

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

Etat des lieux et pistes d'action

RAPPORT 1/3

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 interviewés 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
Eric Vidalenc, ADEME
Ahmed Haddad, Arcep
Charles Joudon-Watteau, Arcep
Adrien Haidar, Arcep
Patrick Lagrange, Arcep
Franck TARRIER, Arcep
Anne Yvrande-Billon, Arcep

CITATION DE CE RAPPORT

Auteurs : Yasmine Aiouch (Deloitte), Augustin Chanoine (Deloitte), Léo Corbet (Deloitte), Pierrick Drapeau (Deloitte), Louis Ollion (Deloitte), Valentine Vigneron (Deloitte), avec les contributions de Caroline Vateau (APL-datacenter), Etienne Lees Perasso (Bureau Veritas), Julie Orgelet (DDemain), Frédéric Bordage (GreenIT.fr) et Prune Esquerre (IDATE). 2022. Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective, Etat des lieux et pistes d'actions. 179 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

Arcep

14, Avenue Gerty Archimède
75012 Paris

Numéro de contrat : 2020MA000091

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME et l'Arcep par :

DELOITTE Conseil

Coordination technique :

- ADEME : FANGEAT Erwann - Direction/Service : DECD / SPEM

- Arcep : HAÏDAR Adrien - Direction/Unité : DEN/UAE

Table des matières

GLOSSAIRE	9
1. CONTEXTE DU PROJET	12
1.1. Objectif de l'étude.....	12
1.2. Périmètre de l'étude	13
2. RECENSEMENT DES METHODES D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE DU NUMERIQUE	14
2.1. Etude bibliographique	14
2.1.1. Objectif de l'étude bibliographique	14
2.1.2. Détermination de l'échantillon étudié.....	15
2.1.3. Analyse des publications.....	16
2.1.4. Gouvernance pour la mise à jour de la bibliographie	17
2.2.1. Vue d'ensemble des méthodes et référentiels	17
2.2.2. Cartographie des référentiels	28
2.2.3. Bilan et principaux résultats	29
2.3. Cas d'étude : utilisation des méthodes et référentiels de mesure.....	40
2.3.1. Critères de sélection des cas d'étude	40
2.3.2. Répartition temporelle des études d'impact environnemental	40
2.3.3. Méthodes utilisées.....	41
2.3.4. Référentiels utilisés.....	42
2.3.5. Périmètre des études	44
3. ETAT DES LIEUX DES DIFFERENTES TECHNOLOGIES ET EQUIPEMENTS SUPPORTANT LES SERVICES NUMERIQUES EN FRANCE .	46
3.1. Objectif de l'état des lieux	46
3.2. Terminaux fixes et mobiles.....	46
3.2.1. Définition	46
3.2.2. Typologie de terminaux	47
3.2.3. Méthodes et données d'inventaire	48
3.3. Infrastructures et réseaux.....	49
3.3.1. Définition	49
3.3.2. Typologie.....	49
3.3.3. Méthodes et données d'inventaire	50
3.4. Serveurs et <i>datacenters</i>	51
3.4.1. Définition « datacenter »	51
3.4.2. Organisation d'un datacenter.....	52
3.4.3. Méthodologie et données d'inventaire sur le territoire national.....	53
3.4.4. Extrapolation sur le territoire hors France.....	54
4. ÉTAT DES LIEUX ET INTERVIEW DES ACTEURS AGISSANT EN FRANCE SUR LES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DES SERVICES NUMERIQUES	55

4.1. Acteurs agissant en France sur les aspects environnementaux du numérique.....	55
4.1.1. Objectif de l'étude et écosystème des acteurs interrogés	55
4.1.2. Méthodologie adoptée	56
4.1.3. Constats des entretiens - Premiers retours	57
4.2. Freins à un numérique plus responsable	58
4.2.1. Constats généraux.....	58
4.2.2. Freins réglementaires.....	60
4.2.3. Freins sociaux et sociétaux	62
4.2.4. Freins techniques.....	64
4.2.5. Freins économiques	66
4.3. Pistes d'action vers un numérique plus soutenable	67
4.3.1. Constats généraux.....	67
4.3.2. Leviers réglementaires.....	70
4.3.3. Leviers sociaux et sociétaux	74
4.3.4. Leviers techniques.....	75
4.3.5. Leviers économiques	77
4.4. Synthèse générale des entretiens.....	78
4.4.1. Freins à la mise en place du numérique responsable.....	78
4.4.2. Leviers pour la mise en place d'un numérique responsable.....	79
5. ANALYSE COMPORTEMENTALE DES USAGES ET LEVIERS D'ACTION	82
5.1. Introduction :	82
5.1.1. Objectifs de l'analyse :.....	82
5.1.2. Méthodologie :	82
5.1.3. Périmètre :	82
5.2. Tendances d'usage actuelles du numérique favorisant une croissance de la consommation de données au niveau individuel :	83
5.2.1. Croissance du nombre d'équipements:	84
5.2.2. Croissance du nombre d'usages du numérique et du trafic de données induit	85
5.3. Bonnes pratiques de sobriété numérique identifiées :	87
5.3.1. Usages responsables des équipements:.....	87
5.3.2. Bonnes pratiques liées à la consommation de contenu et aux pratiques logicielles :88	
5.4. Freins au déploiement de la sobriété	88
5.4.1. Une sensibilisation des usagers encore limitée.....	88
5.4.2. Limites aux possibilités d'actions au niveau individuel :	91
5.5. Leviers d'action :	93
5.5.1. Sensibilisation :	93
5.5.2. Conduite du changement :	93
5.5.3. Incitations financières et bénéfice utilisateur	94
5.6. Scénarisation	95
6. RESSORTS TECHNIQUES - EFFICACITE ENERGETIQUE.....	100
6.1. Description de l'étude et de ses objectifs	100

6.2. Méthodologie adoptée	100
6.2.1. Screening des équipements étudiés.....	100
6.2.2. Construction de scénarios d'évolution d'efficacité énergétique.....	100
6.2.3. Evaluation des potentiels de réduction de consommation énergétique en fonction de différents paramètres.....	100
6.3. Limites de l'étude	101
6.3.1. Limites méthodologiques générales	101
6.3.2. Limites des sources de données associées à la brique Terminaux	102
6.3.4. Limites des sources de données associées à la brique Centres de données.....	102
6.4. Segmentation et sélection des équipements	102
6.4.1. Terminaux utilisateurs	102
6.4.2. Réseaux.....	104
6.4.3. Centres de données.....	105
6.5. Sources de données d'efficacité énergétique et de consommation énergétiques à 2030	107
6.5.1. Terminaux utilisateurs	107
6.5.2. Réseaux.....	110
6.5.3. Centres de données.....	112
6.6. Prospective de consommation énergétique à 2030 par brique	113
6.6.1. Terminaux utilisateurs	113
6.6.2. Réseaux	122
6.6.3. Centres de données.....	127
6.7. Synthèse	131
7. PISTES D'ACTION	133
7.1. Introduction	133
7.1.1. Objectif de l'étude	133
7.1.2. Méthodologie.....	133
7.1.3. Les grandes mesures de la feuille de route Numérique et Environnement.....	133
7.2. Les actions proposées pour limiter les impacts environnementaux du numérique	135
7.2.1. Axe 1 : Développer la connaissance de l'empreinte environnementale du numérique	135
7.2.2. Axe 2 : Réduire l'empreinte environnementale du numérique.....	140
7.2.3. Axe 3 : Faire du numérique un levier de la transition écologique et solidaire	162
7.3. Synthèse générale	167
7.3.1. Vue d'ensemble des pistes d'action proposées.....	167
7.3.2. Conclusion	173
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	174
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	175
1.1. TABLEAUX	175
1.2. FIGURES	176
SIGLES ET ACRONYMES	178

RÉSUMÉ

La dernière décennie a vu l'essor de nouvelles technologies qui ont transformé le paysage numérique : rapidité, qualité et connectivité accrues des outils de communication et contenus multimédias. De nombreux secteurs ont su profiter de ces innovations (industrie 4.0, e-commerce, télécommunications, etc.) pour se développer. Mais cette 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.

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'étude intitulée « Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective ». Cette étude couvre l'ensemble du périmètre du numérique hors logiciel, des installations réseaux jusqu'aux terminaux (réseaux, équipements numériques et datacenters). Le présent rapport, relatif à l'« état des lieux [du numérique] et aux pistes d'actions » constitue la première partie de cette évaluation. Deux rapports, portant sur « l'évaluation environnementale des services numériques en France » et « l'analyse prospective à 2030 et 2050 », complètent ces analyses.

Le présent rapport étudie tout d'abord les méthodes et référentiels utilisés pour l'évaluation des impacts environnementaux du numérique (Section 2). Il propose ensuite un état des lieux de l'ensemble des équipements ou technologies soutenant les services numériques en France (Section 3) et explore les points de vue des acteurs de l'écosystème numérique sur les leviers et les freins à la réduction des impacts environnementaux du numérique (Section 4). Ce tour d'horizon est complété par deux évaluations : analyse des tendances d'usage du numérique et d'acceptabilité de la sobriété numérique d'une part (Section 5) ; analyse des scénarios de consommation énergétique des équipements (terminaux, réseaux, datacenters) jusqu'à 2030 d'autre part (Section 6). Sur ces fondements, l'étude propose enfin une série de recommandations à destination des acteurs publics et privés, dans le but de réduire l'impact environnemental du numérique (Section 7). Les principaux enseignements de ces sections sont donnés ci-dessous :

Il ressort ainsi de l'analyse en Section 2 la double nécessité d'harmoniser les méthodes de mesure d'impact (socle commun autour d'indicateurs environnementaux à considérer, normes et standards à utiliser, etc.) tout en tenant compte des spécificités des équipements et technologies analysés.

Le recensement effectué en Section 3 trouve son utilité dans le cadre du deuxième rapport relatif à l'évaluation environnementale.

Les entretiens menés avec les parties prenantes du secteur (Section 4) confirment le **besoin d'une méthodologie de calcul partagée, multicritère et complète des impacts environnementaux du numérique**. Cette méthodologie devra être appuyée par des données robustes, consensuelles et accessibles. Certes, la complexité et la transversalité du périmètre numérique, le caractère évolutif des technologies et l'existence d'effets indirects rendent parfois difficile la mise en œuvre d'une telle démarche. Elle demeure pourtant un préalable à toutes les autres actions permettant de diminuer l'impact environnemental du numérique : évaluation pertinente des impacts actuels et à venir du secteur, sensibilisation du public ou des professionnels, conception et adoption de biens et services numériques éco-conçus, etc. Par ailleurs et au-delà des aspects relatifs à l'offre, les entretiens révèlent le besoin de soutenir la **demande** en biens et services numériques responsables.

La commande publique pourrait ici jouer un rôle important. Enfin, les acteurs interrogés relèvent que ces actions devront être portées par différentes instances publiques, à l'échelle nationale ou européenne (agences environnementales, gouvernements, collectivités, etc.) et par les acteurs privés, si l'on souhaite faire émerger de façon pérenne des alternatives numériques plus soutenables.

L'étude (Section 5) souligne ensuite que certaines **tendances d'usages du numérique** (streaming haute-définition, multiplication des services et objets connectés, etc.) **augmentent la quantité de données consommées par les particuliers, et potentiellement l'impact environnemental du secteur**. À l'inverse, les usages sobres du numérique identifiés dans l'étude sont encore mal connus des particuliers. Il apparaît dès lors nécessaire de quantifier leur impact pour permettre aux utilisateurs de choisir ces usages plus sobres. L'adoption de nouvelles pratiques peut cependant se heurter à des **freins psycho-sociaux**. À cet égard, la valorisation auprès de l'utilisateur des bénéfices (praticité, possible réduction des coûts, etc.) associés aux usages sobres du numérique pourraient favoriser l'adoption de ces pratiques. L'efficacité de ces usages sobres pourrait néanmoins se trouver limitée par des **facteurs techniques** indépendants de la volonté de l'utilisateur, tels que la communication Machine-to-Machine ou la consommation de données associée aux mises à jour logicielles.

Par ailleurs, ces usages sobres pourraient se révéler nécessaires pour palier l'éventuelle hausse de consommation d'énergie du secteur numérique (Section 6). Il doit être noté ici que **les tendances d'évolution de l'énergie consommée par les équipements numériques (terminaux, réseaux et datacenters) en phase d'utilisation ne font pas l'objet d'un consensus**. Assurément, l'évolution attendue des classes d'efficacité énergétique des terminaux, le passage à de nouvelles générations de réseaux et une conception plus efficace des datacenters constituent des leviers majeurs pour réduire la consommation d'énergie de ces équipements. Mais ces gains d'efficacité pourraient être contrebalancés respectivement par l'augmentation de l'IoT et des volumes de données transférés, ou encore par l'apparition de nouvelles classes de datacenters dits "edge" (moins efficaces énergétiquement).

Le rapport conclut sur les actions à mettre en place par les acteurs publics et privés, et sur les éléments restant à étudier (Section 7). On retiendra notamment la nécessité de :

- **Soutenir la mise en place de méthodologies de quantification d'impacts pour comprendre, prioriser et sensibiliser les différents acteurs ;**
- **Développer des mesures (incitatives, normatives, etc.) favorisant la réparation et le réemploi, et soutenant la demande pour les biens et services du numérique responsable ;**
- **Lever les zones d'ombres sur l'impact des technologies numériques en développement.** Cette action découlera logiquement des méthodologies de quantification développées.

ABSTRACT

The last decade has seen the rise of new technologies that have transformed the digital landscape: increased speed, quality and connectivity of communication tools and multimedia content. Many sectors have taken advantage of these innovations (industry 4.0, e-commerce, telecommunications, etc.) to develop. But this growth in digital equipment and services, often perceived as dematerialised, has also been associated with a significant increase in pressure on the environment and natural resources.

This is the context of the study entitled "Assessment of the environmental impact of digital technology in France and prospective analysis". This study covers the entire scope of digital technology, excluding software, from network installations to terminals (networks, digital equipment and data centres). The present report on the "state of play [of digital technology] and possible actions" is the first part of this assessment. Two reports, on the "environmental assessment of digital services in France" and the "prospective analysis for 2030 and 2050", complete these analyses.

This report first examines the methods and benchmarks used to assess the environmental impacts of digital technology (Section 2). It then provides an overview of all the equipment and technologies supporting digital services in France (Section 3) and explores the points of view of the players in the digital ecosystem on the levers and obstacles to reducing the environmental impacts of digital technology (Section 4). This overview is completed by two assessments: an analysis of digital usage trends and the acceptability of digital sobriety (Section 5); and an analysis of energy consumption scenarios for equipment (terminals, networks, data centres) up to 2030 (Section 6). On this basis, the study finally proposes a series of recommendations for public and private players, with the aim of reducing the environmental impact of digital technology (Section 7). The main findings of these sections are given below:

The analysis in Section 2 shows that there is a need to harmonise impact measurement methods (common base of environmental indicators to be considered, norms and standards to be used, etc.) while taking into account the specificities of the equipment and technologies analysed.

The survey carried out in Section 3 is useful for the second report on the environmental assessment.

*The interviews conducted with the sector's stakeholders (Section 4) **confirm the need for a shared, multi-criteria and comprehensive methodology for calculating the environmental impacts of digital technology.** This methodology must be supported by robust, consensual and accessible data. Admittedly, the complexity and transversality of the digital perimeter, the evolving nature of technologies and the existence of indirect effects sometimes make it difficult to implement such an approach. However, it remains a prerequisite for all other actions that make it possible to reduce the environmental impact of digital technology: relevant assessment of the current and future impacts of the sector, raising awareness among the public and professionals, design and adoption of eco-designed digital goods and services, etc. In addition, and beyond the supply-side aspects, the interviews reveal the need to support the demand for responsible digital goods and services. Public procurement could play an important role here. Finally, the actors interviewed point out that these actions will have to be supported by various public bodies, at national or European level (environmental agencies, governments, local authorities, etc.) and by private actors, if more sustainable digital alternatives are to emerge in the long term.*

The study (Section 5) then points out that **certain trends in digital usage (high-definition streaming, increasing number of services and connected objects, etc.) are increasing the amount of data consumed by individuals, and potentially the environmental impact of the sector.** Conversely, the low-impact uses of digital technology identified in the study are still poorly known by individuals. It is therefore necessary to quantify their impact in order to enable users to choose these more sober uses. However, the adoption of new practices may come up against psycho-social obstacles. In this respect, the promotion to users of the benefits (practicality, possible cost reduction, etc.) associated with the sober use of digital technology could encourage the adoption of these practices. However, the effectiveness of these low-impact uses could be limited by technical

factors beyond the user's control, such as machine-to-machine communication or the data consumption associated with software updates.

Furthermore, these low-energy uses may be necessary to offset the possible increase in energy consumption of the digital sector (Section 6). It should be noted here that **there is no consensus on trends in the energy consumed by digital equipment (terminals, networks and datacentres) in the use phase.** Certainly, the expected evolution of the energy efficiency classes of terminals, the transition to new generations of networks and a more efficient design of datacenters are major levers for reducing the energy consumption of these devices. However, these efficiency gains could be counterbalanced by the increase in IoT and the volumes of data transferred, or by the emergence of new classes of so-called "edge" data centres (less energy efficient).

The report concludes with actions to be taken by public and private actors, and elements that remain to be studied (Section 7). In particular, the report highlights the need to:

- **Support the implementation of impact quantification methodologies to understand, prioritise and raise awareness among the various stakeholders;**
- **Develop measures (incentives, standards, etc.) to encourage repair and reuse, and support demand for responsible digital goods and services;**
- **- Remove the grey areas on the impact of developing digital technologies. This action will logically follow from the quantification methodologies developed.**

Glossaire

- **Analyse de cycle de vie (ACV) complète**¹ : 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**³ : 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) - Screening**¹ : 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) simplifiée**¹ : il n'existe pas de définition officielle de ce terme, mais il s'agit généralement d'une ACV non complète, soit 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.
- **Approche process-based d'une analyse de cycle de vie (ACV)**³ : méthode utilisant des données, au niveau de l'établissement, décrivant les processus en termes d'entrées de matériaux et d'énergie, de sorties de produits et de déchets, et d'émissions.
- **Approche économique entrée-sortie d'une analyse de cycle de vie (ACV)**³ : méthode utilisant des tableaux, appelés tableaux d'entrées-sorties (en anglais : input-output, IO) qui décrivent les transactions financières entre les secteurs économiques d'une économie nationale.
- **Empreinte carbone (d'un produit)**⁴ : somme des émissions et des captations de Gaz à Effet de Serre (GES) dans un système de produits (biens ou services), exprimée en équivalent CO₂ et fondée sur une analyse du cycle de vie prenant pour seule catégorie d'impact le changement climatique.
- **Empreinte énergétique (d'un produit)**⁴ : consommation globale d'énergie liée à un produit donné, sur un périmètre spatial et temporel donné. Il s'agit d'un type d'empreinte environnementale qui ne tient compte que de la problématique de la consommation énergétique. L'analyse de cycle de vie est couramment utilisée pour calculer cette empreinte.

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.

² Wolf, M-A., & al, (2012), *The International Reference Life Cycle Data System*, European Commission Joint Research Center (JRC)ILCD handbook, 72 pages,

³ ITU-T L.1410 (2012), *Methodology for the assessment of the environmental impact of information and communication technology goods, networks and services*, Serie L: Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant, 96 pages

⁴ International Organization for Standardization (ISO) (2018). *ISO 14067:2018(fr), Gaz à effet de serre — Empreinte carbone des produits — Exigences et lignes directrices pour la quantification*.

- **Gaz à effet de serre (GES)**⁴: constituant gazeux de l’atmosphère, naturel ou anthropogène, qui absorbe et émet le rayonnement d’une longueur d’onde spécifique du spectre du rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre, l’atmosphère et les nuages.
- **Initiative**⁵: outil d'orientation, basé sur un cadre méthodologique ou sur des meilleures pratiques.
- **Méthode (d'évaluation environnementale)**⁶: ensemble des règles et d'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 pour prévenir des conséquences dommageables sur l'environnement.
- **Méthode d'analyse de cycle de vie (ACV)**⁷: compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie.
- **Méthode « calculatoire »**⁵: règles techniques devant être suivies afin de définir et d'évaluer un indicateur ou groupe d'indicateurs spécifique(s).
- **PCR - Product Category Rule : Règles spécifiques des catégories de produits**⁴: ensemble normalisé 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.
- **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**⁸: ensemble d'outils et de ressources technologiques permettant de transmettre, enregistrer, créer, partager ou échanger des informations, notamment les ordinateurs (portable ou de bureau, les terminaux, etc.), l'internet (sites Web, logiciels, blogs et messagerie électronique), les technologies (datacenters, serveurs, etc.) et 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.).
- **Service Numérique**⁹: 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 données notamment) ;
 - De plusieurs logiciels empilés les uns sur les autres, qui s'exécutent au-dessus des équipements ;
 - D'autres services numériques tiers éventuels

Il répond à un besoin spécifique, à une ou plusieurs fonctionnalités et des utilisateurs [158].

⁵ ICTFOOTPRINT.EU, European Framework Initiative for Energy & Environmental Efficiency in the ICT sector, 2016.

⁶ADEME. (2020), *L'évaluation environnementale dans l'industrie et les services. Outils et méthodes*.

⁷ International Organization for Standardization (ISO). (2006). *ISO 14040:2006(fr) - Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre*.

⁸ UNESCO. (n.d). *Technologies de l'information et de la communication (TIC)*.

⁹ 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 les codes de 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, Etat, 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 consensuelles.

Les études et projets menés ces dix dernières années ont porté sur des thématiques spécifiques, s'intéressant par exemple aux consommations d'énergie des datacenters, à l'obsolescence prématurée des terminaux ou encore à la gestion des déchets électroniques. 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, Etude commandée par le Sénat, Rapport du haut conseil pour le climat sur la 5G, etc.) éclairent le débat et mettent en évidence la nécessité d'adopter une approche plus globale qui soit à la fois :

- **Multicritères**, 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 briques d'un service numérique (terminal, réseau, datacenter) ;
- **Multi composants**, afin d'appréhender ces systèmes complexes que sont l'association des terminaux utilisateurs, datacenters et réseaux de télécommunications, tous composés d'une multitude d'équipements ayant chacun des cycles de vie propre.

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 seule permettra également, de manière dynamique, d'anticiper les évolutions à venir.

La présente étude, intitulée « *Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective* », se donne pour objectif d'éclairer le débat public, de tracer les trajectoires potentielles des impacts environnementaux et de lister les actions efficaces, vectrices d'une transition digitale durable. Cette étude s'inscrit dans la lignée de nombreux travaux dont au niveau français l'élaboration de la feuille de route du Gouvernement « Numérique et environnement »¹⁰ définissant de nouvelles politiques publiques en faveur d'une transition numérique soutenable, et au niveau européen – cf. chapitre 2.1.

Ce livrable regroupera une première version des chiffres collectés sur les services numériques en France (voir périmètre de l'étude en 1.2). Il présentera un état des lieux exhaustif des équipements et technologies associés aux services numériques ainsi qu'un recensement des différents référentiels et méthodes appliqués à l'évaluation de leur impact environnemental.

¹⁰ Ministère de la Transition Ecologie (2021), Feuille de route *Numérique et environnement – faisons converger les transitions*, 34 pages

Pour permettre une meilleure compréhension des futures tendances et des freins psychologiques et/ou sociétaux aux actions de sobriété numérique, un volet de ce rapport sera dédié à une analyse comportementale des usages et aux leviers d'actions associés.

Le potentiel de réduction de consommation des équipements numériques 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 entretiens seront réalisés avec des acteurs experts du domaine.

Enfin, les résultats de ces analyses poussées seront résumés dans une dernière partie sous forme de pistes d'actions détaillées.

1.2. Périmètre de l'étude

Cette étude permettra de quantifier les impacts environnementaux des services numériques, 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** déjà déployés ou en cours de développement en France d'ici à 2025 ;
- Les **centres informatiques** 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).

N'ayant pas de matérialité intrinsèque, les logiciels ne sont pas considérés comme une brique à part entière, toutefois, en plus de leur conception, leur utilisation génère des impacts via la sollicitation d'une partie ou de l'ensemble des trois briques précédemment citées.

Cette étude couvre l'ensemble des services numériques en France. Néanmoins, dans une approche cycle de vie, seront aussi pris en considération l'ensemble des impacts environnementaux au-delà des frontières tels que les impacts environnementaux des datacenters en France pour un usage à l'étranger, la fabrication des équipements à l'étranger, etc..

2. Recensement des méthodes d'évaluation environnementale du numérique

2.1. Etude bibliographique

2.1.1. Objectif de l'étude bibliographique

Les impacts environnementaux des technologies de l'information et de la communication (TIC) augmentent rapidement¹¹ en raison de changements économiques et sociétaux majeurs.

La dernière étude en date de GreenIT.fr estime que les impacts environnementaux annuels du numérique en France représentent **6,3%** de la consommation d'énergie primaire, **3,3%** des émissions de GES, **2,2%** de la consommation d'eau du territoire et une excavation de près de **4 milliards** de tonnes de terre¹². La plupart de ces impacts ont lieu en dehors du territoire national et sont importés tout au long de la chaîne de valeur des services numériques (extraction des ressources, transformation des matériaux, production des équipements, etc.).

Les impacts environnementaux du numérique constituent une préoccupation, de même qu'un champ d'étude et de normalisation grandissants, comme en témoigne la feuille de route gouvernementale – voir chapitre 1.1 - et la loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (AGEC)¹³. L'article 13 de la loi AGEC n°2020-105 impose ainsi désormais aux opérateurs télécom de fournir à leurs clients la quantité de données consommées et les équivalents d'émission de gaz à effet de serre associés au service rendu¹³. Les initiatives se multiplient également à l'échelle européenne. Le vote des eurodéputés en faveur d'un numérique plus responsable plébiscitant l'allongement de la durée de vie des produits, une plus grande information des consommateurs et un allongement des garanties¹⁴ ainsi que le pari technologique du Green New Deal¹⁵ sont autant de signes d'une plus grande prise en compte des sujets numériques par la Commission Européenne. Toutefois, malgré ces avancées encourageantes, le sujet reste encore émergent.

Ainsi, afin de s'assurer que la transition numérique ne se fera pas au détriment de la transition environnementale, il est nécessaire de disposer de méthodes définies de caractérisation des impacts environnementaux du numérique. Il existe déjà plusieurs méthodes et initiatives génériques (c'est-à-dire non spécifiques au secteur numérique) visant à quantifier les impacts environnementaux des produits ou des organisations. Cependant, la nature complexe du numérique, avec ses chaînes de valeur et produits très spécifiques, rend l'évaluation des impacts environnementaux à l'aide de méthodes génériques particulièrement ardue. La difficulté réside également dans la double dimension du numérique, à la fois transverse (tous les secteurs sont désormais irrigués par le numérique) et systémique (modifier une variable affecte tout le système)

L'objectif de cette partie est donc de recenser les différentes méthodes d'évaluation des impacts environnementaux du numérique existantes et de comprendre les éventuelles synergies, limites et cas d'usage de ces différentes méthodes.

Dans un premier temps, l'analyse bibliographique a permis de lister l'ensemble des méthodes et référentiels disponibles et pertinents pour le calcul de l'impact environnemental des produits, des

¹¹ Bordage, F. (2019), Empreinte environnementale du numérique mondial, GreenIT, 40 pages

¹² Bordage, F., de Montenay, L., & Vergeynst, O. (2021). Étude : impacts environnementaux du numérique en France [Ebook]. Green.it

¹³ LOI n° 2020-105, Art. 13 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire.

¹⁴ Résolution du Parlement Européen du 25 novembre 2020, *Vers un marché unique plus durable pour les entreprises et les consommateurs*

¹⁵ Shaping Europe's digital future – Priorities 2019-2024: A Europe fit for the digital age, European Commission.

services et des organisations en France. Aussi, une sélection des référentiels les plus pertinents pour l'évaluation de l'impact environnemental des services numériques et dans le domaine des TIC a été réalisée. Une description succincte de chaque référentiel est proposée, ainsi qu'une cartographie présentant ces référentiels par grande typologie. La cartographie permet également de distinguer l'application du référentiel (orienté produit ou organisation), le type d'approche utilisé par le référentiel (basé ou non sur le principe du cycle de vie) ainsi que le nombre et la nature de(s) impact(s) évalué(s) par le référentiel.

L'objectif de cette partie est non seulement de sensibiliser tous les types d'utilisateurs des services numériques – du consommateur au technicien – sur les méthodes d'évaluation existantes, mais aussi d'offrir une clé de lecture simple et structurée sur leur mise en œuvre. L'étude bibliographique permettra également de mettre en lumière les domaines non traités actuellement dans la littérature des services numériques.

Dans un second temps, cette étude bibliographique a permis de comprendre comment les différentes méthodes sont utilisées. Une étude statistique a été réalisée sur un échantillon d'études d'impact environnemental donné en fonction des méthodes d'évaluation de l'impact environnemental utilisées et du périmètre numérique analysé.

2.1.2. Détermination de l'échantillon étudié

L'analyse bibliographique a été réalisée sur la base de travaux récents, notamment :

- L'étude bibliographique réalisée par NegaOctet dans le cadre l'étude SCORELCA sur les « Impacts environnementaux des objets connectés et des services basés sur leur utilisation : ordres de grandeurs et recommandations méthodologiques »¹⁶, initiée en 2019, regroupant des documents publiés entre 2017 et 2020.
- La cartographie des méthodes et référentiels d'évaluation environnementale réalisée par Deloitte dans le cadre du projet européen ICTFOOTPRINT.EU¹⁷, ainsi que d'autres travaux¹⁸.

Cette bibliographie a ensuite été complétée par des sources transmises par l'ADEME, l'Arcep, et celles identifiées par le consortium en charge de la réalisation de cette étude, via une recherche bibliographique complémentaire¹⁹. Les publications identifiées dans la bibliographie s'étendent sur la période 2001-2021. En revanche, les études parues avant 2010 n'ont pas été retenues dans le périmètre d'étude afin de ne pas prendre en compte les études caduques et obsolètes au vu de l'évolution très rapide des technologies et des équipements au cours des dix dernières années.

L'échantillon analysé pour cette étude est majoritairement constitué de publications et se trouve présenté dans le Tableau 1 ci-dessous.

Typologie de documents analysés	Nombre de titres	Répartition sur l'échantillon
Nombre total de documents analysés	279	-
Restriction de l'échantillon aux documents postérieurs à 2010	264	100%
Conférence Paper	1	0,4%

¹⁶ SCORE LCA (2019), *Impacts environnementaux des objets connectés et des services basés sur leur utilisation : ordres de grandeurs et recommandations méthodologiques*, 7 pages.

¹⁷ ICTFOOTPRINT.EU, European Framework Initiative for Energy & Environmental Efficiency in the ICT sector (2016)

¹⁸ Orgelet, J. (2021) cartographie *Normes et référentiels*

¹⁹ Cette recherche complémentaire a été réalisée via les moteurs de recherche standard en utilisant les combinaisons de mots-clés suivants : 'ICT', 'digital', 'numérique', 'impact environnemental', 'environmental impact', 'LCA' et 'ACV'.

Edito	2	0,8%
Livre	2	0,8%
Livre blanc	4	1,5%
Méthode	2	0,8%
Norme	34	12,9%
Outil	8	3%
PCR	6	2,3%
Projet étudiant	1	0,4%
Publication	163	61,7%
Publication - médias	3	1,1%
Publication - revue documentaire	4	1,5%
Publication privée	4	1,5%
Publication scientifique	3	1,1%
Rapport ACV	1	0,4%
Rapport RSE	2	0,8%
Rapport technique (Livre blanc, ...)	1	0,4%
Référentiel	6	2,3%
Synthèse	11	4,2%
Thèse	6	2,3%

Tableau 1 - Type de documents analysés

2.1.3. Analyse des publications

Tous les éléments bibliographiques sont répertoriés dans la grille d'analyse **Bibliographie des méthodes existantes d'évaluation de l'impact environnemental du numérique** (voir en Annexe).

Les paramètres étudiés sont les suivants :

- Date de publication du document ;
- Langue : Anglais ou français ;
- Titre ;
- Auteur(s) ;
- Sponsor/Commanditaire ;
- Journal/Editeur : Editeur de l'étude ;
- Type de document : Publication scientifique, Référentiel / Méthodes / Normes / PCR, Publication privée, Rapport RSE, Livre, Outil/Calculateur, Rapport d'Analyse du Cycle de Vie, Méthode, Livre blanc, Thèse, Edito, Thèse de Master / Projet étudiant, Conference Paper, Revue documentaire, Synthèse ;
- Typologie du document : Etude d'impact environnemental, Documentation technique, Méthode, Prospective trajectoire, Etude préparatoire, Enquête, Référentiel de bonnes pratiques, Document d'opinion, Tribune ;
- Méthode : Monocritère - empreinte carbone, Monocritère – énergie, Multicritères – ACV, Multicritères - ACV simplifiée, Multicritères Energie/carbone, Multicritères Energie/Ressources,

MFA - Material Flow Analysis, Méthode qualitative, Généraliste IT, Efficacité énergétique, Ecoconception, Définition, Sobriété numérique, Descriptif, Durée de vie ;

- Référentiel(s) utilisé(s) / mentionné(s)
- Périmètre numérique : Composants électroniques, Datacenters, Equipements²⁰, Equipements/Service/Réseau, IoT, Logiciel, Réseau, Secteur/Domaine d'activité, Serveurs et Datacenters, Serveurs/Réseau, Service numérique ;
- Secteur
- Identification des produits et services couverts / secteurs d'activité
- Mots-clefs : Mots clefs proposés par l'auteur

2.1.4. Gouvernance pour la mise à jour de la bibliographie

La bibliographie sera mise à jour tous les trois mois, lors des réunions de travail réunissant les différents membres du consortium, et ce tout le long de l'étude.

2.2. Les différentes méthodes de l'évaluation de l'impact environnemental du numérique

2.2.1. Vue d'ensemble des méthodes et référentiels

2.2.1.1. Définitions et critères de sélection

Cette section présente tout d'abord la distinction entre méthode et référentiel, puis les critères de sélection des référentiels conservés pour l'analyse. Une **Méthode** d'évaluation environnementale est un ensemble de règles et d'étapes de calcul permettant d'aboutir à l'évaluation de l'impact environnemental du système analysé. Elle a pour objet de mesurer et d'analyser les effets sur l'environnement et d'en prévenir les conséquences dommageables.

Un **Référentiel** est un document structuré constitué de recommandations, normatives ou non et de bonnes pratiques utilisées pour l'application d'une méthode dans un contexte, pour une catégorie de produit, ou pour un objectif particulier. Seuls les référentiels d'évaluation environnementale **spécifiques aux services numériques ou au domaine des TIC** (équipements, réseaux, etc.) ont été conservés. Plus précisément :

- Les référentiels génériques (ex : GHG Protocol, Standard ISO 14040, ILCD Handbook, PEF Guidance) sont exclus du périmètre de l'étude, même si des référentiels spécifiques aux TIC peuvent y faire référence.
- Les référentiels retenus doivent porter sur des aspects environnementaux pertinents liés aux services numériques ou au domaine des TIC, i.e. couvrant à minima le changement climatique, la consommation énergétique ou l'efficacité énergétique des équipements IT (ex : PEFCR IT équipement, norme ITU série L, ...).
- Les référentiels portant sur des aspects techniques, i.e. des protocoles pour évaluer des métriques environnementales des services numériques et du domaine des TIC sur le terrain, ou des labels (comme EU Energy Star ou EPEAT) sont exclus du périmètre du projet. Les référentiels qui nous intéressent doivent en effet guider l'évaluation environnementale dans sa globalité.
- Les référentiels jugés obsolètes ont été exclus (parution trop ancienne, évolution significative de la situation technologique ou normative depuis la parution, ou disponibilité d'une nouvelle version ou d'un amendement au référentiel).

²⁰ Le terme équipements regroupe les appareils électroniques disponibles sur le marché.

2.2.1.2. Vue d'ensemble des méthodes

Les différentes méthodes retenues dans l'étude bibliographique sont les suivantes :

- Etudes qualitatives
 - Les méthodes qualitatives sont fondées sur des analyses de forces/faiblesses en termes d'impacts environnementaux qui peuvent prendre la forme de baromètres, de *checklists* ou encore d'études d'opinion.
- Etudes quantitatives :
 - **Efficacité énergétique :**

La méthode de calcul de l'efficacité énergétique est basée sur la notion d'équivalence fonctionnelle ; la performance énergétique est maximisée pour des produits qui ont une fonction technique identique avec une consommation moindre. Le Power Usage Effectiveness (PUE) dans le cas des datacenters permet par exemple d'évaluer le rendement électrique entre consommations auxiliaires et consommations effectives pour le fonctionnement des machines²¹.
 - **Monocritère – Empreinte carbone :**

Les méthodes « d'empreinte » font partie de la famille des méthodes d'évaluation environnementale fondées sur la pensée « cycle de vie », c'est-à-dire l'approche prenant en considération le spectre des ressources, les flux et les interventions environnementales associés à un produit, un service ou une organisation dans une perspective de cycle de vie. Toutes les phases allant de l'acquisition des matières premières à la transformation, en passant par la distribution, l'utilisation et les processus de fin de vie sont incluses. La méthode d'empreinte carbone évalue l'ensemble des émissions et absorptions de gaz à effet de serre (GES) générés par chaque processus du cycle de vie d'un système de produits, en les quantifiant et convertissant sous une même unité, généralement en kg éq. CO₂. Cette méthode est fondée sur une Analyse de Cycle de Vie n'utilisant qu'une catégorie d'impact de changement climatique, sa méthodologie est notamment présentée dans la norme ISO 14067- Gaz à effet de serre – empreinte carbone.
 - **Monocritère – Energie :**

D'autres méthodes peuvent être appliquées en calculant d'autres indicateurs de performance, comme par exemple la consommation d'énergie finale ou primaire liée à l'utilisation et/ou à la fabrication d'un produit/service.
 - **Multicritère – Analyse du Cycle de Vie (ACV) :**

Comme pour l'empreinte carbone, la méthode d'analyse du cycle de vie est fondée sur la prise en compte de l'ensemble du cycle de vie des biens, services et organisations. Dans le domaine de l'évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux, l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est l'outil le plus abouti. La série des normes ISO 14040 décrit la méthodologie et la déontologie que doivent suivre les études ACV. Les caractéristiques de la méthode de l'ACV sont les suivantes :

 - Il s'agit d'une approche fonctionnelle, fondée sur l'analyse du service rendu (notion d'unité fonctionnelle).
 - C'est une approche multi-étape, qui analyse l'ensemble du cycle de vie du système de produits étudié. Le cycle de vie désigne les « phases consécutives et liées d'un système de produits, de l'acquisition des matières premières ou de la génération des ressources naturelles à l'élimination finale »²² (du « berceau à la tombe »).
 - Multicritère, c'est-à-dire évaluant plusieurs indicateurs d'impacts environnementaux couvrant les enjeux environnementaux essentiels du système

²¹ Toutefois, cet indicateur ne permet pas de rendre compte de l'efficacité énergétique du traitement d'une donnée, exprimée par exemple en kWh/Go.

²² ISO 14040:2006(fr), Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre

analysé, tels que l'impact sur le changement climatique, l'épuisement des ressources abiotiques, l'eutrophisation de l'eau, etc. Cela permet d'éviter les transferts de pollution d'une catégorie d'impact à une autre.

- De plus, c'est une méthode itérative, c'est-à-dire que plusieurs itérations sont recommandées pour atteindre les objectifs fixés par l'étude. Les normes ISO 14040 et ISO 14044 présentent toutes les deux une méthodologie en 4 étapes.
- **Multicritère – Empreinte Carbone/Ressources ou Empreinte Carbone/Energie :**
Certaines méthodes, sans constituer des ACV normées (cf. *supra*), peuvent associer d'autres critères à l'empreinte GES tels que la consommation d'énergie et l'épuisement des ressources minérales, ce dernier s'avérant être un enjeu majeur pour les équipements électroniques ²³.

