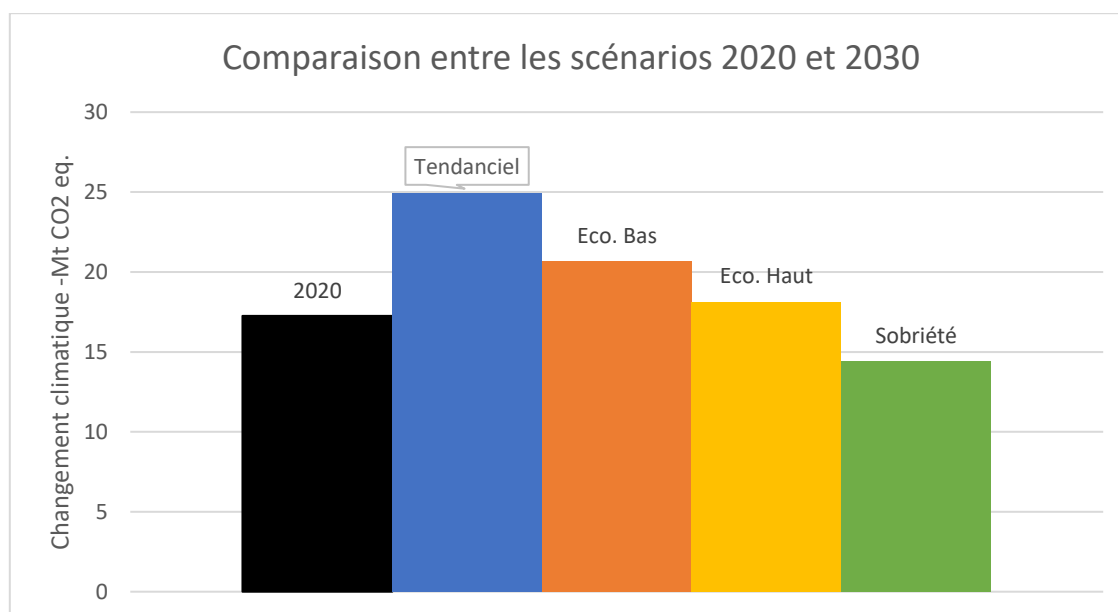
Consommation annuelle moyenne en kw /m ²	2020	2030 ST	2030 S1	2030 S2	2030 S3
Public local	4 205	5 451	2101	2795	2101
Public national	5 519	7 154	2758	3 669	2758
Entreprises	7 008	9085	3503	4 659	3 503
centres de données commerciaux	8 760	11 356	4 378	5 823	4 378
HPC	31 536	40 883	15 762	20 966	15 762
Edge	7 008	9085	3 503	4 659	3503

Moyenne en rapport des surfaces en exploitation	13 126	15 087	5 836	7 751	5 827
---	--------	--------	-------	-------	-------

7.3. Résultats

Les résultats de ces trois scénarios sont à mettre en perspective du scénario tendanciel 2030 pour évaluer les conséquences possibles de la mise en œuvre de mesures conduisant à limiter l'impact environnemental du numérique. Cet exercice constitue une première analyse, appelant à engager une réflexion globale sur le secteur du numérique.

- Selon le scénario mis en œuvre, la réduction de l'empreinte carbone à 2030 peut aller de 17 à 42 % par rapport à la situation du scénario tendanciel en 2030.



L'empreinte carbone du numérique en France⁸⁸, qui s'établit à 17,2 Mt de CO₂ en 2020, est estimée à 25 Mt eq CO₂ en 2030 dans le scénario tendanciel, pourrait en effet être de :

- 14,4 Mt eq CO₂ dans le scénario de sobriété numérique qui serait le scénario bénéficiant de la meilleure maîtrise de l'empreinte carbone du numérique
- 20,7 Mt eq CO₂ dans le scénario d'écoconception modéré
- 18,1 Mt eq CO₂ dans le scénario d'écoconception généralisé.

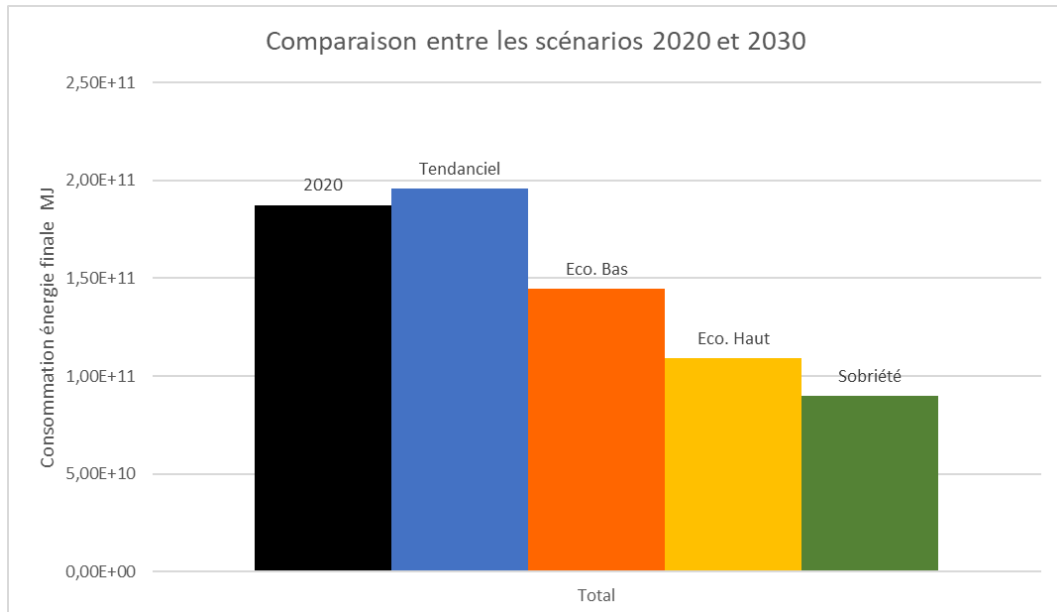
En lien avec les observations déjà réalisées pour le scénario tendanciel, l'évolution resterait très largement dominée par les terminaux et les centres de données. Il convient de noter que les orientations prises sur les hypothèses concernant les centres de données montrent que l'impact serait quasiment identique pour les 3 scénarios prospectifs imaginés avec un niveau comparable à celui évalué en 2020. Ainsi ce sont surtout les terminaux qui connaîtraient une réelle baisse de leurs impacts d'empreinte carbone. Cette baisse serait essentiellement le fait d'une limitation du nombre d'équipements et de l'allongement de la durée d'usage de ceux-ci.

L'impact des réseaux resterait quasiment dans les mêmes proportions que celles du scénario tendanciel avec une légère amélioration résultant notamment des allongements des durées d'usage des équipements installés.

- La mise en œuvre d'un des scénarios proposés pourrait en effet avoir un impact sur la consommation énergétique du secteur du numérique à l'horizon 2030 avec une réduction envisageable comprise entre

⁸⁸ Elle correspond principalement aux phases de fabrication et d'utilisation

23% et 52% par rapport à la situation de 2020. Par rapport au scénario tendanciel, les écarts seraient compris entre 26 et 54%.

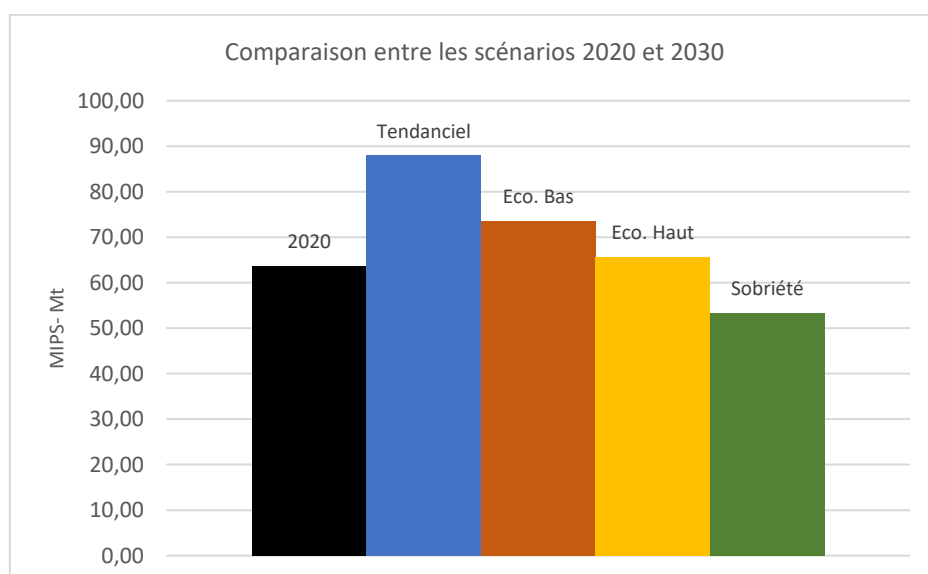
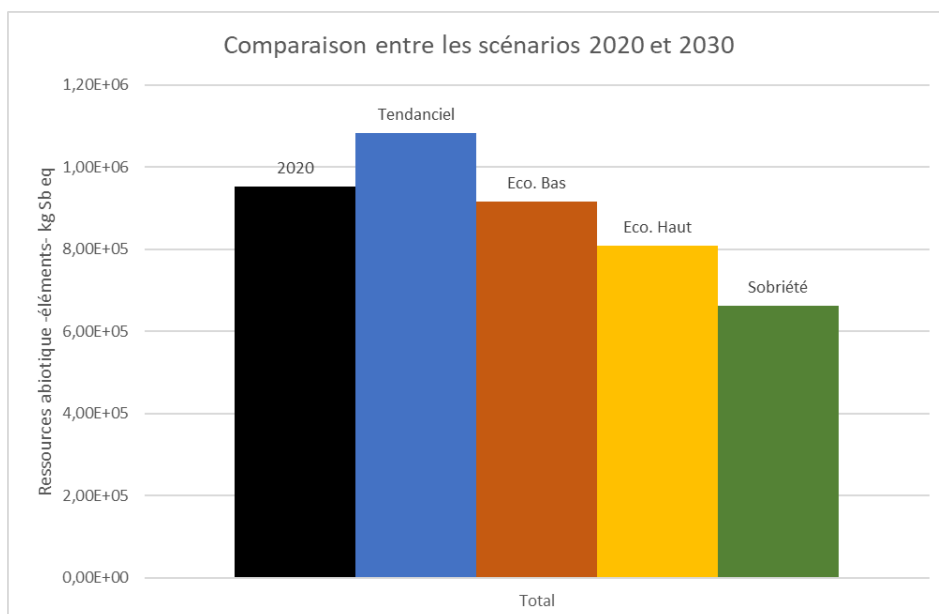
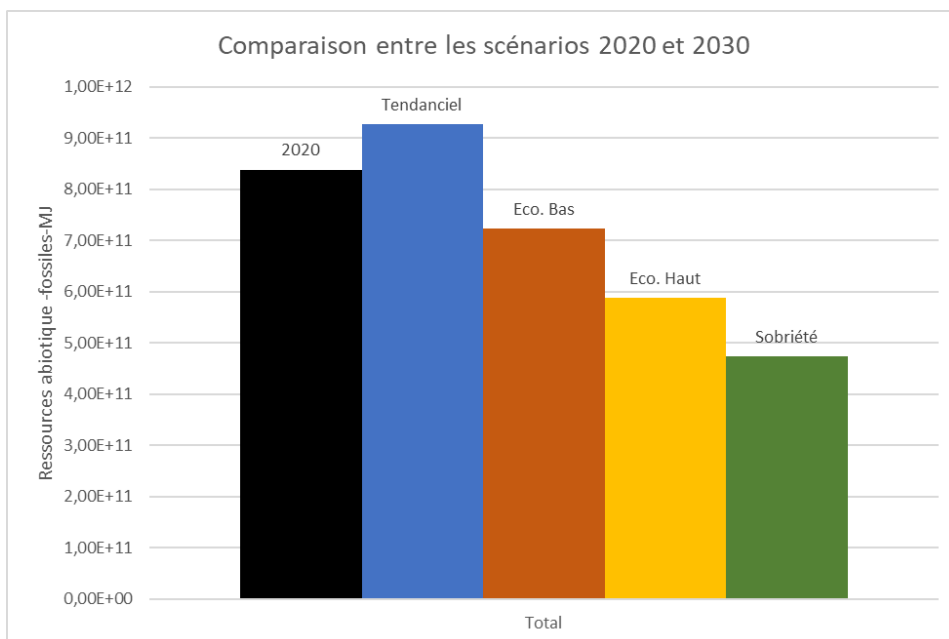


La consommation électrique de l'ensemble du numérique est estimée à environ 52 TWh en 2020. Dans un scénario tendanciel, elle serait de l'ordre de 54,4 TWh en 2030. La mise en œuvre d'un des scénarios prospectifs aurait pour conséquence une réelle baisse avec :

- 25 TWh pour le scénario de sobriété numérique qui serait le scénario bénéficiant de la meilleure maîtrise énergétique du numérique
- 40 TWh pour le scénario d'écoconception modéré
- 30 TWh pour le scénario d'écoconception généralisé.

A nouveau, les terminaux représentent la consommation électrique (phases de fabrication et d'usage) la plus importante devant les centres de données et les réseaux, quel que soit le scénario considéré.

- La mise en œuvre de politiques de sobriété numérique ou d'éco-conception aurait également des impacts sur la diminution des impacts sur les autres indicateurs marqueurs du numérique à savoir l'épuisement des ressources abiotiques naturelles (métaux & minéraux ou fossiles) ou sur l'indicateur MIPS de mobilisation de ressources matières :



8. Déclinaison au numérique des scénarios ADEME de neutralité carbone à 2050

8.1. Présentation des 4 scénarios ADEME⁸⁹

Les quatre scénarios de neutralité carbone définis par l'ADEME dans Transition(s) 2050 pour atteindre la neutralité carbone sont inspirés des scénarios du GIEC. Ils se distinguent, par leur ambition, d'un scénario de prolongation des tendances, qui, en l'absence de ruptures, rend le chemin de développement incompatible avec la neutralité carbone. Le scénario tendanciel et les quatre scénarios sont réalisés à l'échelle de la France métropolitaine.

Ces quatre scénarios sont construits de façon à atteindre la neutralité carbone de l'ensemble de l'économie française en 2050 et non pas par secteur. Chaque scénario est nourri par un récit, assumant la représentation du monde et les dimensions sociétales, politiques et multisectorielles de la trajectoire choisie pour atteindre la neutralité carbone.