2.2.1.3. Vue d'ensemble et description des référentiels d'évaluation environnementale du numérique

Il existe différents référentiels permettant de réaliser l'évaluation de l'empreinte environnementale d'un produit (bien manufacturé ou service) le long de son cycle de vie. Comme précisé plus haut, l'étude se concentre ici sur les référentiels d'évaluation environnementale **spécifiques aux services numériques ou au domaine des TIC** : équipements, réseaux, etc. La liste des référentiels identifiés est présentée dans le Tableau 2.

²³ Une approche bi-critère empreinte carbone et épuisement des ressources naturelles pourrait permettre d'identifier un transfert de pollution associé au déploiement des TIC, à savoir qu'une efficacité énergétique accrue induirait une tension sur les ressources minérales.

Tableau 2 : Référentiels d'évaluation environnementale de services numériques, ou spécifique au secteur des TIC

Label du référentiel analysé	Nom complet du référentiel	Niveau d'application géographique	Type de référentiel ²⁴	Systèmes couverts	Méthode (voir typologie en 2.2.1.2)	Description succincte
[ADEME – Affichage]	Affichage environnemental – Référentiels pour l'évaluation environnementale des tv, ordinateur, tablette, montre connectée, décodeur, écran, vidéoprojecteur [279]	National	Ligne directrice	Equipements numériques	Multicritère - ACV	Les référentiels élaborés dans le cadre de l'affichage environnemental des produits de grande consommation en France visent à fournir un cadre méthodologique pour l'évaluation des impacts environnementaux de différentes catégories de produits considérées, pour ce qui nous intéresse ici : téléviseur, ordinateur, tablette, décodeur, écran, vidéoprojecteur et montre connectée. Ils constituent des déclinaisons « des principes généraux pour l'affichage environnemental des produits de grandes consommations – partie 0 » à l'échelle de leur catégorie de produit spécifique respective.
[ADEME – ICT Sector Guide]	Réalisation d'un bilan des émissions de gaz à effet de serre : guide sectoriel ICT 2012 [48]	National	Ligne directrice	Services numériques	Monocritère – Empreinte Carbone	Le guide sectoriel fournit des informations sur la manière d'évaluer les émissions de GES pour une organisation du secteur des TIC ou une organisation utilisant des produits et services de TIC. Il fournit des indications sur la méthodologie, l'approche à considérer, les meilleures pratiques en matière de réduction des émissions de GES et les facteurs d'émission génériques qui peuvent être utilisés comme valeurs par défaut.
[NF EN 50600-4] / [ISO/IEC 30134]	EN 50600-4:2016 - Technologie de	National / International	Normatif	Data center	Monocritère-Énergie	Ces deux séries de normes, dont certaines sous parties sont équivalentes, définissent les

²⁴ Nous avons ici distingué les référentiels normatifs, documents produits par un organisme agréé de normalisation, des lignes directrices à valeurs normatives, référentiels rédigés par l'initiative d'organismes compétents dans le domaine.

	l'information - Installation et infrastructures de centres de traitement de données - Parties 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 [40] / ISO/IEC 30134:2016 - Technologies de l'information — Centres de données — Indicateurs de performance clés — Parties 1, 2, 3, 4, 5 [272], [273], [274], [275], [277]					exigences et recommandations pour accompagner les acteurs clé impliqués dans la conception, la planification, l'approvisionnement, l'intégration, l'installation, le maintien en conditions opérationnelles des centres de stockage de données (datacenters) en matière d'indicateurs de performance clé (KPIs) pour l'évaluation et l'amélioration de l'efficacité énergétiques et ressources des datacenters. Les deux séries de normes définissent deux indicateurs : l'indicateur d'efficacité énergétique (Power Usage Effectiveness - PUE) et le Facteur d'Energie Renouvelable (Renewable Energy Factor - REF), indicateur de performance clé pour améliorer le mix d'approvisionnement énergétique d'un centre de données. La série ISO/IEC 30134 présente également l'efficacité énergétique des technologies de l'information (TI) liée aux serveurs.
[ETSI TS 103 199] ²⁵	ETSI TS 103 199:2011 - Ingénierie Environnementale (IE) ; Analyse du Cycle de Vie (ACV) des équipements, réseaux et services TIC ; Méthodologie générale et exigences communes [33]	International	Normatif	Equipements numériques, réseaux et services TIC	Multicritère - ACV	La norme établit des exigences génériques et spécifiques pour l'ACV des équipements, réseaux et services TIC à partir des normes ISO 14040 et ISO 14044. La méthodologie est valable pour tous les types d'équipement qui font ou pourraient faire partie d'un service numérique, y compris l'équipement de l'utilisateur final.
[ETSI ES 203 199] / [ITU-T L.1410]	ETSI ES 203 199:2014 - Ingénierie Environnementale (IE) ; Méthodologie pour l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) environnementale des biens, réseaux et	International / International	Normatif	Equipements numériques, réseaux et services TIC	Multicritère - ACV	La norme donne des exigences génériques et spécifiques pour l'ACV des biens, réseaux et services TIC à partir des normes ISO 14040 et ISO 14044. Le document est valable pour tous les types de biens TIC, y compris les biens des utilisateurs finaux, ainsi que pour les réseaux et

²⁵ La norme ETSI TS 103 199 a été remplacée en Décembre 2014 par la norme ETSI ES 203 199.

	services des technologies de l'information et de la communication (TIC) [90] Recommandation ITU-T L.1410:2014 - Méthodologie pour l'évaluation de l'impact environnemental des biens, réseaux et services des technologies de l'information et de la communication (TIC) [98]					services TIC ; il donne également des orientations pour l'évaluation des logiciels. Le document a été développé conjointement par le TC EE de l'ETSI et la Commission d'étude 5 de l'ITU-T et est techniquement équivalent à la version actualisée [ITU-T L.1410].
[ETSI ES 205 200]	ETSI ES 205 200:2014 - Accès, Terminaux, Transmission et Multiplexage (ATTM) ; Gestion de l'énergie ; Indicateurs clés de performance globaux (KPI) ; Infrastructures opérationnelles; Parties 1, 2.1, 2.2, 2.4, 3 [89], [270], [170], [117], [271],	International	Normatif	Infrastructures de déploiement de haut débit (y compris : data centers, réseaux d'accès fixes à haut débit (FAN)) et réseaux intégrés de télécommunications par câble à haut débit	Monocritère - Energie	Cette série de normes comprend trois sous parties : - Partie 1 : traite des exigences globales pour les infrastructures opérationnelles ; - Partie 2 : définit les indicateurs de performance (KPI) globaux et fixe des objectifs de gestion de l'énergie pour des réseaux et des sites opérationnels spécifiques et décrit comment les KPI globaux doivent être appliqués ; - Partie 3 : traite des KPI globaux pour les sites TIC.
[GHG Protocol - CCDC]	ICT Sector Guidance basé sur le GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard ICT Sector Guidance – Chapitre 4 - Guide pour l'évaluation des émissions de GES des services de Cloud Computing et de Data Centers (CCDC) [150]	International	Ligne directrice	Services informatiques cloud et data centers	Monocritère – Empreinte carbone	Ce guide sectoriel fournit des recommandations et des méthodes de comptabilisation pour le calcul des émissions de GES pour les produits et services TIC, en mettant l'accent sur le Cloud Computing et les Data Centers (CCDC). Ce guide est un complément au GHG Protocol Product Standard et a été développé en partenariat avec la Global e-Sustainability Initiative (GeSI) et le Carbon Trust.
[GHG Protocol - DMS]	ICT Sector Guidance basé sur le GHG Protocol Product Life Cycle	International	Ligne directrice	Centres d'assistance aux utilisateurs, infrastructures	Monocritère – Empreinte carbone	Ce guide sectoriel fournit des orientations et des méthodes de comptabilisation pour le calcul des émissions de GES pour les produits et

	Accounting and Reporting Standard ICT Sector Guidance – Chapitre 3 – Guide pour l'évaluation des émissions de GES des Services Gérés par Ordinateur (DMS) [149]			supportant les centres d'assistance, gestion de la prestation des services		services TIC, en mettant l'accent sur les Services Gérés par Ordinateur (DMS). Ce guide est un complément au GHG Protocol Product Standard et a été développé en partenariat avec la Global e-Sustainability Initiative (GeSI) et le Carbon Trust.
[GHG Protocol - HW]	ICT Sector Guidance basé sur le GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard ICT Sector Guidance – Chapitre 5 – Guide pour l'évaluation des émissions de GES de Hardware (HW) [151]	International	Ligne directrice	Hardware	Monocritère – Empreinte carbone	Ce guide sectoriel fournit des orientations et des méthodes de comptabilisation pour le calcul des émissions de GES pour les produits et services des TIC, en mettant l'accent sur les Hardware (HW). Ce guide est un complément au GHG Protocol Product Standard et est développé en partenariat avec la Global e-Sustainability Initiative (GeSI) et le Carbon Trust.
[GHG Protocol - SW]	ICT Sector Guidance basé sur le GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard ICT Sector Guidance – Chapitre 6 – Guide pour l'évaluation des émissions de GES de Software [152]	International	Ligne directrice	Software	Monocritère – Empreinte carbone	Ce guide sectoriel fournit des orientations et des méthodes de comptabilisation pour le calcul des émissions de GES pour les produits et services des TIC, en mettant l'accent sur les logiciels (Software - SW). Ce guide est un complément au GHG Protocol Product Standard et a été développé en partenariat avec la Global e-Sustainability Initiative (GeSI) et le Carbon Trust.
[GHG Protocol - TNS]	ICT Sector Guidance basé sur le GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard ICT Sector Guidance – Chapitre 2 – Guide pour l'évaluation des émissions de GES des Services de Réseaux de	International	Normatif	Réseaux de télécommunications (y compris : équipements du fournisseur de service, équipements de support, équipements à l'usage de clients,	Monocritère – Empreinte carbone	Ce guide sectoriel fournit des orientations et des méthodes de comptabilisation pour le calcul des émissions de GES pour les TIC, produits et services, en particulier les services de réseaux de télécommunications (TNS). Ce guide est un complément au GHG Protocol Product Standard et a été développé en partenariat avec la Global e-Sustainability Initiative (GeSI) et le Carbon Trust.

	Télécommunications (TNS) <i>[148]</i>			activités opérationnelles)		
[Green Grid - CUE]	Carbon Usage Effectiveness (CUE) : Une mesure de la durabilité des centres de données du Green Grid <i>[17]</i>	International	Ligne directrice	Data center	Monocritère - Energie	Le Green Grid propose l'utilisation d'une nouvelle mesure, le Carbon Usage Effectiveness (CUE), pour traiter les émissions de carbone associées aux Data Centers. Lorsqu'il est utilisé en combinaison avec le PUE, les opérateurs de centres de données peuvent évaluer la durabilité de leurs centres de données, comparer les résultats et déterminer si des améliorations en matière d'efficacité énergétique et/ou de durabilité doivent être apportées.
[Green Grid – Data Center LCA]	Data Center Life Cycle Assessment Guidelines <i>[280]</i>	International	Ligne directrice	Data center	Multicritère - ACV	Ce livre blanc fournit un cadre pour l'identification et la description des éléments nécessaires à l'évaluation du cycle de vie complet d'un centre de données, en prenant en considération tous les impacts environnementaux pertinents. Il se concentre sur la définition des limites d'évaluation applicables et des préoccupations environnementales.
[Green Grid - DCMM]	Data Center Maturity Model (DCMM) : Une mesure de la durabilité des centres de données du Green Grid <i>[30]</i>	International	Ligne directrice	Data center	Monocritère - Energie	Le Green Grid a développé le modèle de maturité des centres de données (DCMM) et le livre blanc qui l'accompagne afin de définir des descripteurs de capacités par domaine, de sorte que les utilisateurs puissent évaluer leurs performances actuelles, déterminer leur niveau de maturité et identifier les étapes et les innovations en cours nécessaires pour atteindre une plus grande efficacité énergétique et une meilleure durabilité, aujourd'hui et à l'avenir. Le DCMM touche tous les aspects des Data Centers, y compris l'alimentation, le refroidissement, le calcul, le stockage et le réseau. Les niveaux du modèle décrivent les

						meilleures pratiques actuelles et une feuille de route de cinq ans pour l'industrie.
[IEC TR 62725]	IEC TR 62725:2013 - Analyse des méthodes de quantification des émissions de gaz à effet de serre pour les produits et systèmes électriques et électroniques [66]	International	Normatif	Produits et systèmes électriques et électroniques	Monocritère – Empreinte carbone	IEC TR 62725 est une norme destinée à fournir aux utilisateurs des recommandations pour comprendre les méthodologies et évaluer l'empreinte carbone des produits, en quantifiant les émissions de GES pour les équipements électriques et électroniques (EEE) sur le principe de cycle de vie. Elle est applicable à tout type de produits EE, qu'ils soient neufs ou modifiés (par exemple, reconditionnés, mis à niveau, etc.) et se fonde sur l'étude comparative des méthodologies existantes (publiées ou en cours de discussion à la date de rédaction du référentiel) dans les organisations représentatives internationales.
[IEC TR 62921]	IEC TR 62921:2016 - Méthodologie de quantification des émissions de gaz à effet de serre pour les ordinateurs et les moniteurs [135]	International	Normatif	Ordinateurs et moniteurs	Monocritère – Empreinte carbone	IEC TR 62921 donne des recommandations détaillées pour rationaliser la quantification des émissions de GES pour les ordinateurs et les écrans. De plus, la section de Règles de Catégories de Produits (PCR) recommande des hypothèses de processus et de données afin de réduire l'incertitude des évaluations. Enfin, le présent rapport fournit un exemple de la manière dont un calcul peut être effectué.
[iNEMI]	iNEMI - Eco-Impact Evaluator for ICT Equipment [44]	International	Ligne directrice	Equipements numériques	Monocritère – Empreinte carbone	Ce projet fournit un outil d'estimation simplifié permettant aux utilisateurs de collecter plus facilement des informations « éco-environnementales » clés pour les équipements et les biens TIC. Cet outil catégorise les produits et établit un format unifié pour demander aux fournisseurs des informations sur l'analyse de cycle de vie (ACV) des produits qu'ils fournissent.

[ITU L.1420]	Recommandation ITU-T L.1420:2012 - Méthodologie pour l'évaluation de l'impact de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre des technologies de l'information et de la communication dans les organisations [47]	International	Normatif	Services numériques	Multicritère – Empreinte Carbone - Energie	La recommandation ITU-T L.1420 présente la méthodologie à suivre si une organisation a l'intention de se déclarer conforme à cette recommandation pour l'évaluation de sa consommation d'énergie et/ou de ses émissions de GES liées aux technologies de l'information et de la communication (TIC). Cette recommandation peut être utilisée par les organisations pour évaluer la consommation d'énergie et les émissions de GES liées aux TIC et générées sur une période de temps à la fois par des organisations du secteur des TIC ou par des organisations d'autres secteurs.
[ITU-T L.1430]	Recommandation ITU-T L.1430:2013 - Méthodologie d'évaluation de l'impact environnemental des projets relatifs aux gaz à effet de serre et à l'énergie dans le domaine des technologies de l'information et de la communication [76]	International	Normatif	Equipements numériques, réseaux et services TIC	Multicritère – Empreinte Carbone - Energie	Cette recommandation fournit des orientations pour l'application d'une méthodologie spécifique pour évaluer l'impact environnemental des projets relatifs aux gaz à effet de serre (GES) et à l'énergie dans le domaine des technologies de l'information et de la communication (TIC). Cette méthodologie d'évaluation vise spécifiquement à quantifier et à reporter les réductions d'émissions de GES, les améliorations de l'élimination des GES, les réductions de consommation d'énergie et l'amélioration de la production et du stockage de l'énergie dans les projets TIC relatifs aux GES et à l'énergie (tant dans le secteur des TIC que dans les autres secteurs).
[ITU-T L.1440]	Recommandation ITU-T L.1440:2015 - Méthodologie pour l'évaluation de l'impact environnemental des technologies de l'information et de la communication au niveau des villes [127]	International	Normatif	Services numériques	Multicritère – Empreinte Carbone - Energie	La recommandation ITU-T L.1440 donne des orientations générales sur les évaluations au niveau des villes de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre (GES) liées aux TIC et décrit les méthodes à utiliser pour évaluer l'impact environnemental des TIC dans les villes. Le document couvre l'utilisation des biens et des réseaux TIC dans les

						organisations et les ménages d'une ville, ainsi que les projets et les services TIC appliqués dans la ville.
[ITU-T L.1450]	Recommandation ITU-T L.1450:2018 - Méthodologies pour l'évaluation de l'impact environnemental du secteur des technologies de l'information et de la communication [174]	International	Normatif	Services numériques	Monocritère – Empreinte Carbone	La recommandation ITU-T L.1450 se compose de deux parties : - Partie 1 : méthodologie de calcul des émissions de gaz à effet de serre (GES) des TIC sur le cycle de vie ; - Partie 2 : méthodologie pour définir le budget carbone pour le secteur des TIC en considérant une trajectoire de 2°C ou moins.
[ITU-T L.1451]	Recommandation ITU-T L.1451:2019 - Méthodologie d'évaluation des impacts positifs agrégés des TIC au niveau sectoriel dans d'autres secteurs [276]	International	Normatif	Services numériques	Monocritère – Empreinte Carbone	La recommandation ITU-T L.1451 traite de la possibilité d'utiliser un modèle d'équilibre général calculable comme méthodologie possible pour évaluer simultanément les impacts environnementaux et économiques des TIC au niveau sectoriel. La recommandation répond à la nécessité de contribuer à la réalisation des cibles et des objectifs de l'Agenda 2030 pour le développement durable, en particulier son objectif 13 (SDG13), l'Agenda Connecter 2030 et l'Accord de Paris dans une perspective mondiale.

2.2.2. Cartographie des référentiels

Dans cette section, une classification des référentiels est proposée afin de distinguer les grandes typologies de méthodes et référentiels. Comme le montre la Figure 1, les référentiels peuvent :

- Être adaptés à l'évaluation des produits (biens manufacturés ou services), projets ou organisations (empreinte environnementale des organisations),
- Suivre une approche cycle de vie ou une autre approche de quantification,
- Permettre l'évaluation d'un impact (par ex. changement climatique ou consommation énergétique) ou de plusieurs impacts.

La Figure 1 présente une classification des référentiels en fonction de leur nature (axe horizontal), du type d'approche (axe vertical) et des impacts évalués (axe diagonal). Par souci de simplification, les référentiels couvrant différentes sous parties ou chapitres ont été regroupés entre eux.

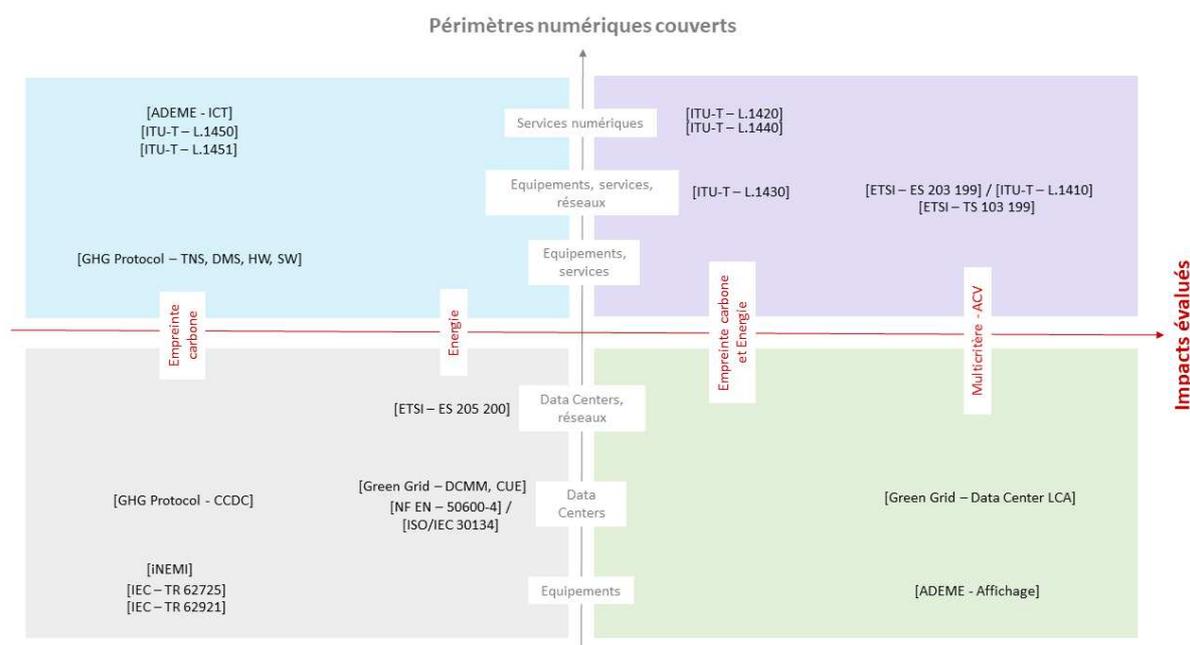


Figure 1 - Cartographie simplifiée des référentiels d'évaluation environnementale de services numériques, ou spécifiques au secteur des TIC

La Figure 1 fait ressortir la présence importante de l'empreinte carbone comme catégorie d'impact, enjeu sur lequel le secteur des TIC s'est longtemps concentré. Cependant, certains référentiels prennent désormais en compte d'autres impacts environnementaux, comme l'exige l'approche de l'analyse du cycle de vie complète.

La majorité des référentiels identifiés à ce stade du projet (75%), qu'ils soient mono ou multicritères, sont fondés sur une approche cycle de vie²⁶, c'est-à-dire une approche tenant compte de l'ensemble des étapes du cycle de vie desdits produits ou organisations. Pour être plus précis :

- o Les référentiels Datacenter- Greengrid ne considèrent que la phase d'usage ;

²⁶ L'approche « cycle de vie » se fonde sur la prise en compte des impacts environnementaux tout au long du cycle de vie d'un produit ou d'une organisation, sans nécessairement se référer aux normes encadrant les ACV (par ex. ISO 14040 :2006).

- o Les référentiels GHG, ETSI et ITU (à la fois ceux qui s'appuient sur une approche d'empreinte carbone ou ceux qui sont en approche multicritère) et le guide sectoriel de l'ADEME évaluent les impacts sur l'ensemble du cycle de vie.

Parmi les méthodologies multicritères (empreinte carbone/énergie ou ACV), on distingue également deux types d'approches : l'approche « process-based » (ou basée sur les processus – approche la plus répandue en ACV) et l'approche « input-output » (ou approche économique entrée-sortie). Plus précisément, pour ces 7 référentiels, 3 préconisent une approche « process-based », 3 mentionnent les deux approches « process-based » et « input-output » et 1 ne mentionne pas d'approche particulière.

D'après la norme ITU-T L.1410 [98], dans le cas des biens, réseaux et services TIC, l'approche « process-based » est généralement l'option préférée pour évaluer les impacts environnementaux. Cependant, il existe des situations où cette approche peut ne pas être la meilleure, par exemple lorsque la quantité de données disponibles ou le temps et les ressources disponibles pour traduire la complexité d'un système manquent, réduisant les frontières du système étudié. Ainsi, les résultats ne rendront pas pleinement compte de la charge environnementale réelle. Dans ce cas, une approche d'ACV hybride peut être appliquée.

2.2.3. Bilan et principaux résultats

2.2.3.1. Historique du développement des études et référentiels d'évaluation environnementale dans le secteur des TIC

Histoire et réglementation

Dès le début des années 2000, la question de l'impact environnemental des produits électriques et électroniques a occupé une place centrale dans la réglementation environnementale. En effet, les impacts sanitaires et environnementaux associés au cycle de vie des équipements constituant les services numériques ont été traités en partie au travers des directives RoHS²⁷, DEEE²⁸, EuP²⁹ puis ErP³⁰ notamment orientées sur la composition des appareils électriques et électroniques et leur écoconception. Cette dernière directive ErP vient également réglementer l'efficacité énergétique de certains³¹ équipements, notamment les datacenters au travers du Règlement (UE) 2019/424³².

²⁷ Directive 2002/95/CE du 27 janvier 2003 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques.

²⁸ Directive 2012/19/UE du 4 juillet 2012 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE).

²⁹ Directive 2005/32/CE du 6 juillet 2005 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie.

³⁰ Directive 2009/125/CE du 21 octobre 2009 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits liés à l'énergie

³¹ La liste complète des équipements réglementés par cette directive est disponible sur le site de la Commission Européenne. Voir https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products_fr

³² Règlement (UE) 2019/424 de la Commission du 15 mars 2019 établissant des exigences d'écoconception applicables aux serveurs et aux produits de stockage de données

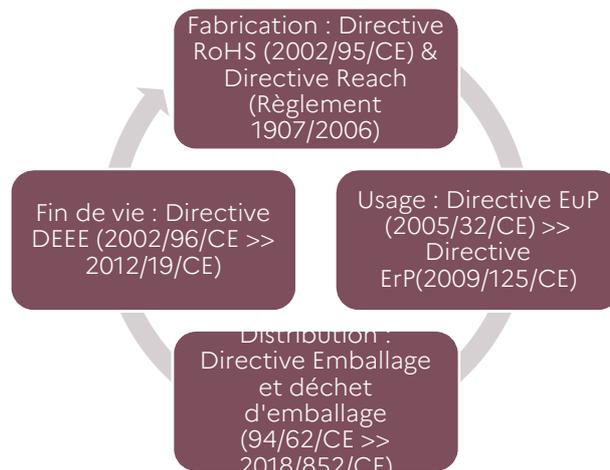


Figure 2 – Développement des directives d'écoconception des produits numériques

S'agissant de l'obsolescence programmée, le Parlement Européen a voté en juillet 2017 une résolution pour « une durée de vie plus longue pour les produits : les avantages pour les consommateurs et les entreprises ». En complément, et ce grâce à la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV - 2015)³³, renforcée par la loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (Loi AGEC - 2020), des dispositions de lutte contre l'obsolescence programmée ont été prises au niveau national. L'article L 441-2 du code de la Consommation donne la définition de l'obsolescence programmée et en interdit la pratique. L'article L 454-6 du code de la Consommation énumère quant à lui les sanctions applicables.

A l'échelle des services numériques, peu de dispositions avaient cependant été prises jusqu'à récemment. La loi AGEC, en 2020, ainsi que de nombreux travaux en cours au niveau des instances nationales françaises (Sénat, Assemblée nationale, etc.) viennent compenser ce manque. La loi AGEC plus spécifiquement contraint les fournisseurs d'accès internet à communiquer sur les émissions de gaz à effet de serre induites par la consommation de données. Dans ce cadre, le consortium NegaOctet travaille avec l'ADEME à un référentiel d'affichage environnemental qui permettra dans un premier temps de caractériser et de communiquer sur les impacts du réseau, puis, dans un deuxième temps, d'évaluer l'impact environnemental des services numériques. Ce référentiel a été publié en juillet 2021 [278]. S'agissant de l'efficacité énergétique, les centres de données dont la surface est supérieure ou égale à 1000m² doivent progressivement réduire leurs consommations d'électricité pour répondre aux obligations du décret tertiaire (Eco Energie Tertiaire)³⁴. Les objectifs visent à diminuer les consommations d'énergies totales de respectivement -40%, -50% et -60% en 2030, 2040 et 2050 par rapport aux consommations de 2010.

Evaluation des impacts environnementaux – Depuis le produit vers le service numérique

Les services numériques et le numérique au sens large constituent un véritable écosystème constitué de l'ensemble des logiciels, matériels et infrastructures numériques nécessaire pour réaliser un acte au format numérique.

Si la question de l'impact environnemental individuel des équipements IT les constituant a très tôt été traitée via des approches quantitatives et multicritères (ACV), ce n'est pas le cas des services numériques

³³ Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.

³⁴ Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire. Voir MTES (2021), Eco Energie Tertiaire, Construisons ensemble la transition énergétique.

dans leur ensemble. En effet, la prise en compte des impacts environnementaux des services numériques et du numérique dans sa globalité a peu fait l'objet de cette approche systémique.

Une lecture historique des normes, référentiels, sujets de recherche, etc. permet d'apporter l'éclairage suivant sur l'évolution des pratiques :

Entre 2000 et 2010 :

- Au niveau de la recherche ou R&D :
 - Approche énergétique des services numériques : consommation d'énergie et efficacité énergétique pour les datacenters notamment ;
 - Emergence de l'ACV des équipements IT.

Entre 2010 et 2015 :

- Approche grand public : Premier affichage environnemental pour les téléphones mobiles : SFR, Vodafone, Orange.
- Au niveau de la recherche ou R&D : Pratique de la transformation des consommations d'énergie en impact carbone pour analyser des services numériques.
- Au niveau des entreprises :
 - Emergence des référentiels et généralisation de la quantification carbone (GHG protocole – Bilan Carbone) pour les datacenters ;
 - Premières ACV complètes de services numériques conformes ISO 14040 [Etude ADEME : stockage sur clé USB [25], e-commerce [26], requête web [27], courrier électronique [28]– Etude Ericsson sur la 3G [202]– Travaux des opérateurs télécoms sur le sujet] mais pratique confidentielle.
- Au niveau des normes et référentiels : Développement des référentiels normatifs ETSI et ITU mais peu appliqués à ce jour par manque de données compatibles et difficultés de collecte. Les approches monocritères (seul indicateur obligatoire : changement climatique) restent majoritaires.

Entre 2015 et 2020 :

- S'agissant des normes et référentiels : Développement des référentiels Product Environmental Footprint (PEF) pour les équipements IT.
- S'agissant du grand public : Médiatisation du sujet : Parution de la première étude EENM – Empreinte environnementale du numérique mondial : ACV screening des impacts du numérique (3 indicateurs d'impact environnemental)³⁵.
- S'agissant des entreprises :
 - Développement des premières ACV « screening » pour les services numériques et pages web via GreenIT.fr et des actions collectives comme Greenconcept. Ces analyses sont les prémices de la généralisation de l'approche multicritère.

³⁵ Bordage, F. (2015) *Quelles est l'empreinte environnementale du web ?*, GreenIT.fr

- Par ailleurs, faute de référentiels de mesure harmonisés de l'impact carbone spécifiques aux acteurs du numérique, certaines entreprises du secteur se sont engagées dans le cadre d'initiatives internationales existantes, comme les Science Based Targets Initiatives (SBTi) ou le Carbon Disclosure Project (CDP)³⁶ par exemple. Le SBTi accompagne les entreprises dans l'établissement de cibles de réduction des émissions pour respecter les objectifs des accords de Paris de limiter le réchauffement climatique à 1,5°C³⁷³⁸. Des trajectoires de réduction des émissions ont été préétablies pour les opérateurs de réseaux mobiles, les opérateurs de réseaux fixes, les opérateurs de centres de données, les appareils des utilisateurs et les fabricants d'équipements TIC³⁹. Ces trajectoires sous-tendent l'approche de fixation d'objectifs sectoriels pour les TIC et sont décrites en détail dans la recommandation UIT-T L.1470 "Trajectoires des émissions de GES pour le secteur des TIC compatibles avec l'accord de Paris de la CCNUCC". Le CDP propose un système de communication standardisé des impacts environnementaux et aide les entreprises, états, régions, etc. à mesurer leurs niveaux de risques et opportunités vis-à-vis du changement climatique, de l'accès sécurisé à l'eau douce et de la déforestation.
- S'agissant des outils de déploiement de l'écoconception : Outil EcoMeter.org & EcoIndex⁴⁰.

A partir de 2018 :

- S'agissant du grand public : Médiatisation du sujet :
 - Parution de l'étude du Shift Project : Lean ICT - Vers une sobriété numérique : approche cycle de vie simplifiée (impacts de la phase de production et d'utilisation uniquement des réseaux, terminaux et data centers) mais globalement axée sur le changement climatique ;
 - Parution de la seconde étude EENM – Empreinte environnementale du numérique mondial : ACV screening des impacts du numérique (4 indicateurs d'impact environnemental).
 - Parution de la première étude iNum – Etude de l'impact du numérique en France : ACV screening des impacts du numérique (4 indicateurs) [238].
- S'agissant de la R&D :
 - Développement du référentiel NegaOctet : base de données et méthode conformes à l'ISO 14040⁴¹
 - Développement de l'initiative Product Attributes to Impact Algorithm (PAIA) par le MIT et le cabinet Quantis⁴²
 - Développement de la question des impacts indirects du numérique : question de l'effet rebond^{43 44 45 46} et des impacts induits (second-order effects) appréhendés par la norme ITU

³⁶ SBTi: <https://sciencebasedtargets.org/> ; CDP: <https://www.cdp.net/fr>

³⁷ SBTi (N.d), Guidance for ICT companies setting science based targets

³⁸ GSMA (2020) Setting Climate Targets – a step by step guide for mobile networks operators to set science based targets

³⁹ La formalisation des trajectoires pré-établies concerne uniquement le scope 1 et 2

⁴⁰Outils EcoMeter.org (évaluation maturité) & EcoIndex.fr (évaluation de la performance et de l'empreinte environnementale) d'un service numérique.

⁴¹ NegaOctet – [site général]. -<http://negaoctet.com>

⁴² URL: <https://msl.mit.edu/projects/paia/main.html>

⁴³ Horner, N.C & al. (2016), – *Know unknowns: indirect energy effects of information and communication technology*, Environmental Research Letters, 21 pages

⁴⁴ Bol, D. ; Pirson, T. ; Dekimpe, R. (2021). *Moore's Law and ICT Innovation in the Anthropocene*. IEEE Design, Automation and Test in Europe Conference 2021 (Virtual conference, du 01/02/2021 au 05/02/2021). In: Proceedings of the IEEE Design, Automation and Test in Europe Conference 2021

⁴⁵ Court, V. and S. Sorrell. (2020), *Digitalisation of goods: a systematic review of the determinants and magnitude of the impacts on energy consumption*. Environmental Research Letters, 15 (4)

⁴⁶ Lange, S. & Pohl, J. & Santarius, T. (2020). *Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand?*, Ecological Economics, Elsevier, vol. 176(C).

1440 [127] et de nombreux travaux conduits selon les recommandations ITU 1470 [232]. Cette dernière norme met en avant les trajectoires d'émission de GES des services des TIC compatibles avec les Accords de Paris.

- S'agissant de la législation :
 - Parution de la loi AGEC et de son article 13 : Affichage des émissions de GES de l'impact de la transmission des données sur le réseau.
 - Parution du « décret tertiaire » s'agissant des datacenters : Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire
 - Développement des premières règles par catégorie de produits relatives aux services numériques et aux réseaux au sens large.

Evaluer l'impact environnemental du numérique n'est pas chose aisée. En effet, les biens et services numérique, sont utilisés dans l'ensemble des champs de la société : du travail au loisir, du transport à l'habitat, de l'industrie à l'agriculture, de la culture à la science.

La volonté de quantifier cet impact environnemental met ainsi en lumière de nouveaux défis :

- Collecter des informations sur l'ensemble du cycle de vie du service en faisant appel à un nombre d'acteurs très variés ;
- Evaluer plusieurs indicateurs environnementaux pour éviter les transferts de pollution⁴⁷, ce qui signifie disposer de bases de données robustes et homogènes ;
- Organiser le dialogue entre les parties prenantes : équipementiers, FAI, éditeurs de logiciel, architectes, développeurs, opérateurs,...
- Prendre en considération à la fois les effets directs et les effets indirects : passage d'une ACV attributionnelle qui se concentre uniquement sur les impacts directs de la technologie à une ACV conséquentielle aussi appelée approche "change-oriented", "effect-oriented"⁴⁸ qui permet notamment de prendre en considération les effets du développement d'une technologie sur l'ensemble des écosystèmes techniques et énergétiques⁴⁹ – voir Glossaire.

Etat d'avancement actuel des développements des référentiels et limites à lever

Le cadre méthodologique et normatif pour le secteur des TIC est fortement polarisé. Comme de nombreux domaines d'activité, le secteur s'empare des référentiels de quantification des impacts généralistes :

- Monocritère : ISO 14067, Bilan Carbone & GHG Protocol ;
- Multicritères : ISO 14040 & 44 – BP-X-30 323-0.

Une fois adapté aux problématiques des TICs, chaque référentiel présente son propre champ d'application :

- Il peut se concentrer sur un aspect environnemental défini sans passer par la conversion en impact environnemental, par exemple la consommation d'énergie et l'efficacité énergétique

⁴⁷ Le transfert de pollution, ou transfert d'impact environnemental « *peut s'effectuer d'une étape du cycle de vie à une autre ou d'un impact environnemental à un autre. Par exemple, réduction des émissions de gaz à effet de serre mais augmentation des consommations d'eau et de la production de déchets nucléaires ou encore réduction des consommations d'énergie en phase d'usage par augmentation des impacts environnementaux en phase de fabrication* ».

⁴⁸ European Commission (2010), *General guide for life cycle assessment – Detailed guidance*, ILCD handbook, International reference life cycle data system, 417 pages

⁴⁹ Consequential-LCA (2021), *Why and when?* Last updated: 2020-10-01

dans les datacenters. Ce dernier aspect est l'un des premiers à avoir été développé. Les normes et réglementation y afférant sont notamment citées dans le Règlement (UE) 2019/424⁵⁰ et en section 6.6.3;

- Il peut se concentrer sur un périmètre d'action donné : équipement, datacenter, entreprise, notamment pour les approches monocritères ;
- Il dispose généralement de peu de données et guides d'utilisation pour la mise en application de l'approche multicritères cycle de vie prescrite par la méthode d'Analyse du Cycle de Vie (ACV). Aujourd'hui, il n'existe notamment pas de données d'inventaires du cycle de vie partagées, robustes et à jour permettant à chacun de mettre en œuvre les ACVs selon les règles proposées et garantissant des résultats comparables entre acteurs. Les choix de modélisation et les degrés de liberté induits lors de la mise en application d'un même référentiel pour un même périmètre numérique donné peuvent également être source de divergences dans l'exploitation des résultats de deux études⁵¹.

Cependant, les études d'ores et déjà réalisées présentent des résultats relativement similaires (iNum⁵², The Shift Project⁵³, Haut conseil pour le climat⁵⁴), à savoir un impact prépondérant de la part des terminaux utilisateurs et un impact plus réduit de la partie transport, traitement et stockage des données. Cependant, ces conclusions doivent être considérées avec précaution dans le cas d'applications spécifiques telle que le calcul haute performance⁵⁵.

Ainsi, on dispose :

- D'un côté, de **référentiels monocritères** pour les datacenters (ex : GHG protocol) ;
- De l'autre, de **normes très spécifiques** (ex : Série L ITU) pour lesquelles l'analyse du cycle de vie constitue la base de référence. La méthode est totalement développée mais son applicabilité est remise en question par le manque de données d'inventaire du cycle de vie à disposition des praticiens et la difficulté de collecte des informations nécessaires à l'inventaire tout au long de la chaîne de valeur. Les travaux associés à la loi AGEC tentent de réduire cette complexité par la consultation de l'ensemble des parties prenantes ainsi que par la création de données par défaut qui devraient permettre de disposer d'un bon équilibre entre représentativité des travaux et facilité de mise en œuvre.

Fort de ces constats, plusieurs étapes semblent nécessaires à l'évolution et au développement des référentiels :

- Expérimenter et quantifier les impacts environnementaux du numérique avec finesse à un niveau stratégique et institutionnel afin de mieux comprendre la problématique et d'opérer des choix éclairés ;
- Mettre à profit ces expérimentations pour affiner les modèles et les méthodes en vue de leur simplification et généralisation ;
- Développer des référentiels adaptés à chaque pan du secteur du numérique ;
- Développer et entretenir les bases de données nécessaires à l'élaboration d'analyses multicritères et cycle de vie homogènes et comparables permettant d'aboutir à des choix stratégiques clairs.