L'exercice de déclinaison au numérique des scénarios ADEME de neutralité carbone à 2050 élabore à partir de ses scénarios un ensemble d'hypothèses intervenant directement sur les paramètres du modèle afin d'estimer ce que deviendrait l'impact environnemental du numérique en 2050. **En conséquence, si l'empreinte carbone du numérique varie d'un scénario à l'autre, les 4 scénarios impliquent bien une neutralité carbone à l'échelle nationale sur l'ensemble de l'économie française contrairement au scénario tendanciel.**

Cet exercice est par nature imparfait mais il reste une première ébauche pour mesurer et évaluer les chemins à parcourir et les défis à relever afin d'engager la société du numérique comme un contributeur positif à l'évolution de notre société. **Ces travaux ne prennent pas en considération d'éventuels effets indirects (positifs ou négatifs) ou des interactions entre différents tiers du numérique ou en lien à d'autres secteurs économiques, voire d'autres externalités (concurrentielles, économiques, ...) qui sont à ce stade difficiles à identifier et à évaluer.**

Ces scénarios affectent la modélisation en modifiant les hypothèses relatives au nombre d'équipements, à leur durée de vie, à la consommation électrique unitaire de ces derniers (concernant les centres de données en particulier, la surface et la densité de puissance sont également des paramètres affectés).

Le scénario 1, **Génération Frugale**, imagine une société 2050 où des transformations importantes dans les façons de se déplacer, se chauffer, s'alimenter, acheter et utiliser des équipements, permettent l'atteinte de la neutralité carbone.

Description générale du scénario Génération Frugale selon l'ADEME :

« Des transformations importantes dans les façons de se déplacer, se chauffer, s'alimenter, acheter et utiliser des équipements, permettent l'atteinte de la neutralité carbone sans impliquer de technologies de captage et stockage de carbone, non éprouvées et incertaines à grande échelle. De nouvelles attentes des consommateurs, mais surtout de nouvelles pratiques s'expriment rapidement dans les modes de consommation. La croissance de la demande énergétique qui épuise les ressources s'interrompt grâce à des innovations comportementales, organisationnelles autant que technologiques.

La transition est conduite principalement grâce à la frugalité par la contrainte et par la sobriété. La capacité des acteurs économiques à s'adapter rapidement à l'évolution de la demande est parfois difficile. La contrainte vient de mesures coercitives pour une partie (obligations, interdictions, quotas...), qui doivent faire l'objet de débats pour faciliter leur compréhension et leur appropriation. La sobriété se fait par la réduction volontaire de la demande en énergie, matières et ressources grâce à une consommation des biens et services au plus près des besoins : évolution de l'assiette, limites de vitesse sur route et limitation des vols intérieurs, transformation des bâtiments vacants et des résidences secondaires en résidences principales...

⁸⁹ Les travaux engagés par l'ADEME à travers l'étude « Transition 2050, Choisir maintenant, Agir pour le Climat » propose quatre scénarios pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. « Ils visent à articuler les dimensions technico-économiques avec des réflexions sur les transformations de la société qu'elles supposent ou qu'elles suscitent ». Site Web de l'ADEME : <https://transitions2050.ademe.fr/>

Mais les mesures contraignantes et la capacité à obtenir une implication de tous reste incertaine et fait courir le risque de clivages forts voire violents au sein de la société. Par conséquent, les mesures sont autant que possible adoptées en priorisant une vision égalitaire de la transition. Les normes et valeurs évoluent vers une économie du lien plus que du bien, très ancrée sur les territoires et leurs ressources. La nature est sanctuarisée, ce qui conduit à une exploitation raisonnée.

Le chemin emprunté vise à limiter les externalités négatives. En agissant à la source, les émissions liées aux usages sont réduites rapidement et le report ou déplacement d'impact vers les autres pays est évité.

Les liens avec les autres territoires, notamment les dimensions internationales, se réduisent, dans un monde où le local et durable, par opposition au global et consommable, est privilégié. »

En 2050, le mix de production pour le scénario génération frugale est comme suit, pour une production totale de 411 TWh :

- Nucléaire : 2.46 %
- Turbines Gaz : 0.19 %
- Autres thermiques : 0%
- PV : 28.76%
- Eolien Terrestre : 38.82%
- Eolien en mer : 12.36 %
- Hydro : 15.46 %
- Autres renouvelables : 1.95%

Il faut également considérer :

- Exports : 141 TWh
- Imports : 136 TWh

Dans une vision du numérique, le scénario 1, **Génération Frugale**, pourrait se traduire de la façon suivante :

Principes généraux	<p>Un scénario reprenant des principes d'une sobriété numérique dans la construction et la mise en œuvre des biens et services numériques. Il s'agit effectivement de proposer des transformations en profondeur de la façon de penser les équipements, leurs durées d'usage, leurs modes de consommation, mais également pour les services, la façon de les concevoir, les principes de leur exploitation, et leur consommation par les usagers (Grand Public, entreprises et administrations). Ces orientations passent donc par des changements de comportements très importants par rapport aux habitudes qui se sont installées depuis la montée en puissance du numérique, notamment au cours des 10 ou 15 dernières années. Ces changements de comportements vers plus de sobriété peuvent également être imposés par des situations de pénuries en matières premières et notamment en métaux stratégiques et autres ressources indispensables et à la transition écologique et au numérique.</p> <p>Les citoyens, administrations et entreprises ont pris conscience, naturellement ou par des directives réglementaires, de la nécessité de convergence entre équipements numériques. Les industriels du numérique ont également mis en œuvre des modes de production et d'exploitation des services totalement innovants avec une rupture franche par rapport aux modes actuels notamment avec l'essor de produits Low Tech.</p> <p>La révolution numérique se fait, mais en ayant conscience des impacts environnementaux des services numériques, amenant à systématiser l'écoconception logicielle à toutes les couches de fonctionnement des écosystèmes : fonctionnement des serveurs, accès aux données, cloud, fonctionnement des terminaux fixes et mobiles. La formation sur l'écoconception numérique est systématisée dans les écoles d'ingénieurs. Les industries freinent leurs usages du tout connecté en interrogeant les remontées de données nécessaires.</p> <p>Une communication importante sur les usages sobres pour le grand public ainsi que pour les entreprises et administrations est mise en place.</p> <p>Le matériel est optimisé grâce à des efforts de conception, permettant un allongement de la durée de vie des équipements (serveurs, terminaux), leur réparabilité est très développée, et il n'y a pas de problème d'obsolescence logicielle - en partie grâce à une optimisation des</p>
---------------------------	---

	<p> systèmes d'exploitation, leurs mises à jour assurées sur des temps longs pour tous les appareils (IOT compris). Les services de location de matériels sont développés pour éviter le sur équipement.</p> <p> Les loisirs numériques sont limités à un usage « sobre », sans excès sur les quantités consommées.</p> <p> L'accès aux services numériques est mutualisé avec des services de location pour éviter le sur équipement.</p> <p> Les effets rebonds sont limités, grâce à un usage et des comportements plus sobres en matière de consommation du numérique. L'optimisation des couches logicielles et matérielles permet de limiter l'expansion des serveurs. Les principaux flux de données passent par des infrastructures physiques (fibre) nécessitant moins d'énergie. L'allongement de la durée de vie du matériel (serveurs, terminaux) permet une moindre pression sur les ressources.</p> <p> L'ensemble de la société a accès au minimum de services numériques pour la santé, l'éducation, la mobilité, l'économie servicielle et de fonctionnalité ; sont notamment mis en place des services d'accompagnement publics de proximité pour permettre cet accès à toutes les catégories socioprofessionnelles.</p> <p> Les services numériques sont priorisés sur ceux utiles pour la société (aide aux économies de ressources et d'énergie, à l'éducation, la santé, la culture).</p> <p> Les principes de sobriété numérique et d'éco-responsabilité sont la norme généralisée :</p>
<p>Hypothèses générales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tier 1 – Equipements des usagers : <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans le cadre de ce scénario, le grand public, les entreprises et les administrations prennent conscience d'une nécessaire diminution des équipements, des terminaux afin de revenir à des modes de consommation plutôt semblables à ceux du début du vingt-et-unième siècle, à savoir une limitation du nombre d'équipements (téléphones, ordinateurs, consoles de jeux, ...). Le volume des objets connectés reste modéré et stable par rapport à la situation de 2020. Le matériel est optimisé grâce à des efforts d'éco-conception et les innovations Low tech sont développées. Les achats publics sont systématiquement basés sur des appareils reconditionnés. ○ En termes d'usage, les services numériques consommés connaîtront une croissance relativement modérée du fait d'une production et d'une consommation plus éco-responsable et sobre. ○ Les durées d'usage des équipements sont également rallongées afin de limiter les volumes : un rallongement de deux ans est la norme retenue. • Tier 2 – réseaux : <ul style="list-style-type: none"> ○ La fibre optique est la seule technologie en œuvre pour les réseaux fixes. ○ Pour les réseaux mobiles, les opérateurs adoptent une stratégie de mutualisation / partage des équipements et des infrastructures, notamment dans les zones les moins denses en mettant en œuvre des accords d'itinérance croisés afin de limiter le nombre d'équipements radios installés sur les points hauts. Dans un contexte de trafic très réduit par rapport au scénario tendanciel, la société est habituée à limiter ses usages en mobilité et favoriser le trafic en WiFi. • Tier 3 – centres de données : dans une vision frugale, les centres de données sont optimisés. En effet, les espaces et les avancées technologiques notamment en termes de refroidissement moins gourmandes d'espace permettent d'accueillir les serveurs dans un espace IT sensiblement équivalent à ceux opérationnels en 2020. Une partie pourrait tout de même rester au sein d'acteurs publics et des entreprises dans un mode de comportement relativement conventionnel au niveau français. <p>Pour l'ensemble des tiers, les consommations électriques unitaires des équipements sont largement revue à la baisse avec une consommation divisée par près de 3.</p>

Le scénario 2, **Coopérations Territoriales**, imagine une société qui se transforme dans le cadre d'une gouvernance partagée et de coopérations territoriales où organisations non gouvernementales, institutions publiques, secteur privé et société civile trouvent des voies de coopération pragmatique de maintenir la cohésion sociale.

Description générale du scénario Coopérations Territoriales selon l'ADEME :

« La société se transforme dans le cadre d'une gouvernance partagée et de coopérations territoriales. Organisations non gouvernementales, institutions publiques, secteur privé et société civile trouvent des voies de coopération pragmatiques qui permettent de maintenir la cohésion sociale.

Pour atteindre la neutralité carbone, la société mise sur une évolution progressive mais à un rythme soutenu du système économique vers une voie durable alliant sobriété et efficacité. La consommation de biens devient mesurée et responsable, le partage se généralise. Les transformations dans l'habitat (logements vacants réinvestis, espaces de partage et de convivialité), les habitudes de travail, l'alimentation, les déplacements ou la consommation sont de fait moins contraints que dans S1 mais marquent une rupture avec l'histoire récente. Nature et biodiversité sont appréhendées pour leur valeur intrinsèque. De fait, les impacts sur le territoire national sont réduits, de même que dans les pays d'où nous importons, grâce à des règles strictes et des échanges internationaux réduits.

L'évolution des valeurs de la société permet des investissements massifs dans les solutions d'efficacité et d'énergies renouvelables. Mais aussi dans le renouvellement et l'adaptation des infrastructures, ainsi que dans des politiques de réindustrialisation sur des secteurs industriels ciblés. Ces investissements sont favorisés par des incitations financières, définies par des politiques et réglementations fondées sur des critères sociaux et environnementaux.

La volonté de traiter l'ensemble des sujets en même temps et en cherchant le consensus de tous les acteurs peut freiner la transformation des systèmes productifs et des modes de vie. »

En 2050, le mix de production pour le scénario coopération territoriale est comme suit, pour une production totale de 525.6 TWh :

- Nucléaire : 14.19 %
- Turbines Gaz : 0.08 %
- Autres thermiques : 0%
- PV : 23.48%
- Eolien Terrestre : 33.31%
- Eolien en mer : 15.33 %
- Hydro : 12.08 %
- Autres renouvelables : 1.52%

Il faut également considérer :

- Exports : 142 TWh
- Imports : 138 TWh

Dans une vision du numérique, le scénario 2, Coopérations Territoriales, pourrait se traduire de la façon suivante :

Principes généraux	<p>Un scénario reprenant des principes d'une sobriété numérique et d'une écoconception modérée dans la construction et la mise en œuvre des biens et services numériques. Pour autant, il ne s'agit pas de revenir à une situation antérieure à 2020, mais de figer plutôt les habitudes de production et de consommation des biens et services numériques observées autour de cette date, tout en tenant compte des évolutions naturelles des technologies, des équipements, des réseaux, ...</p> <p>Des changements de modes de fonctionnement, d'appropriation du numérique s'avèrent nécessaires, mais ils s'inscrivent dans une logique globale de limiter les impacts par les évolutions technologiques plus que par des changements radicaux.</p> <p>La révolution numérique se fait, en prenant en compte toutes les typologies de territoire. Ainsi, les tissus urbains voient le développement de toutes les nouvelles technologies tandis que les milieux ruraux sont connectés au juste besoin. L'optimisation logicielle permet à ces territoires d'accéder aux services et contenus sans nécessiter de très hauts débits de données.</p>
---------------------------	---

	<p>Le besoin en matériel est systématiquement analysé avant acquisition, sous l'angle performance attendue / nécessaire, possibilité de maintien de l'existant, existence d'offres servicielles... Un maillage territorial des équipements est organisé, avec une décentralisation des serveurs de données permettant de diminuer les temps d'accès et l'énergie nécessaire aux transferts de datas, sur le principe du edge computing et du peer to peer. L'IOT est utilisé principalement dans un objectif de gain énergétique (y compris dans les habitations) et de fluidité des services publics.</p> <p>La recherche d'efficience et de réponse aux besoins est systématisée.</p> <p>Les services numériques considérés comme plus utiles pour la société sont priorités (aide aux économies de ressources et d'énergie, à l'éducation, la santé, la culture).</p> <p>La communication vers le grand public est d'avantage centrée sur les éco-gestes et sur un usage du numérique au service de l'écologie plutôt que sur la sobriété.</p> <p>Les effets rebonds sont limités mais peuvent exister, en raison du besoin de maillage territorial des équipements. L'ensemble de la société est engagé dans une recherche de solutions pour des services numériques responsables.</p> <p>Les services numériques sont accessibles par tous et l'exclusion numérique est limitée aux réfractaires à ces technologies et à une tranche de population très défavorisée.</p> <p>Les principes de sobriété numérique et d'éco-responsabilité sont la norme avec une vision moins contraignante que dans le scénario précédent.</p> <p>Ces deux données d'entrée sont basées sur les préconisations du scénario général proposé par l'ADEME</p>
<p>Hypothèses générales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tier 1 – Equipements des usagers : <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans le cadre de ce scénario, le grand public, les entreprises et les administrations changent certaines de leurs habitudes d'utilisation de leurs équipements numériques en rationalisant l'achat et la détention de certains équipements. Elles envisagent de conserver certains équipements devenus indispensables (smartphone par exemple) en limitant tout de même le nombre détenu. Pour d'autres équipements, jugés moins utiles ou indispensables, les comportements d'achats sont revus et les usages différents. Certains équipements restent dans des niveaux de volumétries comparables à ceux de 2020 afin de limiter les usages et les impacts carbone. ○ En termes d'usage, les services numériques consommés connaîtront une croissance relativement modérée du fait d'une production et d'une consommation plus éco-responsable et sobre. ○ Les durées d'usage des équipements sont également rallongées d'un an sur la base d'un modèle d'éco-conception modéré • Tier 2 – réseaux : <ul style="list-style-type: none"> ○ Comme pour le scénario précédent, la fibre optique est la seule technologie en œuvre pour les réseaux fixes. ○ Pour les réseaux mobiles, les opérateurs déploient leurs équipements sur la base du nombre de points hauts qui n'évolue plus à l'horizon 2050 en restant figé sur les bases de 2020⁹⁰. Par ailleurs, les nouveaux sites mobiles suivent un déploiement très limité dans un contexte de trafic réduit. Dans un contexte de trafic réduit par rapport au scénario tendanciel, la société est habituée à limiter ses usages en mobilité et favorise le trafic en WiFi. • Tier 3 – centres de données : concernant les centres de données, leur évolution et implantation dans le territoire visent à proposer une solution plus équilibrée entre les infrastructures déjà opérationnelles dans les grands pôles économiques et les autres territoires déjà pourvus ou avec des projets d'implantation. La superficie totale en exploitation pourrait être réduite d'un quart par rapport au scénario tendanciel. Une partie pourrait tout de même rester au sein d'acteurs publics et des entreprises dans un mode de comportement relativement conventionnel au niveau français.

⁹⁰ Tout en prenant en compte les déploiements réglementaires déjà actés.

	Pour l'ensemble des tiers, les consommations électriques unitaires des équipements sont optimisées et divisées par 2.
--	--

Dans le scénario 3, **Technologies Vertes**, c'est le développement technologique qui permet de répondre aux défis environnementaux plus que les changements de comportement vers plus de sobriété. De fait, les manières d'habiter, de se déplacer ou de travailler ressemblent beaucoup à celles d'aujourd'hui.

Description générale du scénario Technologies Vertes selon l'ADEME :

« C'est plus le développement technologique qui permet de répondre aux défis environnementaux que les changements de comportement vers plus de sobriété. De fait, les manières d'habiter, de se déplacer ou de travailler ressemblent beaucoup à celles d'aujourd'hui avec cependant quelques différences. Par exemple, l'alimentation est un peu moins carnée et plus équilibrée. La mobilité individuelle est prédominante mais avec des véhicules plus légers et électrifiés. L'industrie produit un peu moins en volume mais est très décarbonée.

*Les métropoles se développent. Les technologies et le **numérique**, qui permettent l'efficacité énergétique ou matière, sont **dans tous les secteurs**. Les meilleures technologies sont déployées largement et accessibles de manière généralisée aux populations solvables. C'est une voie dans laquelle le découplage entre création de richesses et impacts environnementaux constitue toujours la ligne d'horizon. Mais en se focalisant sur la production verte ou décarbonée, il existe un risque de ne pas suffisamment maîtriser les consommations d'énergie et de matières et de ne pas permettre aux plus pauvres d'accéder aux besoins de base.*

*Les **effets rebonds peuvent être significatifs** en l'absence de politiques visant à les contrecarrer (réglementation, tarification...). La dépendance aux énergies fossiles diminue lentement, l'atteinte de la neutralité repose sur une mobilisation maximale de la biomasse notamment forestière pour produire de l'énergie et récupérer le CO₂ pour le stocker en sous-sol.*

La mise en valeur du capital naturel permet de mieux préserver la nature qu'aujourd'hui : c'est en lui donnant un prix que l'on espère trouver les solutions techniques pour la protéger.

L'État planificateur met en place des politiques fortes pour favoriser la décarbonation de l'économie, dans un contexte de concurrence internationale et d'échanges mondialisés. »

En 2050, le mix de production pour le scénario technologies vertes est comme suit, pour une production totale de 660 TWh :

- Nucléaire : 10.63 %
- Turbines Gaz : 2.18 %
- Autres thermiques : 0%
- PV : 26.71 %
- Eolien Terrestre : 24.36 %
- Eolien en mer : 25.28%
- Hydro : 9.62%
- Autres renouvelables : 1.21%

Il faut également considérer :

- Exports : 137 TWh
- Imports : 135 TWh

Dans une vision du numérique, le scénario 3, Technologies Vertes, pourrait se traduire de la façon suivante :

Principes généraux	Ce scénario est plutôt basé sur un principe de numérique et d'éco conception généralisés dans une optique d'efficacité énergétique ou matière dans tous les secteurs. La notion de sobriété numérique est ici beaucoup moins prégnante.
---------------------------	---

	<p>Des changements de modes de fonctionnement, d'appropriation du numérique s'avèrent nécessaires, mais ils s'inscrivent dans une logique globale de limiter les impacts par les évolutions technologiques plus que par des changements radicaux.</p> <p>La révolution numérique se fait principalement pour les territoires urbanisés avec un accès généralisé au très haut débit (fibre), de fait les contenus diffusés sont dimensionnés pour cette population. Grâce à ces capacités, les logiciels sont peu optimisés et gourmands en ressources. La consommation de données est importante. L'intelligence artificielle est développée dans tous les domaines.</p> <p>Le matériel (capteurs, terminaux...) est très utilisé et implémenté dans tous les services (avènement des smart grids, smart cities, industrie du futur et de l'IOT à grande échelle) et domiciles (smart home) mais en gardant à l'esprit de rationaliser et optimiser les usages. Les usages du numérique vont considérablement augmenter conduisant à une forte augmentation du nombre d'équipements.</p> <p>Les taux de renouvellement et mise à niveau matériel sont stabilisés en raison notamment de la maintenance, mais une recherche de qualité et de performance limite le suréquipement. Les entreprises et services publics sont toutefois amenés à faire des efforts de rationalisation pour des questions économiques et cherchent à augmenter la durée de vie de leurs acquisitions. Une réflexion est systématisée sur l'acquisition de matériel professionnel notamment les serveurs, pour connaître l'impact des solutions (cloud vs parc interne). La collecte de matériel en fin de vie est développée dans les villes, afin d'en recycler un maximum.</p> <p>La communication est axée sur la sensibilisation à l'impact environnemental du numérique et sur le recyclage.</p> <p>Les effets rebonds sont élevés, en raison d'une consommation importante de données, pour les services et les loisirs, et d'un nombre important d'équipements impliquant consommation d'énergie dans la phase de fabrication et d'usage. Le développement du recyclage, d'un bon taux de collecte dans la ville, de l'usage de smart grids et du développement des smart cities dans les villes permettent toutefois de limiter cet effet rebond.</p> <p>L'accès aux services numériques est facilité en ville, avec des infrastructures publiques accessibles et des réseaux performants ; mais la fracture est plus grande (comparé aux autres scénarios) avec la campagne où les débits ne sont pas suffisants pour accéder à ces services dimensionnés pour les territoires urbains.</p> <p>Les principes d'éco-responsabilité sont la norme.</p>
<p>Hypothèses générales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tier 1 – Equipements des usagers : <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans le cadre de ce scénario, le grand public, les entreprises et les administrations continuent à consommer les équipements sur le mode actuellement observé (téléphones, écrans TV, consoles de jeux, ...). Par ailleurs les équipements sont eux moins énergivores. ○ Concernant les équipements des objets connectés, cette vision de la société envisage une évolution de leurs nombres mais à un rythme moins important que les tendances actuelles. Elles s'expliquent notamment par une rationalisation de certains équipements IoT en allant vers des schémas directeurs encadrant le déploiement de ces équipements et en limitant leurs nombres. • Tier 2 – réseaux : <ul style="list-style-type: none"> ○ Comme pour les scénarios précédents, la fibre optique est la seule technologie en œuvre pour les réseaux fixes. ○ Pour les réseaux mobiles, les déploiements des réseaux seront équivalents à ceux observés dans le scénario tendanciel. Le déploiement de la 5G sera plus ciblé . • Tier 3 – centres de données : concernant les centres de données, ils constituent une pierre angulaire très importante du dispositif. Dans ce contexte, l'optimisation passe par une généralisation d'externalisation des infrastructures opérées actuellement au sein des acteurs publics et entreprises vers des centres de données spécialisés et externalisés (services de colocation et/ou Cloud) qui seront en capacité de sécuriser et proposer de nouvelles technologies de refroidissement et de gestion de l'énergie.

	Pour l'ensemble des tiers, les consommations électriques unitaires des équipements et leurs durées d'usage sont équivalentes à celles du scénario tendanciel.
--	--

Le scénario 4, **Pari Réparateur**, imagine une société où les modes de vie du début du XXI^e siècle sont sauvegardés. Le foisonnement de biens consomme beaucoup d'énergie et de matières avec des impacts potentiellement forts sur l'environnement. Les enjeux écologiques globaux sont perçus comme des contreparties du progrès économique et technologique : la société place sa confiance dans la capacité à gérer, voire réparer, les systèmes sociaux et écologiques avec plus de ressources matérielles et financières pour conserver un monde viable.

Description générale du scénario Pari Réparateur selon l'ADEME :

« Les modes de vie du début du XXI^e siècle sont sauvegardés. Les appareils sont très prisés dans la maison pour cuisiner, alerter, régler (lumière, énergies), sécuriser. Les applications sont très développées notamment pour s'alimenter (sainement) ou se déplacer (efficacement). Mais ce foisonnement de biens consomme beaucoup d'énergie et de matières avec des impacts potentiellement forts sur l'environnement.

Les enjeux écologiques globaux sont perçus comme des contreparties du progrès économique et technologique : la société place sa confiance dans la capacité à gérer, voire réparer, les systèmes sociaux et écologiques avec plus de ressources matérielles et financières pour conserver un monde viable. Ceci conduit à remettre en cause un certain nombre d'objectifs inscrits aujourd'hui dans la loi (division par deux de la consommation d'énergie, zéro artificialisation nette...). Les enjeux écologiques locaux (ressources, pollution, bruit, biodiversité...) sont traités avec des solutions techniques. Mais cet appui exclusif sur les technologies est un pari dans la mesure où certaines d'entre elles ne sont pas matures. C'est le cas du captage et du stockage du CO₂ dans l'air ambiant qui sont à un stade expérimental en 2021 et pour lesquels aucune étude ne permet de savoir s'ils seront déployables à des coûts et impacts acceptables et dans les temps impartis.

La mondialisation s'accélère, avec une amélioration des aides au bénéfice des pays les plus en difficulté.

La logique de ce scénario correspond au développement de deux dynamiques récentes sans précédent en rupture avec les tendances passées :

- L'émergence d'une classe moyenne mondiale qui pourrait contribuer à une croissance robuste de la production et de la consommation ;
- La révolution numérique qui facilite la vie des citoyens et des entreprises. Présent partout et pour toutes les activités, le numérique est également grand consommateur d'énergie malgré les progrès techniques pour le rendre plus efficace ».

En 2050, le mix de production pour le scénario pari réparateur est comme suit, pour une production totale de 818.5 TWh :

- Nucléaire : 22.93%
- Turbines Gaz : 4.61%
- Autres thermiques : 0%
- PV : 22.01%
- Eolien Terrestre : 21.32%
- Eolien en mer : 20.38 %
- Hydro : 7.76 %
- Autres renouvelables : 0.98 %

Il faut également considérer :

- Exports : 136 TWh
- Imports : 146 TWh

Dans une vision du numérique, le scénario 4, Pari Réparateur, pourrait se traduire de la façon suivante :

Principes généraux	<p>Ce scénario repose sur un principe d'une fuite en avant du numérique qui pourrait être considéré comme présentant toutes les vertus technologiques garantissant une meilleure gestion des autres composantes de la société. Ainsi le numérique deviendrait le maillon central et donc les différents équipements, biens et services proposés doivent avoir la capacité d'absorber tous les autres pans de la vie économique.</p> <p>La révolution numérique atteint son paroxysme. Tout est digitalisé, beaucoup de véhicules sont quasi autonomes, tous les services sont dématérialisés, les habitations sont toutes «</p>
---------------------------	--