⁵⁰ Règlement (UE) 2019/424 de la Commission du 15 mars 2019 établissant des exigences d'écoconception applicables aux serveurs et aux produits de stockage de données

⁵¹ Andrae, A. & Vaija, S., (2014), *To Which degree does sector specific standardization make life cycle assessments comparable?*- The case of Global warming potential of smartphones

⁵² Bordage, F., de Montenay, L., & Vergeynst, O. (2021). *Étude : impacts environnementaux du numérique en France* [Ebook]. Green. .

⁵³ Ferreboeuf, H., (2018), *Pour une sobriété numérique* The Shift Project, Lean ICT,

⁵⁴ De Brux, J., Ferreboeuf, H., Guillet, L. & Laly, C-E. (2020), *Rapport- Déploiement de la 5G en France : quel impact sur la consommation d'énergie et l'empreinte carbone*, Sénat citizing, Haut conseil pour le climat, 105 pages

⁵⁵ Berthoud, F., Bzeznik, B., Gibelin, N., Laurens, M., Bonamy, C., et al. (2020), *Estimation de l'empreinte carbone d'une heure.coeur de calcul*, [Rapport de recherche] UGA – Université Grenoble Alpes; CNRS; INP Grenoble; 16 pages

2.2.3.2. Quel futur normatif pour le numérique ?

Les principaux organismes de normalisation pertinents sur la question du numérique responsable, et leurs interactions sont illustrés en Figure 3.

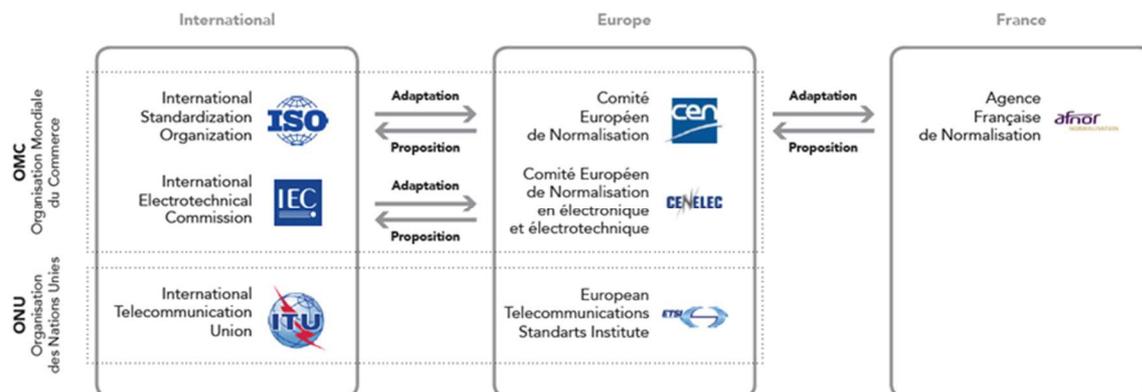


Figure 3 : Principaux organismes de normalisation et leurs connexions à l'échelle internationale, européenne et française

S'agissant plus particulièrement des travaux de normalisation concernant les datacenters, ils sont en cours, et coordonnées au niveau européen par des groupes de travail conjoints tels que :

- Le TC (Technical Committee) 215 du CENELEC qui est à l'origine des normes de la série EN 50600 : installations et infrastructures de centres de traitement de données ;
- Le groupe de travail JTC 1/SC 39 – « sustainability for and by information technology » qui est à l'origine de la série de normes ISO 301334 « technologies de l'information : centre de données : indicateurs de performance ;
- Le Coordination Group on Green Datacenter regroupant Cen, CENELEC et ETSI qui a notamment publié « standardisation landscape and environmental viability of datacenters ».

Au moment d'écrire ce rapport, et en se focalisant sur l'évaluation de l'impact environnemental des services numériques, la norme ITU apparaît comme l'approche la plus complète. En effet :

- Elle fait le lien entre Analyse du Cycle de Vie de biens d'équipements, de réseau et de services numériques ;
- Elle préconise une approche multicritère en recommandant de compléter l'indicateur sur le dérèglement climatique par des indicateurs complémentaires tels que l'épuisement des ressources naturelles ;
- Elle définit un périmètre d'étude exhaustif.

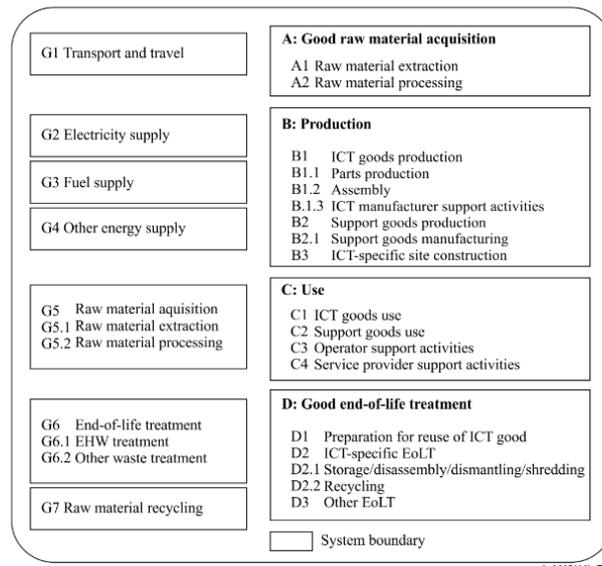


Figure 4 - Les limites du système de produits pour l'ACV des biens, réseaux et services liés aux TIC⁵⁶

Ce référentiel, complété par les travaux de la Commission Européenne (initiative PEF), sert de référence aux travaux d'élaboration de règles par catégorie de produit - RCP - qui permettront la mise en application de l'article 13 de la loi AGEC⁵⁷.

Dans ce contexte l'ADEME, accompagnée par le consortium NegaOctet, a fait le choix de :

- **Proposer un référentiel d'affichage environnemental pour les services numériques au sens large – référentiel « chapeau ».** Le référentiel fournit la méthode à respecter pour calculer les indicateurs de l'affichage environnemental d'une catégorie de produits (ce qui revient à définir des règles du jeu communes à tous les acteurs des services numériques). Ce document « chapeau » permet l'harmonisation de l'ensemble des règles sectorielles (ou règles de catégories de produit - RCP) des services numériques autour de règles communes. Il a pour objectif de :
 - Fournir un ensemble de règles communes pour l'élaboration des RCP de services numériques ;
 - Encadrer la méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux de ces services ;
 - Simplifier la méthode de calcul afin de faciliter l'affichage environnemental pour les entreprises qui les commercialisent ;
 - Il est complété par des RCP relatifs au service numérique étudié.
- **Proposer des référentiels catégoriels complémentaires par typologie de service.** Ces documents complètent et précisent les règles sectorielles (RCP) « chapeau » : « Vue d'ensemble et description des référentiels d'évaluation environnementale du numérique - 2.2.1.3 » - le premier référentiel en cours d'élaboration concerne service d'accès à Internet via un réseau de communication fixe et cellulaire.

Cette distinction entre règles sectorielles (RCP) et référentiels complémentaires (PSR) par typologie de services est illustrée en Figure 5.

⁵⁶ ITU-T – L.1410 (2014), *Methodology for environmental life cycle assessments of information and communication technology goods, networks and services* – Series L, Construction, Installation and Protection of cables and other elements of outside plant, , 202 pages

⁵⁷ La première version de ces règles par catégorie de produits est en cours d'élaboration



Figure 5 - structuration des référentiels proposés (PSR – Product Specific Rules)

Cette démarche prend pour référence et inspiration les méthodes développées dans le secteur du bâtiment. En effet, ce secteur a été un secteur précurseur dans l'intégration de la quantification des impacts environnementaux dans ses référentiels de performance environnementale et renforce ces contraintes avec la RE2020⁵⁸ pour laquelle des seuils d'émissions de GES et de consommations d'électricité sont fixés pour les bâtiments neufs, prenant en compte l'ensemble de leur cycle de vie.

La réglementation RE2020 se base sur les textes et normes présentées en Figure 6.

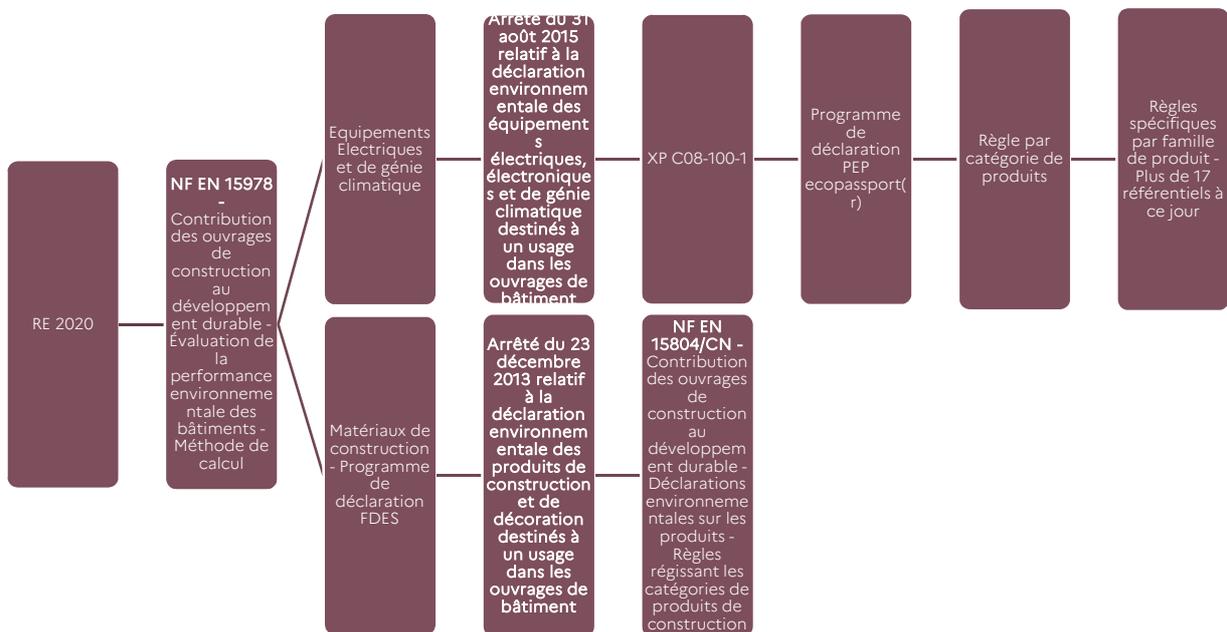


Figure 6 - Contexte réglementaire des méthodes développées dans le secteur du bâtiment

⁵⁸Nouvelle réglementation environnementale des bâtiments neufs, prévue par la Loi du 23 novembre 2018 portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (Loi ELAN)

Le secteur du bâtiment s'est par ailleurs doté d'une base de données de déclarations environnementales, à savoir la base INIES⁵⁹, dans laquelle sont centralisées toutes les déclarations : elle met à disposition du secteur les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) de produits de construction ou les Profils Environnementaux Produits (PEP) d'Équipements mentionnés en Figure 6.

Sur le fondement de ce modèle, il est possible d'identifier une série de mesures permettant d'optimiser les référentiels de quantification des impacts environnementaux du numérique :

- Homogénéisation des pratiques entre ACV de biens manufacturés et ACV de service pour assurer leur compatibilité : Création de référentiels normatifs et réglementaires contraignants permettant la comparabilité des déclarations environnementales et leur réutilisation dans un cadre plus large (par exemple dans le cas du bâtiment où les déclarations environnementales produits alimentent l'ACV bâtiment).
- Création de règles de quantification et de communication de la performance environnementale (règles par catégorie de produits) à 3 niveaux :
 - Règle générale pour l'ensemble du secteur numérique : produit & service (se basant sur des référentiels ETSI et ITU) ;
 - Règles spécifiques pour la communication de la performance des services numériques (travaux en cours avec l'ADEME – référentiel d'affichage environnemental avec comme première application la loi AGEC) ;
 - Règles spécifiques par service. Les travaux sont en cours pour les réseaux de télécommunication mais pourraient être poursuivis sur des thématiques telles que l'intelligence artificiel, la blockchain, les sites web et application mobile, les services de type IaaS⁶⁰, SaaS⁶¹, ...
- Centralisation des déclarations environnementales produites au niveau des équipements pour créer une base de données regroupant les données primaires constructeurs. Cette dernière servira de base à la production de déclarations environnementales de services numériques.
- Développement et mise à jour de bases de données intégrant des données secondaires à utiliser en l'absence de données primaires compatibles avec les règles d'évaluation (concept de DED – Données environnementales par défaut - utilisé dans le bâtiment en l'absence de déclarations normalisées, par exemple les FDES). Ces données doivent être développées conformément aux normes ISO 14040, ISO 14044 et aux recommandations des PEF Guidance.

Ces travaux ont déjà été amorcés dans le but de faire évoluer le contexte normatif du numérique au travers de nombreux projets tels que : le Perfecto 2018 – NegaOctet [252], les travaux en cours pour le Perfecto 2021 ainsi que les travaux pour la réalisation du PCR de la loi AGEC.

Au vu des constats précédemment cités, la tâche 2, qui consiste en l'évaluation environnementale des services numériques en France via une Analyse du Cycle de Vie, sera conforme aux normes ISO 14040/44, et s'appuiera en priorité sur les règles établies dans le PCR développé dans le cadre de la loi AGEC. Les hypothèses de calcul et choix méthodologiques pour la réalisation de la tâche 2 seront explicités et justifiés pour garantir la qualité des résultats dans la suite des travaux.

⁵⁹ INIES (2021), Les données environnementales et sanitaires de référence pour le bâtiment. Inies.fr.

⁶⁰ *Infrastructure as a Service*

⁶¹ *Software as a Service*

En conclusion :

On observe aujourd'hui une certaine dualité dans l'utilisation des méthodes d'évaluation de l'impact environnemental du numérique. Les méthodes diffèrent dans leur approche, monocritère ou multicritères, ainsi qu'au niveau du périmètre numérique analysé, périmètre produit ou service numérique.

D'un point de vue global, les méthodes basées sur des Analyses du Cycle de Vie restent pour le moment les plus plébiscitées.

Les freins à l'application de certains référentiels (multicritères notamment) résident dans la complexité de leur mise en œuvre. Les méthodes sont développées mais les outils nécessaires à leur application (par exemple les bases de données) n'existent pas.

Pour aboutir à des choix stratégiques éclairés, plusieurs étapes doivent être envisagées pour permettre la démocratisation des méthodes d'évaluation :

- Plus de mesures empiriques pour affiner les modèles d'évaluation d'impact ;
- Un déploiement de référentiels d'évaluation pour chaque pan du secteur numérique ;
- La mise à jour régulière de bases de données publiques permettant d'évaluer différentes briques des services numériques de façon comparable, compte-tenu de l'évolution très rapide de l'évolution des technologies dans ce domaine.
- La centralisation de la matière produite dans une base de données dédiées et alimentées par l'ensemble des acteurs du secteur.

2.3. Cas d'étude : utilisation des méthodes et référentiels de mesure

2.3.1. Critères de sélection des cas d'étude

Pour mieux comprendre le cadre d'utilisation des méthodes et référentiels précédemment analysés, les documents identifiés comme des **études d'impact environnemental** disponibles publiquement ont été étudiés.

Par définition, est considéré comme une étude d'impact environnemental tout document qui recense ou complète une évaluation quantitative ou qualitative des impacts environnementaux de produits (biens ou services) ou organisations, en lien avec le secteur numérique.

Par exemple, le rapport Citizing du Sénat « Empreinte carbone du numérique en France : des politiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ? » [235] a été classé comme une étude d'impact environnemental bien qu'il soit composé de plusieurs parties distinctes, l'une présentant un état des lieux des impacts environnementaux du numérique et l'autre, des pistes d'actions prospectives pour limiter ces impacts.

Comme indiqué dans le Tableau 3 ci-dessous, la grande majorité des documents analysés (261) est postérieure à l'année 2010. Parmi ces références, plus de 50% sont des études d'impact. Viennent ensuite les documents qui répertorient des méthodes (23%) ainsi que les études prospectives. 132 études d'impact environnemental ont finalement été retenues.

Typologie de documents analysés	Nombre de titres	Répartition sur l'échantillon
Nombre total de documents analysés	279	-
Restriction de l'échantillon aux documents postérieurs à 2010	264	100%
Document d'opinion	4	1,5%
Documentation technique	1	0,4%
Documentation technique	8	3%
Enquête	7	2,7%
Etude d'impact environnemental	132	50%
Etude préparatoire	4	1,5%
Méthode	61	23,1%
Methodologie	2	0,8%
Outil	7	2,7%
Prospective/Trajectoire	23	8,7%
Publication	6	2,3%
Référentiel de bonnes pratiques	8	3%
Tribune	1	0,4%

Tableau 3 - Répartition des documents analysés par typologie

2.3.2. Répartition temporelle des études d'impact environnemental

On note une évolution irrégulière du nombre d'études d'impact des services numériques parues entre 2008 et 2020 (Figure 7). Le nombre de publications croît fortement et soudainement en 2013 et 2014, avant de diminuer et de remonter progressivement à nouveau. Ce développement peut être mis en perspective de l'actualité des nouvelles technologies de cette décennie en tenant compte à la fois des

évènements ponctuels liés à des installations réseau (4G, 5G etc.) mais aussi à la sortie de nouveaux équipements (nouvel « Iphone », TV 4K etc.).

En France, GreenIT.fr utilise le terme de sobriété numérique dès 2008⁶². En 2020, plus de dix ans après cette première mention, le sujet a acquis une importance de premier plan. La question des impacts du numérique est à présent largement discutée, notamment via la réalisation de nombreux rapports pour des acteurs publics tels que le regroupement de référentiels d’affichage environnemental de l’ADEME dans sa Base IMPACTS pour les équipements électriques et électroniques [279] mais aussi via la médiatisation d’études telles que celle du Shift Project en 2020 « Déployer la sobriété numérique » [224].

Les études antérieures à 2010 n’ont pas été retenues ici, compte tenu des avancées technologiques ayant rendu la plupart de ces publications obsolètes.

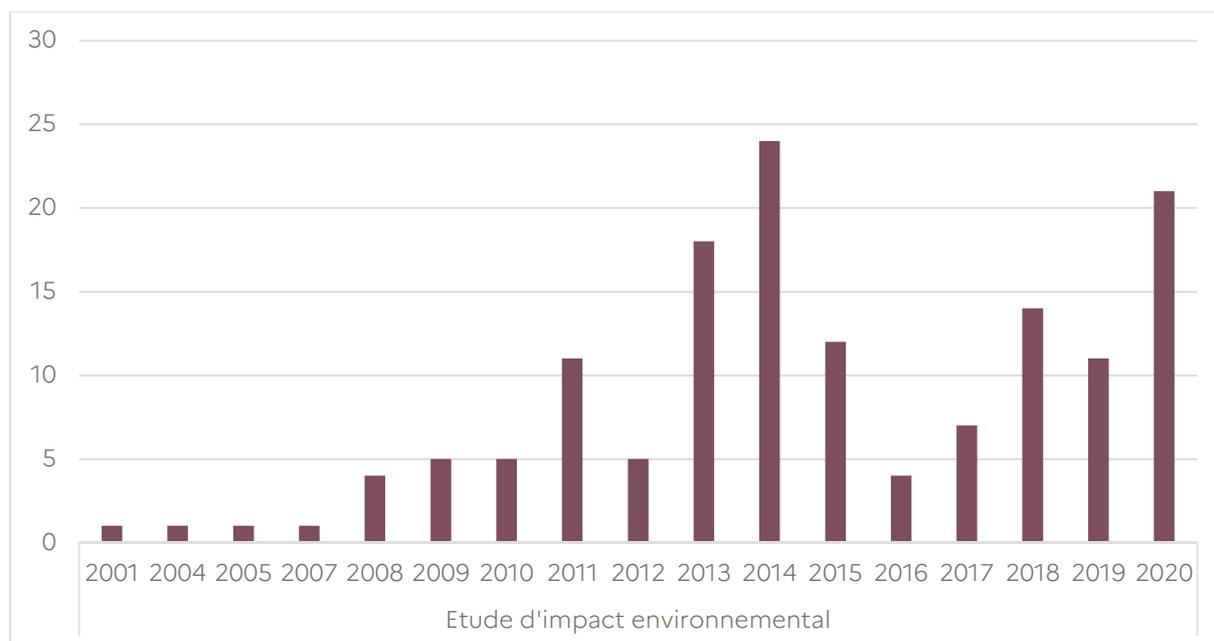


Figure 7 - Distribution temporelle des études d'impact environnemental étudiées

2.3.3. Méthodes utilisées

Parmi les études d’impact environnemental identifiées, on remarque que la méthode la plus utilisée est la méthode multicritère - ACV. Les études les plus couramment publiées après les études d’ACV multicritères sont les études monocritère (empreinte carbone ou énergie) (Tableau 4).

<u>Documents analysés</u>	<u>Nombre de titres</u>	<u>Répartition sur l'échantillon</u>
Etude d'impact environnemental	145	-
Restriction de l'échantillon aux études postérieures à 2010	132	100%
Descriptif	2	1,5%
Méthode qualitative	9	6,8%
Monocritère - Empreinte carbone	27	20,5%
Monocritère - Energie	17	12,9%

⁶² Bordage, F. (2018), *La société s'empare de la sobriété numérique*, GreenIT.fr

<u>Documents analysés</u>	<u>Nombre de titres</u>	<u>Répartition sur l'échantillon</u>
Multicritères - ACV	57	43,2%
Multicritères - ACV simplifiée	5	3,8%
Multicritères - Energie/Carbone	12	9,1%
Multicritères - Energie/Ressources	3	2,3%

Tableau 4 - Répartition des publications étudiées par méthode d'analyse

Le tableau suivant illustre l'usage des différentes méthodes en fonction du temps. Alors que la majorité des études publiées lors du « pic » de 2013-2014 sont des ACV multicritères, la majorité des études publiées lors du « pic » de 2020 sont des études d'empreinte carbone. Une hypothèse est que cela dû à l'essor des stratégies climat en entreprise, entraînant un regain d'intérêt pour les méthodes d'évaluation environnementale sous l'angle des émissions de CO₂.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Descriptif						1					1
Méthode qualitative				1		1	1	1	2		3
Monocritère - empreinte carbone	2	2	1	3	5	1		1	2	2	8
Monocritère - Energie				4	5			1	3	2	2
Multicritères - ACV	3	8	3	8	13	9	2	3	4	3	1
Multicritères - ACV simplifiée									2	2	1
Multicritères - Energie/Carbone		1		2	1		1		1	2	4
Multicritères - Energie/ressources			1					1			1

Tableau 5 - Suivi temporel du nombre d'études d'impact utilisant les différentes méthodes

Parmi les documents analysés qui suivent ou font référence à la méthode d'analyse de cycle de vie, peu font mention du périmètre du cycle de vie (prise en compte ou non des impacts liés à la production des équipements par exemple) retenu pour l'évaluation. Les tendances relatives à cet aspect n'ont par conséquent pas pu être étudiées en détail. D'après une revue de la littérature des ACV des services et produits du domaine des TIC publiées entre les années 2000 et 2014 [100], il ressort :

1. L'importance de la prise en compte de la phase de production des équipements, car les phases de production et d'utilisation sont les étapes les plus contributrices aux impacts dans les ACV de services et de produits numériques ;
2. Que l'incertitude quant à la fin de vie de certains des produits TIC contribue à la difficulté d'évaluer les impacts de cette étape.

2.3.4. Référentiels utilisés

La Figure 8 présente la répartition des études selon trois catégories : les études ne faisant aucune mention des référentiels, les études faisant mention d'un ou plusieurs référentiels, et les études suivant, partiellement ou totalement, un ou plusieurs référentiels. Notons que seuls les référentiels présents dans le

ont été conservés. De même, n'a pas été considéré comme une mention ou un suivi de référentiel l'utilisation d'une métrique présente dans un référentiel. En effet, seules ont été recherchées les mentions/suivis à des référentiels pour leurs lignes directrices afin d'évaluer un impact environnemental, ce qui réduit drastiquement la liste des études mentionnant ou suivant des référentiels.

Sur 132 études publiées après 2010, la majorité d'entre elles ne font pas mention de référentiels (91% : 120 études). Certaines études font simplement mention d'un ou de plusieurs référentiels sans le(s) suivre (7% : 9 études) et très peu d'études (2% : 3 études) mentionnent de façon explicite le suivi total ou partiel d'un référentiel pour l'évaluation d'impacts environnementaux.

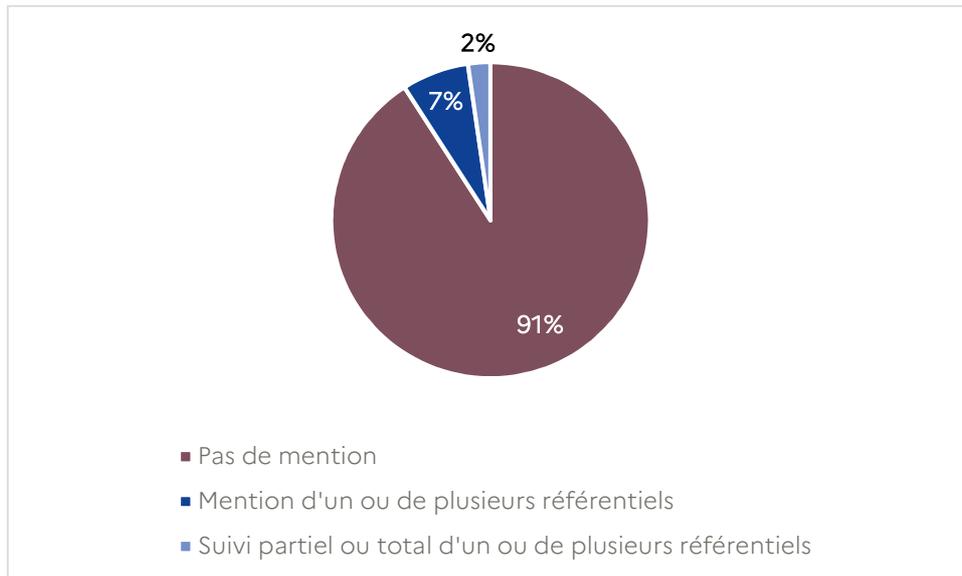


Figure 8 - Distribution dans les études analysées du degré de mention ou de suivi d'un ou plusieurs référentiels

La mention « général » (Figure 9) signifie que l'étude d'impact cite un référentiel qu'elle utilise sans préciser le nom spécifique du référentiel.

En ce qui concerne les mentions ou suivis de référentiel, on remarque une prédominance des mentions aux normes ETSI, ITU et GHG Protocol (Figure 9).

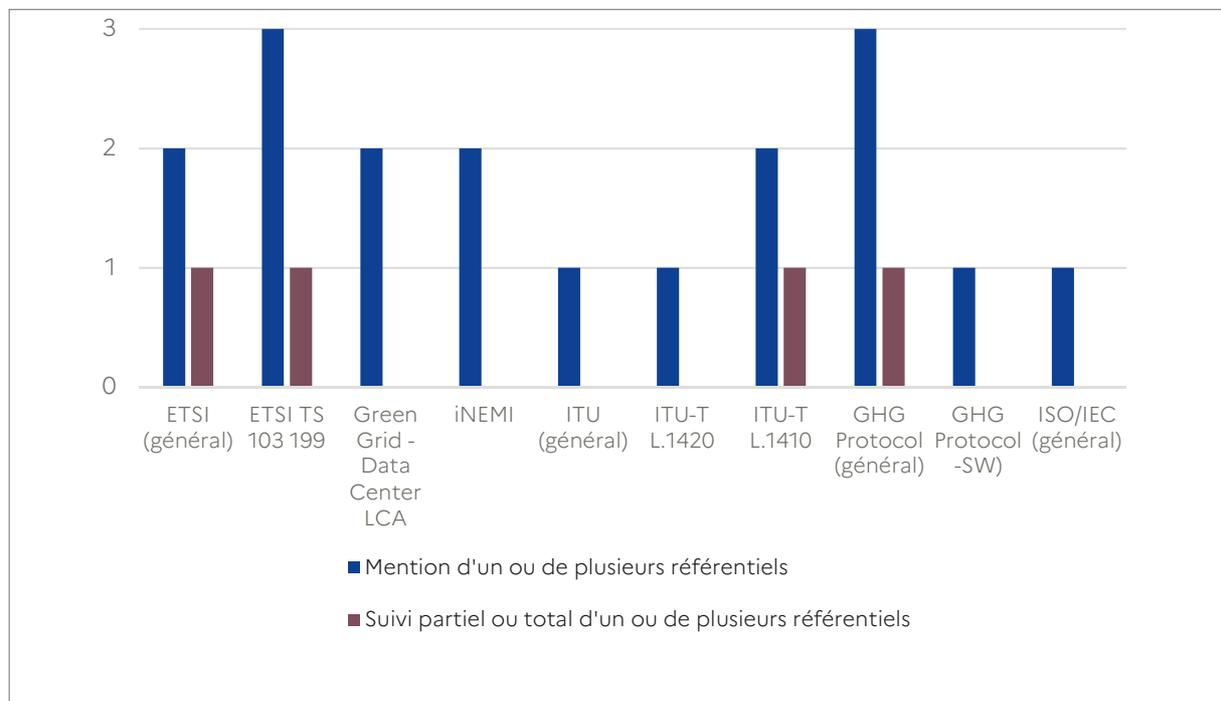


Figure 9 - Répartition des publications étudiées par référentiel. La mention « général » signifie que l'étude d'impact cite un référentiel qu'elle utilise sans citer le nom spécifique du référentiel.

2.3.5. Périmètre des études

Le Tableau 6 et la Figure 10 présentent la répartition des études d'impact environnemental en fonction de leur périmètre numérique. On remarque que plus de 50% des études d'impact étudient un équipement ou un service numérique (avec une répartition égale entre ces deux types d'étude). Les autres périmètres numériques significatifs sont les réseaux et datacenters et les objets connectés (IoT) (10% des études sur chacun de ces périmètres).

Documents analysés	Nombre de titres	Répartition sur l'échantillon
Etudes d'impact environnemental	145	-
Restriction de l'échantillon aux études postérieures à 2010	132	100%
Composants électroniques	4	3,0%
Data center	11	8,3%
Equipement	36	27,3%
Equipements/Service/réseau	9	6,8%
IoT	11	8,3%
Logiciel	7	5,3%
Réseau	14	10,6%
Secteur/Domaine d'activité	4	3,0%
Serveurs et Datacenters	1	0,8%
Serveurs/réseau	2	1,5%
Service numérique	33	25,0%

Tableau 6 - Répartition des études d'impact environnemental par périmètre numérique

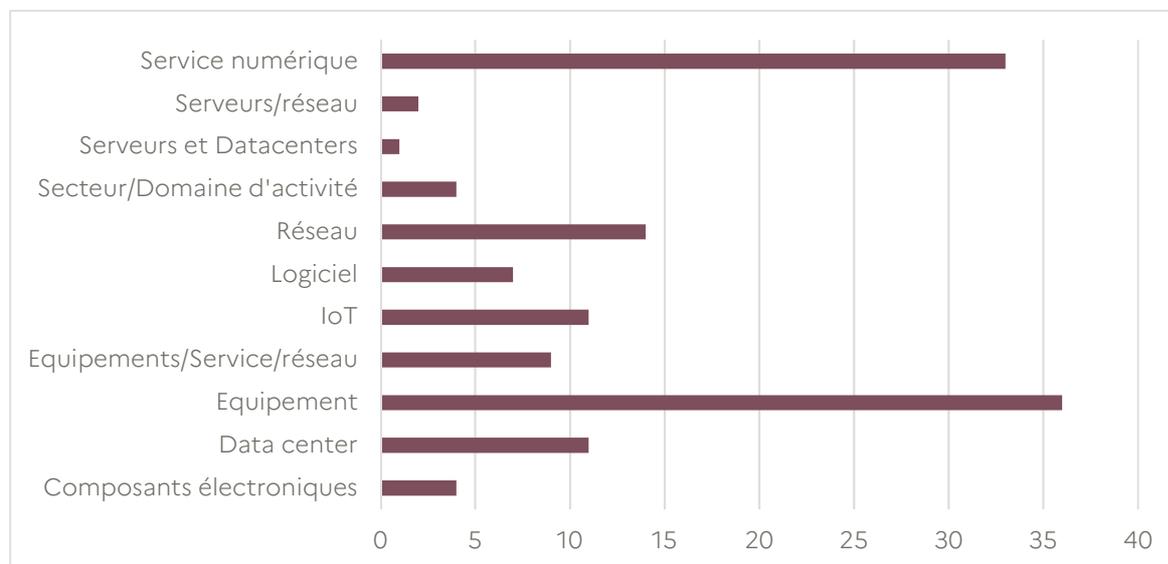


Figure 10 – Répartition des études d'impact environnemental par périmètre numérique

Le Tableau 7 illustre la répartition temporelle des études en fonction de leur périmètre numérique. On remarque que l'évolution temporelle de ces périmètres est peu significative. Les périmètres "équipement" et "service numérique" sont des périmètres historiques qui restent prépondérants ces dernières années. On remarque aussi que le nombre d'études généralistes prenant en compte des périmètres plus larges

(Equipements/Service/Réseau par exemple) a tendance à augmenter depuis 2020, témoignant de l'intérêt croissant pour la problématique globale de l'impact environnemental du numérique.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Composants électroniques	1		1		1					1	
Data center	1	2	1	2	4						1
Equipement	2	4	2	5	7	6	1	2	2	4	1
Equipements/Service/réseau					1			1		1	6
IoT					2	1	1	1	4	1	1
Logiciel				1		1	1	2	2		
Réseau				1	4			1	1	2	5
Secteur/Domaine d'activité	1	1							1		1
Serveurs et Datacenters											1
Serveurs/réseau											2
Service numérique		4	1	9	5	4	1		4	2	3

Tableau 7 - Suivi temporel du périmètre numérique des études d'impact environnemental

2.3.6. Conclusions

En conclusion :

L'analyse des études d'impact environnementales sélectionnées a mis l'accent sur 3 points qui caractérisent les travaux depuis 2010 :

- Il existe peu de mentions aux référentiels existants (ETSI, ITU, GHG Protocol...) et encore moins de publications qui suivent partiellement ou pleinement un de ceux-ci.
- Le suivi temporel montre de légères variations dans le nombre de publications par an mais sans évolution globale significative à la hausse (ou à la baisse).
- On ne note pas non plus d'évolution sur le périmètre numérique étudié ou la méthode d'évaluation retenue. Globalement, les périmètres numériques les plus considérés sont les équipements et les services numériques, et les approches majoritairement utilisées sont la méthode monocritère carbone et multicritère ACV.

Il ressort que les études restent des travaux ponctuels, et les publications restent floues quant à l'utilisation qui est faite (ou non) des référentiels existants dans les études. Cela pourrait être en partie dû à la multiplicité des référentiels existants : pour rappel, la Commission Européenne – lors du lancement de l'initiative de l'Environmental Footprint – est partie de ce constat pour expliquer le lancement du PEF-OEF (dans un objectif d'harmoniser les méthodes d'évaluation environnementale des produits et des organisations).

3. Etat des lieux des différentes technologies et équipements supportant les services numériques en France

3.1. Objectif de l'état des lieux

Afin de quantifier les impacts environnementaux des services numériques en France, il est nécessaire d'avoir une vision exhaustive du parc d'équipements et des technologies associés à ces services.

Pour ce faire, un état des lieux recensant l'ensemble des technologies et équipements supportant les services numériques en termes de technologies, de nombre d'équipements et d'interaction a été réalisé. Cet état des lieux couvre les équipements et technologies des trois briques : terminaux fixes et mobiles, infrastructures et réseaux ainsi que serveurs et datacenters.

Cet inventaire suit une approche descendante. Il est fondé sur des données connues à date, publiques et disponibles plutôt que sur une approche exhaustive. En effet, les informations nécessaires à une telle approche ne sont pas immédiatement disponibles.

Ces travaux serviront de base à l'élaboration de la tâche 2, relative à l'évaluation environnementale des services numériques en France, fondée sur la méthodologie de l'Analyse du Cycle de Vie.

L'inventaire détaillé de l'ensemble des technologies et équipements supportant les services numériques en France est donné dans le tableau de collecte **Inventaire des équipements et technologies associés aux services numériques en France** (voir en Annexe).

3.2. Terminaux fixes et mobiles

3.2.1. Définition

L'Union Internationale de la Télécommunication (ITU) fait une distinction entre les biens, les services et les réseaux des TIC au sein des différentes technologies et équipements supportant les services numériques⁶³.

Parmi les biens des TIC, l'ITU⁶⁴ identifie trois catégories :

- Les biens des utilisateurs finaux. Parmi eux, les terminaux fixes et mobiles, représentés par les éléments en rouge en Figure 11;
- Les biens du réseau, autrement dit les dispositifs permettant de transmettre des informations sur les terminaux par voie aérienne ou physique, représentés par les éléments en bleu en Figure 11. La norme ITU-T – L.1400⁶³ définit les réseaux comme "A set of nodes and links that provide physical, or over the air, information and communication connections between two or more defined points".
- Les centres informatiques (les datacenters) : Les centres informatiques comprennent :
 - tous les centres de données des « cabinets » à l'hyperscale, à l'exception des centres de données de télécommunication ;

⁶³ ITU-T – L.1400 (2011), *Overview and general principles of methodologies for assessing the environmental impact of information and communication technologies*, Series L, Construction, Installation and Protection of cables and other elements of outside plant, 30 pages

⁶⁴ ITU-L – L.1450 (2018), *Methodologies for the assessment of the environmental impact of the information and communication technology sector*, Series L, Environment and ICTS, climate change, e-waste, energy efficiency; construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant 58 pages

- o réseaux d'entreprise.

Les infrastructures qui permettent la communication et le traitement des données sont représentées par les Datacenters, éléments en vert en Figure 11.

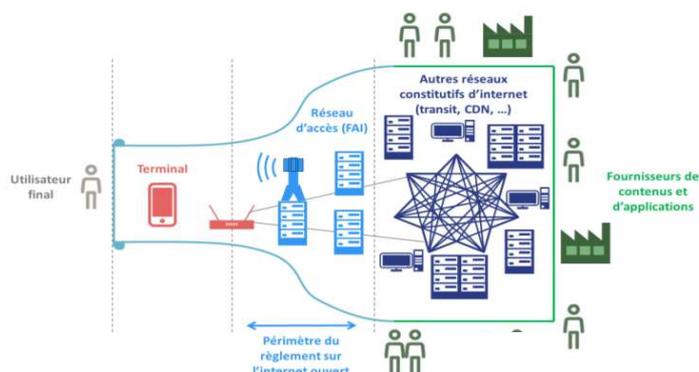


Figure 11 - Maillons matériels entre l'utilisateur final et internet - Équipements terminaux - Etude de l'analyse de leur influence sur l'ouverture d'internet

3.2.2. Typologie de terminaux

Les terminaux sont inclus parmi les biens des utilisateurs finaux. Ces derniers, identifiés dans la norme ITU-T-L.1450⁶⁵, sont les suivants :

- Les ordinateurs fixes (unités centrales) et équipements périphériques des ordinateurs (clavier, souris, écran) ;
- Les équipements électroniques utilisés à des fins de communication, tels que les téléphones mobiles, les tablettes et les ordinateurs portables ;
- Les objets connectés utilisés à des fins de communication⁶⁶.

Il est intéressant de noter que l'étude d'impact des TIC publiée en juillet 2020 par la Commission Européenne⁶⁷ propose une approche différente et plus exhaustive que l'ITU. Dans cette dernière étude, les biens des utilisateurs finaux sont identifiés de la manière suivante :

- Les écrans électroniques (téléviseur, écran d'ordinateur) ;
- Les équipements et systèmes audio/vidéo (console de jeux, lecteur DVD/CD, système radiodiffusion, enceintes) ;
- Les équipements IT à usage personnel (ordinateur fixe, ordinateur portable, tablettes, téléphone mobile, téléphone fixe, SDD & HDD, station d'accueil, etc.) ;
- Les équipements IT à usage professionnel (Bluetooth et wifi émetteur/ récepteur) ;
- Les équipements d'imagerie (imprimantes) ;
- Les TIC des espaces publics.

⁶⁵ ITU-L – L.1450 (2018), *Methodologies for the assessment of the environmental impact of the information and communication technology sector*, Series L, Environment and ICTS, climate change, e-waste, energy efficiency; construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant 58 pages

⁶⁶ La norme ITU-L – L.1450 citée *supra* précise que sont inclus dans le périmètre des objets connectés : « *public displays, surveillance cameras, payment terminals, smart meter communication modules and wearables. The number of categories for which data are available is expected to increase in the future* ».

⁶⁷ Kemna, R., & al. (2020), *ICT Impact Study*, European Commission, 292 pages

3.2.3. Méthodes et données d'inventaire

Concernant l'inventaire des données, les catégories retenues des terminaux fixes et mobiles présents en France reprennent celles proposées par l'ADEME et l'Arcep, soit : « téléviseurs, ordinateurs, smartphones, tablettes, GPS, imprimantes, box internet, et objets connectés (ampoules intelligentes, électroménagers, systèmes de chauffage/froid, montres, véhicules connectés, panneaux d'affichage numérique, capteurs de toutes sortes des « smart » territoires, matériels connectés des « usines du futur »...).

Du fait de leur proximité (typologie de produit et durée de vie), plusieurs catégories de terminaux fixes et mobiles de consultation ont été regroupées dans l'inventaire :

- Le produit « Alimentation – Externe ordinateur portable » a été rattaché au produit « Ordinateur portable » (durée et cycle de vie similaires) ;
- Le produit « Alimentation - Externe Smartphone & Tablette » a été regroupé avec les produits « Smartphone » et « Tablette », du fait de la proximité de leur typologie.
- Les 3 stockages HDD, SSD et Clef USB ont été réunis au sein d'une même catégorie « Stockage HDD, SSD, et Clef USB », car ils ont la même fonction.

La réalisation de l'état des lieux des équipements et terminaux s'est notamment basée sur les études suivantes :

- *Rapport annuel du registre des déchets d'équipements électriques et électroniques 2020* - ADEME. Cette source a été utilisée pour l'état de l'art des filières de fin de vie en France, la quantité de déchets gérés et les voies de valorisation.⁶⁸
- *Empreinte carbone du numérique en France 2020* – Sénat CITIZING [235]. Ce rapport sur l'empreinte carbone du numérique en France a notamment dispensé des informations sur les terminaux numériques, les centres informatiques et les réseaux.
- *Etude d'impact TIC 2020 – Commission Européenne. Cette source a été utilisée pour compléter les éléments de définitions des terminaux fixes et mobiles.*
- Bordage, F., de Montenay, L., & Vergeynst, O. (2021). Étude : impacts environnementaux du numérique en France [Ebook]. Green.it
- OCAD3E, « Quantification des équipements électriques et électroniques au sein des ménages », 2016
- ANCT, ARCEP, CGE (2021), Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française, Baromètre du Numérique Edition 2021, 348 pages
- VGChartz (2021), Yearly Hardware Comparisons - Europe URL: https://www.vgchartz.com/tools/hw_date.php?reg=Europe&ending=Yearly (last retrieved: 29/06/2021), annual sales between 2014 and 2020
- Statista (2019) Part des foyers équipés d'une console de jeux en France 2010-2018, URL : <https://fr.statista.com/statistiques/550715/taux-equipement-foyers-console-jeux-video-france/>
- Ipsos Public Affairs (2016) Quantification des équipements électriques et électroniques au sein des ménages – rapport pour Eco-systèmes-Ecologic-l
- EDNA (2021), Total Energy Model 2.0
- Normes ITU: ces normes ont été utilisés afin de définir les biens des TIC et notamment la notion de terminaux fixes et mobiles
 - ITU-T L.1400: *Overview and general principles of methodologies for assessing the environmental impact of information and communication technologies;*
 - ITU-T L1410: *Methodology for the assessment of the environmental impact of information and communication technology goods, networks and services ;*
 - ITU-T L.1450: *Methodologies for the assessment of the environmental impact of the information and communication technology sector.*

⁶⁸ Deprouw, A., Jover, M., Borie, M., Fangeat, E., , In Extenso Innovation Croissance, ADEME (2021), *Rapport annuel du registre des déchets d'équipements électriques et électroniques*, Données 2019, Expertise, 102 pages

3.3. Infrastructures et réseaux

3.3.1. Définition

Les réseaux des TIC sont définis comme étant « un ensemble de nœuds et de liens qui fournissent physiquement, ou par voie aérienne, des informations et communications pour les connexions entre deux ou plusieurs points définis ». ⁶⁹

Autrement dit, il s'agit de différents dispositifs (appareils, équipements et infrastructures) qui permettent le partage d'information et de communication, grâce aux liens qui les unissent. Un exemple peut-être la recherche d'une information sur un ordinateur portable via internet. Comme le montre la Figure 12, un ensemble de liens relie l'ordinateur portable à internet en passant par des datacenters, des réseaux d'accès, des câbles, etc.

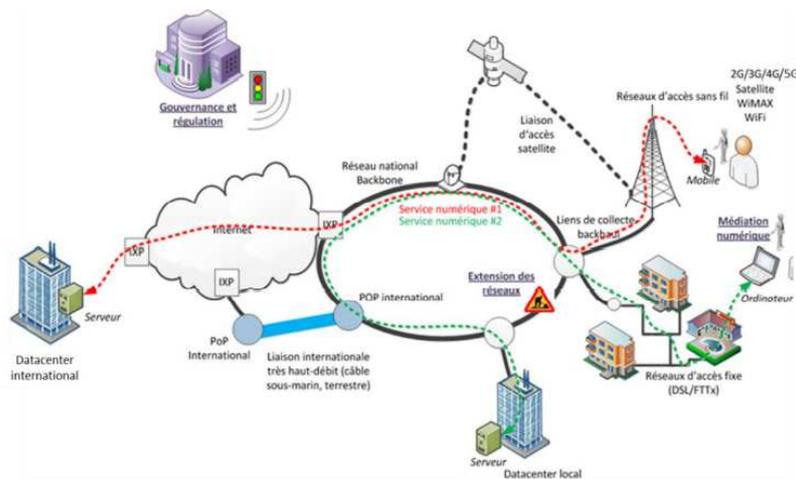


Figure 12 - Schéma des réseaux de télécommunication et des interactions entre composants - AFD 2020

3.3.2. Typologie

Biens de réseaux TIC sont identifiés dans la norme ITU-T-L.1450 de la :

- « Les biens de réseau d'accès filaire, y compris le réseau téléphonique public commuté (RTPC) ;
- Les biens de réseau d'accès sans fil ;
- Les biens de réseaux de base de télécommunications et les centres de données de télécommunications connexes ;
- Les réseaux d'entreprise ;
- Les biens de réseaux centraux de transmission de données et les centres de données de réseaux connexes de Metro/Edge/IP ;
- Les télécommunications par satellite. » ⁷⁰

La norme précise que dans le cadre d'une analyse du cycle de vie des biens du réseau, l'évaluation porte sur :

- « L'infrastructure des TIC, par exemple les antennes, les tours, les câbles, les étagères ;
- les biens installés sur le site ou dans des installations pour l'alimentation en électricité des réseaux TIC, qu'ils soient ou non raccordés au réseau ;
- les biens installés sur le site ou dans des installations à des fins de refroidissement ».

⁶⁹ ITU-T – L.1400 (2011), *Overview and general principles of methodologies for assessing the environmental impact of information and communication technologies*, Series L, Construction, Installation and Protection of cables and other elements of outside plant, 30 pages

⁷⁰ Dans cette étude, n'ont pas été inclus dans l'inventaire : le réseau RTPC les réseaux d'entreprise, et les télécommunication par satellite (mais sont considérés dans l'analyse de sensibilité).

3.3.3. Méthodes et données d'inventaire

L'inventaire des infrastructures et réseaux a été réalisé pour les différents types de réseaux déjà déployés ou en cours de déploiement en France d'ici à 2025.

Ces différents types de réseau ont été modélisés selon le cycle de vie des équipements du réseau, c'est-à-dire à partir du cœur de réseau jusqu'au point d'accès individuel. Les différents maillons du cycle, illustrés sur la Figure 13 en prenant l'exemple du réseau mobile, comprennent :

- La plateforme service et les Datacenters, représentés en bleu sur le schéma. Leur définition sera réalisée au point suivant.
- Le cœur de réseau, représenté en rouge sur le schéma ;
- Le réseau de collecte et d'agrégation, représenté en vert sur le schéma ;
- Le réseau d'accès (fixe, fibre, mobile 2G à 5G), représenté en vert clair sur le schéma.

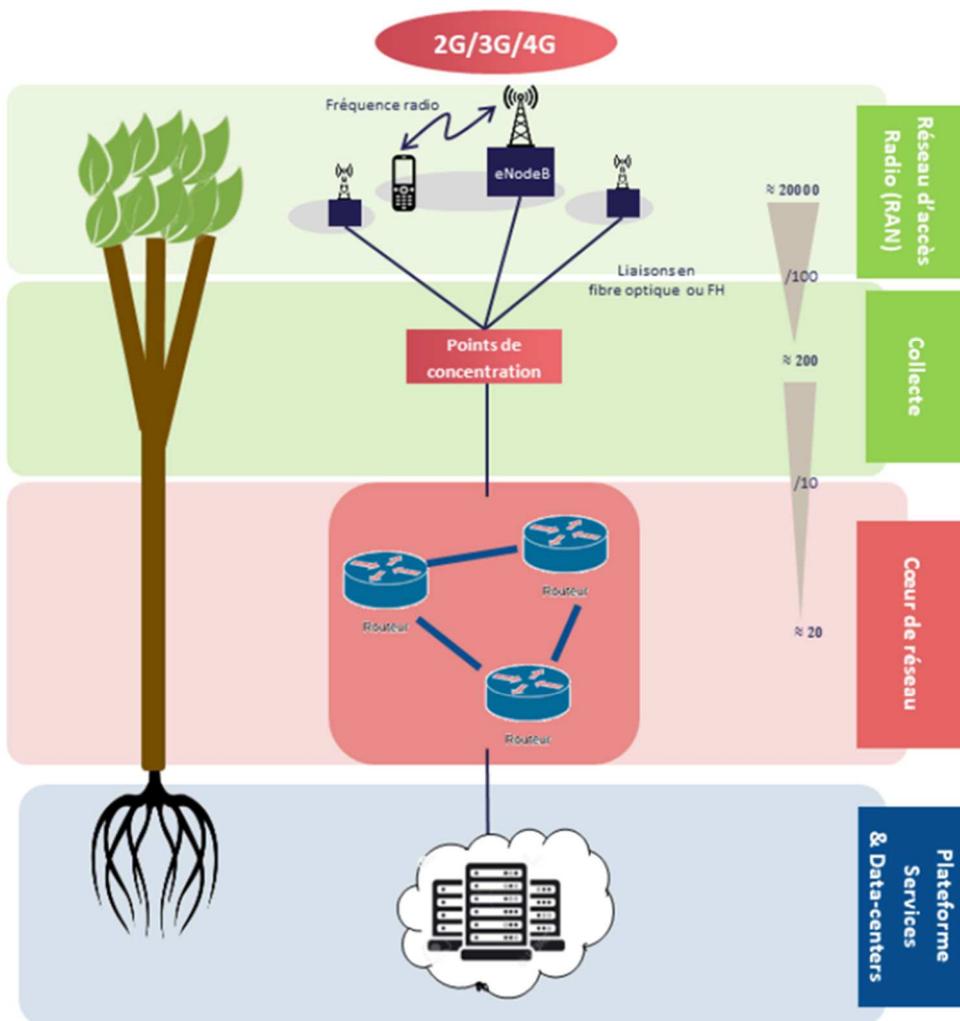


Figure 13 - Illustration de l'architecture d'un réseau mobile 2G/3G/4G et analogie avec un arbre – Plateforme de travail « Pour un numérique soutenable » Atelier « Façonner les réseaux pour un numérique soutenable » - Novembre 2020

Cette organisation par strate de réseau propose une approche par usage, compatible avec l'approche cycle de vie déployée pour l'évaluation de leur impact environnemental. Cette représentation permet de visualiser la structure du réseau et des infrastructures supportant les échanges.

L'ensemble des informations sur les technologies étudiées ainsi qu'une liste des principaux éléments sur les équipements nécessaires au fonctionnement de la technologie et/ou le volume de données échangées sont définis dans l'inventaire. Ont notamment été recensés le nombre de sites, le nombre d'abonnements ainsi que le nombre d'équipements desdits réseaux.

Pour la partie réseau mobile, les différents équipements pris en considération pour chaque technologie sont : les antennes utilisées, les stations de base pour la technologie 4G, les équipements RNC (Radio Access Network) ainsi que les petits centres de données utilisés pour la technologie 5G. Ces éléments seront mis à jour par la suite en fonction des équipements maintenus dans le périmètre de l'étude.

Les perspectives estimées de déploiement à l'horizon 2025 font l'objet d'une étude spécifique en tâche 3. Seules ont été incluses à ce niveau celles pour lesquelles l'information était directement disponible. Les sources suivantes ont notamment permis d'étayer les données d'inventaires concernant les infrastructures et réseaux :

- ANFR, L'Agence Nationale des Fréquences. Des données sont régulièrement communiquées sur les réseaux mobiles et fixes ;
- Sénat.fr, Etudes de la couverture numérique des territoires. L'annexe de l'étude présente en détail la hiérarchie des réseaux de communications électroniques⁷¹ ;
- ARCEP, Autorité de régulation des communications électronique et des Postes. De nombreuses communications sont régulièrement réalisées sur les informations et des données des réseaux fixes.

3.4. Serveurs et datacenters

3.4.1. Définition « datacenter »

Les centres de données ou datacenters sont définis par la norme EN 50600-1⁷² comme des structures ou un groupe de structures, dédiés à l'hébergement, à l'interconnexion et à l'exploitation centralisés des équipements de télécommunication des technologies de l'information et des réseaux fournissant des services de stockage, de traitement et de transport de données ainsi que les installations et infrastructures de distribution d'énergie et de contrôle de l'environnement, ainsi que les niveaux nécessaires de résilience et de sécurité requis pour fournir la disponibilité de service souhaitée. Autrement dit, il s'agit des espaces dédiés à l'hébergement de la partie centralisée du système d'information des organisations.

Cette définition couvre un large scope de datacenters qui peut aller d'un local serveur d'une dizaine de mètres carrés intégré dans un bâtiment tertiaire à un bâtiment dédié équipé de plusieurs dizaines de mètres carrés de salles informatiques. Les datacenters doivent répondre à 3 niveaux d'exigences complémentaires :

- La **résilience** pour permettre un fonctionnement sans interruption 24/7. Plusieurs standards détaillent les prérequis de dimensionnement par niveau de disponibilité (Uptime Institute, EN 50600, TIA 942) ;
- La **sécurité physique** et logique pour garantir l'intégrité des équipements et données hébergées ;
- La **performance** énergétique et **environnementale** car les datacenters, à l'instar des autres acteurs du numérique, sont de plus en plus questionnés sur leurs impacts environnementaux.

Les datacenters se définissent selon plusieurs caractéristiques :

⁷¹ Maurey, H. et Chaize, P. (2015), *Couverture numérique du territoire : veiller au respect des engagements pour éviter de nouvelles désillusions*, Rapport d'information n° 193 (2015-2016), Sénat.FR 228 pages

⁷² NF EN 50600-1 - Technologie de l'information - Installation et infrastructures de centres de traitement de données - Partie 1 : concepts généraux

- **Leur taille**, qui peut varier de plusieurs dizaines de mètres carrés (exemple des salles informatiques associées aux espaces tertiaires) à plusieurs milliers de mètres carrés (exemple des datacenters dits hyperscale) ;
- **Leur typologie**, qui peut être dédiée à l'hébergement du système d'information d'une organisation datacenter dit « interne » ou bien opérée par un tiers qui va assurer le maintien en conditions opérationnelles et proposer à ses clients des services d'hébergement datacenter dit de « colocation » ou encore les datacenters dit « edge » principalement aux réseaux et aux usages nécessitant une très faible latence ou encore dit « HPC »(High Performance Computing), il s'agit des datacenters dédiés au calcul intensif ;
- **Leur architecture**, les datacenters pouvant être sous la forme de salles informatiques intégrées dans un bâtiment dédié à d'autres usages (tertiaires) ou bien sous la forme de bâtiments indépendants répondant à cette seule fonction ;
- **Leur densité**, exprimée en puissance électrique (kW ou kVA) installée par unité de surface de salle informatique (par baie ou par mètre carré), la densité correspond à la puissance électrique maximale utilisable par les équipements informatique sur une unité de surface.

Le cloud ou cloud computing désigne l'accès via un réseau de télécommunications à des ressources informatiques partagées et configurables. Il peut être hébergé dans des datacenters situés en France ou à l'étranger, dans un datacenter propre d'un opérateur Cloud ou en colocation.

Le niveau de migration vers le cloud diffère selon les activités et la stratégie des organisations.

3.4.2. Organisation d'un datacenter

Les datacenters sont organisés en plusieurs types d'espaces et équipements correspondant à différentes fonctions et niveaux de services. D'une part, le niveau environnement technique et bâtimentaire, qui regroupe le bâtiment et les équipements dits « non IT », dédiés aux facilités. Les fonctionnalités de ces équipements sont :

- La climatisation et le traitement d'air pour maintenir les équipements informatiques dans des conditions environnementales (température et hygrométrie) compatibles avec leur fonctionnement ;
- La sécurisation et distribution de l'électricité afin de garantir une alimentation continue et de haute qualité des équipements informatiques même en cas de rupture de l'alimentation électrique du datacenter ;
- La protection contre les risques ;
- La sécurité physique avec un contrôle d'accès et une vidéosurveillance adaptée au contexte.
- La connexion avec les réseaux de télécommunication opérateurs

Ce niveau délivre des services d'hébergement, à savoir la mise à disposition d'espace énergisés en salle informatiques compatible avec un niveau de résilience et de sécurité et des conditions environnementales compatibles avec le fonctionnement des équipements informatiques

D'autre part, le niveau parc informatique hébergé dans les salles informatiques, qui est composé de divers équipements de générations et contraintes différentes. Selon l'activité, la répartition du parc informatique varie. Il est cependant possible de classer ces équipements selon trois catégories de fonctionnalités :

- Le calcul et traitement de données ;
- Le stockage des données ;
- La connectivité réseau.

La Figure 14 ci-dessous illustre une représentation d'un datacenter et des différents espaces et équipements.



Figure 14 : Représentation schématique d'un datacenter

3.4.3. Méthodologie et données d'inventaire sur le territoire national

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

- Public local : datacenters 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 : datacenters internes dédiés à l'hébergement du système d'information de l'Etat, des Ministères, des Administrations centrales (ODAC) et des entreprises publiques (EPIC)
- Entreprises : datacenters internes dédiés à l'hébergement du système d'information des entreprises
- Colocations : datacenter opéré par un tiers, pouvant héberger le système d'information de plusieurs entités clientes qui ont chacune leurs propre parc informatique, les clients pouvant être des entreprises (dont des entreprises du digital) ou des organisations publiques
- HPC ou High Performance Computing: datacenter aussi appelé supercalculateur dédié aux opérations de calcul intensif

Chaque type d'organisation dispose d'un parc informatique dont la partie centralisée hébergée en datacenter a des caractéristiques liées à son activité, la volumétrie d'équipements dépend du secteurs d'activité, de son niveau de digitalisation et de son niveau de migration vers le Cloud et la stratégie d'hébergement. Le parc total « datacenter » identifié représente ainsi :

- 883 165 m² de salle informatique ;
- Une puissance informatique installée de 1606 MW ;
- 31 millions d'équipements informatiques.

Selon cet inventaire, le parc datacenter est à l'origine chaque année de :

- 6,85 TWh de consommation d'électricité ;
- 25,6 tonnes de fuites de fluides frigorigènes ;
- 1159 m² de consommation de fioul ;
- 21 930 tonnes de batteries.

Les informations concernant les datacenters se fondent en premier lieu sur les connaissances et compétences d'APL Data Center. Elles découlent de divers projets et clients nous permettant de proposer une méthodologie pour modéliser le parc datacenters français. Cette méthodologie est en cours de consolidation et couvre pour le moment les centres informatiques, les collectivités, les établissements de santé, les HPC, les ministères ainsi que les entreprises privées situés en France.

Ces informations sont recoupées, en second lieu, avec des études telles que celles de CITIZING. C'est par exemple le cas de l'extrapolation sur le territoire hors de France.

3.4.4. Extrapolation sur le territoire hors France

En 2019, environ 45% du trafic des centres informatiques vers des terminaux français provient de centres informatiques situés en France [235].

- Datacenters en France mobilisés pour un usage numérique à l'étranger : en 2019, 5,5% du trafic de données sort de France.
- Datacenters hors de France mobilisés pour un usage numérique en France : en 2019, 55% du trafic des centres informatiques vers les terminaux français viennent de l'étranger.

Cette étude se focalise sur les données du parc datacenter situé sur le territoire national mais ne prend pas en compte les données du parc datacenter situé à l'étranger et sollicité pour un usage sur le territoire national⁷³. Cette approche est une des limites de l'étude car certaines utilisations des services numériques font appel à des infrastructures (datacenters) situés hors du territoire national de même certains datacenters situés en France sont sollicités pour des usages hors France. Dans les deux situations, il est difficile d'identifier les ressources physiques (serveurs, kilowatt.heures, disques de stockages) associées à un usage France ou hors territoire. Par exemple, un datacenter d'un Grand Groupe Français peut héberger les données des utilisateurs et des filiales situés en Europe et un vidéo peut transiter par plusieurs datacenters 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

73

4. État des lieux et interview des acteurs agissant en France sur les aspects environnementaux des services numériques

4.1. Acteurs agissant en France sur les aspects environnementaux du numérique

4.1.1. Objectif de l'étude et écosystème des acteurs interrogés

La partie 4 du présent rapport a pour objectif de cartographier les parties prenantes de l'écosystème numérique. Elle recense les freins et actions potentielles identifiés par les parties prenantes interviewées pour le développement d'un numérique plus responsable⁷⁴.

A cette fin, 25 fiches acteurs ont été réalisées, dont 21 à partir d'entretiens. Les quatre fiches restantes ont soit été rédigées après réception du questionnaire rempli par lesdits acteurs, soit après consultation de documents publics.

Les entretiens et consultations avaient pour objectif de :

- Appréhender les différentes positions des acteurs du numérique sur le numérique responsable ;
- Comprendre les motivations des différents acteurs engagés sur ce sujet, l'efficacité perçue de leurs actions et les freins au développement d'actions supplémentaires ;
- Recenser les leviers considérés comme nécessaires par les parties prenantes pour permettre le déploiement d'actions de plus grande envergure qui limitent les impacts du numérique.

L'ensemble des acteurs interviewés ainsi que la répartition par typologie d'acteurs sont respectivement présentés dans le Tableau 8 et en Figure 15.

Tableau 8 - Acteurs interviewés

Types d'acteur	Acteurs
Acteur public ou politique	<ul style="list-style-type: none">▪ DGE▪ Dinum▪ Sénat –Patrick Chaize▪ CCI Hérault/Occitanie
Association & Collectif	<ul style="list-style-type: none">▪ Institut du Numérique Responsable▪ La fresque du numérique▪ The Shift Project▪ Halte à l'Obsolescence Programmée

⁷⁴ « Le numérique responsable est une démarche d'amélioration continue qui vise à améliorer l'empreinte écologique et sociale du numérique » - Direction des Achats de l'État (DAE), Institut du Numérique Responsable (INR), Ministère de la Transition écologique (MTE), Direction interministérielle du numérique (DINUM), DSI de Pôle emploi, Informatique CDC, filiale de la Caisse des Dépôts (2021) Guide pratique pour des achats numériques responsables – V1

Chercheur indépendant spécialisé	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Françoise Berthoud – Ingénieure de recherche en informatique, Ecoinfo/CNRS ▪ Philippe Bihoux – Travaux sur la consommation de ressources du numérique, Directeur Général de l'AREP ▪ Gauthier Roussilhe – Chercheur, designer et concepteur de services numériques ▪ Alexandre Monin – Professeur en stratégie numérique et design, ESC Clermont Business School ▪ Jacques Combaz – Ingénieur de recherche et membre du GDS, CNRS/EcoInfo
Groupement professionnel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CIGREF ▪ Syntec Numérique
Secteur privé	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Netflix ▪ Ericsson ▪ Recommerce ▪ Qarnot Computing ▪ AWS ▪ Nokia ▪ Google ▪ Orange ▪ Free ▪ <i>Anonyme</i>

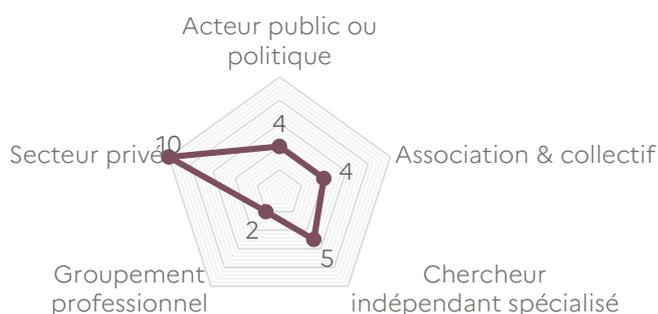


Figure 15 - Répartition en nombre des acteurs interviewés par typologie

Les acteurs interviewés ont été sélectionnés pour représenter, de manière équilibrée, la diversité des acteurs intervenant dans le champ du numérique : environ 12 acteurs du secteur privé (acteurs privés et groupements professionnels) et 13 acteurs du « secteur public » (acteurs publics, associations & collectifs et chercheurs). Les analyses quantitatives proposées ci-après sont fondées sur cet échantillon restreint et ne peuvent être considérées comme représentatives d'un point de vue statistique. Elles donnent cependant des tendances permettant d'éclairer la problématique du numérique responsable.

4.1.2. Méthodologie adoptée

4.1.2.1. Méthodologie de réalisation des entretiens et des fiches acteurs

La partie 4 du présent rapport restitue, en les synthétisant, les constats principaux, les freins à la réduction de l'impact environnemental du numérique, ainsi que les leviers permettant de réduire celui-ci, **rapportés**

par les acteurs interviewés et présentés dans leurs « fiches acteur » respectives. Sauf mention expresse du contraire (cf. encarts « Remarques »), les opinions exprimées sont celles des acteurs interviewés et ne reflètent pas nécessairement les vues des auteurs de l'étude.

Des encarts spécifiques « Remarques » présentent :

- Soit des **éléments d'analyse par l'auteur de l'étude** (à défaut, les éléments développés dans les sous-sections ci-dessous doivent être considérés comme appartenant aux acteurs interviewés) ;
- Soit des **apports de certains acteurs que l'auteur de l'étude souligne** en particulier.

4.1.2.2. Méthodologie de synthèse des entretiens

Les constats et freins à la réduction de l'impact environnemental du numérique ainsi que les leviers disponibles pour réduire cet impact ont été classés selon les quatre catégories ci-dessous :

Catégorie	Description
Réglementaire	Cette catégorie se rapporte au cadre réglementaire des activités numériques.
Technique	Cette catégorie se rapporte principalement aux méthodes de calcul d'empreinte environnementale (données, périmètre, méthodologies...).
Social & Sociétal	Cette catégorie se rapporte aux tendances sociétales, au comportement des consommateurs, à la formation et à la sensibilisation du public et des acteurs du numérique.
Economique	Cette catégorie se rapporte aux contraintes et aux opportunités des acteurs privés, hors cadre réglementaire. Elle fait référence à des politiques économiques de marché mais également à des politiques économiques internes d'entreprise.

Tableau 9 - Méthodologie de synthèse des freins et leviers identifiés lors des entretiens

4.1.3. Constats des entretiens - Premiers retours

- **Réglementaire** : Compte tenu de leurs intérêts économiques divers, les acteurs s'accordent certes sur le manque de réglementation autour du numérique responsable mais pas nécessairement sur les mesures qui devraient être appliquées pour ces activités, jusqu'ici relativement auto-régulées. L'incitation réglementaire doit participer au développement d'offres propices au numérique responsable.
- **Social & Sociétal** : On observe deux tendances opposées : d'un côté, un intérêt croissant pour les enjeux environnementaux du numérique et une optimisation continue des infrastructures et des équipements ; de l'autre, un manque de sobriété dans les usages, une multiplication des objets connectés et une place prépondérante du numérique dans notre société.
- **Technique** : Les acteurs s'accordent sur la nécessité de méthodologies homogènes et de cadres de connaissance communs pour quantifier les impacts environnementaux du numérique.
- **Economique** : Il est nécessaire de fédérer un écosystème foisonnant mais très atomisé d'initiatives. Les acteurs privés doivent intégrer les principes du numérique responsable et de l'écoconception dans leurs stratégies.

Les freins et leviers relevés pendant les entretiens sont présentés respectivement en parties 4.2 et 4.3 et organisés en fonction des quatre catégories.

4.2. Freins à un numérique plus responsable

4.2.1. Constats généraux

Les entretiens réalisés ont permis d'identifier les grands freins à un numérique plus responsable (Figure 16). Le détail de ces freins est donné dans les sections 4.2.2. et suivantes. Les notes de bas de page indiquent quel type d'acteur a formulé le commentaire.

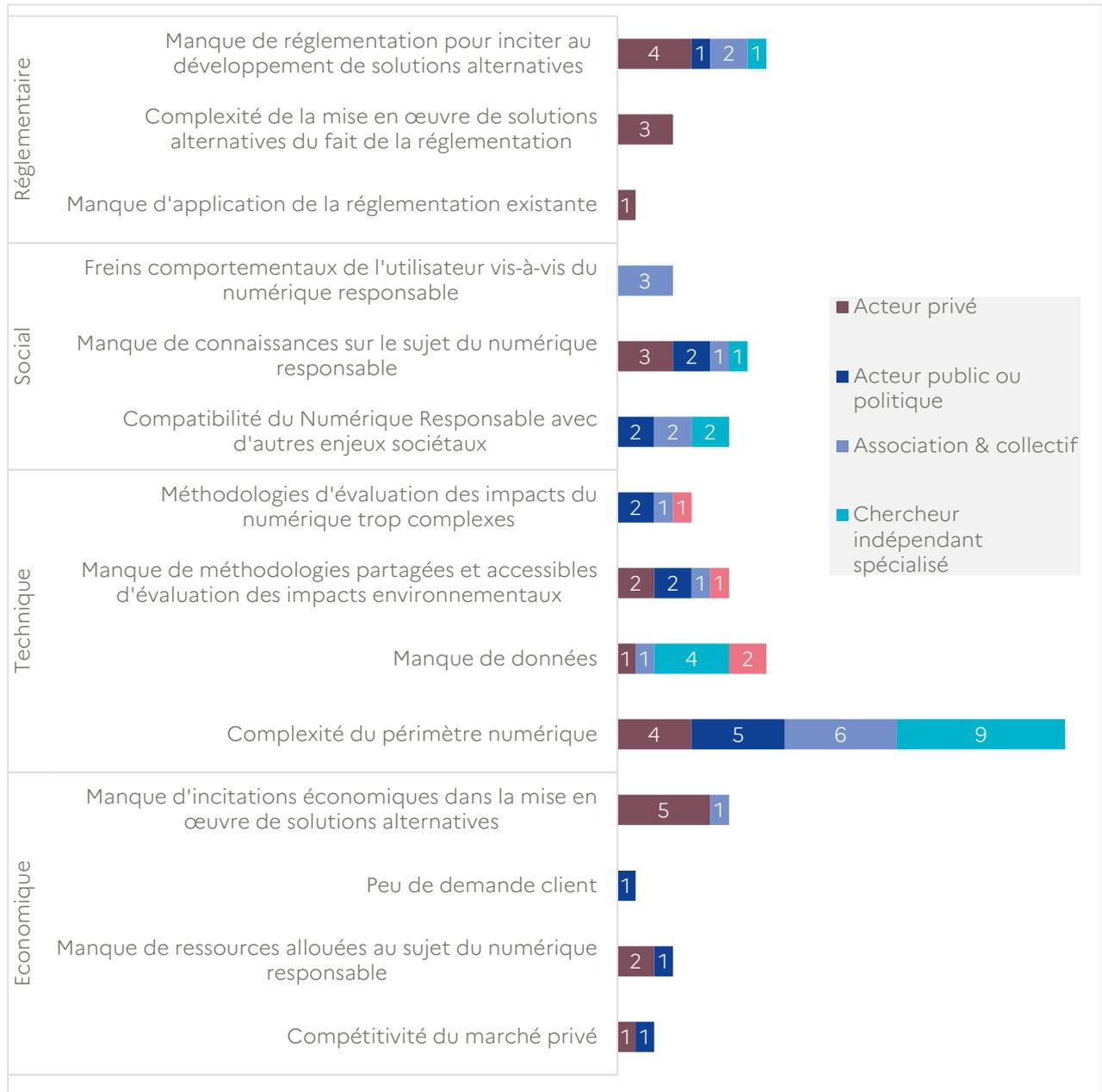


Figure 16 - Résultats des interviews et freins à un numérique plus responsable

NB : La Figure 16 doit se lire de la façon suivante : le frein économique relatif à la complexité de la mise en œuvre de solutions alternatives, a été mentionné par 5 acteurs privés et un acteur public ou politique au cours des entretiens.

Catégories Freins	Description	
Réglementaire	Manque de réglementation pour inciter au développement de solutions alternatives	La réglementation actuelle (fiscale, sur l'usage, etc.) n'incite pas toujours le développement de projets plus soutenables.
	Complexité de la mise en œuvre de solutions alternatives du fait de la réglementation	Dans certaines situations, le cadre réglementaire ne permet pas la mise en place de projets plus soutenables
	Manque d'application de la réglementation existante	Le manque d'application de la réglementation (fiscale dans certains cas) fragilise l'émergence de business model alternatifs.
Social & Sociétal	Freins comportementaux de l'utilisateur vis-à-vis du numérique responsable	Il existe des limites psychologiques à l'adoption de modèles alternatifs plus responsables.
	Manque de connaissances sur le sujet du numérique responsable	Peu de personnes sont aujourd'hui formées sur le sujet du Numérique Responsable et sensibilisées aux enjeux environnementaux du numérique.
	Compatibilité du Numérique Responsable avec d'autres enjeux sociétaux	Les enjeux du Numérique Responsable se révèle quelques fois incompatibles avec des enjeux d'inclusion numérique, de numérisation et de souveraineté.
Technique	Méthodologies d'évaluation des impacts du numérique trop complexes	Les méthodologies de quantification des impacts environnementaux du numérique disponibles sont trop complexes et longues à mettre en œuvre.
	Manque de méthodologies partagées et accessibles d'évaluation des impacts environnementaux	Les acteurs interviewés dénoncent un manque de méthodologies communes, complètes et adaptables à toutes les briques numérique en libre accès.
	Manque de données	Il n'existe pas de base de données homogènes et fiables d'une part, et en open-source/open-data d'autre part, compatibles avec les méthodologies de calcul.
	Complexité du périmètre numérique	Il est difficile de délimiter le périmètre numérique au vu de son intersectorialité. Cela engendre des difficultés dans les choix d'allocation des impacts et la quantification des impacts directs et indirects.
Economique	Manque d'incitations économiques dans la mise en œuvre de solutions alternatives	La complexité des chaînes de valeur du numérique rend difficile la mise en place de business models alternatifs.
	Peu de demande client	La demande pour des services numériques éco-conçus est encore relativement faible.
	Manque de ressources allouées au sujet du numérique responsable	Les ressources humaines et financières allouées au sujet du numérique responsable sont encore trop minces dans les milieux publics et privés.
	Compétitivité du marché privé	La concurrence entre acteurs privés pour le développement rapide de services ou produits numériques innovants relègue régulièrement les enjeux environnementaux du numérique au second plan.

Tableau 10 - Freins à un numérique plus responsable

On retiendra ainsi de la Figure 16, dont les résultats sont détaillés dans les sections 4.2.2. et suivantes que :

- La complexité du périmètre numérique reste le premier frein à la quantification des impacts environnementaux du numérique. Ce consensus est illustré en Figure 17. Cette complexité est notamment due à l’omniprésence des services numériques et à leur intersectorialité. On peut également souligner le manque de méthodologies partagées et de données, notamment d’ACV, comme un frein technique majeur ;
- La réglementation n’incite pas les acteurs du numérique à améliorer l’empreinte environnementale de leurs activités – cf. section 4.2.5 ;
- Le manque de connaissance, de sensibilisation et d’incitations financières freinent le développement de solutions en faveur du numérique responsable – cf. section 4.2.5.

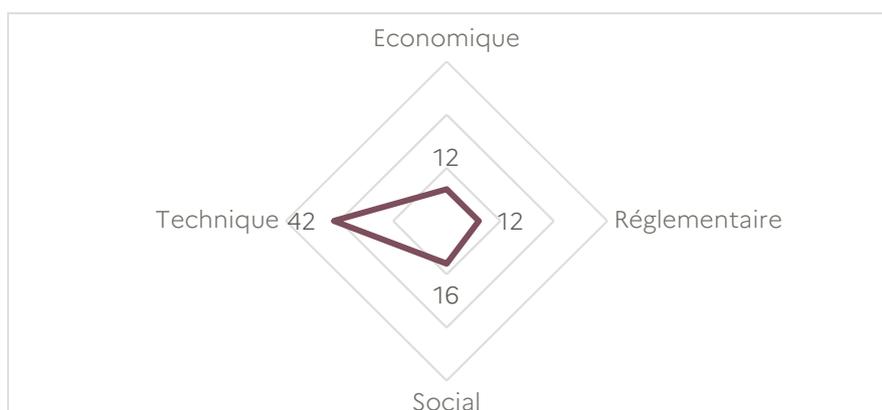


Figure 17 - Nombre de freins au développement d'un numérique responsable identifiés par les acteurs interviewés

4.2.2. Freins réglementaires

Les principaux freins réglementaires mis en avant par les acteurs interviewés sont les suivants :

- **Une complexité dans la mise en œuvre de solutions alternatives du fait de la réglementation :**
 - Complexité réglementaire à diminuer l’impact environnemental de la chaîne de valeur : Dans certaines situations, le cadre réglementaire ne permet pas la mise en place de projets plus soutenables. Par exemple, il a été remonté la difficulté de s’auto-approvisionner en électricité d’origine renouvelable, ou bien l’impossibilité réglementaire de passer des contrats d’approvisionnement en « énergie verte » dans certaines régions du monde (Caroline du Nord, Taiwan, etc.)⁷⁵.
 - Les services associés moins attractifs : Par exemple, les durées de garantie sont moindres à l’achat d’un produit reconditionné qu’à l’achat d’un produit neuf⁷⁵.
- **Un manque de réglementation pour inciter au développement de solutions alternatives :**
 - Manque de réglementations fiscales effectives et harmonisées : La fiscalité actuelle et la forte concurrence européenne, notamment due à des disparités de taxation d’un pays à l’autre sur la consommation énergétique des datacenters, n’incitent pas les entreprises à aller vers des activités plus environnementales⁷⁶.
 - Peu de réglementations sur l’obsolescence logiciel et marketing : Des équipements encore en état de marche sont souvent rendus inutilisables ou obsolètes du fait des différentes manifestations de l’obsolescence logicielle (par exemple, la limitation de la durée du support technique par rapport à la durée d’utilisation réelle, l’incompatibilité de format entre ancienne et nouvelle version du logiciel, ou encore les mises à jour automatiques des logiciels pouvant ralentir certains appareils). On observe également une forme « d’obsolescence marketing »,

⁷⁵ Mentionné par des acteurs privés

⁷⁶ Mentionné par des acteurs privés

favorisée par des campagnes et pratiques marketing qui incitent à renouveler des équipements encore fonctionnels⁸⁷.