	<p>smart », les interactions entre les personnes sont virtualisées à l'extrême aussi bien dans les relations privées que professionnelles. Les loisirs passent par des flux de données très important (vidéos, jeux vidéos).</p> <p>Les villes sont toutes basées sur le principe des smart cities, alimentées par des smart grids. Afin de permettre ce fonctionnement, les réseaux sont systématiquement multipliés, les algorithmes sont tous basés sur un fonctionnement en blockchains. Les mises à jour logiciel sont très fréquentes tout type de matériel confondu, pour permettre des évolutions ergonomiques fortes et intégrer de nouvelles fonctionnalités. Ceci entraîne des conséquences sur une moindre optimisation logicielle en raison d'un besoin rapide de développement.</p> <p>Le développement des services numériques entraîne une multiplication des équipements, pour les ménages, les entreprises et les services publics. Pour les ménages : une multiplication des objets connectés, des écrans, une intégration de services connectés dans les véhicules ; une fréquence de remplacement élevée pour prendre en compte les besoins en puissance brute des équipements et suivre les mises à jour sans perte de qualité des services, un suréquipement fréquent.</p> <p>Seuls quelques équipements ne sont plus physiques (exemple : consoles de jeux, enregistreurs numériques, disques externes, stations de travail...) mais par ailleurs renvoient à des stations de travail mis à disposition à distance (intensification et multiplication des serveurs).</p> <p>L'allongement de la durée de vie des équipements n'est pas un objectif, mais le recyclage est optimisé pour pallier – en partie - à la question des ressources. Pour les entreprises : tous les services sont numérisés, la collecte, la production et les échanges de données sont considérables. De fait, les centres de serveurs se multiplient en nombre et en taille ; la recherche d'efficacité énergétique impose le développement de production d'énergie dédiée (photovoltaïque) et d'utilisation de l'énergie fatale (intégration à des réseaux de chaleur...). Dans les villes, les capteurs se multiplient pour optimiser les services publics : capteurs sur les bacs / bornes déchets, capteurs de stationnement, caméras, capteur de luminosité et lampadaires bornes wifi, bornes multimédias interactives sur les services de la ville...</p> <p>La communication est axée sur la sensibilisation à l'impact environnemental du numérique et sur le recyclage.</p> <p>Les effets rebonds sont importants : malgré la virtualisation de certains équipements, l'efficacité énergétique accrue grâce à certains équipements / automatisation, la consommation de données et la fabrication des équipements entraînent à une échelle mondiale des hausses d'émissions de CO2 et de consommation de ressources.</p> <p>La société est clivée entre les personnes ayant un accès à tous les appareils et à leur compréhension / possibilité d'intégration au quotidien, et à ceux qui n'y ont pas accès pour des raisons économiques / ergonomiques / géographiques et qui se retrouvent coupées de beaucoup de services. La sécurité des données personnelles est régulièrement mise à mal (cyber attaques nombreuses et organisées).</p> <p>L'efficacité des appareils numériques est optimisée.</p> <p>Cette vision radicale repose sur la nécessité de maîtriser d'autres technologies, notamment de production et stockage d'énergie ainsi que de capture et séquestration de carbone.</p>
<p>Hypothèses générales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tier 1 – Equipements des usagers : <ul style="list-style-type: none"> ○ Dans le cadre de ce scénario, le grand public, les entreprises et les administrations continuent à consommer les équipements sur le mode actuellement observé (téléphones, écrans TV, consoles de jeux, ...). ○ Concernant les équipements des objets connectés, cette vision de la société envisage une explosion de ces équipements, notamment dans le but de superviser, optimiser tous les équipements industriels qui seront développés et qui devront engendrer eux des bénéfices permettant d'atteindre la neutralité carbone. • Tier 2 – réseaux : <ul style="list-style-type: none"> ○ Les réseaux, notamment mobiles sont au cœur de l'écosystème et donc connaissent des déploiements importants, notamment pour la 5G, mais également sur les autres technologies (6G et au-delà)

	<ul style="list-style-type: none"> • Tier 3 – centres de données : le deuxième pilier du numérique connaît également une très forte envolée des surfaces IT en exploitation. Le développement de services de Cloud se base sur des infrastructures qui sont localisées au sein des territoires. Cette tendance qui s’amorce aujourd’hui en France avec le déploiement de régions Cloud par tous les grands acteurs internationaux qui installent leurs serveurs Cloud dans des centres de données soit en propre, soit auprès d’acteurs spécialisés de la colocation va devenir une règle avec une diffusion également dans les territoires et pas uniquement dans les quelques grands pôles économiques (Ile de France, Nord de la France, Bouches du Rhône, ...). Dans ce contexte, l’optimisation passe par une généralisation de l’externalisation des infrastructures opérées actuellement au sein des acteurs publics et entreprises vers des centres de données spécialisés et externalisés (services de colocation et/ou Cloud) qui seront en capacité de sécuriser et proposer de nouvelles technologies de refroidissement et de gestion de l’énergie. Dans un contexte où le numérique est vraiment la pierre angulaire du système et où les centres de données sont un des piliers, leurs surfaces IT pourraient s’envoler avec des projets soit gigantesques soit une multiplicité de projets de déploiements dans les territoires. <p>Pour l’ensemble des tiers, les consommations électriques unitaires des équipements et leurs durées d’usage sont équivalentes à celles du scénario tendanciel.</p>
--	---

Les 4 scénarios s’inscrivent donc dans un dégradé technologique que les hypothèses à suivre se doivent de capturer. **Pour rappel, ces scénarios affectent la modélisation en modifiant les hypothèses relatives au nombre d’équipements, à leur durée de vie, à la consommation électrique unitaire de ces derniers (concernant les centres de données en particulier, la surface et la densité de puissance sont également des paramètres affectés).**

8.2. Hypothèses retenues pour les 4 scénarios

8.2.1. Tier 1 – Equipements utilisateur

8.2.1.1. Nombre d’unités

Les hypothèses structurantes retenues pour les équipements du scénario 1 sont les suivantes :

- Le scénario S1 envisage une société frugale où les citoyens ont pris conscience de la nécessité de convergence entre équipements numériques vers le téléphone portable ou l’ordinateur portable. Chaque habitant a un téléphone mobile, soit smartphone (80%), soit feature phone (20%). Certains conservent un téléphone fixe (un foyer sur 2). L’ordinateur portable est réduit à un par foyer, tandis que la mutualisation des équipements a permis l’extinction des ordinateurs fixes, des tablettes, des écrans d’ordinateurs et la division par 3 du nombre d’imprimantes.
- Pour ce qui concerne la télévision, chaque foyer est équipé soit d’un téléviseur (50%), soit d’un vidéoprojecteur, moins consommateur (50%).
- Concernant les divertissements numériques, les habitants réduisent de 50% leurs consoles de jeux vidéos fixes et portables par rapport à 2020. Quant aux casques de réalité virtuelle, ils restent minoritaires à leur niveau 2020.
- En matière d’objets connectés, ils restent stables par rapport à 2020 à l’exception des objets connectés e-santé dont la croissance est similaire au scénario tendanciel.
- En termes d’espace public, les écrans publicitaires numériques ont été interdits.

Les hypothèses structurantes retenues pour les équipements du scénario 2 sont les suivantes :

- Le scénario S2 envisage un taux d’équipement de 1,1 smartphone par habitant tandis que l’ordinateur portable reste à son niveau 2020 et qu’un foyer sur deux a un ordinateur fixe. Pour ce qui concerne la télévision, les téléviseurs cèdent relativement la place aux vidéoprojecteurs, moins consommateurs (30% du parc). Le parc global reste stable par rapport à 2020.
- Les consoles et box TV restent stables par rapport à 2020.
- Le nombre d’imprimantes est divisé par 2.

- En termes d'objets connectés, leur croissance est divisée par deux par rapport au scénario tendanciel.
- En termes d'espace public, les écrans publicitaires numériques sont limités à leur niveau 2020.

Le scénario 3 et 4 sont identiques au scénario tendanciel en termes de nombre d'unités pour tous les équipements hors objets connectés. Pour le scénario 3, le nombre d'objets connectés est identique au scénario tendanciel. Quant au scénario 4, il dépasse le cap des 10 milliards d'objets connectés à horizon 2050.

Nombre d'unités	2020	2050 ST	2050 S1	2050 S2	2050 S3	2050 S4
Téléphone	116 578 847	98 114 075	84 718 798	91 405 363	98 114 075	110 281 631
Ordinateurs	147 102 668	180 124 277	44 865 004	136 202 931	180 124 277	180 124 277
Afficheurs électroniques	111 106 575	149 833 972	30 705 296	89 232 840	149 833 972	149 833 972
Consoles de jeux	19 583 396	78 640 629	10 011 317	19 583 396	78 640 629	78 640 629
Box TV	20 681 289	20 681 289	20 681 289	20 681 289	20 681 289	20 681 289
Périphériques externes	133 330 514	18 671 506	11 100 378	15 359 408	18 671 506	18 671 506
Objets connectés	247 005 197	3 604 237 985	247 005 197	902 446 485	3 604 237 985	10 553 991 980
TOTAL	795 388 486	4 150 303 732	449 087 279	1 274 911 711	4 150 303 732	11 527 125 584

Le tableau-ci-après détaille les évolutions des volumes d'équipements retenus pour l'année 2020, pour le scénario tendanciel 2050 et pour les 2 premiers scénarios ADEME en 2050 avec une précision sur les taux de croissance annuels moyens (TCAM) retenus pour les périodes 2020-2025, 2025-2030 et 2030-2050.

		Année 2020	Scénario 2050 tendanciel				S1 : GENERATION FRUGALE				S2 : COOPERATIONS TERRITORIALES			
		Unités	TCAM 2020-2025	TCAM 2025-2030	TCAM 2030-2050	Unités	TCAM 2020-2025	TCAM 2025-2030	TCAM 2030-2050	Unités	TCAM 2020-2025	TCAM 2025-2030	TCAM 2030-2050	Unités
Téléphone	Smartphones	69 600 000	1,2%	0,9%	1,1%	84 000 000	-0,7%	-0,7%	-0,7%	56 375 018	0,4%	0,4%	0,4%	77 291 288
Téléphone	Feature phones	9 665 043	-20,6%	-20,6%	-20,6%	9 546	1,3%	1,3%	1,3%	14 239 251	-20,6%	-20,6%	-20,6%	9 546
Téléphone	Téléphone (ligne fixe via box)	37 313 804	0,7%	0,3%	-5,0%	14 104 529	0,7%	0,3%	-5,0%	14 104 529	0,7%	0,3%	-5,0%	14 104 529
Ordinateurs	Ordinateurs portables	58 935 780	3,2%	2,6%		78 147 511	-2,2%	-2,2%	-2,2%	30 237 416				58 935 780
Ordinateurs	Ordinateurs fixes	37 276 596	-1,7%	-2,0%		30 916 455	-10,0%	-20,0%	-100,0%	-	-3,0%	-3,0%	-3,0%	14 948 178
Ordinateurs	Tablettes	24 074 512	1,9%	1,2%	1,2%	35 503 192	-10,0%	-20,0%	-100,0%	-	1,9%	1,2%	1,2%	35 503 192
Ordinateurs	Stations d'accueil	26 815 780	3,2%	2,6%	0,0%	35 557 118	-2,0%	-2,0%	-2,0%	14 627 588				26 815 780
Afficheurs électroniques	Téléviseurs	62 571 429	0,8%	0,3%	0,3%	70 922 817	-4,5%	-4,5%	-4,5%	15 720 893	-0,9%	-0,9%	-0,9%	47 707 395
Afficheurs électroniques	Vidéo-projecteurs	4 619 971	-15,8%	-28,7%	100,0%		4,0%	4,0%	4,0%	14 984 402	5,0%	5,0%	5,0%	19 967 248
Afficheurs électroniques	Ecrans d'ordinateur	37 324 278	2,3%	1,0%	1,0%	53 659 120	-10,0%	-20,0%	-100,0%	-	-3,0%	-3,0%	-3,0%	14 967 299
Afficheurs électroniques	Ecrans publicitaires (téléviseurs)	6 590 897	2,5%	5,0%	5,0%	25 252 036	-20,0%	-20,0%	-100,0%	-				6 590 897
Consoles de jeux	Consoles de jeux vidéo de salon	11 746 044	4,2%	0,5%	0,5%	16 365 592	-2,4%	-2,4%	-2,4%	5 667 430				11 746 044
Consoles de jeux	Consoles de jeux vidéo portable	6 750 617	-0,5%	-0,5%	-0,5%	5 808 124	-2,4%	-2,4%	-2,4%	3 257 152				6 750 617
Consoles de jeux	Casque AR/VR	1 086 735	37,4%	9,9%	9,9%	56 466 912				1 086 735				1 086 735
Box TV	Box TV	20 681 289			0,0%	20 681 289				20 681 289				20 681 289
Périphériques externes	Imprimantes	22 981 575	-3,6%	-1,7%	-1,7%	12 503 865	-5,0%	-5,0%	-5,0%	4 932 737	-4,6%	-2,7%	-2,7%	9 191 767
Périphériques externes	HDD externe	36 350 222	-9,2%	-9,2%	-9,2%	2 031 693	-9,2%	-9,2%	-9,2%	2 031 693	-9,2%	-9,2%	-9,2%	2 031 693
Périphériques externes	SSD externe	7 860 552	-9,2%	-9,2%	-9,2%	439 343	-9,2%	-9,2%	-9,2%	439 343	-9,2%	-9,2%	-9,2%	439 343
Périphériques externes	Clés USB & Micro SD	66 138 165	-9,2%	-9,2%	-9,2%	3 696 605	-9,2%	-9,2%	-9,2%	3 696 605	-9,2%	-9,2%	-9,2%	3 696 605

Enceintes connectées	Enceintes connectées	2 484 956	27,1%	7,6%	7,6%	51 904 918				2 484 956	13,6%	3,8%	3,8%	11 972 705
Objets connectés Sécurité	Objets connectés (Sécurité - Vidéo)	6 986 293	13,6%	13,6%	6,8%	92 537 340				6 986 293	6,8%	6,8%	3,4%	26 225 642
Objets connectés Sécurité	Objets connectés (Sécurité - Serrures intelligentes)	11 643 821	1,8%	1,8%	0,9%	16 781 042				11 643 821	0,9%	0,9%	0,5%	13 987 134
Objets connectés Smart city	Objets connectés (Automatisation - Lampadaire)	6 986 293	0,0%	0,0%	0,0%	6 986 293				6 986 293	0,0%	0,0%	0,0%	6 986 293
Objets connectés Smart city	Objets connectés (Compteurs intelligents)	29 109 552	5,3%	5,3%	2,7%	82 713 421				29 109 552	2,7%	2,7%	1,3%	49 319 232
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Chauffe-eau)	6 986 293	5,6%	5,6%	2,8%	20 984 691				6 986 293	2,8%	2,8%	1,4%	12 176 599
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Thermostat intelligent et climatiseur)	6 986 293	11,7%	11,7%	5,8%	61 235 245				6 986 293	5,8%	5,8%	2,9%	21 954 527
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Lumières)	18 630 113	14,9%	14,9%	7,5%	317 206 543				18 630 113	7,5%	7,5%	3,7%	79 789 650
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Cuisson)	6 986 292	3,5%	3,5%	1,7%	13 930 502				6 986 292	1,7%	1,7%	0,9%	9 887 206
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Assistants vocaux)	23 287 642	5,4%	5,4%	2,7%	45 000 000				23 287 642	2,7%	2,7%	1,4%	39 940 712
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Appareils électroménagers)	9 315 057	20,0%	20,0%	10,0%	300 000 000				9 315 057	10,0%	10,0%	5,0%	64 375 051
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Capteurs: Res - WiFi)	1 164 382	17,5%	17,5%	8,7%	31 054 812				1 164 382	8,7%	8,7%	4,4%	6 320 685
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Capteurs: Res - LE)	6 054 787	27,9%	27,9%	14,0%	969 190 280				6 054 787	14,0%	14,0%	7,0%	86 219 976
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Passerelle: LE to WiFi)	1 164 382	21,5%	21,5%	10,7%	62 710 315				1 164 382	10,7%	10,7%	5,4%	9 194 683

Objets connectés Smart building	Objets connectés (Stores et fenêtres)	582 191	44,6%	44,6%	22,3%	140 000				582 191	22,3%	22,3%	11,2%	36 139 953
Objets connectés Smart industry	Objets connectés (Capteurs: Industry - LE)	10 479 439	19,2%	19,2%	9,6%	377 981				10 479 439	9,6%	9,6%	4,8%	66 765 928
Objets connectés Smart industry	Objets connectés (Passerelle: Bus)	1 280 820	25,9%	25,9%	12,9%	146 808				1 280 820	12,9%	12,9%	6,5%	15 170 780
Objets connectés Smart industry	Objets connectés (Communication de contrôle de bâtiments)	81 506 747	10,8%	10,8%	5,4%	656 319				81 506 747	5,4%	5,4%	2,7%	235 984 627
Objets connectés E-santé	Objets connectés (Capteurs: Health - LE)	15 369 844	13,8%	13,8%	6,9%	211 474				15 369 844	13,8%	13,8%	3,4%	110 035 102
TOTAL		795 388 486				4 150 303 732				449 087 279				1 274 911 711

Le tableau-ci-après détaille les évolutions des volumes d'équipements retenus pour l'année 2020, pour le scénario tendanciel 2050 et pour les 2 derniers scénarios ADEME en 2050 avec une précision sur les taux de croissance annuels moyens (TCAM) retenus pour les périodes 2020-2025, 2025-2030 et 2030-2050.