- o Manque de réglementation sur l'usage des infrastructures: Le système s'est auto-régulé et il existe peu de contraintes environnementales. Par exemple, on estime que seulement 30% des infrastructures datacenters installées sont aujourd'hui utilisées^{Erreur! Signet non défini.}. Une réglementation plus adaptée permettrait également de faire avancer les opérateurs télécoms conjointement (mutualisation des antennes par exemple)^{Erreur! Signet non défini.}.
- **Un manque d'application de la réglementations existante :**
 - o On observe des enjeux de concurrence et notamment de fraude à la TVA de la part d'entreprises important des terminaux⁷⁵.
 - o Le manque d'incitations réglementaires, et notamment fiscales, rend caduques les business modèles d'entreprises essayant de proposer des services alternatifs, tels que la vente de terminaux reconditionnés, réutilisés, etc.,

Remarques :

Il est important de souligner que l'on retrouve une unanimité d'opinion de la part d'un type d'acteur (acteurs privés) sur certains freins réglementaires: tous estiment qu'une action réglementaire serait nécessaire au vu de la complexité de la mise en œuvre de solutions alternatives et que les actions réglementaires existantes ne sont pas suffisamment mises en application. Toutefois, certains freins à la mise en œuvre de solutions alternatives remontés par les acteurs interrogés, tels que les difficultés dans l'élaboration de contrat d'électricité verte, ne sont pas forcément spécifiques au marché français.

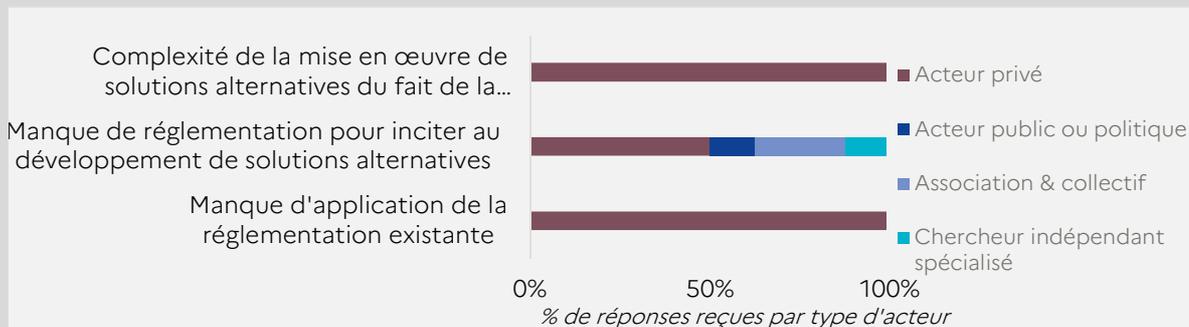


Figure 18 - Freins réglementaires : Pourcentage de réponses par type d'acteur

En revanche, tous ne semblent pas unanimes sur le type de réglementations à mettre en œuvre pour inciter au développement de solutions alternatives (Figure 19 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En effet, si les acteurs privés dénoncent un manque de réglementations sur la gestion des infrastructures et un manque de réglementations fiscales, ils ne souscrivent pas pour autant à l'insuffisance de réglementations sur l'obsolescence logicielle et marketing.

De même, les acteurs privés ne souhaitent pas forcément les mêmes réglementations fiscales. Le débat sur la redevance copie privée, largement contestée par les acteurs du secteur du reconditionné, illustre ces divergences d'opinion.

Il est également important de relever que, dans cette étude, les acteurs privés peuvent également être différenciés au regard des intérêts qu'ils défendent et de leurs activités : fournisseurs de solutions numériques (ex : Nokia), ou utilisateurs de services numériques (ex : Netflix), mais aussi acteurs aux modèles économiques inspirés du numérique responsable (ex : Recommerce), etc.

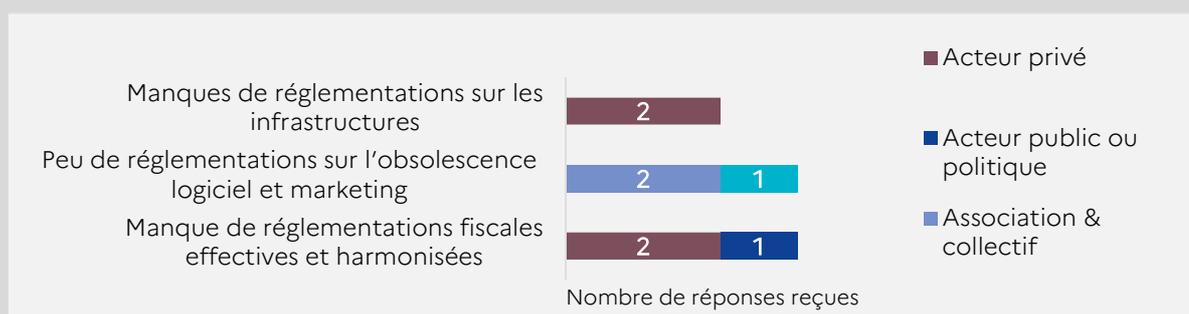


Figure 19 - Freins économiques identifiés : zoom sur le frein « manque de réglementation »

4.2.3. Freins sociaux et sociétaux

Malgré une prise de conscience collective sur les impacts environnementaux du numérique (notamment grâce à de nombreuses publications de vulgarisation sur les impacts environnementaux du numérique cf. 2.2.3.1), le manque de connaissances et de formation demeure un frein majeur.

Les principaux freins sociaux et sociétaux mis en avant par les acteurs sont les suivants :

- **Une incompatibilité des enjeux du numérique responsable avec d'autres enjeux sociétaux :**
 - Les enjeux du numérique responsable s'avèrent quelquefois incompatibles avec d'autres enjeux jugés prioritaires.
 - Incompatibilité des enjeux de numérisation avec les enjeux environnementaux : La contradiction notée par certains acteurs entre développement du numérique et la réduction de son impact environnemental fait du numérique responsable un concept mal défini⁷⁷. Le paradigme de la transition numérique (entendu comme expansion infinie du champ et de l'emprise du numérique) devrait pourtant pouvoir être remis en question à cet égard⁷⁸.
 - Incompatibilité des enjeux environnementaux avec les enjeux de souveraineté et/ou de compétitivité : Ces enjeux peuvent être en contradiction avec le développement du numérique responsable⁷⁹.
 - Incompatibilité des enjeux d'inclusion numérique avec les enjeux environnementaux : Il faut s'assurer que la limitation des impacts n'influe pas négativement sur les mesures d'égalité d'accès aux services numériques. C'est une question régulièrement soulevée dans la cadre de l'augmentation de la couverture réseau du territoire par exemple⁷⁹.

- **Un manque de connaissance sur le sujet du numérique responsable :**
 - Peu de personnes formées sur le sujet : De nombreuses idées reçues de la part des utilisateurs de numérique vont à l'encontre du développement d'un numérique plus responsable, par exemple le fait que le numérique responsable soit plus onéreux⁷⁹. Il est nécessaire de former les consommateurs, acteurs publics et acteurs privés et de lier les avantages environnementaux du numérique responsable à des avantages économiques (optimisation des processus, etc.) et sociaux (amélioration de l'image, etc.)⁷⁷.
 - Perception non-matérielle du numérique : Le récit autour du « cloud » et les communications marketing notamment ont participé à « l'invisibilisation » des impacts du numérique. Cette perception non-matérielle s'oppose à une utilisation avertie et consciente des services numériques et de leurs impacts environnementaux de la part des consommateurs^{80,78}.

- **Des limites psychologiques au numérique responsable :**
 - Il existe des limites psychologiques à l'adoption de modèles alternatifs plus responsables. Par exemple, les consommateurs prêtent moins d'attention à un équipement informatique en location qu'à leurs propres terminaux. Ces limites participent à la diminution de la durée de vie des équipements⁷⁷.

⁷⁷ Mentionné par des acteurs membres d'associations et collectifs

⁷⁸ Mentionné par des chercheurs indépendants spécialisés

⁷⁹ Mentionné par des acteurs publics

⁸⁰ Mentionné par des acteurs privés

Remarques :

Les acteurs interviewés constatent le manque de connaissances et de formation touche l'ensemble de l'écosystème des acteurs numériques.

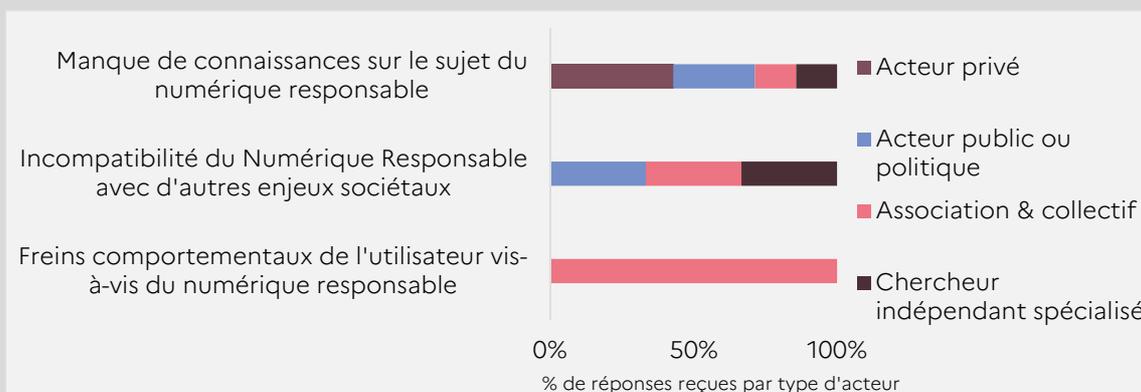


Figure 20 - Freins sociaux et sociétaux : Pourcentage de réponses par type d'acteur

Il est intéressant de noter que les acteurs interviewés n'ont pas, ou très peu, fait référence à l'absence de traduction financière des impacts environnementaux du numérique pour les consommateurs de numérique.

En effet, à la différence des acteurs privés pour lesquels la diminution de consommation énergétique des centres de données permet de réduire les dépenses associées, au même titre que leur impact environnemental, les consommateurs, eu égard par exemple à l'aspect « gratuit » des services numériques (notamment caractérisé par un manque de corrélation entre consommation de données et budget alloué aux services numériques), sont peu incités à réduire leurs usages et impacts numériques.

Au regard des incompatibilités entre les enjeux du numérique responsable avec d'autres enjeux sociétaux, la notion d'équilibre entre les enjeux d'égalité d'accès aux services numériques et enjeux environnementaux doit encore être questionnée. En effet, en fonction des situations, des priorités, qui n'ont pas valeur d'enseignement général, devront être faites. Le numérique doit être vu comme un

4.2.4. Freins techniques

L'ensemble des acteurs interviewés s'accorde sur la complexité du périmètre numérique et de l'évaluation des impacts environnementaux associés.

Les principaux freins techniques mis en avant par les acteurs sont les suivants :

▪ Un périmètre numérique trop complexe :

- Allocation des impacts : Le numérique est systémique, la quantification de ses impacts est complexe car son utilisation a une incidence transverse sur de nombreux autres secteurs⁸¹.
- Complexité et rapidité d'évolution des technologies numériques et des usages et difficultés de prévision en la matière : Les impacts environnementaux sont très dépendants des usages et l'évolution rapide des technologies du secteur entraîne l'obsolescence précipitée des ACV⁸¹.
- Manque d'analyses complètes et multicritères : Les études sont souvent uniquement réalisées sur l'indicateur CO₂ et ne permettent pas d'évaluer de façon optimale les transferts de

⁸¹ Mentionné par des chercheurs indépendants spécialisés

pollution. Le scope 3, correspondant à l'ensemble des émissions indirectes autres que liées à l'énergie⁸², est également régulièrement éludé. Il est pourtant souvent présenté comme majoritaire dans les études d'impact environnemental⁸³.

- o Quantification des impacts environnementaux indirects : Il est par exemple très complexe d'établir un lien de causalité et de quantifier l'impact des effets rebond car il est notamment difficile d'identifier et de prendre en compte l'entière des phénomènes physiques induits : lorsque deux facteurs évoluent en sens inverse (par exemple une diminution de la consommation énergétique unitaire et une hausse du nombre d'équipements), il est difficile d'arbitrer la dégradation ou l'amélioration des impacts environnementaux⁸¹.
- **Un manque de données fiables pour quantifier les impacts environnementaux des services numériques :**
 - o Complexité et opacité des chaînes de valeur : Au vu de la complexité et de la variabilité des chaînes de valeur du numérique (du fait de l'évolution technologique et de marchés rapide des activités numériques), certaines données, notamment celle relatives aux étapes d'approvisionnement et de fabrication, sont difficiles à collecter⁸⁴.
 - o Manque de données harmonisées et en open-source/open-data : Les résultats des études dépendent beaucoup des hypothèses et données intégrées aux modèles⁶⁶. Il est nécessaire que ces données soient harmonisées et disponibles pour tous les acteurs de l'écosystème afin de permettre la comparaison des études entre elles⁸⁵. Les acteurs interviewés s'accordent à dire que le manque de bases de données harmonisées et en libre accès est un frein à la quantification des impacts environnementaux du numérique.

Remarques :

Les freins techniques sont partagés par l'ensemble des acteurs interviewés.

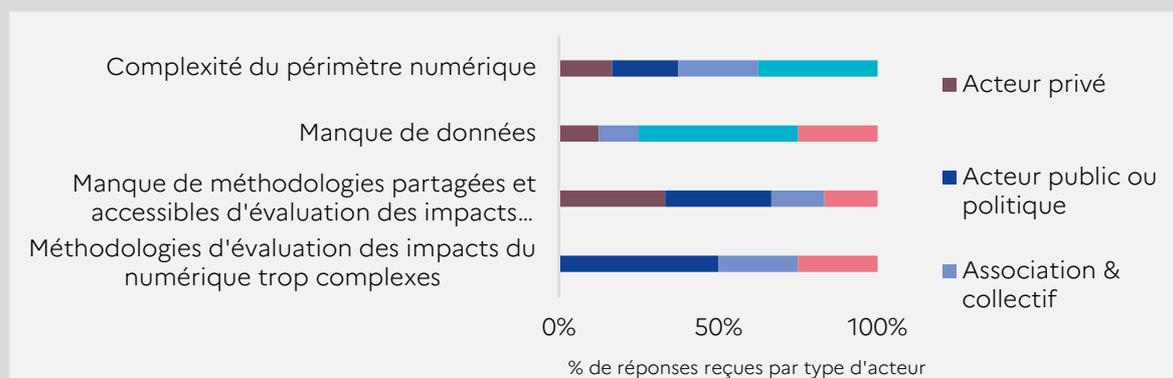


Figure 21 - Freins techniques identifiés : pourcentage de réponses par type d'acteur

NB : La Figure 21 doit se lire de la façon suivante : pour le frein technique relatif aux méthodologies d'évaluation des impacts du numérique trop complexes, environ 50% des réponses reçues pour ce volet proviennent d'acteurs publics ou politiques, 25% d'acteurs membres d'associations & collectifs et 25% d'acteurs membres de groupements professionnels. Le nombre de réponses par type de frein est

- **Un manque de méthodologies faisant consensus au sein de l'écosystème des acteurs numériques :**

⁸² Bilans d'émissions de GES publiés sur le site de l'ADEME (BEGES) - data.gouv.fr

⁸³ Mentionné par des acteurs publics

⁸⁴ Mentionné par des acteurs privés

⁸⁵ Mentionné par des acteurs de groupements professionnels

- o Manque de référentiels communs en libre accès : Les résultats des études peuvent s'avérer divergents et contestables car il n'existe actuellement pas de méthodologie de mesure officielle, gratuite et en libre accès que tous les acteurs peuvent s'approprier. Ces différentes méthodologies ont été précédemment présentées dans la *partie 2.2.1.3* du présent rapport.
 - o Manque de référentiels complets : Les méthodologies actuelles ne permettent pas de prendre en compte l'ensemble des impacts environnementaux directs et indirects des services numériques⁸⁶.
- **Des méthodologies de quantification de l'impact environnemental du numérique trop complexes** :
 - o Les méthodologies actuelles sont trop complexes et longues à mettre en œuvre : Elles requièrent trop de moyens humains et financiers pour s'adapter à toutes les situations et être déployées transversalement dans tout type d'entreprise. La durée de leur mise en œuvre est également trop longue au regard de la rapide évolution des chaînes de valeur logistiques⁸⁶.

Remarques :

On remarque que le constat d'un manque de méthodologies fait consensus mais sa résolution présente des difficultés :

- Les méthodologies sont à la fois trop complexes à mettre en œuvre mais également jugées incomplètes ;
- Les acteurs privés demandent une harmonisation des données de calcul mais ne sont pas non plus enclins à communiquer publiquement des données environnementales.

Il faut noter en outre que la question de la capacité à analyser de la qualité des données (incluant l'incertitude) n'est pas identifiée par les parties prenantes interviewées. Elle pourrait cependant

4.2.5. Freins économiques

Les acteurs interviewés soulignent que l'organisation du marché (offre, demande, etc.), ne permet pas de réduire les externalités négatives du numérique.

Les principaux freins économiques mis en avant par les acteurs sont les suivants :

- **Peu de demande client pour le numérique responsable et une concurrence au sein du marché privé** :
 - o Il y a peu de demande de la part des clients aujourd'hui. Les prestataires de services numériques ne peuvent donc pas se différencier en promouvant des leviers d'éco-conception du numérique⁸⁷. Par ailleurs, la concurrence entre acteurs privés pour le développement rapide de services ou produits numériques innovants relègue les enjeux environnementaux du numérique au second plan⁸⁸.
- **Un manque d'incitations économiques dans la mise en œuvre de solutions alternatives** :
 - o Modèles économiques difficiles : Par exemple, le modèle économique du réemploi est encore instable, notamment du fait de la faible différence le prix du neuf et du reconditionné mais aussi compte tenu de la logistique onéreuse sous-jacente à ce modèle (coût de collecte, traitement, gestion des retours & Service après-vente, etc.)Erreur ! Signet non défini.
 - o Complexité des chaînes de valeur : La mise en place de solutions d'économie circulaire requiert beaucoup de ressources humaines et financières, puisque les équipements numériques ont une composition complexe et nécessitent une approche par matériaux et par fournisseursErreur ! Signet non défini.

⁸⁶ Mentionné par des acteurs membres d'associations et collectifs

⁸⁷ Mentionné par des acteurs membres d'associations et collectifs

⁸⁸ Mentionné par des acteurs publics

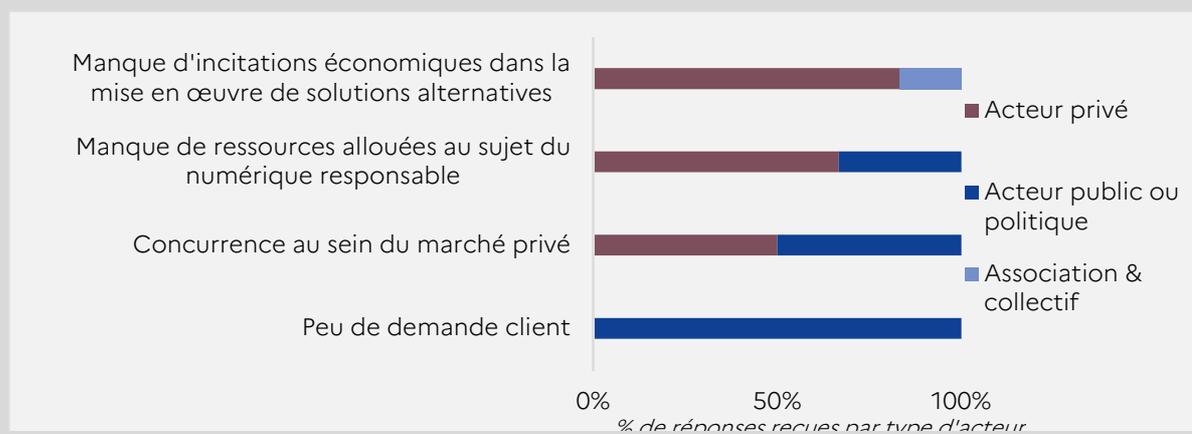
- **Un manque de ressources allouées au sujet du numérique responsable :**
 - Peu de personnes formées sur le sujet : Il existe un manque de temps et de compétences pour aller au-delà du modèle de *business-as-usual* dans le secteur privé et faire avancer les projets sur le numérique responsable^{Erreur ! Signet non défini.}. De plus, les méthodes de mesure de l'impact environnemental des services numériques (ACV, etc.) sont régulièrement externalisées au regard de la complexité de leur mise en application^{Erreur ! Signet non défini.}.
 - Il y a peu de ressources humaines et financières allouées au sujet du numérique responsable dans les instances publiques⁸⁹.

Remarques :

Les acteurs du secteur privé ont souvent constaté une pression de leurs parties prenantes sur le sujet du numérique responsable, notamment les ONG et les autorités alors que d'autres acteurs interrogés observent le peu de demande de la part des consommateurs (par exemple sur le développement de services numériques responsables). Le grand public n'est pas encore suffisamment sensibilisé à ces enjeux.

Bien que la concurrence accrue entre les acteurs du numérique dans le développement de produits ou services numériques puisse dans certains cas faire passer les enjeux environnementaux au second plan, l'innovation peut néanmoins aussi s'avérer vertueuse environnementalement, notamment s'il existe une demande client sur les enjeux environnementaux. Il faut également souligner que le développement d'offres de numérique responsable peut entraîner une stimulation de la demande, et vice versa.

Dans l'ensemble, on constate la défaillance du marché à internaliser les externalités négatives du secteur numérique : taux de renouvellement des équipements trop élevés, etc.



4.3. Pistes d'action vers un numérique plus soutenable

4.3.1. Constats généraux

Les acteurs interrogés ont identifié des grandes catégories d'actions à mener pour limiter les impacts environnementaux du numérique (Figure 23).

⁸⁹ Mentionné par des acteurs publics

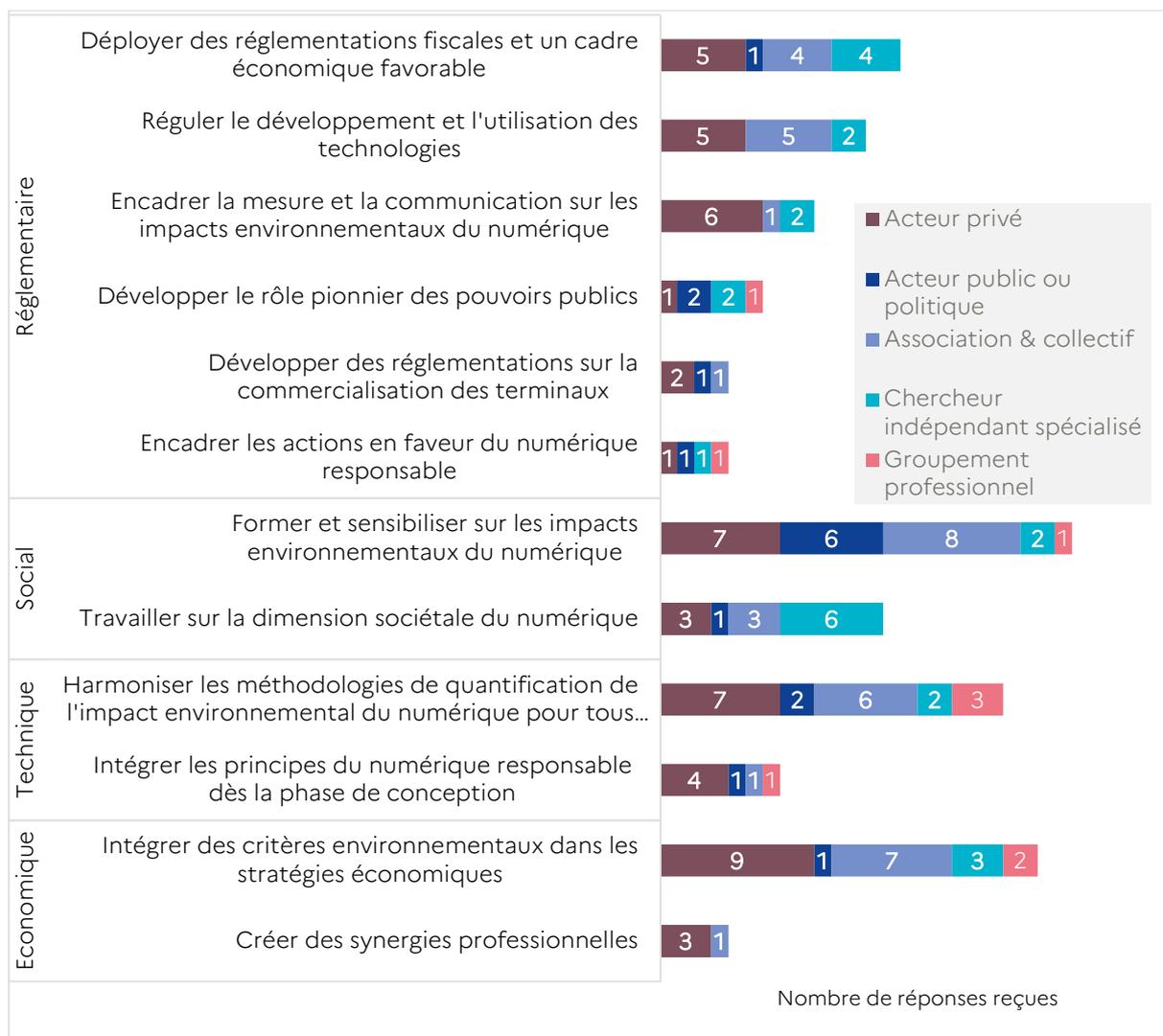


Figure 23 - Résultats des interviews : leviers pour un numérique plus responsable

Catégories	Leviers	Description
Réglementaire	Déployer des réglementations fiscales et un cadre économique favorable	Il est nécessaire de proposer un cadre fiscal en faveur du numérique responsable et de ses acteurs aux niveaux nationaux et européens.
	Réguler le développement et l'utilisation des technologies	La réglementation doit être un levier pour impulser l'éco-conception des produits et services numériques, réguler l'utilisation des données et encadrer le renouvellement des infrastructures.
	Encadrer la mesure et la communication sur les impacts environnementaux du numérique	L'encadrement des communications autour du numérique peuvent être utilisées comme un levier de sensibilisation.
	Développer le rôle pionnier des pouvoirs publics	La commande publique peut être notamment un levier important pour stimuler l'offre pour des produits et services numériques plus responsables.

Social & Sociétal	Encadrer les actions en faveur du numérique responsable	Alimenter les discussions à l'échelle européenne et assurer le déploiement du numérique en adéquation avec le Numérique Responsable .
	Développer des réglementations sur la commercialisation des terminaux	Il est nécessaire d'encadrer les offres commerciales pour favoriser l'allongement de la durée de vie des terminaux.
	Former et sensibiliser sur les impacts environnementaux du numérique	Il est nécessaire de former et sensibiliser l'ensemble de l'écosystème numérique ainsi que les utilisateurs de services numériques aux impacts environnementaux du numérique.
	Travailler sur la dimension sociétale du numérique	Il est nécessaire de suivre et observer les tendances d'utilisation du numérique pour repenser ses usages et permettre d'allier les enjeux de la transition numérique aux enjeux environnementaux.
Technique	Harmoniser les méthodologies de quantification de l'impact environnemental du numérique pour tous les acteurs	Il est nécessaire de fournir un socle de connaissance et méthodologique commun et disponible pour tous les acteurs pour assurer la fiabilité des résultats.
	Intégrer les principes du numérique responsable dès la phase de conception	Les principes d'écoconception et la prise en considération des externalités intersectorielles doivent être intégrés aux phases de conception des produits et services numériques.
Economique	Intégrer des critères environnementaux dans les stratégies économiques	Le business model des entreprises doit être adapté afin d'intégrer la performance environnementale aux autres KPIs.
	Créer des synergies professionnelles	Il est nécessaire d'encourager la création de synergies inter-entreprises pour stimuler les innovations et encourager le développement d'offre de Numérique Responsable.

Tableau 11 - Leviers pour un numérique plus responsable

On remarque notamment :

- Une nécessité de mettre en place un socle réglementaire commun pour faire progresser tout l'écosystème des acteurs numériques dans une même direction ;
- Un besoin accru de dépasser la vision « immatérielle » du numérique en formant et en sensibilisant le public ;
- La nécessité de créer un socle commun de méthodologies en libre accès et simple d'usage permettant à la fois de comparer les études entre elles et dans le temps ;
- Le besoin de mieux intégrer les enjeux environnementaux dans la prise de décision des acteurs privés.

La Figure 24 illustre que les pouvoirs publics sont considérés par les acteurs interviewés comme le premier vecteur de changement vers un numérique responsable. En effet, la majorité des solutions proposées par les acteurs interviewés requière des actions de la part des pouvoirs publics.

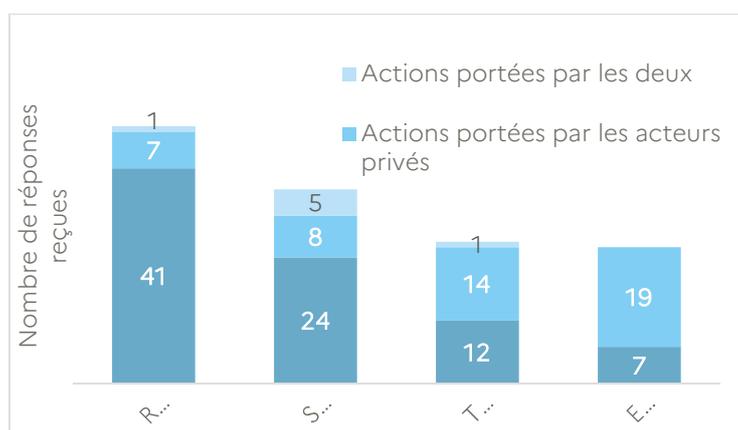


Figure 24 - Responsabilité des leviers préconisés par les acteurs interviewés

NB: Dans la majorité des cas, les acteurs interrogés ont indiqué à qui incombait la responsabilité de mettre en œuvre les leviers préconisés. Dans les cas où cette précision n'a pas été faite, elle a été déduite des actions proposées par l'auteur du rapport.

4.3.2. Leviers réglementaires

Les principaux leviers réglementaires mis en avant par les acteurs sont présentés ci-dessous. On remarque que la mise en place d'un cadre réglementaire favorable est le premier levier d'action cité par les acteurs interviewés.

- **Encadrer les actions en faveur du numérique responsable :**

Actions portées par :



- Harmonisation de la réglementation européenne : Les parties prenantes du numérique doivent être force de proposition pour alimenter les réglementations à l'échelle européenne, encadrer des actions en faveur du numérique responsable et proposer un cadre homogène aux acteurs européens⁹⁰.
- Assurer le déploiement d'un plan de transition écologique intégrant le numérique responsable : Les plans de déploiement numérique doivent prendre en compte les impact environnementaux du numérique⁹¹.

Remarques :

Certains acteurs ont souligné que, puisque les entreprises du numérique sont souvent internationales, elles seront influencées plus efficacement par la réglementation européenne que par une réglementation nationale.

Le niveau international, même s'il n'a pas été mentionné par les acteurs interviewés, est également pertinent pour la définition d'un cadre réglementaire efficace.

⁹⁰ Mentionné par des acteurs de groupements professionnels

⁹¹ Mentionné par des chercheurs indépendants spécialisés

▪ Développer le rôle pionnier des pouvoirs publics :

Actions portées par :



- o Encourager le numérique responsable grâce à la commande publique : La commande publique doit servir de 1^{er} levier pour encourager le développement d'offres en faveur du numérique responsable, en intégrant systématiquement des critères environnementaux dans les cahiers des charges⁹².
- o Encourager les discussions entre les instances privées et publiques : Donner plus de visibilité aux acteurs privés sur les actions des autorités sur le volet numérique, en particulier sur leurs implications au quotidien⁹³.

Remarques :

Le levier de la commande publique est apparu plusieurs fois comme un moyen de soutenir les projets vertueux, et d'agir sur l'offre de l'ensemble du secteur.

▪ Déployer des réglementations fiscales et un cadre économique favorable :

Il est nécessaire de proposer un cadre fiscal en faveur du numérique responsable et de ses acteurs aux niveaux nationaux et européens.

Actions portées par :



- o Il faut proposer un cadre européen de concurrence loyale en luttant contre la fraude à la TVA et le dumping fiscal. Pour le déployer de façon pérenne, il est nécessaire de récompenser, via des taxations préférentielles ou autre, les acteurs agissant en faveur d'un numérique plus soutenable⁹⁴. Par exemple, le recours aux équipements numériques reconditionnés ou issus du réemploi peut être favorisé par des taux de TVA préférentiels sur ces produits afin d'abaisser le coût d'achat total de ces équipements et proposer une incitation financière perceptible pour les consommateurs.
- o Ces réglementations fiscales doivent être mise en place de façon à faciliter le développement d'actions en faveur du numérique responsable. Par exemple, dans le cadre du reconditionnement et du réemploi, les flux de pièces détachées doivent être facilement accessibles par tout l'écosystème pour éviter tout risque de monopole au profit des acteurs privés ou des éco-organismes par exemple⁹⁴.

Remarques :

Selon un acteur interviewé, il faut rester vigilant et ne pas créer un cadre trop contraignant et propice à la délocalisation potentielle des activités numériques (datacenters, etc.) du territoire européen., il faut distinguer les activités territoriales, sur lesquelles les autorités peuvent agir au niveau national, des activités autres.

Dans le cas de la mise en place d'un cadre économique favorable, les acteurs interviewés ne sont pas unanimes sur le type de mesures à mettre en place. En revanche, ces mesures proposées ne sont pas nécessairement contradictoires entre elles.

⁹² Mentionné par des acteurs membres d'associations et collectifs

⁹³ Mentionné par des acteurs privés

⁹⁴ Mentionné par des acteurs privés

▪ Réguler le développement et l'utilisation des technologies :

- Imposer des objectifs d'éco-conception et lutter contre l'obsolescence logicielle : Il faut en priorité promouvoir l'éco-conception des services numériques relevant du domaine public et des grandes entreprises⁹⁵. Il est également nécessaire que les mises à jour logicielle non-essentiels soient réversibles et que les codes logiciels soient ouverts en open-source à la fin de leur support technique⁹⁵.
- Réguler l'utilisation de data : Les flux vidéo doivent être adaptés aux usages (notamment au terminal utilisé)⁹⁴ et les données doivent être relocalisées sur le territoire européen⁹⁶.
- Encadrer le renouvellement des infrastructures : Proposer un cadre réglementaire encourageant la mutualisation des infrastructures entre les opérateurs réseaux⁹⁴. De même, des partenariats publics/privés (PPP) doivent être déployés pour accélérer la cessation des anciennes technologies (démantèlement du réseau cuivre, 3G, etc.)⁹⁴

Actions portées par :



Remarques :

Les acteurs interviewés souhaitent renforcer encore les systèmes existants de mutualisation. Les bénéfices et inconvénients, y compris environnementaux (ou de santé environnementale, comme l'exposition aux ondes par exemple) devront être étudiés afin d'opérer les meilleurs choix technico-environnementaux.

La forme juridique des partenariats à mettre en place pour équiper ou déséquiper les réseaux devra également être étudiée. Le recours aux PPP n'a pas pu être analysé plus avant dans le cadre de cette étude mais pourrait faire l'objet de travaux ou entretiens complémentaires avec les acteurs concernés. Le renouvellement des infrastructures doit particulièrement être encadré par les pouvoirs publics afin d'arbitrer sur la pertinence de la cessation d'une technologie au regard de l'ensemble des conditions environnementales induites (consommation de données, mise au rebut d'équipement, etc.).

Enfin, on rappellera que la relocalisation des données sur le territoire européen répond à un double enjeu, à la fois environnemental et de sécurité des données. Ces considérations seront importantes dans le cadrage des futures réglementations.

▪ Encadrer la mesure et la communication sur les impacts environnementaux du numérique :

⁹⁵ Mentionné par des acteurs membres d'associations et collectifs

⁹⁶ Mentionné par des chercheurs indépendants spécialisés

Actions portées par :



- o Communiquer plus facilement pour sensibiliser les consommateurs : Des labels nationaux et européens (« Qualité reconditionné », « Bas-carbone », etc.) peuvent être déployés de façon à informer plus lisiblement les consommateurs sur les impacts environnementaux⁹⁷. Il est également nécessaire que les publicités intègrent la dimension environnementale du numérique dans leurs messages⁹⁸, sur le modèle de la loi Evin par exemple.
- o Mesurer les impacts de façon multicritère : Imposer une mesure et une communication multicritères des impacts environnementaux des services numériques⁹⁷⁹⁹.

Remarques :

Ces mesures constituent à la fois des défis techniques et réglementaires, au service d'une meilleure communication sur les impacts du numérique. Il conviendra par ailleurs de déterminer si elles s'appliquent aux services ou produits numériques (ou aux deux le cas échéant).

S'agissant de la communication multicritère, l'unique calcul du PUE (*Power usage Effectiveness*) n'est pas suffisant pour donner une vision exhaustive des impacts des datacenters. D'autres critères pourraient être pris en compte, comme le WUE (*Water Usage Effectiveness*), voir la dernière version des meilleures pratiques publiées dans le cadre du Code de conduite européen sur les datacenters¹⁰⁰.

▪ Déployer des réglementations sur la commercialisation des terminaux :

Actions portées par :



- o Encadrer les offres commerciales sur la vente de terminaux : Les actions commerciales visant à une surconsommation d'équipements telles que l'accompagnement systématique d'accessoires (écouteurs, chargeurs, etc.)⁹⁷ à l'achat de terminaux, ainsi que le démarchage téléphonique poussant au renouvellement anticipé des terminaux doivent être encadrées⁹⁷.
- o Favoriser l'allongement de la durée de vie des équipements : Des mesures telles que l'allongement des garanties fabricants à 10 ans sur les terminaux peuvent inciter à la réparation des équipements et ainsi contribuer à allonger leur durée de vie⁹⁸.

Remarques :

Les terminaux représentant la majorité de l'impact environnemental du numérique, l'allongement de leur durée de vie représente un gisement significatif de réduction d'impact.

Le lien entre allongement de la garantie à 10 ans et durée de vie des équipements pourrait être étudié plus précisément. Une telle étude permettrait par ailleurs de déterminer la forme que ces garanties devraient prendre, le cas échéant (notamment s'il peut s'agir d'une garantie légale).

⁹⁷ Mentionné par des acteurs privés

⁹⁸ Mentionné par des acteurs membres d'associations et collectifs

⁹⁹ Mentionné par des chercheurs indépendants spécialisés

¹⁰⁰ Acton, M., Bertoldi, P., Booth, J.(2021), *Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency*, European Commission, Ispra,

4.3.3. Leviers sociaux et sociétaux

Les principaux leviers sociaux et sociétaux mis en avant par les acteurs sont présentés ci-après. Il semble nécessaire de sensibiliser les parties prenantes au numérique responsable et de questionner certains paradigmes du numérique.

▪ Former et Sensibiliser sur les impacts environnementaux du numérique :

Il est nécessaire de proposer plusieurs niveaux de sensibilisation pour former les parties prenantes et le public aux enjeux environnementaux du numérique:

Actions portées par :



- Proposer des parcours de sensibilisation des enfants au sein de l'éducation nationale : Il est nécessaire de matérialiser le numérique à l'école en expliquant le fonctionnement, la construction et la maintenance des objets numériques puis des services numériques au sens plus large¹⁰¹¹⁰³.
- Intégrer les principes du numérique responsable aux formations diplômantes : Les notions d'écoconception et de numérique responsable doivent être systématiquement intégrées aux cursus scolaires et universitaires¹⁰¹¹⁰².
- Former les acteurs du numérique aux enjeux du numérique responsable : Des parcours de formations doivent être proposés en interne des organisations. Des lignes directrices peuvent être proposées par l'ADEME et des ONG pour encourager ces formations¹⁰³.
- Sensibiliser les consommateurs aux bonnes pratiques d'usage : Ces campagnes de sensibilisation doivent d'abord être portées par les pouvoirs publics puis par les opérateurs, les équipementiers, etc.

Remarques :

D'après notre analyse, le manque de sensibilisation et formation aux enjeux environnementaux du numérique apparaît comme **le point le plus consensuel** des interviews réalisés.