		Année 2020	Scénario 2050 tendanciel				S3 : TECHNOLOGIES VERTES				S4 : PARI REPARATEUR			
		Unités	TCAM 2020-2025	TCAM 2025-2030	TCAM 2030-2050	Unités	TCAM 2020-2025	TCAM 2025-2030	TCAM 2030-2050	Unités	TCAM 2020-2025	TCAM 2025-2030	TCAM 2030-2050	Unités
Téléphone	Smartphones	69 600 000	1,2%	0,9%	1,1%	84 000 000	1,2%	0,9%	1,1%	84 000 000	1,2%	0,9%	1,1%	96 167 555
Téléphone	Feature phones	9 665 043	-20,6%	-20,6%	-20,6%	9 546	-20,6%	-20,6%	-20,6%	9 546	-20,6%	-20,6%	-20,6%	9 546
Téléphone	Téléphone (ligne fixe via box)	37 313 804	0,7%	0,3%	-5,0%	14 104 529	0,7%	0,3%	-5,0%	14 104 529	0,7%	0,3%	-5,0%	14 104 529
Ordinateurs	Ordinateurs portables	58 935 780	3,2%	2,6%		78 147 511	3,2%	2,6%	0,0%	78 147 511	3,2%	2,6%	0,0%	78 147 511
Ordinateurs	Ordinateurs fixes	37 276 596	-1,7%	-2,0%		30 916 455	-1,7%	-2,0%	0,0%	30 916 455	-1,7%	-2,0%	0,0%	30 916 455
Ordinateurs	Tablettes	24 074 512	1,9%	1,2%	1,2%	35 503 192	1,9%	1,2%	1,2%	35 503 192	1,9%	1,2%	1,2%	35 503 192
Ordinateurs	Stations d'accueil	26 815 780	3,2%	2,6%	0,0%	35 557 118	3,2%	2,6%	0,0%	35 557 118	3,2%	2,6%	0,0%	35 557 118
Afficheurs électroniques	Téléviseurs	62 571 429	0,8%	0,3%	0,3%	70 922 817	0,8%	0,3%	0,3%	70 922 817	0,8%	0,3%	0,3%	70 922 817
Afficheurs électroniques	Vidéo-projecteurs	4 619 971	-15,8%	-28,7%	100,0%	-	-15,8%	-28,7%	-100,0%	-	-15,8%	-28,7%	100,0%	-

Afficheurs électroniques	Ecrans d'ordinateur	37 324 278	2,3%	1,0%	1,0%	53 659 120	2,3%	1,0%	1,0%	53 659 120	2,3%	1,0%	1,0%	53 659 120
Afficheurs électroniques	Ecrans publicitaires (téléviseurs)	6 590 897	2,5%	5,0%	5,0%	25 252 036	2,5%	5,0%	5,0%	25 252 036	2,5%	5,0%	5,0%	25 252 036
Consoles de jeux	Consoles de jeux vidéo de salon	11 746 044	4,2%	0,5%	0,5%	16 365 592	4,2%	0,5%	0,5%	16 365 592	4,2%	0,5%	0,5%	16 365 592
Consoles de jeux	Consoles de jeux vidéo portable	6 750 617	-0,5%	-0,5%	-0,5%	5 808 124	-0,5%	-0,5%	-0,5%	5 808 124	-0,5%	-0,5%	-0,5%	5 808 124
Consoles de jeux	Casque AR/VR	1 086 735	37,4%	9,9%	9,9%	56 466 912	37,4%	9,9%	9,9%	56 466 912	37,4%	9,9%	9,9%	56 466 912
Box TV	Box TV	20 681 289	0,0%	0,0%	0,0%	20 681 289	0,0%	0,0%	0,0%	20 681 289	0,0%	0,0%	0,0%	20 681 289
Périphériques externes	Imprimantes	22 981 575	-3,6%	-1,7%	-1,7%	12 503 865	-3,6%	-1,7%	-1,7%	12 503 865	-3,6%	-1,7%	-1,7%	12 503 865
Périphériques externes	HDD externe	36 350 222	-9,2%	-9,2%	-9,2%	2 031 693	-9,2%	-9,2%	-9,2%	2 031 693	-9,2%	-9,2%	-9,2%	2 031 693
Périphériques externes	SSD externe	7 860 552	-9,2%	-9,2%	-9,2%	439 343	-9,2%	-9,2%	-9,2%	439 343	-9,2%	-9,2%	-9,2%	439 343
Périphériques externes	Clés USB & Micro SD	66 138 165	-9,2%	-9,2%	-9,2%	3 696 605	-9,2%	-9,2%	-9,2%	3 696 605	-9,2%	-9,2%	-9,2%	3 696 605
Enceintes connectées	Enceintes connectées	2 484 956	27,1%	7,6%	7,6%	51 904 918	27,1%	7,6%	27,1%	51 904 918	27,1%	7,6%	7,6%	51 904 918
Objets connectés Sécurité	Objets connectés (Sécurité - Vidéo)	6 986 293	13,6%	13,6%	6,8%	92 537 340	13,6%	13,6%	13,6%	92 537 340	13,6%	13,6%	9,0%	140 681 951
Objets connectés Sécurité	Objets connectés (Sécurité - Serrures intelligentes)	11 643 821	1,8%	1,8%	0,9%	16 781 042	1,8%	1,8%	1,8%	16 781 042	1,8%	1,8%	1,2%	17 830 845
Objets connectés Smart city	Objets connectés (Automatisation - Lampadaire)	6 986 293	0,0%	0,0%	0,0%	6 986 293	0,0%	0,0%	0,0%	6 986 293	0,0%	0,0%	0,0%	6 986 293
Objets connectés Smart city	Objets connectés (Compteurs intelligents)	29 109 552	5,3%	5,3%	2,7%	82 713 421	5,3%	5,3%	5,3%	82 713 421	5,3%	5,3%	3,5%	98 251 581
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Chauffe-eau)	6 986 293	5,6%	5,6%	2,8%	20 984 691	5,6%	5,6%	5,6%	20 084 691	5,6%	5,6%	3,7%	25 153 295
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Thermostat intelligent et climatiseur)	6 986 293	11,7%	11,7%	5,8%	61 235 245	11,7%	11,7%	11,7%	61 235 245	11,7%	11,7%	7,8%	94 851 686
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Lumières)	18 630 113	14,9%	14,9%	7,5%	317 206 543	14,9%	14,9%	14,9%	317 206 453	14,9%	14,9%	10,0%	501 645 249

Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Cuisson)	6 986 292	3,5%	3,5%	1,7%	13 930 502	3,5%	3,5%	3,5%	11 089 13 930 502	3,5%	3,5%	2,3%	15 615 639
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Assistants vocaux)	23 287 642	5,4%	5,4%	2,7%	45 000 000	5,4%	5,4%	5,4%	45 000 000	5,4%	5,4%	3,6%	80 824 091
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Automatisation - Appareils électroménagers)	9 315 057	20,0%	20,0%	10,0%	300 000 000	20,0%	20,0%	20,0%	300 000 000	20,0%	20,0%	13,4%	711 343 431
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Capteurs: Res - WiFi)	1 164 382	17,5%	17,5%	8,7%	31 054 812	17,5%	17,5%	17,5%	31 054 812	17,5%	17,5%	11,6%	52 669 634
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Capteurs: Res - LE)	6 054 787	27,9%	27,9%	14,0%	969 190 280	27,9%	27,9%	27,9%	969 190 280	27,9%	27,9%	18,6%	2 157 804 797
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Passerelle: LE to WiFi)	1 164 382	21,5%	21,5%	10,7%	62 710 315	21,5%	21,5%	21,5%	62 710 315	21,5%	21,5%	14,3%	118 497 442
Objets connectés Smart building	Objets connectés (Stores et fenêtres)	582 191	44,6%	44,6%	22,3%	140 000 000	44,6%	44,6%	44,6%	140 000 000	44,6%	44,6%	29,7%	4 253 215 458
Objets connectés Smart industry	Objets connectés (Capteurs: Industry - LE)	10 479 439	19,2%	19,2%	9,6%	377 763 981	19,2%	19,2%	19,2%	377 763 981	19,2%	19,2%	12,8%	671 227 131
Objets connectés Smart industry	Objets connectés (Passerelle: Bus)	1 280 820	25,9%	25,9%	12,9%	146 192 808	25,9%	25,9%	25,9%	146 192 808	25,9%	25,9%	17,3%	309 464 892
Objets connectés Smart industry	Objets connectés (Communication de contrôle de bâtiments)	81 506 747	10,8%	10,8%	5,4%	656 167 319	10,8%	10,8%	10,8%	656 167 319	10,8%	10,8%	7,2%	921 878 106
Objets connectés E-santé	Objets connectés (Capteurs: Health - LE)	15 369 844	13,8%	13,8%	6,9%	211 878 474	13,8%	13,8%	13,8%	211 878 474	13,8%	13,8%	9,2%	324 145 541

TOTAL		795 388 486				4 150 303 732				4 150 303 732				11 112 225 283
--------------	--	--------------------	--	--	--	----------------------	--	--	--	----------------------	--	--	--	-----------------------

8.2.1.2. Consommation électrique et durée de vie unitaire des équipements

Dans le scénario 1, la consommation électrique de chaque équipement est divisée par 3 tandis que leur durée de vie est allongée de 2 ans.

Le scénario 2 prend en compte une consommation électrique unitaire divisée par 2 tandis que leur durée de vie est allongée de 1 an.

Les scénarios 3 et 4 appliquent une consommation électrique unitaire et une durée de vie identiques au scénario tendanciel (la variation de la durée de vie unitaire moyenne dans le tableau ci-dessus est liée à la variation du nombre d'équipements).

Terminaux	2020	2050 ST	2050 S1	2050 S2	2050 S3	2050 S4
Consommation électrique unitaire moyenne en kWh (hors IoT)	53,2	54,1	14,1	30,5	54,1	53,0
Durée de vie unitaire moyenne en année	6,5	5,5	9,2	8,4	5,6	4,8

8.2.2. Tier 2 – Equipements réseaux

8.2.2.1. Nombre d'unités des réseaux mobiles

Dans le scénario 1, le partage d'infrastructures passives et actives est devenu la règle. Les opérateurs se font concurrence sur la couche service, ce qui permet de réduire le nombre d'équipements par site à un opérateur. Dans cette configuration, deux générations de technologies mobiles sont conservées en parallèle, la 4G qui s'éteint vers 2045 et la 5G. Dans un contexte de trafic très réduit par rapport au scénario tendanciel, la société est habituée à limiter ses usages en mobilité et favorise le trafic en WiFi. La technologie 5G est mise en œuvre mais de manière plus mesurée. Les générations suivantes ne sont pas mises en œuvre.

Dans le scénario 2, le nombre de points hauts mobiles évolue de façon identique à celui du scénario 1, pour les mêmes raisons. Le partage d'infrastructures passives devient la norme. Pour les équipements actifs seules les zones rurales sont concernées. Dans cette configuration trois générations de technologies mobiles sont conservées en parallèle, la 4G, la 5G et la 6G. L'extinction de la technologie 4G est programmée plus tôt que dans le scénario tendanciel en raison du déploiement effectif des technologies 6G et au-delà dès 2031. Il est en effet retenu un arrêt de la 4G aux alentours de 2040 contre 2045 dans le scénario tendanciel. Dans un contexte de trafic modéré par rapport au scénario tendanciel, la société est habituée à optimiser ses usages en mobilité et favorise le trafic en WiFi.

Le scénario 3 propose des hypothèses proches au scénario tendanciel (le déploiement de la 5G est plus ciblé).

Le scénario 4 propose des hypothèses similaires au scénario tendanciel à l'exception de la 5G qui connaît un développement accru et du développement des technologies 6G et au-delà (XG).

Nombre d'unités	2020	2050 ST	2050 S1	2050 S2	2050 S3	2050 S4
Nombre de points hauts	51 572	108 149	55 372	55 372	108 149	113 539
Nombre d'équipements radios opérés	346 272	828 106	240 413	307 210	828 106	875 169

8.2.2.2. Consommation électrique unitaire des équipements

Dans le scénario 1, la consommation électrique des équipements réseaux fixes et mobiles est divisée par 3.

Le scénario 2 prend en compte une consommation électrique unitaire divisée par 2.

Les scénarios 3 et 4 appliquent une consommation électrique unitaire équivalente au scénario tendanciel : cette hypothèse est basée sur une hypothèse de densité du trafic nécessitant des équipements sans possibilité d'optimisation énergétique.

Réseau mobile	2020	2050 ST	2050 S1	2050 S2	2050 S3	2050 S4
Consommation électrique unitaire des équipements réseau mobile (en kWh)	4736	4 736	1 577	2 356	4 736	4 736
Consommation électrique unitaire des équipements réseau fixe (en kWh)	195	129	43	64	129	129

8.2.3. Tier 3 –Centres de données

8.2.3.1. Superficie de centres de données

L'évolution du marché de l'hébergement à l'horizon 2050 a été construit pour les 4 scénarios sur la base des tendances à la croissance des besoins en espace d'hébergement et sur la base des niveaux d'externalisations versus les stratégies « on-premise ».