Plus précisément, le rôle de **l'école primaire** est revenu très régulièrement comme indispensable à la sensibilisation des nouvelles générations.

▪ Travailler sur la dimension sociétale du numérique :

Actions portées par :



- Repenser les usages du numérique : Les enjeux environnementaux doivent être évalués avant d'encourager la numérisation d'un secteur (par exemple: l'école)¹⁰². Les acteurs privés et publics doivent favoriser un dialogue ouvert sur les implications sociétales des nouvelles technologies (par exemple sur la 5G)¹⁰⁴.
- Observer les tendances : Création d'un observatoire critique du numérique en France se penchant sur les tendances générales à la numérisation et la dé-numérisation d'une part, et sur la question des comportements individuels par rapport au numérique d'autre part¹⁰².
- Allier les enjeux sociaux de la transition numérique aux enjeux environnementaux : Par exemple, les enjeux de couverture réseau doivent être évalués pour quantifier les impacts indirects positifs des réseaux de télécommunications.

¹⁰¹ Mentionné par des acteurs privés

¹⁰² Mentionné par des chercheurs indépendants spécialisés

¹⁰³ Mentionné par des acteurs membres d'associations et collectifs

¹⁰⁴ Mentionné par des acteurs publics

Remarques :

Les enjeux de transparence et d'objectivation des informations ressortent comme un point majeur des leviers sociétaux. Il conviendra cependant de déterminer qui, parmi les autorités compétentes ou agences en charge de ces sujets, sera le plus à même de porter ces débats.

De manière intéressante, on notera que le volet sociétal regroupe ainsi les constats visant à questionner le rôle du numérique dans la société, mais aussi à le mettre en perspective d'autres enjeux sociétaux (par ex. la couverture numérique des territoires).

Des actions doivent être prises en considération après une mesure effective des impacts environnementaux et sociaux des services numériques pour permettre un débat objectif. Au regard de la transversalité des services numériques et de la prise en considération d'enjeux sociaux et environnementaux, la mesure de ces impacts peut s'avérer très complexe dans sa mise en œuvre.

4.3.4. Leviers techniques

Comme présenté ci-dessous, parmi les leviers techniques mis en avant par les acteurs interviewés, l'harmonisation et la publication en open-source de méthodes et de données communes pour le calcul des impacts environnementaux du numérique semble primordiale pour faire avancer le sujet du numérique responsable.

- **Harmoniser les méthodologies de quantification de l'impact environnemental du numérique :**

Actions portées par :



Il est nécessaire d'avoir un socle de connaissance et méthodologique commun à tous les acteurs pour assurer la fiabilité des résultats.

- o Harmonisation et disponibilité des méthodes de calcul : Il est nécessaire de mettre à disposition des acteurs un référentiel fiable, public et complet en open-source/open-data pour démocratiser la mesure des impacts

environnementaux du numérique¹⁰⁵. Ce référentiel doit s'appuyer sur des protocoles normalisés sur le plan international¹⁰⁶.

- o Harmonisation et disponibilité des données de calcul : Des données fiables issues d'un consensus entre les acteurs doivent être disponibles en open-source et open data pour assurer la comparaison des études entre elles.
- o Harmonisation du périmètre d'évaluation : Le périmètre d'évaluation du numérique doit être défini tant d'un point de vue numérique (segmenté en trois briques selon les recommandations ITU-T et SBT Initiative)¹⁰⁶, sectoriel (calcul des impacts environnementaux positifs/négatifs et directs/indirects)¹⁰⁷ et temporel pour permettre une comparaison des données entre elles¹⁰⁸.

L'harmonisation des données peut être mise en place au travers de la création d'un laboratoire de recherche en France par exemple¹⁰⁷. Ces actions nécessitent **une augmentation des financements publics** en faveur d'un numérique plus responsable¹⁰⁵.

Remarques :

L'harmonisation des méthodologies implique la mise en place d'un cadre réglementaire commun. Ce point a été largement remonté par l'ensemble des acteurs interviewés. Sa faisabilité, compte tenu de la diversité des situations et des besoins, devra être évaluée.

Il ressort également des points ci-dessus qu'il pourrait être nécessaire de simplifier les méthodes de calcul. Ici encore et compte tenu de la technicité du sujet, il pourrait être intéressant d'identifier les leviers qui permettraient de rendre plus simple l'utilisation de ces méthodes, s'il s'avère impossible de simplifier les méthodes de calcul en elles-mêmes. La fiabilité de ces méthodes, leur reconnaissance large par tous les acteurs de l'écosystème et une information (ou formation) adaptée constitueraient certainement des éléments clés.

La diffusion de ces méthodes permettrait une meilleure évaluation des progrès réalisés sur le numérique responsable. En effet, pour certaines entreprises, les méthodologies actuelles requièrent trop de moyens humains et financiers pour être réalisées plusieurs années consécutives.

▪ Intégrer les principes du numérique responsable dès la phase de conception :

Actions portées par :



- o Conception durable : Les principes d'écoconception doivent être intégrés aux cahiers des charges lors de la conception de nouveaux produits¹⁰⁶.
- o Prise en considération de l'ensemble des externalités intersectorielles : Les mesures sur le numérique responsable doivent pouvoir prendre en compte leurs externalités négatives ou positives sur d'autres secteurs, et inversement¹⁰⁶.

Remarques :

¹⁰⁵ Mentionné par des acteurs de groupements professionnels

¹⁰⁶ Mentionné par des acteurs privés

¹⁰⁷ Mentionné par des chercheurs indépendants spécialisés

¹⁰⁸ Mentionné par des acteurs membres d'associations et collectifs

Certains acteurs ont souligné la nécessité de tenir compte des effets indirects, et notamment des effets rebonds dès la phase de conception. La faisabilité technique et économique pour les entreprises d'une approche intersectorielle des impacts devra être évaluée.

4.3.5. Leviers économiques

Les principaux leviers économiques mis en avant par les acteurs sont présentés ci-dessous. D'un point de vue général, les acteurs interviewés s'accordent à dire que les enjeux environnementaux du numérique doivent être intégrés aux stratégies d'entreprise.

▪ Intégrer des critères environnementaux dans les stratégies économiques des acteurs privés :

Le business model des entreprises doit être adapté afin d'intégrer la performance environnementale aux autres KPIs.

- A ce titre, les collaborateurs, à toutes les strates managériales, doivent être formés aux enjeux environnementaux du numérique¹⁰⁹ et une équipe compétente et identifiable doit être constituée afin de piloter les projets en interne. En effet, il a été remonté que les DSI sont trop souvent absentes des projets RSE d'entreprise¹⁰⁹.
- Les enjeux du numérique responsable doivent se diffuser dans toutes les activités : par exemple, des clauses environnementales doivent systématiquement être intégrées aux appels d'offres¹¹⁰.
- Le déploiement des activités doit être repensé pour faciliter l'intégration de nouveaux circuits (reconditionné, recyclé), les entreprises doivent se démarquer en proposant une offre permettant aux utilisateurs de limiter les impacts environnementaux de leurs usages numériques.
- Des indicateurs de suivi environnementaux (KPI) doivent être analysés et des objectifs définis pour évaluer les progressions de l'entreprise en matière de performance environnementale de ses services numériques.¹¹¹

Actions portées par :



Le modèle économique du numérique au niveau européen doit être repensé pour être intégré à la transition écologique

Remarques :

Il est nécessaire de créer des dynamiques inter et intra- entreprises pour encourager le déploiement d'actions en faveur du numérique responsable.

▪ Créer de nouvelles synergies professionnelles :

¹⁰⁹ Mentionné par des acteurs de groupements professionnels

¹¹⁰ Mentionné par des acteurs membres d'associations et collectifs

¹¹¹ Mentionné par des acteurs privés

Actions portées par :



Il est nécessaire d'encourager la création de synergies inter-entreprises pour stimuler les innovations et nouveaux cas d'utilisation¹¹¹. De plus, les plans d'actions doivent être soutenus par une organisation stable couvrant toutes les parties prenantes et acteurs du numérique¹ pour faire vivre la démarche et l'inscrire dans la durée¹¹⁰.

Remarques :

Il est attendu par les entreprises que les acteurs publics fournissent un cadre stable de discussion pour disposer d'un forum de discussions et d'initiatives pérennes afin d'alimenter des synergies entre les acteurs privés et publics mais également des synergies inter-entreprises.

4.4. Synthèse générale des entretiens

A l'issue de cette analyse, les échanges réalisés avec les acteurs interviewés ont démontré un réel intérêt de la part de l'écosystème à répondre sur le sujet du numérique responsable.

Que ce soit pour :

- répondre à une demande naissante de la part des clients et/ou des marchés financiers ;
- sensibiliser la sphère publique sur les enjeux environnementaux du numérique ;
- déployer un cadre de connaissance commun sur le sujet du numérique responsable ;

les acteurs interrogés semblent partager une motivation commune : répondre à des enjeux sociétaux croissants liés à l'empreinte environnementale du numérique.

4.4.1. Freins à la mise en place du numérique responsable

Dans l'ensemble, l'analyse des interviews a dénombré près deux de fois plus de leviers identifiés par les acteurs que de freins. Comme présenté en 4.2.1, les freins semblent bien connus et pour une partie d'entre eux (par ex. complexité du périmètre numérique) partagés par les parties prenantes interrogées. Les acteurs s'accordent à dire **que les impacts environnementaux du numérique, de par la transversalité du secteur notamment, restent très difficiles à quantifier et à délimiter**. Le **manque de connaissances et de méthodologies partagées** accentue encore la complexité de la mesure des impacts. Ces difficultés techniques sont également renforcées par **un contexte économique peu favorable au déploiement du numérique responsable** et par des clients et consommateurs, bien que de plus en plus au fait du sujet, encore trop peu enclins à se tourner vers des offres alternatives. L'évolution de l'offre numérique responsable demeure encore timide également. De ce fait, l'implication des acteurs privés doit aussi être moteur de changement.

Le nombre important de solutions proposées par les acteurs semble à l'image du nombre d'acteurs interviewés et de la complexité du périmètre numérique. Toutefois, comme présenté en Figure 25 et malgré des intérêts économiques divergents, aucune typologie d'acteur ne semble se démarquer au profit d'une vision ou d'un type de levier plus qu'un autre. De plus, les leviers proposés par les acteurs sont très différents en fonction des acteurs interviewés.

4.4.2. Leviers pour la mise en place d'un numérique responsable

Sur le panel d'acteurs interviewés, tous, à leur échelle, plébiscitent des actions tant sur les volets réglementaire, économique, sociaux que technique. Parmi les actions phares mentionnées, on retiendra plus particulièrement la **nécessité de former et de sensibiliser le public aux impacts du numérique**.

En effet, le déploiement d'offres illimitées, couplé aux campagnes de communication accentuant les aspects dématérialisés du numérique, ont peu à peu contribué à l'invisibilisation des impacts liés à l'utilisation des services numériques.

La compréhension et l'appréhension de ces impacts passe également par le suivi d'une mesure homogène et fiable desdits impacts auprès de l'ensemble de l'écosystème. Pour cela, il est nécessaire d'**agir sur la facilité d'utilisation, le caractère évolutif, la complétude et l'accessibilité des méthodologies de mesure de l'impact environnemental du numérique**.

Enfin, l'ensemble de l'écosystème souhaite un environnement réglementaire et économique propice au développement d'activités en lien avec le numérique responsable. En effet, l'évolution drastique actuelle et future des usages et de l'offre associée nécessite un contexte réglementé et coordonné pour faire progresser l'ensemble des acteurs dans la même direction.

La Figure 25 présente les catégories de leviers (réglementaire, économique, social, technique) mentionnés par type d'acteurs. On constate la prédominance de mesures techniques pour les groupements professionnels, plus marquée que chez les autres types d'acteurs. Les mesures d'ordre réglementaires sont-elles plus évoquées par les chercheurs indépendants spécialisés, mais aussi par les acteurs privés.

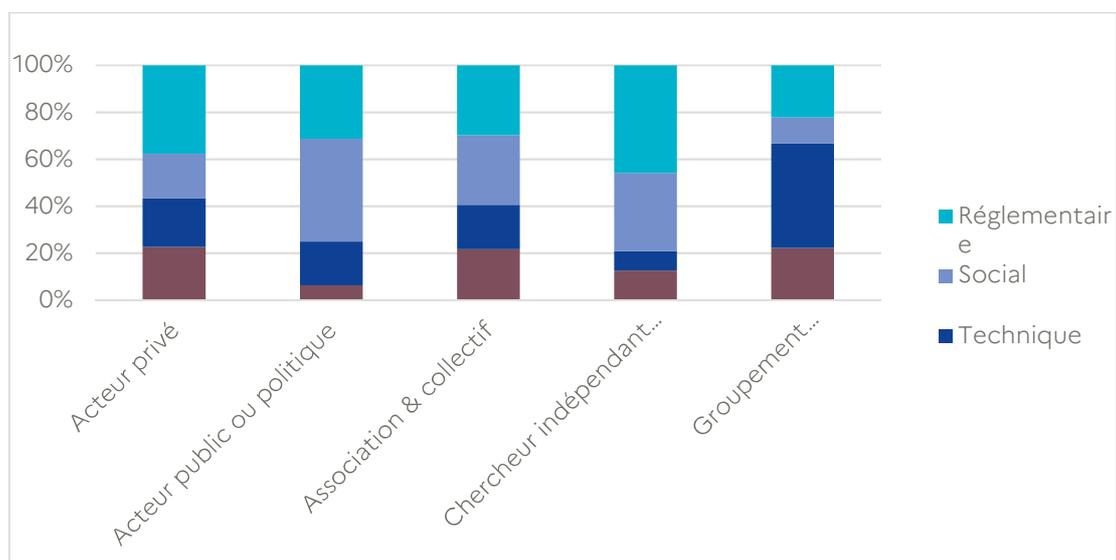


Figure 25 - Leviers pour un numérique responsable - Vision par type d'acteur : type de leviers mentionnés par type d'acteur

Si les groupements professionnels semblent soutenir d'une courte majorité le pilotage des mesures soulevées par les acteurs privés, le secteur public, les chercheurs et associations & collectifs considèrent quant à eux les acteurs publics comme le premier vecteur de changement vers un numérique responsable (Figure 26).

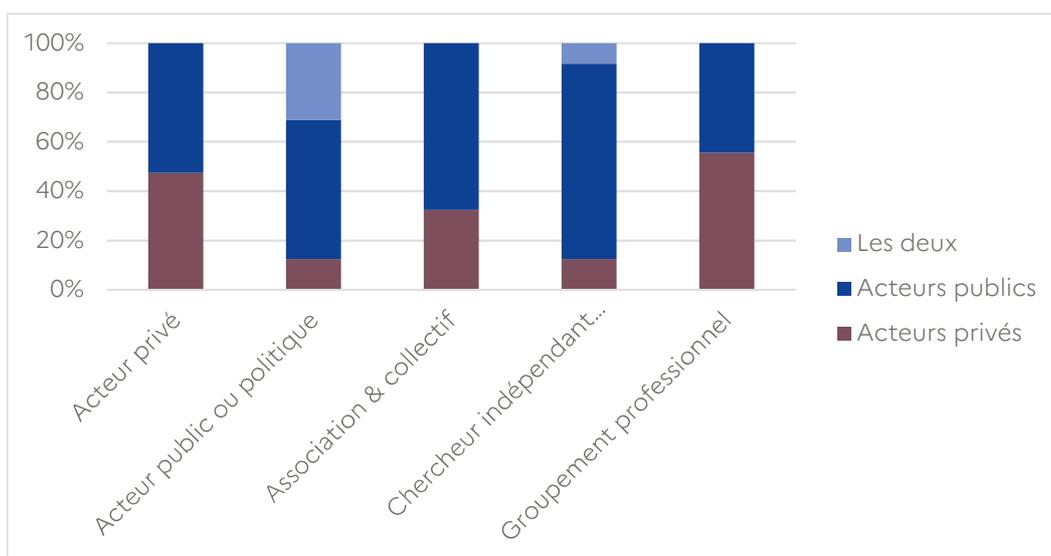


Figure 26 - Leviers : attentes des acteurs interviewés

***NB** : La Figure 26 doit se lire de la façon suivante : parmi les leviers mentionnés par les membres d'associations & collectifs, ~30% des actions doivent être portées par les acteurs privés et ~70% par les acteurs publics.*

La Figure 27 montre néanmoins que bien que les parties prenantes désignent les **aspects techniques comme principaux freins** à la réduction des impacts du numérique, les **mesures d'ordre réglementaire constituent les principaux leviers identifiés**. Conformément aux résultats de la Figure 24, les acteurs publics semblent les mieux placés pour porter ces mesures.

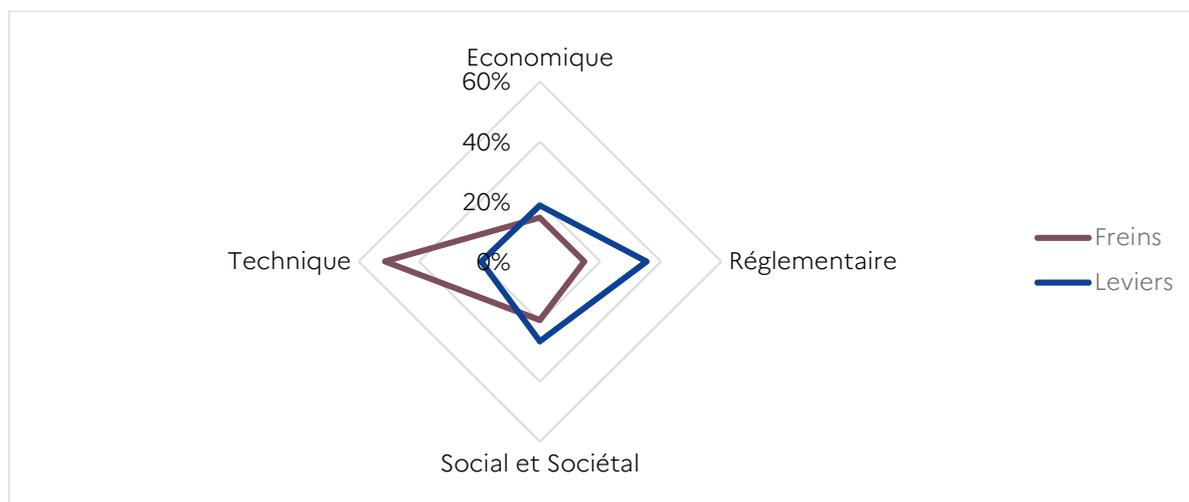


Figure 27 – Synthèse des entretiens : part des freins et leviers pour chacun des quatre piliers (en %)

***NB** : La Figure 27 doit se lire de la façon suivante : environ 50% des freins identifiés par les acteurs interviewés sont des freins techniques alors qu'environ 40% des leviers identifiés sont des leviers réglementaires. Le classement ci-dessus est dépendant des définitions employées pour classer les propositions (économique, réglementaire, etc.). Il permet cependant d'identifier les catégories d'actions les plus plébiscitées par les parties prenantes interrogées.*

Il est important de noter que les propositions d'ordre réglementaire sont d'une grande diversité et varient en fonction des types d'acteur interviewés. Elles incluent des instruments comme la commande

publique, l'éco-conception des services numériques, la labellisation des équipements et services à faible impact environnemental, etc.

Toutefois, malgré la demande pour un contexte réglementaire plus strict, un intérêt croissant de la part des consommateurs et un engagement fort du secteur privé dans la quantification de ses impact environnementaux, les limites du déploiement de l'internet et les directions à envisager restent encore peu évoquées par les acteurs interviewés. A titre d'exemple, **aucun des acteurs interviewés n'a mentionné les limites matérielles comme un frein au déploiement du numérique**. Ces limites matérielles recouvrent par exemple la capacité maximale d'un utilisateur à consommer des services numériques (nombre d'écrans, définition vidéo, nombres d'heures d'utilisation, etc.). La hausse des usages liés à la communication machine/machine (synchronisation du cloud, mise à jour logicielle, etc.)¹¹² n'a pas non plus été mentionnée. Certains acteurs ont en revanche insisté sur la dimension sociétale du numérique et sur les **travers possibles à la numérisation systématique de certains secteurs d'activités** dont la légitimité peut être questionnée (par exemple, l'école).

¹¹² Hazas, M. et al. (2016), *Are there limits to growth in data traffic?: On time use, data generation and speed*, ResearchGate, 6 pages

5. Analyse comportementale des usages et leviers d'action

5.1. Introduction :

5.1.1. Objectifs de l'analyse :

L'objectif de cette partie est de comprendre les freins psychologiques et sociétaux à une pratique du numérique plus respectueuse des enjeux environnementaux, dans un cadre professionnel ou personnel. Cette analyse se base sur une recherche bibliographique et offre un aperçu de l'évolution des usages des services numériques au cours des cinq prochaines années. Elle identifie enfin les freins et les leviers d'action au cœur de la dynamique de transition vers des usages plus sobres du numérique.

5.1.2. Méthodologie :

L'analyse comportementale est divisée en quatre parties :

- Une première partie résume les **tendances actuelles d'usage des outils numériques** ainsi que les perspectives de croissance de la consommation de données associées aux nouveaux usages et à l'utilisation de nouveaux équipements.
- Une deuxième partie propose des **exemples de mesures de sobriété individuelle** répertoriées dans la bibliographie.
- Une troisième partie détermine les **freins psychologiques, sociaux et sociétaux** à l'appropriation d'**usages sobres** par les consommateurs.
- Une quatrième et dernière partie conclue sur les **leviers d'action** à mettre en œuvre afin de lever ces freins et de favoriser l'imprégnation des mesures de sobriété auprès des usagers, notamment grâce à une prise de conscience des impacts puis un passage à l'action.

5.1.3. Périmètre :

5.1.3.1. Définition de la sobriété numérique (choisie) :

Le cadre de l'étude proposée ici s'inscrit dans une analyse comportementale afin de déterminer quels usages du numérique sont cohérents avec un scénario de sobriété, définie comme « la recherche de modération dans la consommation de biens et de services nécessitant des ressources énergétiques ou matérielles »¹¹³. Cette notion suppose une volonté consciente de l'utilisateur de s'interroger sur son besoin et la manière d'y répondre. Il s'agit en effet ici de se focaliser sur l'intégration des pratiques de sobriété chez les usagers et de mesurer leur pénétration dans la société au cours des années à venir.

Avant d'identifier les usages et de s'intéresser aux tendances, il convient de définir la notion même de sobriété numérique. Le Shift Project, dans son rapport¹¹⁴, propose la définition suivante :

Déployer la sobriété numérique, c'est mettre au point une stratégie qui permette de concevoir et utiliser notre système numérique de manière à ce qu'il soit compatible avec les contraintes physiques naturelles. Or ce système est composé de deux ensembles qui interagissent :

- **Un système d'usages** : il rassemble les actions permises par les outils numériques (envoyer un email, regarder une vidéo en ligne, traiter des données, rédiger ce rapport etc.) ainsi que les dynamiques comportementales et sociétales qui en résultent (fréquence d'utilisation du smartphone par un individu, types de contenus consommés, types de données produites et stockées etc.).
- **Un système technique** : il rassemble les composantes physiques du système numérique, qui supportent et permettent les usages. Terminaux utilisateurs, infrastructures réseau et centres de données sont les trois composantes de ce système technique, qui constitue la partie matérielle du numérique.

Cette partie se concentre sur le système d'usages actuels, et évalue la possibilité d'un changement dans l'utilisation des outils technologiques qui permettrait de minimiser l'impact environnemental de nos

¹¹³ Cezard, F., Mourad, M. (2020), *Panorama sur la notion de sobriété – définition, mise en œuvre, enjeux*, ADEME, 89 pages

¹¹⁴ The Shift Project (2020), *Déployer la sobriété numérique*, 6 pages

comportements numériques. Cette étude fait donc le choix d'un périmètre centré sur les usagers et sur les changements comportementaux qui sont considérés comme sobres (cf. liste dans la partie 5.3).

Il convient de préciser que l'enjeu de ce rapport réside aussi dans l'analyse d'une **sobriété choisie** et non d'une sobriété subie, en étudiant les perspectives d'évolution des comportements de manière individuelle ou collective mais toujours en partant d'initiatives du ou des usagers et non en considérant l'influence de mesures « coercitives », prises par l'administration ou les entreprises.

5.1.3.2. Définition des concepts comportementaux clés :

Il sera mentionné à plusieurs reprises dans cette analyse des termes clés en lien avec le domaine des sciences sociales et psychologiques. Ces notions permettent de comprendre le lien entre les usages individuels, collectifs et leur interaction. Il est donc crucial de définir ces notions pour comprendre les périmètres associés à chacun des termes utilisés et notamment les freins et leviers aux pratiques de sobriété numérique :

- **Frein/Levier psychologique** : Frein/Levier dont la cause se situe au niveau des activités mentales et de l'adaptation des comportements aux évolutions de l'environnement. La difficulté pour les usagers de changer d'habitudes est un exemple de frein psychologique.
- **Frein/Levier social** : Frein/Levier dont la cause est liée à un phénomène social, c'est-à-dire se rapportant à une société, à une collectivité humaine considérée comme une entité propre. On retrouve des exemples de freins sociaux dans les phénomènes de mode ou dans le désir de possession en lien avec la position sociale.

5.1.3.3. Limites :

- **Temporelles:**

Les sources utilisées pour l'analyse sont des études fondées sur des sondages, ainsi que des études statistiques et comportementales dont l'étendue temporelle est comprise entre 2009 et 2021.

- **Géographiques:**

L'ensemble des données utilisées dans cette étude sont représentatives de tendances globales ou nationales. Les pays représentés sont la France, le Royaume-Uni et les Etats-Unis.

- **Périmètre d'usage:**

Le cadre d'étude est celui de la sobriété choisie, c'est pourquoi les usages considérés ici sont restreints aux usages d'outils numériques individuels, dans le cadre privé ou professionnel. Il est cependant important de noter que l'usage salarié a été traité moins directement dans les ressources bibliographiques considérées et qu'il se restreint principalement dans l'étude aux usages bureautiques classiques. Certaines sources¹¹⁵ proposent cependant des usages sobres du numérique au niveau des organisations (entreprises, administration), par exemple à travers le pilotage de leur Système d'Information, que nous avons choisi de ne pas détailler ici afin de garder une vision plus individuelle des usages numériques.

Les leviers et freins identifiés sont également restreints aux changements de comportements des usagers ainsi qu'aux mesures collectives comme la sensibilisation. Les mesures réglementaires ne sont pas incluses, car elles correspondent à une sobriété imposée.

L'indicateur principal de suivi des usages sobres est la consommation de données, qui reflète directement la consommation d'énergie associée à une pratique numérique. Le nombre d'équipements détenus et leur durée de vie, susceptibles de refléter la consommation en énergie et en matières premières (liées à leur fabrication) sont également pris en compte dans la définition d'usages sobres.

5.2. Tendances d'usage actuelles du numérique favorisant une croissance de la consommation de données au niveau individuel :

Dans cette partie, on se propose d'étudier les tendances actuelles et les prévisions de croissance des usages numériques en se fondant, d'une part, sur les travaux réalisés par CISCO dans leur rapport *Trends*

¹¹⁵ The Shift Project (2020), *Déployer la sobriété numérique*, 6 pages

and Forecasts 2017-2022 (pour identifier des tendances globales) et, d'autre part, sur ceux de l'Arcep dans le cadre du *Baromètre du Numérique 2019* (pour identifier les tendances au niveau national¹¹⁶).

NB : Le périmètre ne prend donc pas en compte les éventuelles évolutions d'usages liées à la crise du coronavirus. Cette crise a conduit à la généralisation du télétravail et a vu l'augmentation du taux d'équipements, notamment celui lié aux usages bureautiques (écrans, ordinateurs fixes, petit matériel, etc.) entre 2019 et 2020¹¹⁷.

5.2.1. Croissance du nombre d'équipements:

5.2.1.1. Internet et connexions au réseau

Plusieurs études soulignent la hausse du nombre d'équipements par habitant dans les années à venir, 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 ou les consoles de jeux. Cette tendance aura pour conséquence une augmentation significative du nombre de connexions à Internet. Selon les prévisions CISCO en termes de croissance du nombre de dispositifs, les smartphones auront un taux de croissance annuel moyen de 9 % (multiplié par 1,6) entre 2017 et 2022. Au niveau français, le taux d'équipement en smartphones de la population française est proche de la saturation (77% en 2019), mais a continué d'augmenter pour atteindre 84% en 2020¹¹⁸. 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) connaîtront la deuxième plus forte croissance, avec un TCA de 7 %, pour atteindre 3,2 milliards d'unités en 2022. Le déclin des PC se poursuivra (baisse de 2,5 %) 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'Arcep, 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. Selon certaines prévisions, la production et l'utilisation des technologies de l'information et de la communication pourraient ainsi atteindre 21 % de la consommation globale d'électricité d'ici à 2030¹¹⁹. Les scénarios les plus extrêmes contenus dans ces études retiennent un maximum de 51 %.

5.2.1.2. 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 l'usage a beaucoup augmenté ces dernières années (+12% entre 2016 et 2019). Mais 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).

¹¹⁶ Malgré sa mise à jour annuel, il est important de noter que le Baromètre permet d'observer les tendances plus longues grâce à des références aux anciennes éditions et aux évolutions observées depuis.

¹¹⁷ Xerfi (2020), *Le marché du matériel informatique et des smartphones*

¹¹⁸ ANCT, ARCEP, CGE (2021), *Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française*, Baromètre du Numérique Edition 2021, 348 pages

¹¹⁹ Andrae, A and Edler, T. (2015), *On global electricity usage of communication technology: trends to 2030*, Challenges

L'étude de marché Xerfi¹²⁰ 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-commerce¹²¹, 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 BVA¹²², 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.

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

5.2.2.1. Nouveaux usages du numérique

La croissance du nombre de connexions et d'équipements est aussi en partie corrélée avec la naissance de nouveaux usages des outils numériques. Par exemple selon l'ARCEP, 16% des Français possèdent un objet connecté, et 9% une enceinte à commande vocale. L'**explosion de l'Internet of Things (IoT)** est d'ailleurs représentative de l'ère de la 5G et de ses nouveaux usages : des objets qui étaient jusqu'à présent déconnectés du réseau échangent désormais des flux de données et entraînent une croissance de la consommation de données. Les dispositifs de communication augmentent la consommation de données des pratiques quotidiennes qui, auparavant, n'auraient pas nécessité ou bénéficié d'une connexion à l'Internet comme par exemple :

- Les exercices physiques et le sport, dont la pratique sera appuyée par des applications;
- La migration du visionnage et de l'écoute de la télévision et de la radio, autrefois hors ligne ou par télédiffusion, vers des plateformes de communication et de diffusion en continu.

CISCO identifie également d'autres tendances significatives, notamment la croissance forte du nombre de connexions liées à la **voiture connectée**¹²³ (TCAM 2017-2022 : 28%) et de la **santé connectée** (TCAM 2017-2022 : 22%). En revanche la part de ces applications parmi l'ensemble des connexions « Machine-to-Machine » - M2M – reste minoritaire en 2020, par rapport à d'autres usages comme la maison connectée ou le travail connecté.

On observe aussi de nouveaux usages sur les réseaux sociaux, qui **ont absorbé, en tout ou en partie, les outils de communication auparavant déconnectés d'Internet comme les appels ou les SMS**. Entre 2018 et 2019 en France, les envois de messages via messageries instantanées en ligne ont augmenté de 12%. Pour les appels via ces mêmes messageries, l'augmentation observée est de 15%. Cependant, cet essor de la pratique d'envoi de messages via messageries instantanées s'accompagne d'une baisse régulière du nombre de SMS émis (-6% entre 2016 et 2018). Pour l'heure, l'utilisation des messageries instantanées pour envoyer des messages ne se fait pas encore dans une complète logique de substitution aux SMS mais plutôt dans l'emploi complémentaire de plusieurs outils : la proportion de Français utilisant des messageries instantanées qui affirment se servir plus souvent des applications que des SMS s'élève à 23% en 2019 contre 58% pour ceux qui indiquent avoir plus souvent recours aux SMS.¹²⁴

5.2.2.2. Des usages plus consommateurs de données

¹²⁰ Xerfi (2020), *Le marché du matériel informatique et des smartphones*

¹²¹ Baromètre Re-commerce (2021), *Le marché du mobile d'occasion*, Communiqué de presse

¹²² BVA Group(2019), *Numérique et Environnement*

¹²³ Comprenant des applications telles que « la gestion de flotte, le divertissement et l'accès à l'intet à bord des véhicules, l'assistance routière, le diagnostic des véhicules, la navigation et la conduite autonome ».

¹²⁴ ANCT, ARCEP, CGE (2019), *Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française*, Baromètre du Numérique Edition 2019, 348 pages

Certains usages, qui étaient déjà intégrés aux pratiques quotidiennes, sont en pleine croissance, comme cela est notamment le cas pour les **usages vidéo**.

Parmi ces nouveaux usages, le rapport d'Ericsson¹²⁵ 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) ;
- 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.

Focus Smart TV

Il est important de noter aussi les nombreuses mentions de la croissance des données de la vidéo, liées au visionnage sur téléviseur et à **l'explosion des smart TV**. Les smart TV présentent en effet le Potentiel de Réchauffement Global le plus élevé sur l'ensemble du cycle de vie. Il en va de même pour chaque sous-catégorie d'impact : production des appareils, consommation d'électricité, etc. À l'opposé, le smartphone présente un PRG d'environ un dixième de celui des smart TV¹²⁶ (la comparaison est ici effectuée pour le visionnage de vidéos en streaming). Dans ce contexte, il apparaît que la résolution et la taille de l'écran ainsi que la demande d'électricité correspondante sont des facteurs cruciaux. Ils illustrent la nécessité de réduire les usages liés à ce type d'appareils.

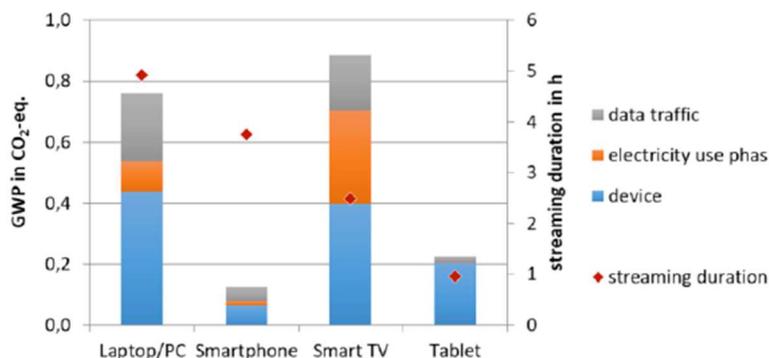


Figure 28 - Potentiel de réchauffement global (PRG) des activités de streaming moyennes et de la durée moyenne du streaming en une semaine pour quatre appareils de streaming (ordinateur, smartphone, smart TV et tablette)

D'après Sandvine¹²⁷, la catégorie du **divertissement en temps réel**, qui est principalement constituée de flux vidéos, représente plus d'un tiers du flux de données en période de pointe.

L'explosion du trafic de données impactant la phase d'utilisation est principalement due à des usages vidéo immodérés et indifférenciés. Avec la définition d'image numérique dit 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 seront encore multipliés 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 de pointe pour les opérateurs de réseau.¹²⁸ Le rapport CISCO¹²⁹ précise d'ailleurs que la vitesse de bande passante pourrait en effet doubler entre 2017 et 2022.

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**. Fortement lié au streaming de contenu vidéo, le trafic

¹²⁵ Ericsson Mobility Report(2016), Ericsson

¹²⁶ Suksi, P. (2020), *All you can stream: Investigating the role of user behavior for greenhouse gas intensity of video streaming*

¹²⁷ Sandvine Intelligent Broadband Networks (2016), *Global Internet Phenomenon Report*, 11 pages

¹²⁸ Hazas, M. et al. (2016), *Are there limits to growth in data traffic?: On time use, data generation and speed*, ResearchGate, 6 pages

¹²⁹ CISCO (2019), *Cisco Visual Networking Index: Forecasts and Trends 2017-2022*, 38 pages

lié aux jeux vidéos représentera 5% du trafic global de données en 2022. Le trafic lié au **cloud gaming** (c'est-à-dire au jeu en streaming via Internet) sera multiplié par neuf entre 2017 et 2022. Le trafic lié à l'usage de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée sera quant à lui multiplié par 12 entre 2017 et 2022 à l'échelle mondiale¹²⁹.

5.2.2.3. 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. 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?*¹³⁰ 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 combler et même d'étendre les plages horaires auparavant non utilisées.

D'autre part l'étude fait aussi le constat que 53 % des adultes britanniques pratiquent le multitâche (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*¹³¹ a constaté que la parallélisation a été pratiquée pendant un tiers des jours de streaming déclarés.

5.3. Bonnes pratiques de sobriété numérique identifiées :

5.3.1. Usages responsables des équipements:

Le premier axe identifié de réduction des impacts correspond aux équipements. En effet, la fabrication des équipements concentrant la majorité des impacts¹³², un certain nombre de pratiques dites de sobriété numérique au niveau des usagers (usages professionnels et individuels) consistent à remettre en cause les besoins liés à la possession même de terminaux et notamment de terminaux neufs. Il est donc proposé, suite à cette revue, une liste non exhaustive regroupant les principales thématiques :

- **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 matériaux 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

¹³⁰ Hazas, M. et al. (2016), *Are there limits to growth in data traffic?: On time use, data generation and speed*, ResearchGate, 6 pages

¹³¹ Suksi, P. (2020), *All you can stream: Investigating the role of user behavior for greenhouse gas intensity of video streaming*

¹³² Bordage, F. et Fournier, C. (2017), *Benchmark numérique responsable*, GreenIT, ADEME, Institut du Numérique Responsable et World Wildlife Foundation, 39 pages

- **Réduire le nombre d'objets connectés tout en gardant en tête :**
 - Les équipements les plus consommateurs et notamment les écrans plats
 - L'importance de la taille des équipements vidéos dans leur consommation d'énergie
 - Les potentielles consommations annexes dues à l'échange de données entre ces différents terminaux (cf. partie 5.4.3.1)¹³³

5.3.2. Bonnes pratiques liées à la consommation de contenu et aux pratiques logicielles :

Le deuxième axe présenté correspond aux bonnes pratiques à adopter lors de l'utilisation de ces mêmes terminaux. Ces pratiques sont considérées comme sobres dès lors qu'elles proposent des mesures permettant de réduire la consommation d'énergie pour une même fonctionnalité d'un même équipement :

- **Optimiser le stockage de données :**
 - Avoir une empreinte en termes de données stockées la plus faible possible pour ne pas surcharger les datacenters :
 - Mieux naviguer : alléger ses mails, aller au plus court lors de recherches web
 - Favoriser le stockage sur équipements en local plutôt que sur un cloud (en considérant aussi l'empreinte de leur utilisation)
- **Limiter les consommations d'énergie lors de la non-utilisation des équipements** (box, récepteur TV, etc.)
- Réduire la consommation d'énergie de la vidéo en ligne en réduisant leur définition et en adaptant le périphérique de visionnage à l'usage
- Optimiser les impressions en favorisant les fichiers moins lourds

5.4. Freins au déploiement de la sobriété

5.4.1. Une sensibilisation des usagers encore limitée

Les pratiques plus respectueuses des enjeux environnementaux sont conditionnées par trois niveaux de connaissances de la part des usages¹³⁴ :

- La compréhension du problème environnemental – cf section 5.4.1.1
- La connaissance de solutions pratiques – ici les usages sobres du numérique – cf section 5.4.1.2
- La capacité d'évaluer l'impact des solutions pour les hiérarchiser - cf section 5.4.1.2.

La revue bibliographique montre que dans les trois cas, le niveau de connaissance de l'utilisateur n'est pas toujours suffisant pour l'adoption d'usages sobres du numérique.