Superficie (en m ² IT)	2020	2050 ST	2050 S1	2050 S2	2050 S3	2050 S4
DC traditionnels	458 190		416 939	478 823		
DC à vocation commerciale	414 175	1 465 206	414 175	750 221	1 465 206	2 378 810
DC HPC	10 800	35 029	35 029	35 029	35 029	35 029
DC Edge	-	509 375	60 000	163 409	244 542	1 491 562
TOTAL	883 165	2 009 610	926 143	1 427 482	1 744 777	3 905 401

8.2.3.2 Consommation électrique des équipements IT par m2 de centres de données

Dans le scénario 1, la consommation électrique des centres de données est divisée par 3 par rapport au scénario tendanciel.

Le scénario 2 prend en compte une consommation électrique unitaire divisée par 2 par rapport au scénario tendanciel

Les scénarios 3 et 4 appliquent une consommation électrique unitaire équivalente au scénario tendanciel : cette hypothèse est basée sur une hypothèse de densification des échanges d'information reposant largement sur les centres de données comme sur les réseaux. Les niveaux de consommation sont estimés donc sur la base du niveau tendanciel.

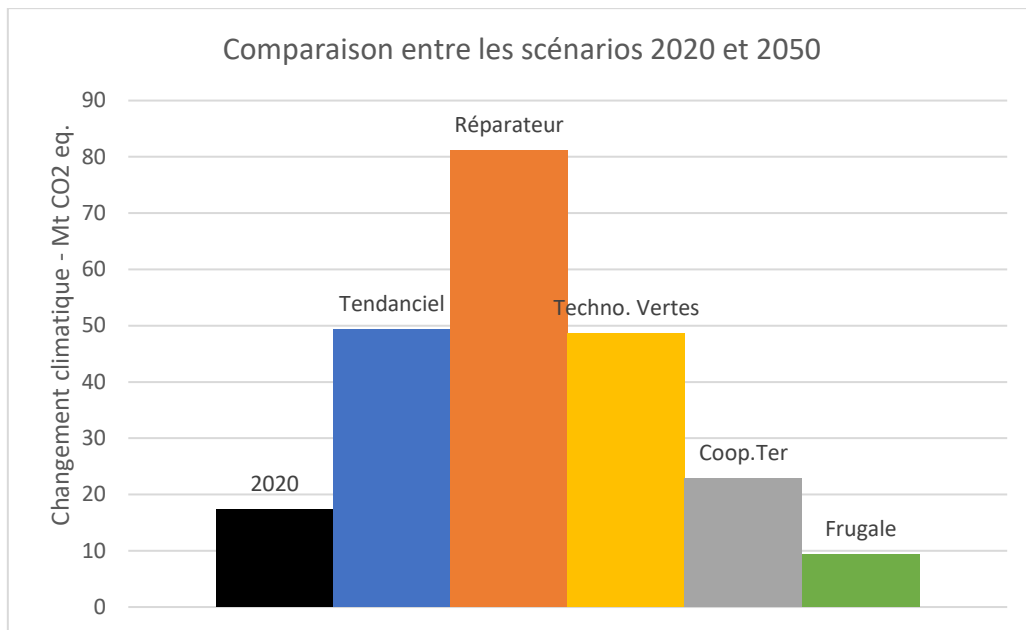
centres de données	2020	2050 ST	2050 S1	2050 S2	2050 S3	2050 S4
Public local	4 205	9 161	3 054	4 581		
Public national	5 519	12 024	4008	6012		
Entreprises	7 008	15 269	5090	7 634		
DC à vocation commerciale	8 760	19 086	6 392	9 543	19 086	19 086
HPC	31 536	68 710	22 903	34 355	68 710	68 710
Edge	7 008	15 269	5 090	7 634	15 269	15 269
Moyenne sur la base des surfaces réellement opérées	13 126	19 386	6 308	9275	19 951	18 471

8.3 Résultats

Les quatre scénarios de neutralité carbone définis par l'ADEME à horizon 2050 se déclinent en quatre visions de long terme totalement différentes de la place du numérique dans la société.

Ils sont à mettre en perspective du scénario tendanciel 2050 pour les évolutions de l'impact du numérique sur l'environnement. Cet exercice constitue une première analyse appelant à engager une réflexion globale sur le secteur du numérique et les choix de vie de société demain.

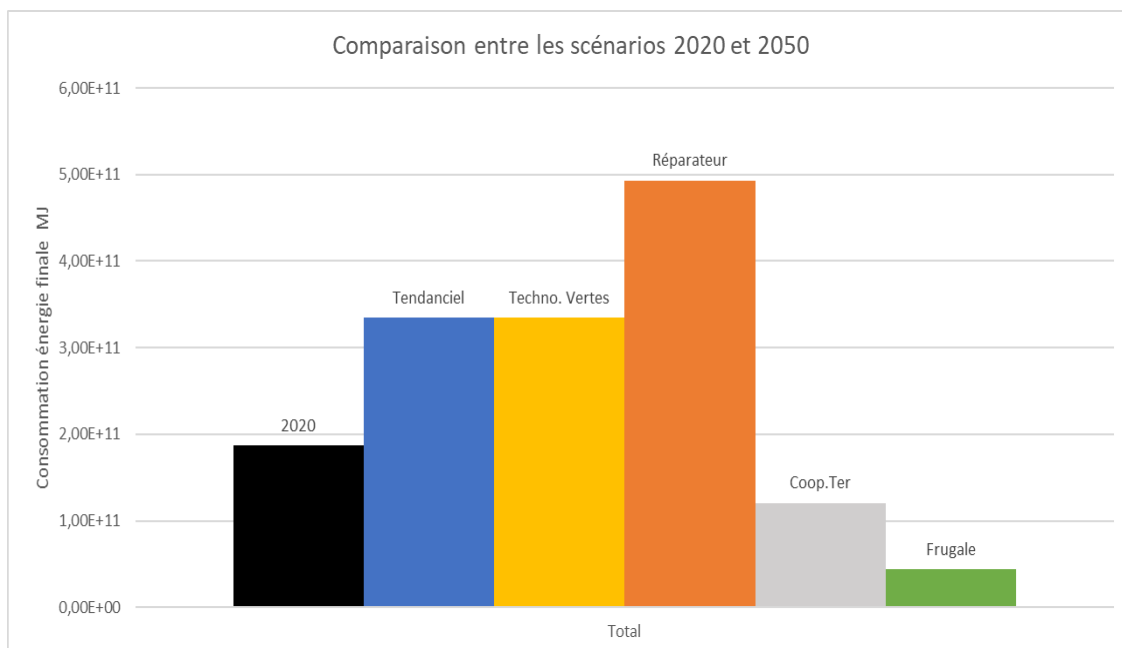
- La mise en œuvre d'un de ces quatre scénarios ADEME à horizon 2050 aurait en effet un impact sur la maîtrise de l'empreinte carbone à cet horizon qui serait très variable.
 - Le premier scénario « Génération Frugale » permettrait d'atteindre une réduction de l'impact carbone par rapport à la situation de 2020 avec un impact carbone (qui couvre les phases de fabrication des équipements et d'usage liées à la consommation électrique) de 9,4 Mt eq CO₂.
 - Le deuxième scénario « Coopérations Territoriales » permettraient d'atteindre une relative stabilité de l'impact carbone par rapport à la situation de 2020 avec un impact carbone de 22,8 Mt eq CO₂.
 - Le scénario 3 « Technologies Vertes » quant à lui serait très similaire au scénario tendanciel, l'impact carbone devant atteindre un niveau de 48,7 Mt eq CO₂ la différence minime avec le scénario tendanciel étant essentiellement permis par la variation du mix énergétique national.
 - Enfin le scénario 4 « Pari réparateur », aurait des conséquences importantes en termes d'augmentation de l'empreinte carbone du numérique. Cela nécessiterait donc des efforts considérables dans d'autres secteurs pour arriver à endiguer les impacts de ce scénario ou un recours plus massif aux stratégies de captation et séquestration carbone, qui conduirait à multiplier par pratiquement 4,7 les impacts carbone du numérique par rapport à 2020 et par 1,6 par rapport au scénario tendanciel 2050 pour atteindre 81,1 Mt de CO₂ en 2050.



Dans ces différents scénarios, les sources des impacts de carbone seront surtout concentrées autour des terminaux et des centres de données. En fonction du scénario considéré, les briques terminaux et centres de données pourraient voir leurs empreintes environnementales augmenter significativement en raison notamment du développement des équipements IoT et du volume de données à traiter et stocker.

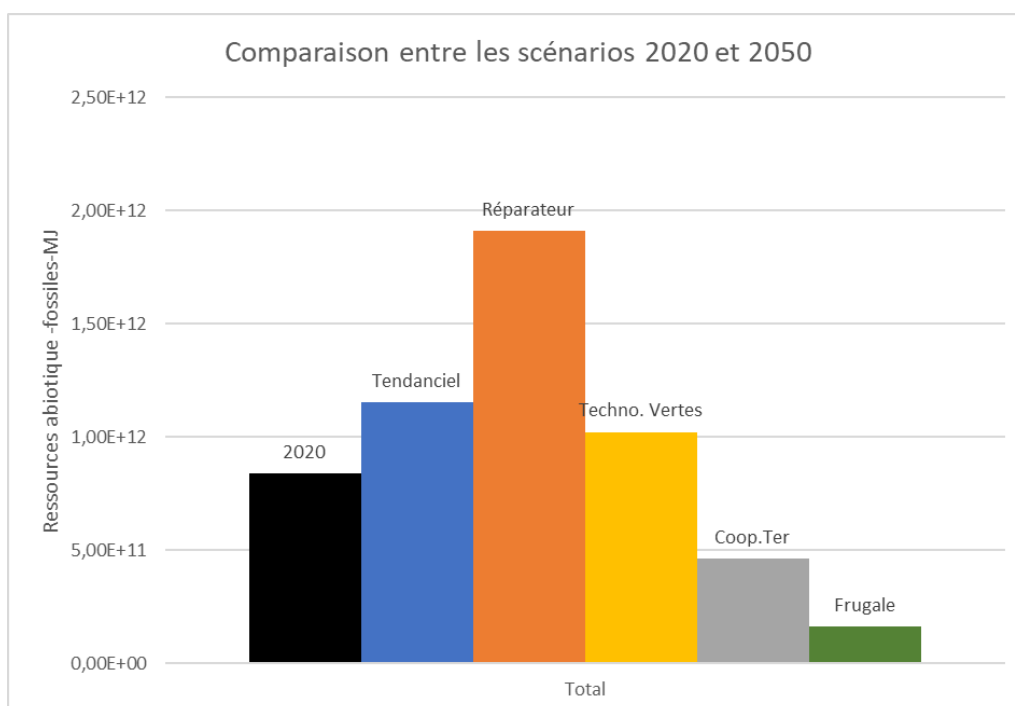
Les équipements réseaux (fixes et mobiles) conservent une contribution à l'empreinte carbone relativement faible en comparaison des terminaux et des centres de données.

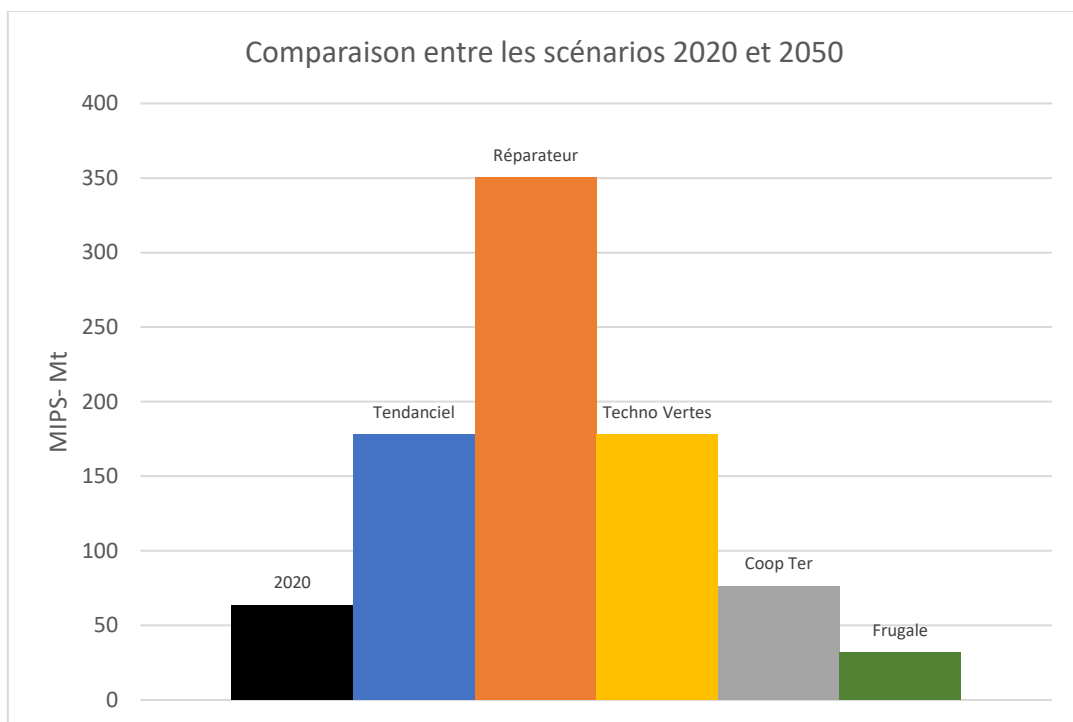
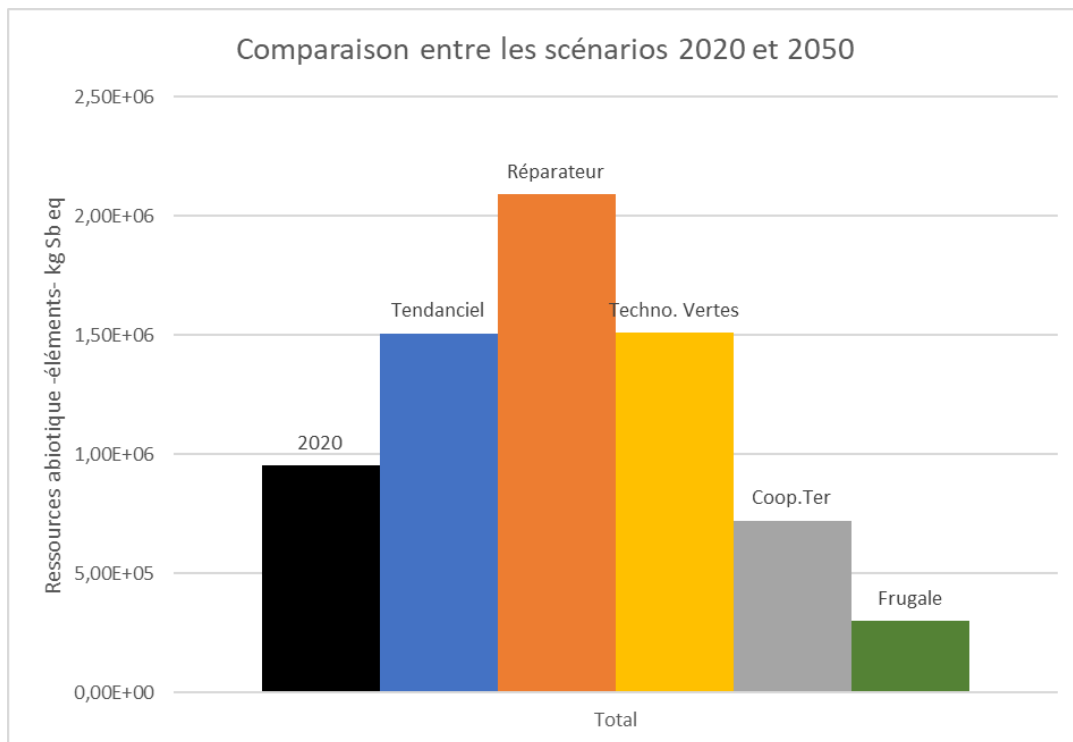
- La maîtrise énergétique résultant d'un des quatre scénarios prospectifs à 2050 permet également d'arriver à des conclusions similaires aux impacts de carbone :
 - Les deux premiers scénarios permettraient même d'atteindre une consommation énergétique inférieure par rapport à la situation de 2020 avec respectivement une consommation énergétique de 12,3 TWh pour le scénario 1 et 33,6 TWh pour le scénario 2.
 - Le scénario 3 quant à lui devrait atteindre un niveau de 92,8 TWh de consommation électrique, soit équivalente par rapport à la situation tendancielle 2050.
 - Enfin le scénario 4 montre une explosion de la consommation énergétique 50% plus importante que les prévisions du scénario tendanciel pour atteindre près de 137 TWh.



A horizon 2050, les terminaux ne représentent plus la consommation électrique (phases de fabrication et d'usage) la plus importante et sont égalés ou dépassés par les centres de données. Ces évolutions sont notamment liées aux besoins de traitement de données croissants. En revanche les terminaux représentent toujours l'impact environnemental le plus important en termes d'émissions de gaz à effet de serre (cf graphiques précédents).

- L'analyse sur les autres indicateurs et notamment l'indicateur ressources abiotiques naturelles (métaux & minéraux) montrent également des résultats très similaires avec notamment un scénario 4 « pari réparateur » devant mobiliser près de 1,4 fois plus de matières que le scénario tendanciel, celui-ci mobilisant déjà 1,6 fois plus de matières qu'en 2020 :





Les 4 scénarios ADEME transition 2050 visent tous à la neutralité carbone au niveau global (tous secteurs confondus) mais sur le secteur du numérique, les impacts en termes d’empreinte carbone sont très variables d’un scénario à l’autre.

Par ailleurs, en termes de consommation de ressources et notamment en termes de consommation de métaux, l’analyse montre des situations très différentes selon les scénarios avec un scénario 4 beaucoup plus vulnérable à la pénurie de ressource que le scénario 1.

9. Limites de l'étude

L'incertitude sur la projection de données est inhérente à l'exercice de prospective, a fortiori dans un secteur numérique en évolution très rapide et à des horizons aussi lointains que 2050. Par ailleurs, la modélisation retenue ici (approche essentiellement Top-Down qui repose sur des hypothèses de projections de données d'inventaires et de consommation énergétique) ne permet pas de tenir compte de la complexité de l'évolution de l'infrastructure du numérique. Cela requiert une approche de modélisation plus fine et trop complexe ici afin de capturer l'interdépendance entre les différents tiers du numérique. Ce chapitre a pour but d'identifier les limites connues afin d'en prendre conscience et d'anticiper de futures mises à jour.

Les caractéristiques techniques et données d'impact des équipements sont celles des équipements de 2020. Pour 2030 et 2050, ces caractéristiques vont vraisemblablement changer mais cela n'est pas pris en compte dans la modélisation.

Les analyses issues d'échanges, d'entretiens avec différents experts des domaines numériques ont également été réalisées afin de partager les orientations, visions et hypothèses. Pour autant, il en demeure des incertitudes liées aux échéances lointaines de la réflexion (2030 – 2050).

9.1.1. Réseaux et équipements exclus

Certains équipements et réseaux n'ont pas pu être inclus du fait d'un manque de données. Ces exclusions sont les suivantes :

Exclusions
TV satellite ainsi que les constellations de satellites à usage télécom et terrestre
Puces RFID et autres tags
Génie Civil et bien supports pour les réseaux mobiles (pylône et divers constructions point haut)
PSTN (Public Switched Telephone Network) – réseaux téléphonique fixe
Réseaux d'entreprise
Lecteurs DVD
Tableaux blancs interactifs
Lecteurs MP3
Equipement audio personnel
Distributeurs de billets
Caisses et terminaux de paiement
Caisse automatique (tickets de parking)
Hotspot WLAN publique
Péages
Caméras de sécurité
Equipements numériques automobiles pour la navigation

Imprimantes 3D : les télécopieurs et les imprimantes 3D ont été exclus de notre champ d'application car il n'y avait pas assez d'informations sur ces appareils pour les inclure dans notre périmètre

9.1.2. Incertitudes sur le nombre d'équipements, leurs caractéristiques, leurs impacts hors phase d'usage, leurs durées de vie et leurs consommations d'énergie

Les données collectées concernant le nombre d'équipements, leurs durées de vie et leur consommation électrique sont pourvoyeuses d'incertitude. En outre, les caractéristiques des équipements pris en compte pour l'ACV pour 2030 et 2050 sont les mêmes que pour 2020. Ce qui veut dire qu'une partie des hypothèses d'écoconception conduisant à une baisse des impacts environnementaux unitaires des équipements n'ont pas été prises en compte. A contrario, une hausse des impacts unitaires liés à une augmentation de la taille des écrans par exemple n'a pas été prise en compte.

Les nouveaux équipements dont les normes n'ont pas été définies (6G, xG), sont considérés comme des améliorations des équipements actuels et ne peuvent donc rendre compte des innovations disruptives que pourraient apporter ces nouvelles technologies. Par exemple, l'impact par équipement radio installé est réutilisé pour les modélisations de 2030 et 2050. Les seules évolutions considérées sont donc celles indiquées dans les hypothèses générales des différents scénarios modélisés.

Cette limite peut entraîner une surestimation des résultats si de réels efforts d'éco-conception sont déployés dans les années à venir parvenant à réduire les impacts environnementaux unitaires des équipements. A l'inverse cela peut entraîner une sous-estimation des résultats si l'impact unitaire des équipements venait à augmenter (par exemple via la taille des écrans).

9.1.1. Prise en compte du recyclage

Les données utilisées dans la modélisation pour la partie relative à la fin de vie des équipements sont les mêmes qu'en 2020 (taux de collecte et taux de recyclage). Les 2 approches, avec bénéfices pour une partie des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) traités dans la filière réglementaire et sans bénéfices pour la partie des DEEE orientés vers des filières alternatives, ont été prises en compte dans la modélisation 2020.

Ces approches et les paramètres qui les décrivent dans le modèle n'évoluent pas sur l'horizon de modélisation alors que plusieurs scénarios à 2050 (S3 et S4) misent sur une augmentation importante du taux de recyclage. Ceci a surtout un impact sur l'indicateur épuisement des ressources abiotiques métaux et minéraux.

9.1.2. Maintenance et upgrade

Lors de la phase d'utilisation, certains équipements requièrent une maintenance (changement de composants, nettoyage, etc.), et certains peuvent être mis à niveau (par exemple les ordinateurs fixes). Cela n'a pas été pris en compte dans l'étude. C'est le cas notamment des consommables d'impression (papier, cartouches d'encre, toners), même si leur inclusion dans les équipements du numérique est sujet à discussion.

Cette limite peut entraîner une sous-estimation des résultats.

9.1.3. Services numériques hors France et services numériques associés à l'usage hors France

Cette étude prend en compte les équipements basés sur le sol français : terminaux utilisateur, réseaux et centres de données.

Concernant les réseaux et les centres de données, elle ne prend pas en compte les équipements basés à l'étranger et utilisés pour les services numériques utilisés en France, en revanche elle prend en compte tous les équipements installés en France, même s'ils sont utilisés pour des services à l'étranger.

Cette limite peut entraîner une sous-estimation des résultats.

9.1.4. Energie verte, obligations vertes, autoconsommation, compensation carbone, neutralité carbone

Certaines entreprises valorisent des actions de réduction d'impact liée à l'utilisation d'électricité verte ou via des mécanismes financiers.

Certaines de ces actions (comme les obligations vertes ou la compensation carbone) n'ont pas été prises en compte du fait de l'approche méthodologique retenue reprenant le mix énergétique du réseau électrique français (approche « location-based » et non « market-based »), et d'autres n'ont pas été prises en compte du fait du manque de données, notamment concernant l'autoconsommation d'électricité.

9.1.5. Détermination des quantitatifs d'équipement des réseaux

Pour 2020, la méthode de détermination des quantitatifs des équipements des réseaux (tier 2) se base sur le flux des équipements sur l'année 2020, c'est-à-dire sur la quantité d'équipements achetés en 2020. Cette approche diffère des deux autres tiers qui considèrent l'ensemble des équipements utilisés et leur durée de vie (approche par amortissement des impacts environnementaux hors phase d'usage).

Par cohérence avec la tâche 2 (2020), la modélisation de l'évolution du réseau à horizon 2030 et 2050 s'appuie sur cette approche en flux. En outre, elle intègre de l'incertitude en ce qu'elle dépend de nombreux facteurs (densité de population, technologies de réseaux, type de terrain, consommation de données, etc.).

Par ailleurs, le modèle de dimensionnement des équipements de réseau déployés – basé sur des projections de déploiement (approche Top-Down) – reste d'une granularité assez large mais suffisante pour les besoins de l'exercice (dégager des tendances).

9.1.6. Calcul de la consommation électrique des réseaux

Dans ce troisième volet de l'étude, la modélisation de la consommation électrique des réseaux à horizon 2030 et 2050 s'appuie sur les résultats sur la consommation électrique en 2020 obtenus à partir d'une approche Top-Down. Ces résultats sont présentés dans le deuxième volet de l'étude, qui a été publié en janvier 2022. La consommation électrique à horizon 2030 et 2050 a en outre dû être reconstituée à partir de l'évolution du nombre d'amplificateurs de puissance pour le mobile et du nombre d'abonnés pour le fixe.

L'enquête annuelle « Pour un numérique soutenable », réalisée à partir de données collectées auprès des opérateurs de communications électroniques et publiée en avril 2022⁹¹, donne des résultats sur la consommation électrique des infrastructures réseaux globalement cohérents avec ceux obtenus dans le deuxième volet de l'étude, bien qu'il en ressorte une répartition entre réseaux fixe et mobile différente.

Cela montre la nécessité de poursuivre le travail d'amélioration de la mise à disposition des données pour les évaluations d'impact environnemental du numérique afin de continuer à éclairer le débat public et les citoyens. C'est dans ce but que les prochaines éditions de l'enquête annuelle « Pour un numérique soutenable » ainsi que d'autres travaux futurs pourraient nourrir une réactualisation de l'étude.

9.1.7. Différentiation métropole / outremer

Les régions et territoires d'outremer ont des particularités en matière :

- De mix électrique.
- De quantitatif et d'efficacité des systèmes et infrastructures numériques.

Dans cette étude, il n'a pas été possible de différencier les quantitatifs d'équipement entre la métropole et les territoires et régions d'outremer, ce qui n'a pas rendu possible une analyse plus fine des impacts associés.

9.1.8. Objets connectés

La méthode de détermination des impacts environnementaux des objets connectés est issue d'une modélisation à un niveau large. Cette approche nécessiterait d'être renforcée par une analyse plus fine des équipements concernés afin de réduire l'incertitude associée, notamment sur le profil matériel des objets. De plus, la définition du périmètre des

⁹¹ [Enquête annuelle "Pour un numérique soutenable" - édition 2022 | Arcep](#)

équipements considérés comme de l'IoT ne fait pas encore l'objet de consensus (notamment la frontière entre le numérique et d'autres secteurs embarquant la connectivité). Cela est d'autant plus important que les objets connectés sont amenés à se développer fortement dans les années à venir.

9.1.9. Hébergement

La méthode de détermination des impacts environnementaux des centres de données est basée sur une modélisation à partir d'une analyse Top-Down qui est certes imparfaite mais qui a le mérite de fixer les grandes tendances de l'hébergement à la fois en 2020 et de se projeter jusqu'en 2030 en limitant des incertitudes liées à une analyse purement bottom-up construite à partir des besoins de téléchargements, traitement et hébergement des données.

9.1.10. Technologies nouvelles

La méthode retenue pour la présente étude ne tient pas compte des technologies nouvelles qui pourraient apparaître au cours des prochaines décennies et qui pourraient favorablement ou défavorablement affecter les comportements de production des biens et des services, ou bien leurs usages. L'approche de modélisation retenue adopte une vision agrégée de l'évolution des technologies et des services du numérique et non des visions spécifiques (par IA/ML, Blockchain, métavers, AR/VR etc.). La modélisation effectuée prend donc en compte implicitement ces tendances/services/technologies sans toutefois pouvoir rendre compte de leur impact individuel.

9.1.11. Différences entre l'étude sectorielle sur les impacts environnementaux du numérique en France et les travaux transition(s) 2050

Cette étude sectorielle prospective à 2030 et 2050 vise à évaluer les impacts environnementaux multicritère du numérique en France via une modélisation ACV.

Dans l'exercice transition(s) 2050 de l'ADEME, l'impact du numérique n'a pas été pris en compte de manière sectorielle mais plutôt intégré comme une partie d'autres secteurs notamment dans le secteur du bâtiment (par exemple consommation des terminaux dans le résidentiel et le tertiaire, ou des centres de données dans le tertiaire). Le périmètre ainsi que les approches de modélisation est donc différent entre les deux exercices. Aussi, il peut apparaître des différences notamment sur la consommation électrique des terminaux et des centres de données.