5.4.1.1. Manque d'information sur l'impact environnemental des usages du numérique

L'enquête « numérique et environnement » menée par BVA¹³⁵ a montré qu'un français sur trois se sent bien informé concernant l'impact numérique de l'environnement. Les impacts environnementaux de certains usages représentant une part importante des consommations énergétiques du numérique, restent pourtant méconnus : ainsi, le sondage montre que les Français sont conscients des effets potentiellement importants de la consommation de contenu vidéo (pour 49% d'entre eux) et de l'envoi d'e-mails (pour 48% d'entre eux) sur l'environnement.

¹³³ Sur ce point, l'arbitrage peut être complexe entre calcul en local et échange de données entre terminaux.

¹³⁴ Boutaud, A. (2009), *Ecologie : de la sensibilisation aux changements de comportement*, Millénaire, Le centre ressources prospectives du Grand Lyon, 19 pages

¹³⁵ BVA Group(2019), *Numérique et Environnement*

5.4.1.2. Manque d'information sur les usages sobres du numérique et leur priorisation

Certains usages sobres permettant de limiter ces consommations ne sont adoptés que par une minorité de français : contrôler l'usage des outils numériques (23%), éteindre sa box (30%) ou limiter le visionnage de la télévision ou de vidéos sur internet (38%)¹³⁶.

Dans la mesure où la majorité des impacts environnementaux du numérique en France, notamment les émissions de GES qui ont lieu à l'étape fabrication, sont concentrés sur la phase de production des équipements des utilisateurs (voir par exemple ¹³⁷), l'effet de la modération des usages de consommation de données est limité s'il est considéré séparément de la question du renouvellement des équipements. L'attention des utilisateurs devrait donc également porter sur l'achat d'équipements. Le sondage BVA confirme en ce sens que les efforts consentis par les français seraient plus importants s'agissant des équipements : plus d'un quart accepterait de renouveler moins souvent leurs appareils numériques, et la moitié serait prête à acheter plus d'objets reconditionnés.

5.4.1.3. Décalage entre sensibilisation et passage à l'action : le « Green Gap »

Une meilleure information des citoyens sur la sobriété des usages ne permet pas nécessairement de les voir se généraliser. Il faut en effet considérer d'autres freins socio-psychologiques à l'adoption d'usages sobres du numérique. En effet, l'enquête BVA montre que si 36% des français comprennent que le numérique a un impact sur l'environnement, ils ne sont que 29% à accepter un débit plus lent.

La sensibilisation de l'utilisateur aux usages sobres du numérique peut ainsi s'avérer insuffisante. A cet égard et plus généralement, la revue bibliographique indique un décalage entre prise de conscience des problèmes environnementaux et changement de comportements effectif pour contribuer à les réduire¹³⁸. On assiste ainsi à ce que certains auteurs, à l'instar Bennet et Williams¹³⁹, nomment le « Green gap », ou le « fossé vert ». Ces auteurs illustrent le green gap en Chine et aux Etats-Unis : L'échantillon de personnes interrogé s'est d'abord exprimé sur l'importance d'une liste d'actions¹⁴⁰ en lien avec un mode de vie « durable » (*Importance* en Figure 29). Ce même échantillon a été ensuite interrogé sur la mise en pratique desdites actions (*Behavior* en Figure 29). Le green gap se définit comme l'écart entre ces deux réponses. On constate que dans les deux cas, cet écart existe, même s'il est plus significatif dans le cas des Etats-Unis.



Figure 29 : Ecart entre l'importance attribuée à certaines actions environnementales et leur mise en pratique¹³⁹

¹³⁶ Bordage, F. (2019), *Empreinte environnementale du numérique mondial*, GreenIT, 40 pages

¹³⁷ Bordage, F. (2019), *Empreinte environnementale du numérique mondial*, GreenIT, 40 pages

¹³⁸ Ofcom (2021), *Adults' media use and attitudes report*, 23 pages

¹³⁹ Bennett G. and Williams F. (2011), *Mainstream Green: Moving sustainability from niche to normal*, The Red Papers. Ogilvy & Mater, , Issue 4, 131 pages.

¹⁴⁰ Prendre les transports publics, marcher ou se rendre à vélo au travail, acheter de la nourriture produite localement, utiliser des produits de nettoyage écologiques, recycler ses emballages.

De ce fait, la volonté d'adopter certains usages de sobriété peut se trouver limitée. La Figure 30 illustre cette idée que certains usages sobres, s'agissant notamment du numérique, ne sont pas nécessairement répandus.

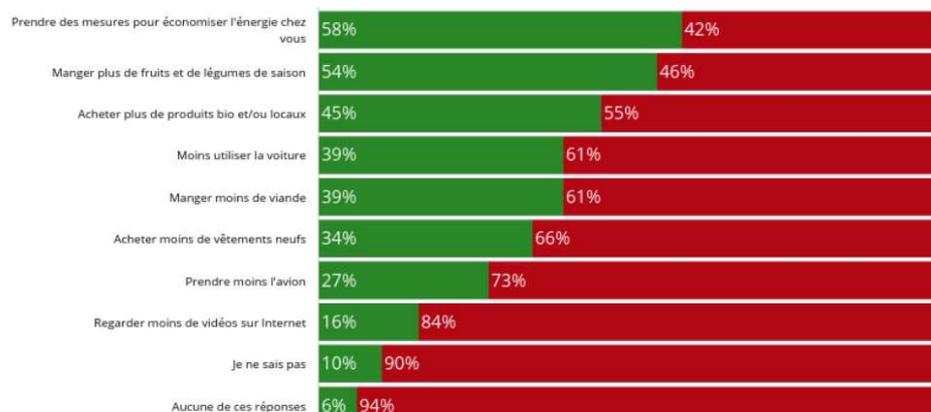


Figure 30 : Réponse à la question « Parmi les mesures suivantes, lesquelles seriez-vous personnellement prêt-e à prendre en faveur de l'environnement » trois réponses possibles à cocher par les répondants¹⁴¹

Les changements de comportements individuels peuvent rester marginaux pour plusieurs raisons, détaillées dans les parties ci-après. On retiendra cependant :

- L'environnement et, à plus forte raison, la sobriété numérique peut rester une préoccupation secondaire par rapport à d'autres enjeux (cf. section 5.4.1.4)
- L'existence d'obstacles culturels et injonctions contradictoires à la sobriété numérique (cf. section 5.4.2)
- L'existence d'obstacles pratiques indépendants des pratiques de l'utilisateur (cf. section 5.4.2)

5.4.1.4. Priorisation des enjeux

La dernière édition en date du Baromètre des représentations sociales de l'effet de serre et du changement climatique de l'ADEME¹⁴² rappelle que l'environnement est la deuxième préoccupation des français après l'emploi. Cependant, même si les français sont largement sensibilisés aux enjeux environnementaux, la priorisation des actions environnementales destinées à limiter l'impact environnemental des citoyens peut faire défaut au quotidien. En effet, en matière d'environnement, les effets de l'absence d'actions sont souvent peu visibles dans l'immédiat, et dilués dans le temps et l'espace¹⁴³.

5.4.1.5. Acceptabilité des usages sobres du numérique

En matière de numérique, l'étude menée par BVA pour Orange montre que si les français étaient prêts à de petits efforts, comme trier leurs mails, l'adoption d'usages sobres du numérique paraît moins

¹⁴¹ Sondage YouGov réalisé en ligne selon la méthode des quotas. Résultats analysés dans le cadre du projet Development Engagement Lab (2019-2024) par le University College London et l'Université de Birmingham. Enquête menée entre le 27 septembre au 10 octobre 2019 auprès d'un échantillon représentatif de 6073 adultes en France in Focus 2030 (2019), Baromètre de la solidarité internationale n°6 – Les français, le climat et l'environnement – Novembre 2019

¹⁴² ADEME, Boy D., RCP Conseil (2020), *Les représentations sociales de l'effet de serre et du changement climatique*, rapport, 256 pages

¹⁴³ Club développement durable (2019), *Accompagner le changement de comportement : guide pratique*, 45 pages 9

acceptable. Comme mentionné en section 5.4.1.2, les français ne seraient que 29% à accepter un débit plus lent.

En effet, les représentations sociales (idées, croyances partagées par un groupe social) sont nécessaires pour le passage à l'acte, et donc pour l'adoption d'usages sobres du numérique. Or, s'agissant de la protection de l'environnement, certaines représentations sociales, comme la réussite matérielle, peuvent s'inscrire en faux par rapport aux actions de protection de l'environnement. La dissonance cognitive induite par ce « green gap », contradiction entre l'injonction environnementale et les autres valeurs, peut aboutir soit à un changement de comportement, soit à un changement de discours permettant de justifier l'absence d'action¹⁴⁴.

5.4.2. Limites aux possibilités d'actions au niveau individuel :

5.4.2.1. Economie du numérique et de l'attention :

Il existe également des limites plus systémiques qui freinent l'action individuelle et la transition vers des usages plus sobres du numérique. On évoque ici la notion d'« économie de l'attention » qui met en lumière la façon dont la construction de l'offre en termes de contenu numérique est basée sur l'attention du consommateur et sur sa capacité à pouvoir absorber un maximum de données en des temps toujours plus court. Yves Citton, chercheur au CNRS, parle d'une nouvelle rareté qui se situe du côté de la réception des biens culturels, et non plus seulement du côté de leur production, alors que l'économie traditionnelle se définit par l'optimisation de la production des biens à partir de ressources limitées.

Tout l'enjeu aujourd'hui pour les créateurs de contenus d'une part et les plateformes de contenus d'autre part, est d'attirer l'attention d'un public submergé de propositions attrayantes et souvent gratuites. D'après le *rapport du Shift Project*, c'est ainsi qu'apparaissent les designs dits addictifs. Ils désignent et regroupent les techniques de conception des outils numériques (plateformes etc.) permettant de :

- **capter l'attention de l'utilisateur** le plus efficacement possible (autoplay, vidéos incrustées, publicités, pop-up, etc.)
- puis de la **conserver le plus longtemps possible** (autoplay des vidéos suivantes, suppression des génériques de début et de fin dans les épisodes de séries, aperçu automatique des vidéos avant même leur lancement, scrolling ininterrompu, réactualisation automatique du fil d'actualité au moment où l'utilisateur s'apprête à quitter le réseau social, etc.).

Cette recherche de l'attention est causée par le fait qu'aujourd'hui une grande partie des acteurs du numérique ont fondé **leur modèle économique sur la publicité et la vente de données**¹⁴⁵ : retenir l'attention, créer de l'engagement, promouvoir des produits et des contenus, capter des données utilisateurs, vendre des profils utilisateurs pour mieux cibler la vente de produits et de contenus, vendre de l'espace publicitaire. Tous ces mécanismes tendent à monopoliser l'attention des usagers et à faciliter une consommation immodérée tout en repoussant les limites physiques de l'attention humaine¹⁴⁶.

¹⁴⁴ Club développement durable (2019), *Accompagner le changement de comportement : guide pratique*, 45 pages

¹⁴⁵ Roussilhe, G. (2020), *Situer le numérique*, 252 pages

¹⁴⁶ Deloitte (2018), *Meet the MilleXZials: Generational Lines Blur as Media Consumption for Gen X, Millennials and Gen Z Converge*, Deloitte Press Releases

Focus sur le streaming vidéo

Un exemple également cité par *Gauthier Rousilhe* illustre bien cette tendance à repousser les limites de l'attention : Certaines plateformes de streaming ont créé des incitations pour augmenter la consommation de vidéo avec des principes de **recommandation, de personnalisation des contenus et de lecture automatique de la vidéo suivante**. Ces incitations modifient des comportements usuels du divertissement : d'après une étude de Deloitte, 70% des américains regardent en moyenne cinq épisodes par "séance de visionnage". Le modèle économique de ces géants du numérique pousse à la consommation croissante de vidéos. De fait, l'infrastructure est conçue pour livrer des fichiers très lourds le plus rapidement possible et le design d'expérience est pensé pour augmenter la consommation des vidéos le plus rapidement possible. Dans ce scénario, **la dernière barrière incompressible est en effet le sommeil**, pas l'énergie nécessaire au transfert des vidéos ou l'impact sur les réseaux¹⁴⁵.

5.4.2.2. Consommation de données partiellement indépendantes des usagers :

Dans l'étude de Hazas¹⁴⁷, pourtant, tout le trafic n'est pas aussi directement associé à des services liés à l'attention, et donc à des modèles d'utilisation du temps. Les mises à jour de logiciels constituent une forme de demande automatique de données sur Internet. Celles-ci représentent actuellement environ 6% du trafic de téléchargement, et même jusqu'à 10% si l'on inclut les téléchargements et les mises à jour de jeux vidéo. En effet dans cette étude, il est cité plusieurs phénomènes qui donnent lieu à des consommations ne dépendant pas de l'utilisation active par les usagers. On peut citer par exemple :

- Les mises à jour d'applications et du système d'exploitation (900 Mo ou 5 % de leur trafic global pour l'iPad dans un cas de l'étude)
- La sauvegarde de données des applications et des contenus multimédias dans le cloud (2,25 Go/semaine ou 71 % de la demande de données pour la synchronisation dans le cloud des photos et des vidéos dans un cas de l'étude).

Selon CISCO¹⁴⁸, la communication de machine à machine – M2M- va plus que doubler (x2,4) entre 2017 et 2022 pour représenter 6% de du trafic IP global d'ici 2022. Cette communication M2M comprend notamment le secteur de la maison connectée, du travail en réseau (*connected work*), de la maison connectée (domotique, sécurité domestique et vidéosurveillance, électroménager connecté et applications de suivi), de la voiture connectée... voir Figure 31.

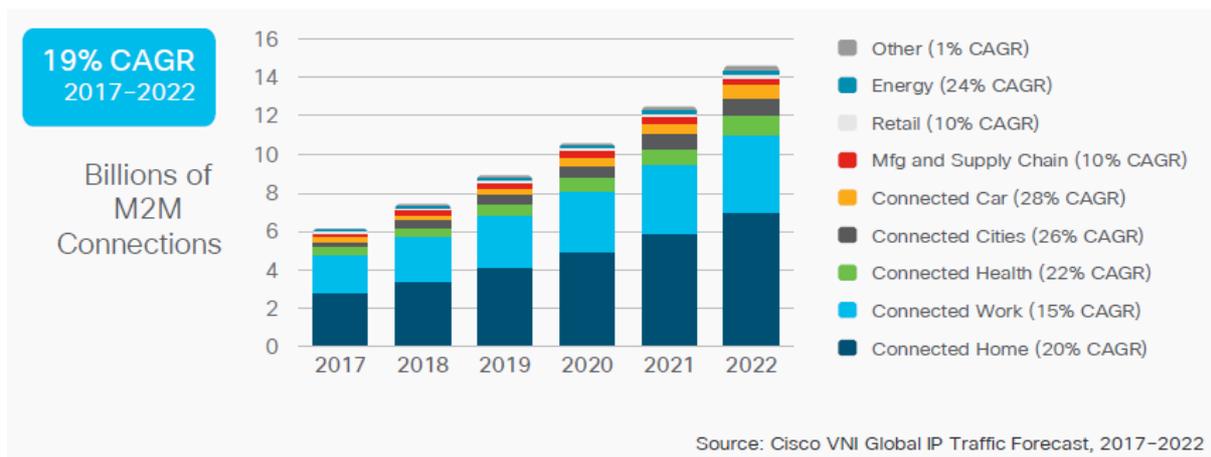


Figure 31 : Croissance par secteur du nombre de connexions M2M au niveau mondial¹²⁹

Hazas évoque une part de 45% du trafic internet mondial¹⁴⁷, avec une dépendance supplémentaire à l'égard du téléchargement et du traitement des données dans le cloud. Cela soulève des questions quant à savoir si, et quels types de limites il peut y avoir aux cycles auto-consommateurs de données. Si ces

¹⁴⁷ Hazas, M. et al. (2016), *Are there limits to growth in data traffic?: On time use, data generation and speed*, ResearchGate, 6 pages

¹⁴⁸ CISCO (2019), *Cisco Visual Networking Index: Forecasts and Trends 2017-2022*, 38 pages

cycles sont largement automatisés et fonctionnent sans tenir compte du cadre temporel associé aux activités humaines, alors les limites mêmes de l'attention humaine et de son besoin de sommeil seront remis en cause.

S'agissant des émissions de GES en général (et non seulement celles liées au numérique), ces limites systématiques aux actions environnementales individuelles sont soulignées dans une étude publiée par le cabinet Carbone 4. L'étude, qui a pour périmètre l'ensemble des émissions personnelles et non pas uniquement celles liées au numérique, a conclu que « *même avec un comportement individuel proprement héroïque, c'est-à-dire l'activation quotidienne et sans concession [des leviers identifiés dans l'étude], un Français ne peut espérer réduire son empreinte de plus de 2,8 tonnes par an, soit environ 25% de l'empreinte carbone annuelle.* »¹⁴⁹, soulignant ainsi les limites à l'efficacité des usages sobres individuels induits par le système socio-technique. Un même constat peut donc s'appliquer également au numérique pour les consommateurs qui adoptent la sobriété.

5.5. Leviers d'action :

5.5.1. Sensibilisation :

Lorsqu'il s'agit d'inciter au changement et de modifier les usages dans le cadre d'une sobriété choisie, le premier levier d'action identifié est bien sûr **la sensibilisation des usagers**. En effet, sans sensibilisation, aucun passage à l'action ne peut être initié. Il est donc crucial pour les usagers de connaître l'impact de l'usage de leurs équipements numériques. Des **campagnes de communication** multiples existent en France sur le sujet (ADEME, Face cachée du numérique) et beaucoup d'acteurs notamment associatifs s'engagent désormais sur cette question (La Fresque du Numérique par exemple) afin de permettre au grand public de mieux appréhender son impact.

Le *Baromètre du Numérique 2019* précise d'ailleurs que l'opinion sur le numérique a été renversé entre 2008 et 2018 et que la part de personnes le considérant comme une menace est maintenant supérieure à ceux le considérant comme une opportunité, ce qui démontre un tournant dans la compréhension de son impact.

La sensibilisation reste tout de même aujourd'hui **un levier clé**, étant donné que 45% des Français se considèrent comme n'étant pas suffisamment informés de l'impact des outils numériques sur l'environnement – cf. section 5.4.1. Cela illustre le fait que cette sensibilisation doit être **ciblée** de façon prioritaire **sur les usages à fort impact**.

5.5.2. Conduite du changement :

L'incitation au changement de comportement, et donc le développement d'une sobriété choisie fait face à plusieurs freins psychologiques et sociaux qui impliquent de favoriser la bonne imprégnation de ces nouveaux usages via une conduite du changement adaptée.

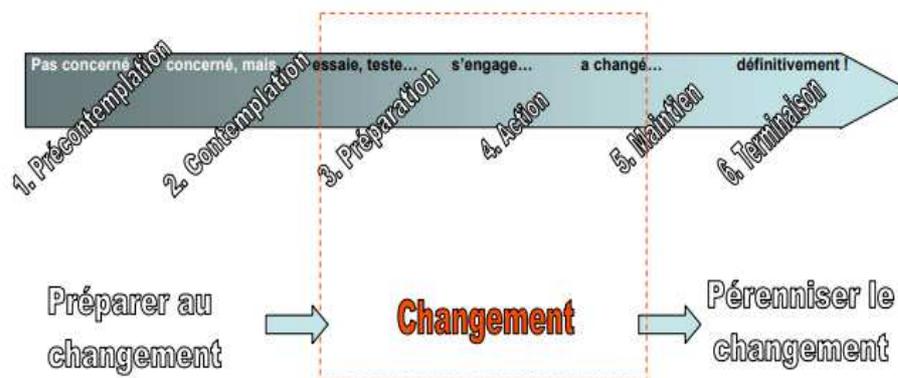


Figure 32 - Schéma des étapes de la conduite du changement¹⁵⁰

¹⁴⁹ Faire sa part ? Pouvoir et responsabilité des individus, des entreprises et de l'état face à l'urgence climatique, Carbone 4, 2019

D'après cette analyse¹⁵⁰, le **libre choix** est aussi une condition essentielle à l'adoption d'une modification de comportement, et plus encore de sa pérennisation. Une personne libre de son choix attribue son acte à ses motivations propres, ses attitudes ou ses opinions, et se voit engagée par son acte. À l'inverse, une personne contrainte ou ayant un bénéfice direct s'il réalise l'acte, attribue son acte à la situation et n'est pas engagé par son acte. A terme, le but est d'inclure ces pratiques dans la routine initiale qui deviendront à leur tour des automatismes.

Dans toute conduite du changement, et encore plus pour amener les consommateurs à aller vers des biens et des pratiques durables, la question de la **représentation** est aussi cruciale. En effet, selon les principes fondamentaux de la communication publicitaire, posséder un objet, ou agir d'une façon particulière revient à se **représenter socialement comme appartenant à un groupe**. Les publicités peignent par exemple un récit au consommateur, qui se projette dans sa possession. Les comportements durables peuvent être « vendus » de la même manière, s'ils sont attractifs, désirables et permettent au collaborateur de se projeter en tant qu'acteur d'un mouvement ample et bienveillant.

Quand un usager est sensibilisé aux questions d'impact environnemental de son comportement, le faire passer à l'action en changeant ses habitudes non durables pour des comportements plus sobres doit être le cœur d'une démarche où il est également nécessaire:

- **D'inhiber l'habitude**, c'est-à-dire prendre conscience des automatismes cognitifs (laisser l'eau couler) et renverser la force de l'habitude.
- **De rendre les actions concrètes**, les comportements durables doivent s'insérer dans les pratiques existantes, et ne doivent pas augmenter le niveau d'attention requis pour une même fonctionnalité.
- **Fournir les raisons d'essayer** : il faut agir sur l'attitude (je trie parce que j'ai envie de trier), les normes sociales (les autres approuvent que je trie) et le contrôle perçu, également appelé le sentiment d'auto-efficacité (je suis capable de bien trier).
- Favoriser le passage à l'acte en **rendant accessible les outils** des comportements durables.

Enfin, la pérennisation de l'action doit faire partie d'une démarche de changement des comportements dès que l'on veut installer de nouveaux comportements plus sobres de façon durable et créer de nouvelles habitudes qui incluent ces usages modérés. Il convient alors de :

- **Engager progressivement**. Selon le principe du « pied dans la porte », il faut demander peu avant de demander plus.
- **Engager explicitement**. L'appel à la protection de la nature ne suffit pas à l'adoption de comportements concrets. Il faut des exemples précis, des objectifs clairs, des actions illustrées.
- **Engager à la répétition**. La continuité, la projection sur le long terme et la mémoire sont des facteurs importants de l'engagement.
- **Rendre les actions durables publiques**. Un acte valorisé, réalisé publiquement plutôt qu'anonymement, aura beaucoup plus de chance d'être répété. Par exemple, mettre les bacs de tri dans un lieu commun transforme une action banale (jeter un déchet à la poubelle) en un acte civil et responsable (trier consciemment ses déchets par souci éthique).

5.5.3. Incitations financières et bénéfice utilisateur

Les échanges avec le consortium permettent d'identifier deux principaux leviers, les gains financiers et le bénéfice pour l'utilisateur. Ces leviers peuvent être efficaces en particulier pour lever les freins identifiés en section 5.4.2

- **Gains financiers** pour l'utilisateur
 - Développer un « Digital product passport » pour améliorer la confiance des utilisateurs envers le réemploi de terminaux – à l'image d'un contrôle technique
 - Moduler les forfaits pour favoriser financièrement l'utilisation d'équipements reconditionnés
 - Développer des solutions incitatives de collecte pour réemploi et pour recyclage
- Amélioration du **Bénéfice utilisateur** – en réduisant la fréquence de remplacement des terminaux

¹⁵⁰ Accompagner le changement de comportement : guide pratique, Club développement durable, 2019

- Ne pas changer de terminal permet d'éviter une migration des données fastidieuse d'un terminal vers un autre
 - Améliorer la modularité des terminaux pour améliorer la flexibilité d'utilisation, et diminuer la dépendance vis-à-vis des équipementiers. En ce sens, l'indice de réparabilité constitue une indication de l'autonomie de l'utilisateur.
 - Favoriser l'ouverture des API permettant de dissocier services et équipement, et favoriser les équipements neutres/ouverts
- Proposer des garanties commerciales pour les produits reconditionnés d'une durée égale à celle de la garantie légale des équipements neufs (actuellement de 2 ans).

5.6. Scénarisation

L'exercice de prospective énergie-ressources de l'ADEME a permis d'établir quatre scénarios prospectif (et un scénario tendanciel), associés à une évolution des usages du numérique d'une part, et à l'évolution des modes de vie d'autre part – cf. Tableau 12.

Tableau 12 : Scénarios de prospective énergie-ressources de l'ADEME

NOM DU SCENARIO	DESCRIPTION SCENARIOS : DEVELOPPEMENT NUMERIQUE	DES DU	DESCRIPTION SCENARIOS : MODES DE VIE	DESCRIPTION DES SCENARIOS PAR L'ADEME
TENDANCIEL	Multiplication IoT, stabilisation de la durée de vie des équipements et « individualisation » des services		Vieillessement, difficultés économiques, place identitaire de la consommation, conscience écologique. Niveau d'éducation général en hausse	Poursuite des tendances à l'œuvre. Prise en compte des mesures citées si elles sont accompagnées de moyens.
SOBRIETE ET TERRITORIALISATION DANS L'URGENCE	Nouveaux usages du numérique, plus de collaboratif et au service de la mutualisation		Frugalité, Préférence pour le local, Transparence, Recherche de sens	<p>La sobriété numérique est poussée par tous les acteurs de la société, à la fois sur la consommation de données et sur les équipements</p> <p>Les loisirs numériques sont limités à un usage « sobre », sans excès sur les quantités consommées</p> <p>Conception réfléchie autour de la notion de connaissance du besoin, adoption d'innovations « low tech »</p>
SOUTENABILITE, REEQUILIBRAGE TERRITORIAL ET COOPERATION	Numérique au service des nouveaux modèles économiques et de l'innovation		Redistribution Evolution plus soutenable des modes de vie, Recherche de l'accès plutôt que la propriété des objets	<p>Optimisation matérielle, équipements choisis en fonction des besoins (recherche d'efficience)</p> <p>Maillage territorial important nécessitant des équipements et infrastructures développées, impliquant l'utilisation de ressources / émissions GES lors de la fabrication de ces équipements, en partie compensée par l'utilisation de matériaux recyclés</p>

TECHNO PUSH ET METROPOLISATION

Déploiement numérique dans une logique d'optimisation

Consumérisme vert, Société connectée

Le matériel (capteurs, terminaux...) est très utilisé et implémenté dans tous les services (avènement des smart grids, smart cities et de l'IOT à grande échelle) et domiciles (smart home), maintenance et upgrade matériel important.

Une recherche de qualité et de performance limite le suréquipement.

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.

PARI TECHNIQUE POUR PRESERVER LES MODES DE VIE MODERNES

Internet des objets, big data, robotisation

Diffusion modèle de consommation individuelle de masse

Pour les ménages : multiplication des objets connectés, des écrans, intégration de services connectés dans les véhicules ; 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, suréquipement fréquent.

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). 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.

Les résultats de cette partie de l'étude permettent d'attribuer aux scénarios existants deux principaux paramètres :

- les tendances d'usages du numérique : dans quelle mesure les cas d'usage du numérique (autrement dit le nombre d'activités du quotidien nécessitant le recours à des outils numériques) se multiplient-ils ? le volume de données consommées par les utilisateurs croît-il ?
- L'adoption d'usages du numérique sobres : dans quelle mesure des pratiques de sobriété numérique se diffusent-elles dans la société ?

La manière dont ces deux paramètres évoluent selon les cinq scénarios décrits en Tableau 12 est présentée en Tableau 13.

Tableau 13 : adoption de la sobriété numérique selon les cinq scénarios de prospective énergie ressource développés par l'ADEME

Paramètres Scénarios ADEME	Tendances d'usage du numérique	Adoption d'usages sobres
Tendancier	+ (Suivi des prospections basées sur la consommation actuelle, avec effet rebond significatif)	- (Pas de changement des comportements)
Sobriété et territorialisation dans l'urgence	-- Décroissance des usages très consommateurs de données (par ex. streaming video). Arrêt du développement de nouveaux usages	+++ <ul style="list-style-type: none"> • Sensibilisation efficace, prise de conscience collective, et adoption de tous les usages sobres par les particuliers. • Allongement de la durée de vie des équipement, adoption d'usages peu consommateurs de données
Soutenabilité, rééquilibrage territorial et coopération	- Arrêt du développement de nouveaux usages très consommateurs (streaming, IoT, cloud gaming, etc.)	+ <ul style="list-style-type: none"> • Sensibilisation efficace, prise de conscience collective, et adoption de certains usages sobres (notamment sur l'allongement de la durée de vie des équipements et le recours au reconditionné) par les particuliers. • Allongement de la durée de vie des équipement, adoption d'usages peu consommateurs de données.
Techno push et métropolisation	+ Développement modéré de nouveaux usages très consommateurs (streaming, IoT, cloud gaming, etc.)	- <ul style="list-style-type: none"> • Pas de sensibilisation et d'adoption d'usages sobres du numérique, sauf ceux permettant un gain financier ou un bénéfice utilisateur. • Certaines mesures promouvant l'ecodesign des équipements

		permet de limiter la consommation de données et les émissions liées à la fabrication.
Pari technique pour préserver les modes de vie modernes	<p style="text-align: center;">++</p> <p>Développement fort de nouveaux usages très consommateurs (streaming, IoT, cloud gaming, etc.)</p>	<p style="text-align: center;">--</p> <p>Pas de sensibilisation et d'adoption d'usages sobres du numérique.</p> <p>Absence de mesures promouvant la hausse de la durée de vie des terminaux et la réduction de la consommation de données</p>

6. Ressorts techniques - Efficacité énergétique

6.1. Description de l'étude et de ses objectifs

Dans cette section, les développements actuels et attendus de l'efficacité énergétique des équipements TIC seront mis en regard de la multiplication attendue de ces équipements.

Un potentiel de réduction de consommation énergétique associé à l'efficacité énergétique et aux évolutions technologiques des équipements sera également calculé, en tenant compte de différents paramètres et scénarios de consommation (taux de renouvellement du parc d'équipements, consommation en données, etc.), ainsi que des sources de données disponibles.

6.2. Méthodologie adoptée

6.2.1. **Screening des équipements étudiés**

Les équipements TIC peuvent être regroupés en trois briques, définis dans la partie 3, p.46 :

- **Les terminaux utilisateurs** : tels que les ordinateurs, smartphones ou téléviseurs, etc. Ces dix dernières années, les terminaux se sont grandement diversifiés. Pour tenir compte des différentes sphères de consommation, une distinction entre terminaux à usage personnel et professionnel a été réalisée.
- **Les réseaux** : l'étude porte sur les différentes composantes des réseaux en France, distinguant, selon les données disponibles, les quatre générations de réseaux mobiles (2G, 3G, 4G et 5G) au sein du Radio Access Network - RAN, les box internet, et le réseau d'accès fixe - FAN.
- **Les centres de données (datacenters)** : ce sont des lieux où sont effectués des services de stockage et de traitement de données, reliant les utilisateurs par le réseau numérique. Ils peuvent être segmentés selon la surface de leur salle IT et le type d'organisme propriétaire.

6.2.2. **Construction de scénarios d'évolution d'efficacité énergétique**

Nous avons effectué un état de l'art des publications réalisant des estimations, quantitatives ou qualitatives, à l'échelle française, européenne ou mondiale, de l'évolution de l'efficacité énergétique ainsi que des leviers et freins l'influençant.

Certaines sources de données proposent également différents scénarios d'évolution de cette efficacité énergétique et reflètent la vitesse avec laquelle la réglementation ou la pression des parties prenantes permettent l'application des avancées technologiques attendues.

La segmentation finale a été réalisée en fonction des données disponibles.

6.2.3. **Evaluation des potentiels de réduction de consommation énergétique en fonction de différents paramètres**

Au-delà de l'efficacité énergétique, certains rapports proposent d'inclure des paramètres qui permettent de quantifier l'évolution de la consommation énergétique des trois briques TIC mentionnées ci-dessus, tels que :

- Le **trafic de données** : « volumes » numériques (trafic réseau, trafic des centres de données) échangés ;

- Evolution du **parc actif des équipements** : calculé à partir du volume d'achat et de la durée d'utilisation des équipements considérés ;
- La **démographie** ;
- Les **réglementations** ;
- La **saturation** des infrastructures technologiques ;
- Le principe de **sobriété**, défini dans la partie 5;
- Le **déploiement de nouvelles technologies** de réseaux mobiles.

Ainsi, pour une brique d'équipement donnée, plusieurs sources de données ont parfois été utilisées. Une homogénéisation des périmètres des études n'est pas toujours possible, car chacune présente sa propre segmentation, sélection de paramètres, de scénarios, de périmètre géographique et temporel. Dans la mesure du possible, un scénario tendanciel a été identifié pour les sources les plus exhaustives.

La modélisation réalisée dans cette partie a été fixée pour la période de 2020 à 2030. En effet, les études complètes allant au-delà de cet horizon temporel sont rares. Pour ces quelques exceptions, une large incertitude des résultats est soulignée par leurs auteurs quant à la projection au long terme et à l'interprétation de cette projection.

Aussi, afin de tenir compte de l'effet de parc (consommation lié à la quantité d'équipements) de la consommation énergétique, certains équipements ont été écartés de l'étude, par manque d'information sur la quantification de leur parc actif à date ou dans le temps. C'est le cas des enceintes connectées, ou des disques HDD externes par exemple (cf. liste en section 6.4.1).

Enfin, l'état de l'art réalisé a permis de relever des pourcentages de croissance annuelle de la consommation énergétique, appliqués pour faire varier les données de consommation énergétique des équipements à date (2020). Ces valeurs chiffrées proviennent des travaux récents réalisés par APL Datacenter et Bureau Veritas.

6.3. Limites de l'étude

6.3.1. Limites méthodologiques générales

D'une part et comme indiqué dans la partie 4.2.4, la quantification des **effets rebonds** est complexe. Cette étude étant fondée sur un état de l'art des données disponibles, et ces dernières ne tenant pas compte de l'effet rebond pour les terminaux et centres de données, notre modèle ne l'a également pas inclus.

D'autre part, du fait du **manque de données** pour la brique centres de données, la consommation de l'ensemble des équipements a été considérée, plutôt que les équipements les plus consommateurs.

En outre, la diversité des sources de données utilisées **ne permet pas de disposer de scénarios homogènes** pour comparer les prospectives modélisées des trois briques.

Enfin, par manque de données ou défaut de leur robustesse, **l'horizon temporel n'a pu être étendu au-delà de 2030** (cf. ci-dessus).

6.3.2. Limites des sources de données associées à la brique Terminaux

D'une part, la **correspondance entre les segmentations** des différentes sources n'est pas totale. Les données des équipements IoT sont par exemple des valeurs de consommation à l'échelle mondiale adaptées au territoire français.

D'autre part, **certaines hypothèses émises sont critiquables**, telle que celle d'une **croissance annuelle constante** pour les terminaux utilisateurs et la box internet ou d'une **croissance annuelle similaire** pour les usages personnels et professionnels.

Aussi, les **consommations énergétiques calculées à 2030 sont plus importantes que celles calculées par d'autres structures** ayant réalisées des projections similaires¹⁶⁶. Cela peut être expliqué notamment par des chiffres de consommation énergétique en 2020 fournis par le Consortium relativement élevés.

6.3.3. Limites des sources de données associées à la brique Réseaux

L'utilisation de différentes sources de données pour estimer la consommation énergétique des différents éléments de réseau **ne permet pas toujours la comparaison de ces éléments entre eux** (par exemple les box internet et les réseaux mobiles).

6.3.4. Limites des sources de données associées à la brique Centres de données

Par manque de données, les données de consommation énergétiques des data centers à échelle française n'ont pas pu être réutilisées pour estimer cette consommation en 2030. Les études présentées détaillent la consommation énergétique des datacenters au niveau mondial (jusqu'en 2030), et au niveau européen (jusqu'en 2025). *Les données permettant une comparaison et une projection plus pertinente seront détaillées dans les rapports suivants de cette étude.*

6.4. Segmentation et sélection des équipements

Cette partie présente la segmentation retenue et la sélection effectuée pour chaque brique : terminaux utilisateurs (section 6.4.1), réseaux (section 6.5.2) et datacenters (section 6.4.3).

6.4.1. Terminaux utilisateurs

La première brique est celle des Terminaux utilisateurs, pour laquelle la segmentation est représentée dans le Tableau 14.

Tableau 14 - Segmentation des équipements de la brique Terminaux utilisateurs retenus pour l'étude

EQUIPEMENT	TYPE D'USAGE	PROPORTION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE EN 2020 REPRESENTEE PAR CET EQUIPEMENT AU SEIN DE LA BRIQUE	CONSOMMATION ENERGETIQUE MOYENNE EN 2020 (TWH /AN)	SOURCE DE DONNEES EFFICACITE ENERGETIQUE – CF. SECTION 6.5.1
------------	--------------	---	--	--

TELEVISEURS	Personnel	16%	7,7	RTE, 2019 ¹⁵¹
ORDINATEURS PORTABLES	Personnel	5%	2,4	Etude USES, ADEME, 2021 ¹⁵²
ORDINATEURS FIXES ¹⁵³	Personnel	6%	3,1	Etude USES, ADEME, 2021 ¹⁵²
BOX TV	Personnel	2%	0,8	RTE, 2019 ¹⁵¹
CONSOLES DE JEUX VIDEO DE SALON	Personnel	1%	0,7	RTE, 2019 ¹⁵¹
ECRAN D'ORDINATEUR	Personnel	0,4%	0,4	Etude USES, ADEME, 2021 ¹⁵²
TABLETTES	Personnel	0,2%	0,2	Etude USES, ADEME, 2021 ¹⁵²
SMARTPHONES	Personnel	3%	1,4	RTE, 2019 ¹⁵¹
TELEPHONES FIXES	Personnel	0,2%	0,1	RTE, 2019 ¹⁵¹
VIDEO-PROJECTEURS	Personnel	0,4%	0,2	Etude USES, ADEME, 2021 ¹⁵²
IOT	Personnel	2%	2,0	Données adaptées du modèle TEM de l'EDNA, 2021 ¹⁵⁴
ORDINATEURS FIXES ¹⁵³	Professionnel	37%	18,1	Etude USES, ADEME, 2021 ¹⁵²
VIDEO-PROJECTEURS	Professionnel	1%	0,5	Etude USES, ADEME, 2021 ¹⁵²

¹⁵¹ RTE (2019), *Les usages spécifiques dans le secteur résidentiel*, Groupe de travail, 67 pages

¹⁵² Il s'agit d'une étude conduite en 2021 par l'ADEME qui réalise pour certains terminaux utilisateurs à usage personnel une prospective à 2030 de la consommation énergétique en France de ces équipements, en tenant notamment compte de l'évolution de leur parc.

¹⁵³ Qui comprend ici l'unité centrale de l'ordinateur.

¹⁵⁴ EDNA (2021), Total Energy Model 2.0

ORDINATEURS PORTABLES	Professionnel	2%	0,9	Etude USES, ADEME, 2021 ¹⁵²
TELEPHONES FIXES	Professionnel	0,3%	0,1	RTE, 2019 ¹⁵¹
ECRAN D'ORDINATEUR	Professionnel	9%	4,6	Etude USES, ADEME, 2021 ¹⁵²
TABLETTES	Professionnel	0,03%	0,03	Etude USES, ADEME, 2021 ¹⁵²
IOT	Professionnel	7%	2,0	Données adaptées du modèle TEM de l'EDNA, 2021 ¹⁵⁴

Les données disponibles permettent d'évaluer l'efficacité énergétique et la consommation énergétique du parc d'équipement à 2030 pour les terminaux identifiés en Tableau 14. Cette sélection couvre **89% de la consommation énergétique totale des terminaux utilisateurs initialement identifiés**. Elle apparaît donc suffisante pour donner un aperçu des consommations énergétiques totales des terminaux utilisateurs à 2030.