Sur les terminaux du secteur du bâtiment, les écarts peuvent s'expliquer par des différences de périmètres : un périmètre plus large dans la partie professionnelle de l'étude sectorielle numérique que le seul secteur du tertiaire dans l'exercice Transition(s) 2050 ; une prise en compte d'un grand nombre d'équipements et notamment de l'IOT dans l'étude sectorielle qui représentera dans les scénarios 2050 une part importante de la consommation électrique. Par ailleurs, dans l'étude sectorielle numérique, la consommation électrique a été comptabilisée dans le périmètre « numérique » alors que dans Transition(s) 2050, cette consommation a été comptabilisée dans d'autres secteurs : par exemple les objets connectés dans les stores et fenêtres ou ceux dans l'automatisation des appareils électroménagers ou les capteurs réseaux dans les bâtiments.

Sur les centres de données, des différences d'approche et de périmètre entre les deux exercices peuvent également expliquer les différences de résultats notamment sur les scénarios S3 Technologies Vertes et S4 Pari Réparateur.

En effet, contrairement aux scénarios tendanciels qui se rejoignent dans l'étude sectorielle numérique et dans Transition(s) 2050, des hypothèses différentes ont été considérées dans le scénario S3 Technologies Vertes avec plus de découplage pris en compte dans Transition(s) 2050 (entraînant une forte augmentation de l'efficacité énergétique du traitement des données (GWh/EB) et une amélioration du PUE) et des scénarios d'évolution différents considérés, prenant notamment en compte un effet de saturation pour le scénario S4 Pari Réparateur, effet de saturation qui n'a pas été retenu dans l'étude sectorielle numérique.

Cet effet de saturation peut être dû à l'automatisation et l'instrumentalisation des chaînes de production industrielles qui sera très avancée d'ici 2040 (et dont le rythme de croissance diminuera fortement à partir de 2040) ou à des risques de pénurie en ressource (et notamment en métaux) pouvant limiter la capacité pour les centres de données à s'équiper en matériel.

Cela se traduit par une prise en compte dans Transition(s) 2050 d'une diminution de la croissance du volume de données des edge data centers (utilisés pour l'industrie, les smart buildings, ...) en comparaison à l'étude sectorielle

numérique où une très forte croissance du volume de données liée au nombre très important d'objets connectés a été considérée.

Il existe également une différence de périmètre entre les deux études, puisque dans Transition(s) 2050, seuls les data centers de colocation (hébergeurs) et hyperscale sont pris en compte dans l'évaluation des consommations en 2020. En effet, les serveurs d'entreprises par exemple n'ont pas été pris en compte car intégrés dans les consommations des bâtiments tertiaires (cela représente aujourd'hui le plus gros des consommations mais d'ici à 2050, on considère que tout aura migré dans le cloud dans les data centers de colocation ou hyperscale).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME, J.Lhotellier, E.Lees, E.Bossanne, S.Pesnel. Mars 2018. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport.
- AEA with Intertek, Lot 3 – Sound and imaging equipment, Ecodesign preparatory study for EC DG Grow, November 2010
- Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach, 2021, Thibault Pirson et David Bol
- Base Impacts, base de données et documents associés au 08/2021
- Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2016-2021: White Paper, 2018
- CITIZING, Empreinte carbone du numérique en France, Juin 2020
- Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ?, Citizing pour le Sénat, 2020
- End-of-life management LCI of constituent materials of Electrical and Electronic Equipment (EEE) within the framework of the French WEEE take-back scheme, Bleu Safran pour Eco-système et Récyllum, 2018
- Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market, Umweltbundesamt & Borderstep, pour la Commission Européenne, 2018
- Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland, Borderstep, 2015
- ETSI ES 203 199 - Environmental Engineering (EE); Methodology for environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Information and Communication Technology (ICT) goods, networks and services, 2014
- Étude relative à l'évaluation des politiques publiques menées pour réduire l'empreinte carbone du numérique, Sénat, 2021
- European Commission, ICT Impact study, Final report, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020
- Feuille de route « Numérique et environnement – faisons converger les transitions », 23 février 2021
- GSMA, The Mobile Economy 2020, 2020
- IEA, Total Energy Model for Connected Devices, IEA 4E EDNA, 2019
- ILCD handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance, JRC, 2010
- Impacts environnementaux des objets connectés et des services basés sur leur utilisation : Ordres de grandeurs et recommandations méthodologiques, 2021, Négaoctet, pour ScoreLCA (Etude 2019-03)
- Impacts environnementaux du numérique en France, 2021, GreenIT.fr
- iNUM : impacts environnementaux du numérique en France, GreenIT.fr, 2021
- ISO 14040:2006 – Management Environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et Cadres
- ISO 14044:2006 - Management Environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices
- ITU-T L. 1410 - Methodology for environmental life cycle assessments of information and communication technology goods, networks and services, 2014
- ITU-T L. 1450 - Methodologies for the assessment of the environmental impact of the information and communication technology sector, 2018
- Lean ICT - Pour une sobriété numérique, The Shift Project, 2018
- Les services de communication électronique : le marché entreprise – Résultats définitifs – Année 2019, 10 décembre 2020, ARCEP
- Les services de communication électronique en France – Résultats provisoire/année 2020, 26 mai 2021, ARCEP
- Livre blanc - Consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel - SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE « Conso IT », 2015, ADEME

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., and J.G. Koomey (2020) "Recalibrating global data center energy use estimates." Science, vol 367, ISS 6481.

Percentage of collected EEE from waste generated in 2015 for All collection categories, Urban Mine Platform

Product Environmental Footprint Category 2 Rules Guidance, Version 6.3, Mai 2018

Product Environmental Footprint Category Rule - IT equipment (storage), version 1.2, février 2020

RTE, Bilan Electrique 2019

Services fixes haut et très haut débit : abonnements et déploiements - 1er trimestre 2021 – résultats provisoires, 3 juin 2021, ARCEP

Services mobiles – 2ème trimestre 2021, 5 août 2021, ARCEP

Shehabi, A., Smith, S.J., Horner, N., Azevedo, I., Brown, R., Koomey, J., Masanet, E., Sartor, D., Herrlin, M., Lintner, W. 2016. United States Data Center Energy Usage Report. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. LBNL-1005775

The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015, J. Malmodin, D. Lundén, 2018

The environmental footprint of the digital world, GreenIT.fr, 2019

The European market potential for (Industrial) Internet of Things, CBI, 2021

The World Bank, GDP, consulté en juillet 2021

Thibault Pirson, David Bol, Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach, UC Louvain, 2021, p.3

United States Data Center Energy Usage Report, Berkeley Lab, 2016

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 - Liste des équipements numériques inclus	18
Tableau 2 – Les grandes évolutions du secteur numérique telles qu'identifiées par le groupe de travail	20
Tableau 3 - Liste des terminaux utilisateurs.....	32
Tableau 4 – Définitions des catégories d'écran	38
Tableau 5 - Détail des configurations des écrans d'ordinateur	39
Tableau 6 - Détail des configurations des écrans d'ordinateur	39
Tableau 7 - Détail des configurations des casques AR/VR	43
Tableau 8 – Définition des imprimantes	44
Tableau 9 – Liste des catégories d'IoT	46
Tableau 10 – Nombre d'objets connectés.....	47
Tableau 11 – Profil matériel des objets connectés	50
Tableau 12 - Récapitulatif terminaux - nombre d'unités.....	51
Tableau 13 – Types de réseaux.....	52
Tableau 14 - Evaluation des superficies de salles informatiques en France en 2020.....	60
Tableau 15 - Evaluation des consommations annuelles d'énergie des centres de données par type pour 2020.....	63
Tableau 16 - Evaluation des consommations annuelles d'énergie des centres de données par type pour 2030.....	63
Tableau 17 - Evaluation des consommations annuelles d'énergie des centres de données par type pour 2050.....	63
Tableau 18 – Part des impacts de CO ₂ par typologie de terminaux pour les années 2020, 2030 et 2050.....	81
Tableau 19 – Part des consommations énergétiques par typologie de terminaux pour les années 2020, 2030 et 2050.....	81
Tableau 20 – Evolution de l'empreinte de CO ₂ pour les équipements de réseaux suivants les phases de fabrication et d'utilisation pour les années 2020, 2030 et 2050	82
Tableau 21 – Evolution des consommations énergétiques pour les équipements de réseaux suivants pour les années 2020, 2030 et 2050.....	83
Tableau 22 – Evolution de l'empreinte de CO ₂ pour les centres de données suivants les phases de fabrication et d'utilisation pour les années 2020, 2030 et 2050	83

FIGURES

Figure 1 - Illustration des tiers du numérique défini par les 3 principales catégories d'équipement.....	16
Figure 2 - Projections d'évolution du trafic IP mondial par catégorie d'équipements connectés et pour le trafic global entre 2010 et 2030 (en pourcentage du trafic total par catégorie et en exaoctets pour le trafic global)	30
Figure 3 – Evolution du trafic IP en France en Eo (exaoctet) par typologie d'équipement entre 2020 et 2030.....	30
Figure 4 – Répartition du trafic IP par typologie d'équipement entre 2020 et 2030.....	30
Figure 5 - Récapitulatif des principales hypothèses et sources - Tier 1	33
Figure 6 - (a) L'architecture générale d'un dispositif de périphérie IoT avec le concept de blocs fonctionnels et le niveau de spécification matérielle, (b) un exemple de profil matériel IoT, (c) l'empreinte carbone résultante obtenue par le cadre pour le profil	48
Figure 7 - Détail sur les profils matériels des objets connectés, extrait de	49
Figure 8 - Equipements constitutifs des réseaux	52
Figure 9 - Evolution du nombre de supports entre 1990 et 2020.....	55
Figure 10 – Evolution du nombre d'antennes par génération entre 1990 et 2020.....	57

SIGLES ET ACRONYMES

ACV	Analyse de Cycle de Vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFPIA	Association pour la Formation Professionnelle dans les Industries de l'Ameublement
ARCEP	Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
ATTM	Access, Terminals, Transmission and Multiplexing
CCDC	Cloud Computing and Data Center
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
CHRU	Centre Hospitalier Régional et universitaire
COMUE	Communauté d'Universités et Etablissements
CUE	Carbon Usage Effectiveness
DC	Data Center
DCMM	Data Center Maturity Model
DDV	Durée De Vie
DEEE	Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
DMS	Desktop Managed Services
EN	Normes du comité Européen de Normalisation
EPEAT	Electronic Product Environmental Assessment Tool
ErP	Energy related Products
ETSI	Energy Related Product
EuP	Energy using Product
EPIC	Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial
ES	ETSI Standard
ETI	Entreprise de Taille Intermédiaire
FAI	Fournisseur d'Accès à Internet
GES	Gaz à Effet de Serre
GeSI	Global enabling Sustainability Initiative
GHG	GreenHouse Gas
HDD	Hard Disk Drive
HPC	High Performance Computing
HW	Hardware
ICT	Information and Communication Technology
IE	Ingénierie Environnementale
IEC	International Electrotechnical Commission
ILCD	International Reference Life Cycle Data system
iNEMI	International Electronics Manufacturing Initiative
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
IT	Information Technology
ITU	International Telecommunication Union
KPI	Key Performance Indicator
LCA	Life Cycle Analysis
MFA	Material Flow Analysis
PCR	Product Category Rule
PEF	Product Environmental Footprint
PEFCR	Product Environmental Footprint Category Rule
PME	Petite et Moyenne Entreprise
PRG	Pouvoir Réchauffant Global

PUE	Power Usage Effectiveness
REACH	Registration, Evaluation, Autorisation and Restriction of Chemicals
REF	Renewable Energy Factor
RoHs	Restriction of Hazardous substances in electrical and electronic equipment
RSE	Responsabilité Sociétale des Entreprises
SDIS	Service Départemental d'Incendie et de Secours
SSD	Solid State Drive
SW	Software
TIA	Telecommunications Industry Association
TIC	Technologie de l'Information et de la Communication
TNS	Telecommunications Network Services
TS	Technical Specification

L'ARCEP EN BREF

L'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse, arbitre expert et neutre au statut d'autorité administrative indépendante, est l'architecte et la gardienne des réseaux d'échanges internet, télécoms fixes, mobiles, postaux et de la distribution de la presse en France.

A sa création, le Parlement lui a confié la mission d'accompagner l'ouverture à la concurrence du secteur des communications électroniques, afin que de nouveaux opérateurs puissent émerger aux côtés de l'opérateur historique (France Télécom, devenu Orange), et ce, au bénéfice de l'utilisateur final. Veiller à ce que les réseaux se développent comme un bien commun est la mission de l'Arcep.

Aujourd'hui, la place des nouvelles technologies est interrogée dans notre société, notamment quant à leur impact environnemental. L'Arcep a pris acte de cet enjeu en ouvrant un nouveau chapitre de la régulation. Elle se met à l'écoute de ces interrogations et anime le débat sur les réseaux du futur et leur place dans la société en tant qu'expert neutre du secteur.

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES MISSIONS DE L'ARCEP



Définir la réglementation applicable à tout ou partie des opérateurs.



Attribuer, par des décisions individuelles, des ressources **en fréquences ou en numérotation**.



Veiller au financement et à la **fourniture du service universel**.



Faire part de son expertise, au moyen des avis et actes de « droit souple » qu'**elle rend à la demande du Gouvernement, du Parlement ou des autres autorités de régulation**



Dialoguer régulièrement avec les acteurs du secteur, pour conserver une connaissance fine des marchés qu'elle régule.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMERIQUE EN FRANCE ET ANALYSE PROSPECTIVE

Ce rapport s'inscrit dans une démarche d'analyse mais aussi de prospection quant à l'avenir du numérique. Cette étude croise l'ensemble du périmètre, depuis les installations réseaux vers les terminaux tout en considérant les impacts des réseaux, équipements numériques et datacenters.

Spécifiquement, la tâche 2 consiste en une évaluation des impacts du numérique en France selon la méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie (ACV).

Celle-ci porte sur les 3 tiers de numériques : les terminaux utilisateurs, les réseaux et les centres de données, et calcul un panel de 12 indicateurs d'impacts, dont notamment le changement climatique, la consommation de ressources naturelles, ou encore les particules fines.

Les résultats sont présentés à l'échelle France, par habitant, et sont détaillés suivant différents niveaux d'analyse afin de disposer d'une interprétation plus fine et d'une meilleure compréhension des enjeux environnementaux directs associés au numérique en France.

Enfin sont présentés des cas de calcul des impacts du numérique de foyers et entreprises types.

La croissance des équipements et services numériques, souvent perçue comme dématérialisée, a également été associée à une augmentation significative des pressions sur l'environnement et les ressources naturelles. Cette étude évalue et analyse les impacts environnementaux liés aux équipements et aux infrastructures du numérique afin de comprendre leur magnitude et leurs sources.