Dans le cas des usages personnels, certains terminaux utilisateurs identifiés par APL Datacenter et Bureau Veritas ont été écartés de l'étude par manque de données spécifiques relatives à l'évolution de leur parc et de leur consommation énergétique, notamment :

- Consoles de jeux vidéo portable ;
- HDD externes ;
- Enceintes connectées.

Au sein de la catégorie des usages professionnels, les terminaux suivants ont été écartés, pour la même raison que précédemment :

- Ecrans publicitaires ;
- Stations d'accueil.

6.4.2. Réseaux

La segmentation de la brique Réseaux figure dans le Tableau 15. Celle-ci se compose schématiquement d'une partie cœur (*core network*), d'un réseau d'accès fixe (*fixed access network* - FAN) et d'un réseau d'accès radio (radio access network - RAN) comportant notamment les réseaux mobiles¹⁵⁵. – voir Tableau 16 ci-dessous. Une typologie plus fine de la partie réseaux est détaillée en 3.3.3.

Les box internet ont été ajoutées dans cette partie, même si elles ne sont pas incluses dans la partie réseaux dans l'étude Citizing¹⁵⁶, et sont considérées comme des terminaux dans l'étude RTE¹⁵¹. Leur consommation énergétique au niveau européen en 2020 – 14,28 TWh - est similaire à celle des réseaux FAN -17,70 TWh- et RAN – 10,50 TWh - dans l'étude « ICT Impact Study » menée pour la Commission¹⁶⁶.

¹⁵⁵ Energy Consult (2019), *Intelligent Efficiency for Data Centres and Wide Area Networks*, 76 pages

Tableau 15 - Segmentation des équipements de la brique Réseaux retenus pour l'étude

EQUIPEMENT	COMMENTAIRE	SOURCES DE DONNEES
RESEAUX MOBILES 2G, 3G, 4G ET 5G	Des valeurs de consommations énergétiques par site, et non pas par parc, ont été estimées par les auteurs du rapport, à l'exception de la 5G pour laquelle une consommation énergétique a été évaluée pour l'année 2020. Une projection commune est proposée par les auteurs du rapport regroupant les quatre générations de réseaux mobiles.	Haut Conseil pour le Climat & Citizing, 2020 ¹⁵⁶
RESEAUX FILAIRES	Une projection est proposée par les auteurs du rapport comportant non seulement les réseaux d'accès filaires (FAN), mais aussi le cœur de réseau (<i>core network</i>), le réseau de collecte et les bornes WiFi.	
BOX INTERNET	-	RTE, 2019 ¹⁵¹

Concernant cette brique, des valeurs de consommations énergétiques par site pour chaque génération de réseau mobile sont renseignées par le rapport du Haut Conseil pour le Climat¹⁵⁶, mais le nombre de sites n'est pas fourni pour chaque génération de réseau mobile. Elles ne permettent donc pas de calculer une consommation relative au parc.

6.4.3. Centres de données

La segmentation des différents centres de données est présentée dans des rapports pour l'AIE¹⁵⁵ et la Commission¹⁶⁶,

Dans le premier cas¹⁵⁵, la segmentation figure ci-dessous dans le Tableau 16.

¹⁵⁶ _De Brux, J., Ferreboeuf, H., Guillet, L. & Laly, C-E. (2020), *Rapport- Déploiement de la 5G en France : quel impact sur la consommation d'énergie et l'empreinte carbone*, Sénat citizing, Haut conseil pour le climat, 105 pages

Tableau 16 : Catégorisation du modèle énergétique pour les « briques » DC et WAN

	Legacy/Traditional	Modern	Next Generation
Core WAN	PSTN core, metro and backhaul	Fibre optic	SDN, NFV
RAN	2G, 3G networks	4G networks	5G networks
FAN	ADSL	VDSL, cable, PON	XG PON
DC ICT	Small data centres, low virtualisation ratios	Cloud, highly virtualised	Fog, heterogeneous, MEC
DC Infrastructure	Low efficiency, poor proportionality	DCIM, efficient	Highly efficient, very proportional

Dans le cas du rapport EU ICT¹⁶⁶, les datacenters sont segmentés en trois catégories : *Traditional data centre servers*, *Cloud (non-hyperscale) servers*, *Hyperscale servers*. Les datacenters sont également segmentés en 4 parties :

- Réseau : routeurs et switches ;
- Stockage : « un système de stockage totalement fonctionnel qui fournit des services de stockage de données à des clients et à des dispositifs qui lui sont reliés directement ou à travers un réseau »¹⁵⁷ ;
- Serveur : « un produit informatique qui fournit des services et gère des ressources en réseau pour des dispositifs clients »¹⁵⁷ ;
- Refroidissement etc. : autres fonctions, dont celle de refroidissement pour maintenir les centres de données à température de fonctionnement.

Enfin, la segmentation retenue par le consortium pour la brique des Centres de données (abrégé sous l'acronyme DC, pour *data center* en anglais) est rappelée dans le Tableau 17, mais non utilisée dans la section 6.6, par manque de données.

Tableau 17 - Segmentation des équipements de la brique Centres de données retenus pour l'étude

TYPE DE DC	DEFINITION ¹⁵⁸	COMMENTAIRE	SOURCE DE DONNEES
COLLECTIVITES	Appartenant à des conseils régionaux, départementaux, SDIS, COMUE, Agglomérations, - Mairies de plus de 30 000 habitants, CHRU et CHU		APL Datacenter et ADEME, 2021 Erreur ! Signet non défini.

¹⁵⁷ Règlement (UE) 2019/424 de la Commission du 15 mars 2019 établissant des exigences d'écoconception applicables aux serveurs et aux produits de stockage de données

¹⁵⁸ Définitions fournies par APL Datacenter

ENTREPRISES (HORS ESN)	Entreprises n'appartenant pas aux Services du Numérique, comprenant petites et moyennes entreprises (PME), entreprises de taille intermédiaire (ETI) et grandes entreprises (GE)	Ne tient pas compte des micro-entreprises dont les salles IT sont en externe	APL Datacenter et ADEME, 2021 Erreur ! Signet non défini.
ENTREPRISES (ESN)	Entreprises du Services du Numérique, comprenant des microentreprises (MIC), petites et moyennes entreprises (PME), entreprises de taille intermédiaire (ETI) et grandes entreprises (GE)	-	APL Datacenter et ADEME, 2021 Erreur ! Signet non défini.
INSTITUTION/ETAT	Appartenant aux Ministères, à des entreprises publiques ou à des organismes divers d'administration centrale	-	APL Datacenter et ADEME, 2021 Erreur ! Signet non défini.
COLOCATION (SALLE IT < 2500 M2)	Centres de données commerciaux hébergeant les équipements IT d'organismes, avec une salle informatique de superficie inférieure à 2500 m ²	La distinction en superficie a été réalisée pour se rapprocher de la segmentation de la prospective de l'ADEME	APL Datacenter et ADEME, 2021 Erreur ! Signet non défini.
COLOCATION (SALLE IT > 2500 M2)	Centres de données commerciaux hébergeant les équipements IT d'organismes, avec une salle informatique de superficie supérieure à 2500 m ²		APL Datacenter et ADEME, 2021 Erreur ! Signet non défini.
HPC	De l'anglais <i>High Performance Computing</i> , comprend des serveurs équipés d'un nombre conséquent de processeurs pour réaliser une grande quantité de calculs	-	APL Datacenter et ADEME, 2021 Erreur ! Signet non défini.

6.5. Sources de données d'efficacité énergétique et de consommation énergétiques à 2030

6.5.1. Terminaux utilisateurs

Deux sources principales, tirées des travaux de l'ADEME et de RTE, ont été utilisées ici.

S'agissant des terminaux utilisateurs, le rapport de RTE¹⁵¹ propose deux scénarios d'évolution de l'efficacité énergétique :

- **Efficacité médiane** : cette trajectoire correspond à un prolongement des tendances actuelles ;
- **Efficacité haute** : cette trajectoire correspond à une accélération des efforts en matière d'efficacité énergétique, qui se traduit par une part plus importante d'équipements plus performants.

RTE tient également compte dans son calcul de consommation énergétique de :

- L'évolution des **taux d'équipement** ;
- La **durée de vie des équipements** ;
- L'évolution des **classes énergétiques** lorsque cela s'applique. En effet, la performance accrue des équipements correspond notamment, pour certains équipements à leur classe énergétique, calculée dans le cadre de la réglementation européenne en matière d'étiquetage énergétique. C'est le cas des téléviseurs ¹⁵⁹ ;
- L'évolution de la **répartition des ventes** par classe énergétique lorsque cela s'applique ;
- L'évolution **technologique** des équipements lorsque cela s'applique. A titre d'exemple, l'évolution de la taille d'écran des téléviseurs ;
- La **durée d'utilisation** des équipements ;
- L'estimation de la **consommation unitaire** d'un équipement ;
- La **démographie**.

Pour prendre l'exemple des téléviseurs, RTE a regroupé sur un même graphique la contribution des différents paramètres, comme illustré sur la figure suivante :

¹⁵⁹ Cf. Règlement délégué (UE) no 1062/2010 de la Commission du 28 septembre 2010 complétant la directive 2010/30/UE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne l'indication, par voie d'étiquetage, de la consommation d'énergie des téléviseurs.

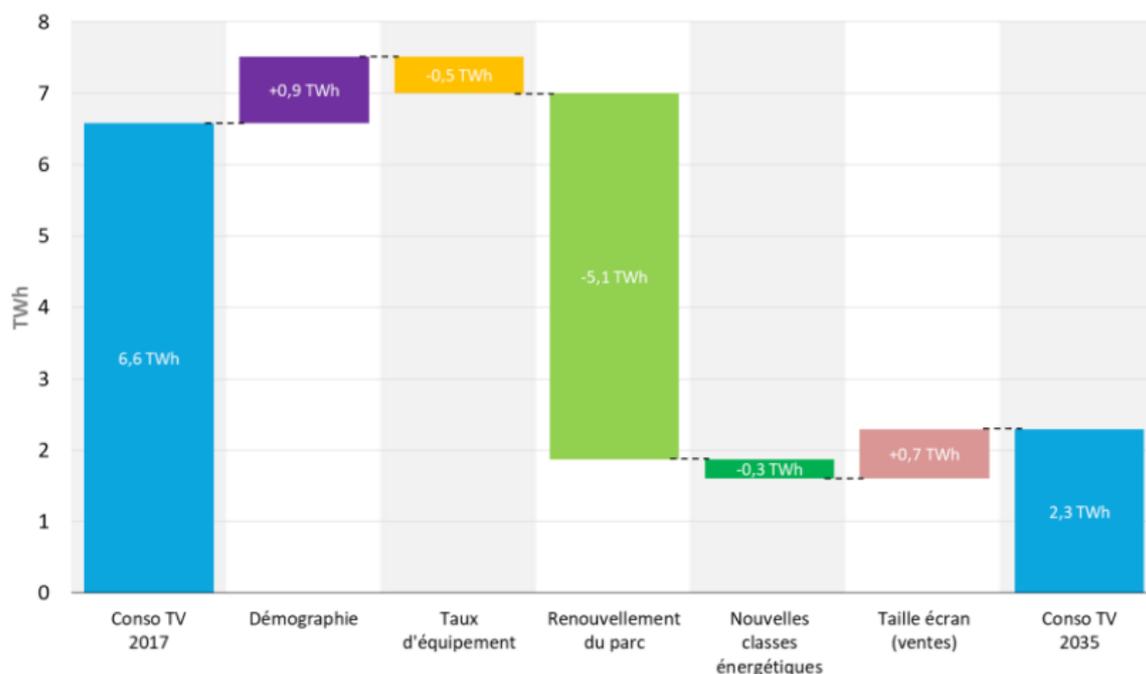


Figure 33- Décomposition de l'évolution de la consommation des téléviseurs entre 2017 et 2035 selon la trajectoire intermédiaire 3, extraite du rapport de RTE

Il en découle une consommation énergétique par parc actif à l'échelle française en 2017 et 2035, déclinée selon 4 scénarios de consommation, définis ci-dessous dans le Tableau 18.

Tableau 18 - Définition des différents scénarios de consommation énergétique selon le rapport de RTE

NOM DU SCENARIO	DEFINITION DU SCENARIO	(ABREVIATION)
TRAJECTOIRE BASSE	Démographie faible et efficacité énergétique médiane	S1
TRAJECTOIRE INTERMEDIAIRE 2	Démographie médiane et efficacité énergétique haute	S2
TRAJECTOIRE INTERMEDIAIRE 3	Démographie médiane et efficacité énergétique médiane	S3
TRAJECTOIRE HAUTE	Démographie haute et efficacité énergétique haute	S4

Toutefois, le rapport RTE ne traitant que des terminaux utilisateurs à **usage personnel**, nous avons émis comme hypothèse que la croissance annuelle de la consommation énergétique pour un équipement à usage personnel donné était similaire à celle du même équipement à usage professionnel.

De même, le solde de produits TIC utilisé par RTE pour estimer la consommation énergétique de nouveaux usages numériques, et prenant en compte notamment la domotique, a servi à estimer la trajectoire d'efficacité énergétique pour le périmètre des équipements de la catégorie « IoT » présentée en section 6.4.1.

D'autre part, la seconde source de données utilisée, l'étude USES de l'ADEME, calcule à horizon 2030 dans un scénario tendanciel l'évolution de la consommation énergétique des terminaux utilisateurs à **usage personnel**. Par manque de données, nous avons émis comme hypothèse que la croissance annuelle de consommation énergétique des équipements à usage professionnel est égale à celle des mêmes équipements à usage personnel.

Enfin, les scénarios d'étude des deux sources utilisées pour les terminaux utilisateurs étant différents, un classement distinct a été réalisé pour les terminaux provenant de la méthodologie de RTE et ceux étudiés dans le projet USES (cf. 6.6.1.2.).

6.5.2. Réseaux

6.5.2.1. Box internet

Comme pour les terminaux utilisateurs, les données relatives aux box internet proviennent du rapport RTE¹⁵¹, dont la présentation figure dans la partie 6.5.1.

6.5.2.2. Réseaux 2G, 3G, 4G et 5G

Les données réseaux couvrant le périmètre temporel fixé ne concernent que les quatre générations de réseaux mobiles 2G, 3G, 4G et 5G. L'évolution de l'ensemble de leur consommation énergétique en France entre 2020 et 2030 a été estimée par le bureau Citizing pour le Haut Conseil pour le Climat¹⁵⁶.

L'objectif de ce rapport est d'estimer l'empreinte énergétique et l'empreinte carbone du déploiement de la 5G en France à horizon 2030, sur la base de la feuille de route définie par l'ARCEP¹⁶⁰. Une méthode différentielle est mise en œuvre, avec deux scénarios principaux (déploiement et non-déploiement) qui interviennent à partir de l'année 2021 dans leur modélisation. Chaque scénario s'appuie sur des sous-scénarios.

La définition précise des scénarios figure dans le Tableau 19.

Tableau 19 - Définition des différents scénarios de consommation énergétique selon le rapport du Haut Conseil pour le Climat

NOM SCENARIO	DU SOUS-SCENARIOS ASSOCIES	DEFINITION DES TRAJECTOIRES	(ABREVIATION)
DEPLOIEMENT DE LA 5G	La vraie 5G pour tous	Déploiement de la 5G sur tout le territoire	S1
	La 5G du cahier des charges de l'ARCEP	Déploiement de la 5G selon une estimation du cahier des charges de l'ARCEP. Le scénario choisi est toutefois majorant par rapport au déploiement envisagé par l'ARCEP, notamment du fait des hypothèses et extrapolations tendanciennes appliquées pour	S2

¹⁶⁰ ARCEP (2018), *5G Une feuille de route ambitieuse pour la France*, 20 pages

		ce sous-scénario, le cahier des charges de l'ARCEP ne permettant pas d'établir un sous-scénario adapté.	
	La 5G sélective	Déploiement de la 5G dans les zones de population denses	S3
NON-DEPLOIEMENT DE LA 5G	Non-déploiement HAUT	Non-déploiement de la 5G mais croissance de données importante	S4
	Non-déploiement BAS	Non-déploiement de la 5G mais croissance de données plus faible	S5

Les scénarios de non-déploiement, comme suggéré par Citizing, peuvent-être considérés comme des scénarios de **sobriété**. En effet, la croissance du trafic n'irait pas à la même vitesse que dans un scénario tendanciel à 2030 car des **contraintes techniques** s'y opposent. Il y aurait de même « une saturation des bandes de fréquences des générations de standards mobiles actuels, à commencer par les zones les plus denses, et d'autre part, une **contrainte économique** de rentabilité des opérateurs qui limiterait la multiplication des sites-opérateurs 4G dans les zones peu denses, ou augmenterait les prix sans amélioration notable de la qualité de service ».

La saturation est définie comme étant « une situation dans laquelle un opérateur exploite l'ensemble des bandes de fréquences dévolues au réseau mobile en question et pour lesquelles il a obtenu les droits, et fait face soit à des pics de demande de débit par les utilisateurs soit à un nombre de connexions qui excèdent les capacités du site-opérateur au point de ne pas pouvoir assurer la qualité de service jusque-là délivrée».

Dans le scénario de Non-déploiement, une utilisation plus intensive du réseau 4G et un report d'une partie du différentiel de trafic mobile vers le fixe sont modélisés.

La consommation électrique d'un réseau est obtenue grâce à la multiplication du nombre de sites-opérateurs composant le réseau, par la consommation électrique moyenne d'un site-opérateur. Il convient de noter ici que la consommation électrique d'un site opérateur 4G est distinguée selon deux types de sites-opérateurs : « 4G – multi générations » et « 4G – seule ». Concernant la 5G, les consommations sont calculées selon 3 bandes de fréquence : 700 MHz, 3,5 GHz et 26 GHz.

Afin de tenir compte de l'**utilisation**, du **trafic de données** et des **gains d'efficacité énergétique** de la 4G, un taux de croissance annuel moyen de consommation électrique par site-opérateur a été appliqué par les auteurs du rapport pour estimer les consommations électriques, notamment selon les différents scénarios et variantes¹⁶¹.

Les projections au niveau mondial du rapport pour l'AIE¹⁷⁶ sont quant à elles notamment basées sur une publication d'Andrae et Edler (2015)¹⁷⁷.

¹⁶¹ En revanche, les hypothèses prises pour obtenir ces taux de croissance annuels moyens (TCAM) ne sont pas explicitées par les auteurs du rapport. Il n'est donc pas possible de discriminer les différentes composantes de ce TCAM, notamment l'efficacité énergétique.

6.5.3. Centres de données

Les données d'efficacité énergétiques utilisées pour les centres de données proviennent des rapports pour l'AIE¹⁵⁵ et la Commission¹⁶⁶. Elles font en particulier référence à :

Pour l'étude de l'AIE¹⁷⁶ : Andrae et Edler (2015)¹⁷⁷, Naffziger et Koomey (2016)¹⁶², EC (2018)¹⁶³ ;

Pour le rapport ICT de la Commission : Masanet et al (2020)¹⁸⁵ Les données de consommation énergétique des centres de données en 2020 sont rappelées dans le Tableau 20, mais ne seront pas utilisées dans la partie 6.6.

Tableau 20 – Données d'entrées de la modélisation relative à la brique Centres de données

TYPE DE CENTRES DE DONNEES	SUPERFICIE DE SALLE IT EN 2020	LA CONSOMMATION ENERGETIQUE IT EN 2020 (TWH)	PUE EN 2020
COLLECTIVITES	< 2500 m ²	0,40	1,93
ENTREPRISES (HORS ESN)	< 2500 m ²	3,06	1,93
ENTREPRISES (ESN)	< 2500 m ²	0,05	1,93
INSTITUTION/ETAT	< 2500 m ²	0,19	1,93
COLOCATION (SALLE IT < 2500 M2)	< 2500 m ²	1,26	1,55
COLOCATION (SALLE IT > 2500 M2)	> 2500 m ²	2,07	1,55
HPC	< 2500 m ²	0,45	1,17

¹⁶² Naffziger, S., and Koomey, J. (2016)), *Energy efficiency of computing: what's next? Electronic Design*.

¹⁶³ European Commission (2018), *Impact Assessment accompanying Implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council*.

6.6. Prospective de consommation énergétique à 2030 par brique

6.6.1. Terminals utilisateurs

6.6.1.1. Paramètres influençant l'efficacité énergétique

Au niveau réglementaire, la consommation énergétique de certains terminaux¹⁶⁴ est définie dans le cadre de la directive ErP¹⁶⁵, par des règlements d'application, et dans certains cas d'accords volontaires (pour les appareils de traitement d'images, décodeurs et consoles de jeu) dans lesquels les industriels du secteur s'engagent à améliorer l'efficacité énergétique de leurs produits, sans y être contraints par la réglementation.

Le rapport RTE¹⁵¹ identifie pour certains équipements utilisateurs à usage personnel les leviers influençant à 2035 l'efficacité énergétique (à travers la puissance de fonctionnement) de ces équipements. C'est le cas des téléviseurs, boîtiers TV et consoles de jeux de salon :

- **Téléviseurs** : la **diminution des puissances en fonctionnement** s'explique entre autres par l'évolution des classes à venir des téléviseurs et en particulier par le remplacement tendanciel des équipements les plus anciens par d'autres équipements aux classes énergétiques supérieures.
- **Boîtiers TV** : l'arrivée d'**équipements plus performants** en termes de consommation d'énergie est envisagée. La différence entre les trajectoires d'efficacité haute et médiane réside dans l'année d'apparition des boîtiers de nouvelle génération.
- **Consoles de jeux de salon** : on envisage l'arrivée sur le marché de **consoles plus économes**. L'économie d'énergie ainsi engendrée est plus ou moins importante selon la trajectoire d'efficacité énergétique décrite. L'étude « ICT Impact Study » menée au niveau européen¹⁶⁶ montre que la baisse attendue de la consommation électrique totale peut être reliée aux exigences relative à l'écoconception des consoles de jeu¹⁶⁷.

Pour l'ensemble des terminaux étudiés par RTE, l'évolution de la puissance de fonctionnement de l'équipement entre 2017 et 2035 est indiquée selon deux scénarios d'efficacité. Le Tableau 21 donne l'exemple des informations fournies pour les ordinateurs portables.

Tableau 21 – Evolution des puissances en fonctionnement, en veille et à l'arrêt des ordinateurs portables en 2017 et 2035, d'après le rapport RTE

TYPE FONCTIONNEMENT	DE PUISSANCE (W)	EN 2017	PUISSANCE EN 2035 EN MEDIANE (W)	EFFICACITE	PUISSANCE EN 2035 EN EFFICACITE HAUTE (W)
------------------------	------------------------	------------	--	------------	---

¹⁶⁴ La liste complète des équipements réglementés par cette directive est disponible sur le site de la Commission Européenne. Voir https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products_fr

¹⁶⁵ Directive 2009/125/CE du 21 octobre 2009 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits liés à l'énergie

¹⁶⁶ VHK, Viegand Maagøe (2020), Assistance to the European Commission - ICT Impact study, rapport final

¹⁶⁷ A noter que le rapport de RTE ne détaille pas l'effet du 'cloud gaming', puisqu'il se concentre sur la partie « terminaux », et non sur les briques DC et réseau. A titre d'exemple, l'étude 'ICT Impact study' ne fait pas de corrélation entre la consommation électrique des consoles de jeu et le jeu en streaming, dont la consommation est incluse dans sa partie DC et réseau.

FONCTIONNEMENT	22	15	13
VEILLE	1,8	0,9	0,5
ARRET	0,8	0	0

6.6.1.2. Evolution de la consommation énergétique

Le rapport RTE ainsi que le projet de l'ADEME USES ne fournissent pas de valeurs de consommation énergétique annuelles. La consommation à 2030 a donc été calculée au moyen d'un taux de croissance annuel moyen, ou CAGR (de l'anglais *Compound Annual Growth Rate*), selon la formule suivante :

$$CAGR(t_0, t_n) = \left(\frac{V(t_n)}{V(t_0)} \right)^{\frac{1}{t_n - t_0}} - 1$$

Où $V(t_0)$ représente la valeur initiale, $V(t_n)$ la valeur finale, et $t_n - t_0$ le nombre d'années.

Ce CAGR a ensuite été appliqué à la consommation énergétique du parc actif à date (2020) fournie par APL Datacenter et Bureau Veritas, de manière à obtenir pour chaque type d'équipement un pourcentage de croissance annuel de la consommation énergétique jusqu'à 2030.

Pour les terminaux utilisateurs, les pourcentages de croissance annuelle de la consommation énergétique déduite des rapport RTE et USES sont représentés respectivement dans les Tableau 22 et Tableau 23.

Tableau 22 – Taux de croissance annuel moyen de la consommation énergétique calculée pour chaque équipement de la brique Terminaux utilisateurs, d'après le rapport de RTE

EQUIPEMENT	TYPE D'USAGE	EVOLUTION ANNUELLE DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE			
		S1	S2	S3	S4
TELEVISEURS	Personnel	-6,2%	-6,2%	-5,7%	-5,7%
BOX TV	Personnel	-5,3%	-5,3%	-4,9%	-4,9%
CONSOLES DE JEUX VIDEO DE SALON	Personnel	-2,2%	-3,8%	-1,6%	-3,0%
SMARTPHONES	Personnel	1,4%	1,4%	3,0%	2,5%
TELEPHONES FIXES	Personnel	1,4%	1,4%	3,0%	2,5%

IOT	Personnel	2,4%	3,1%	3,4%	4,7%
TELEPHONES FIXES	Professionnel	1,4%	1,4%	3,0%	2,5%
IOT	Professionnel	2,4%	3,1%	3,4%	4,7%

Comme le montre le Tableau 22, les scénarios 1 et 2 d'une part et 3 et 4 d'autre part, présentent des pourcentages de croissance de consommation similaires pour la majorité des équipements.

Tableau 23 - Taux de croissance annuel moyen de la consommation énergétique calculée pour chaque équipement de la brique Terminaux utilisateurs, d'après l'étude USES de l'ADEME

EQUIPEMENT	TYPE D'USAGE	EVOLUTION ANNUELLE DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE	
		Scénario unique	
VIDEO-PROJECTEUR	Personnel	-1,0%	
ORDINATEUR FIXE	Personnel	-4,0%	
ORDINATEUR PORTABLE	Personnel	-0,8%	
ECRAN D'ORDINATEUR	Personnel	-1,3%	
TABLETTE	Personnel	6,1%	
VIDEO-PROJECTEUR	Professionnel	-1%	
ORDINATEUR FIXE	Professionnel	-4%	
ORDINATEUR PORTABLE	Professionnel	-0,8%	
ECRAN D'ORDINATEUR	Professionnel	-1,3%	

La comparaison des différents scénarios de consommation énergétique pour les équipements à usage personnel et professionnel combiné, est illustrée sur les Figure 34, Figure 35, Figure 36 et Figure 37, qui regroupent chacune des équipements différents, par souci de lisibilité.

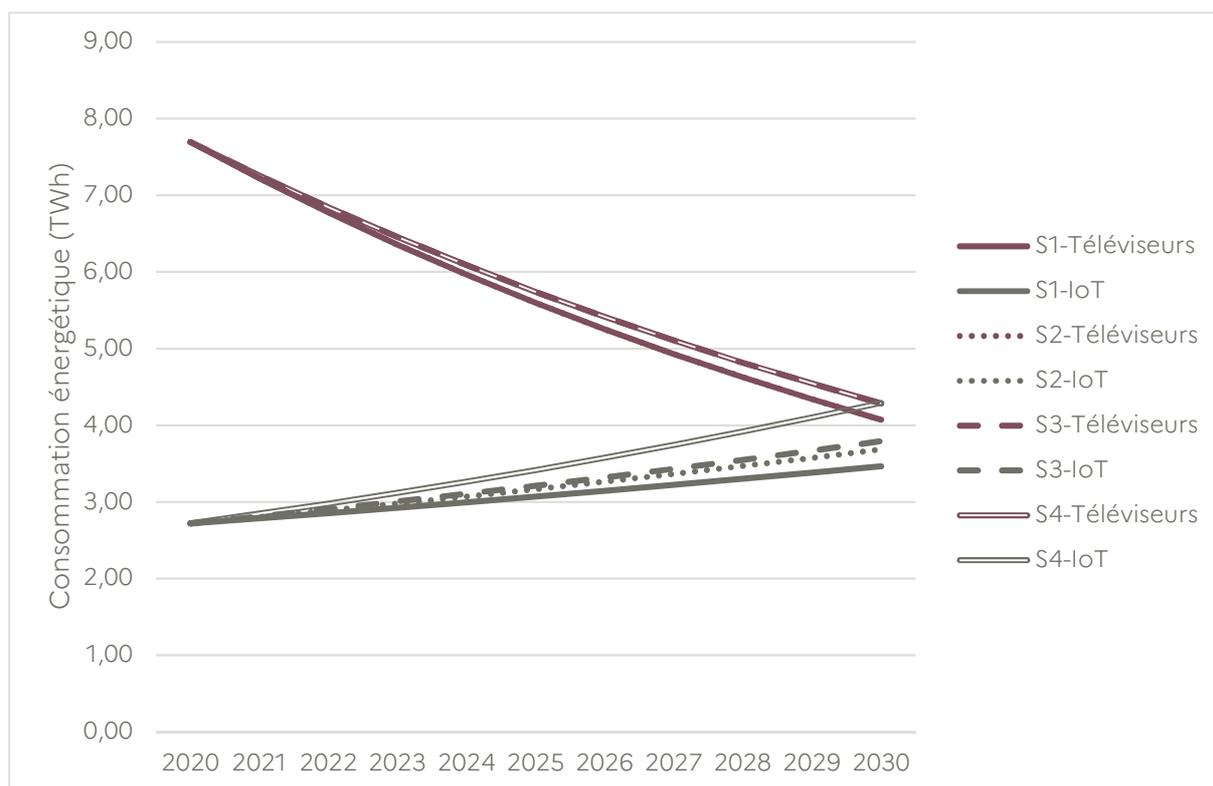


Figure 34 - Comparaison des différents scénarios de consommation énergétique annuelle pour les téléviseurs et équipements IoT, tout usage compris, étudié par RTE

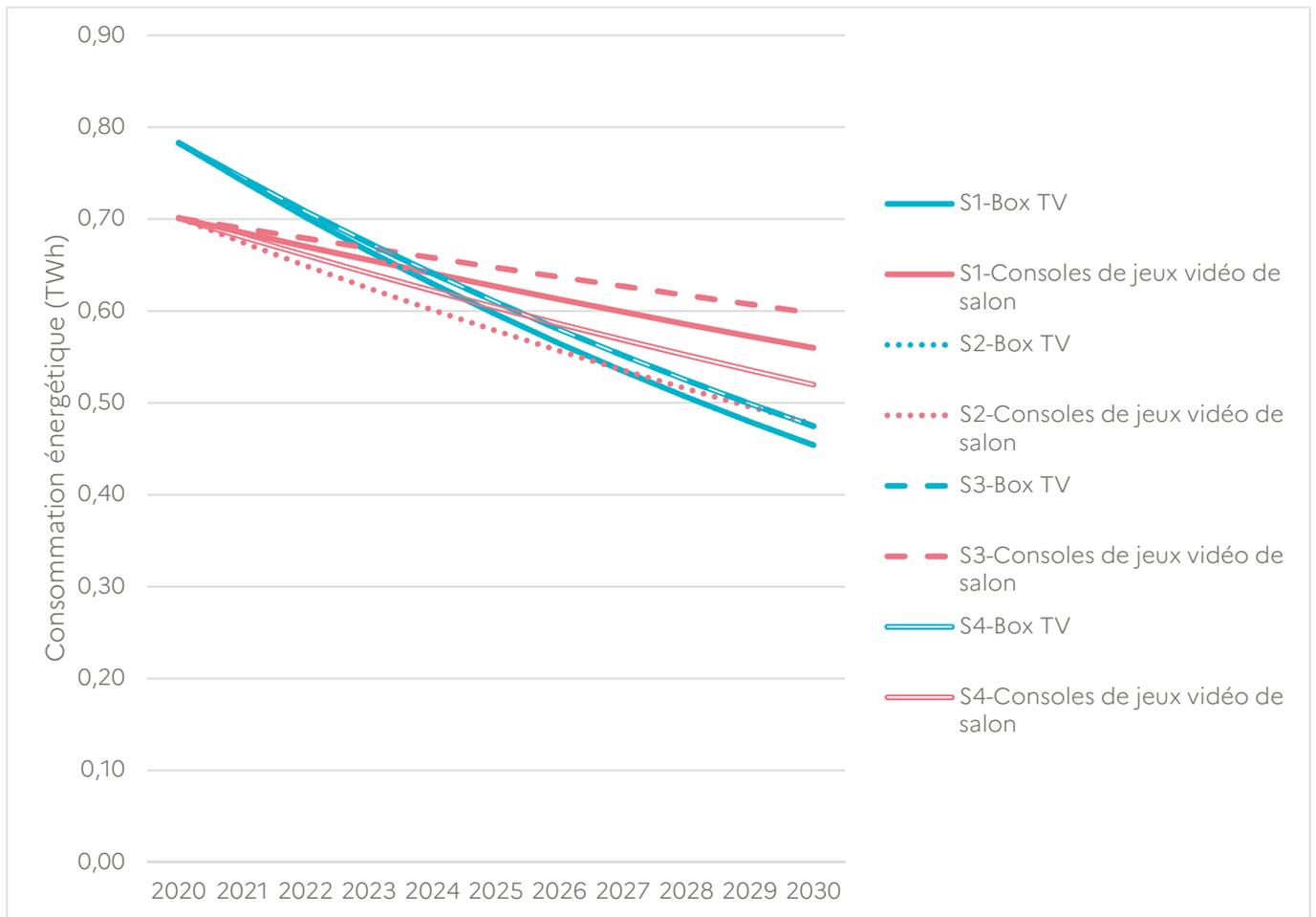


Figure 35 - Comparaison des différents scénarios de consommation énergétique annuelle pour les boxes TV et consoles de jeux vidéo de salon, tout usage compris, étudié par RTE

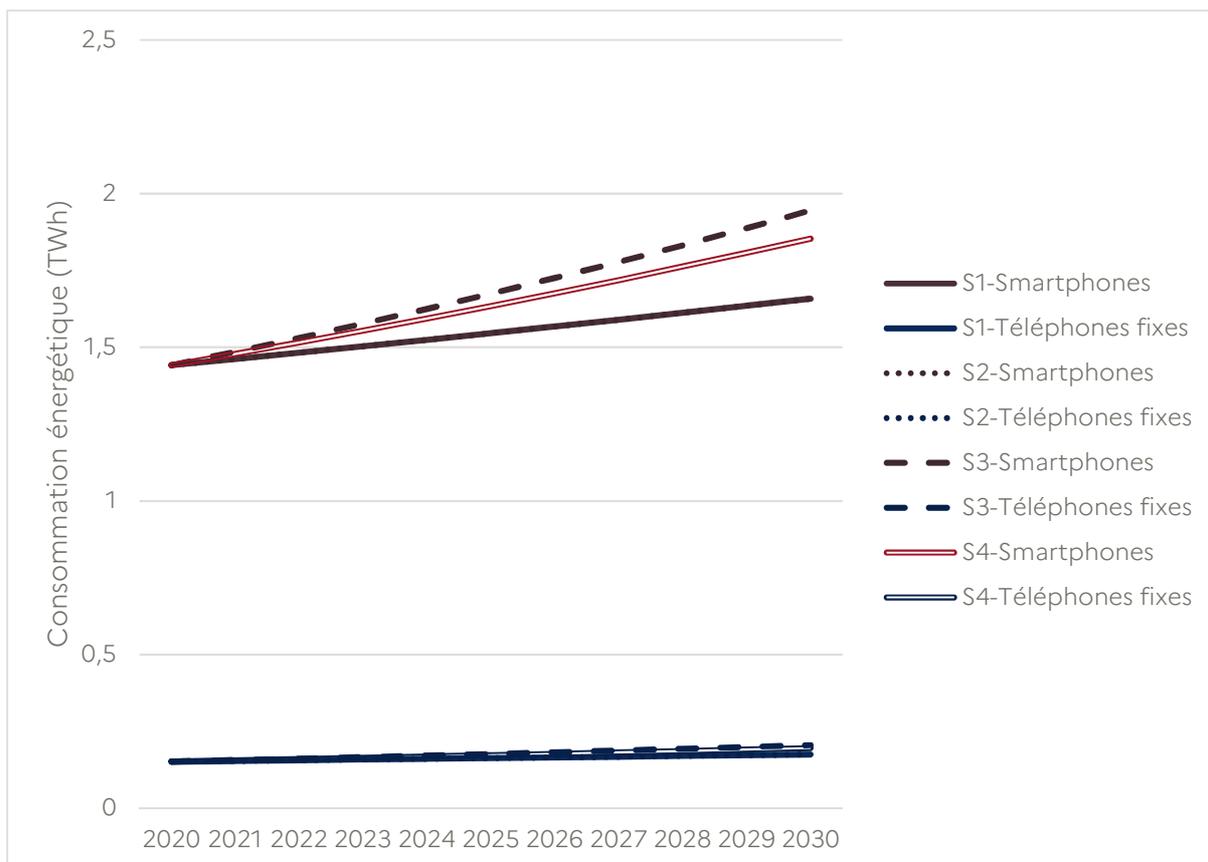


Figure 36 - Comparaison des différents scénarios de consommation énergétique annuelle pour les smartphones et téléphones fixes, tout usage compris, étudié par RTE

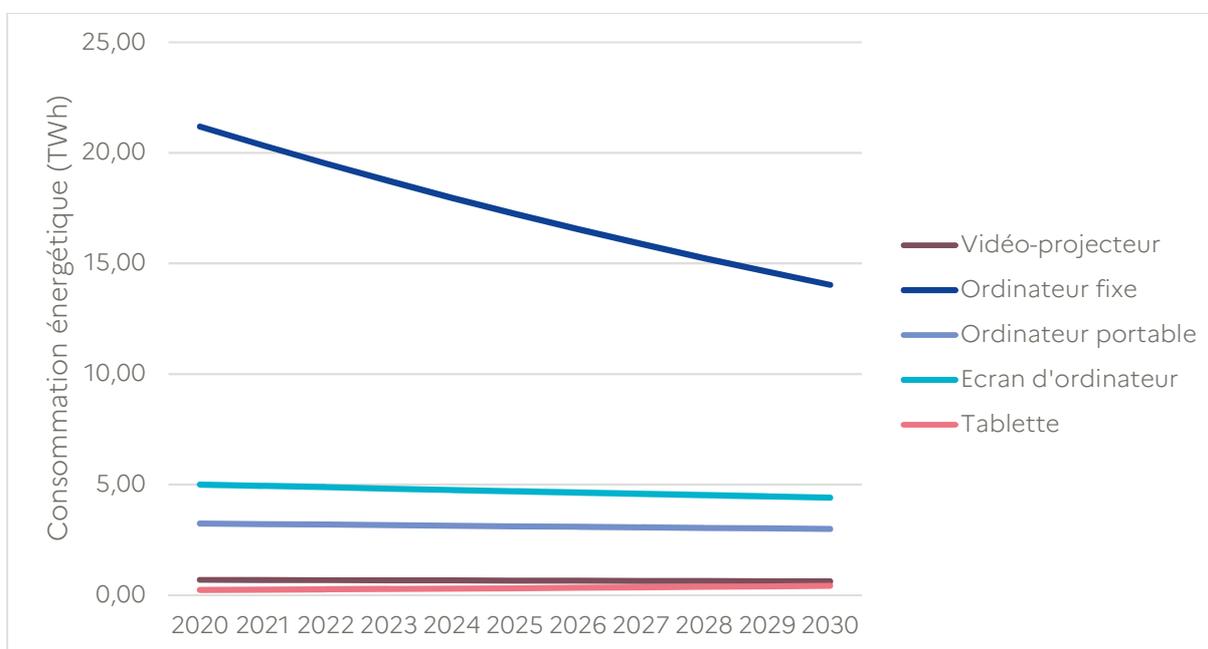


Figure 37 - Evolution de la consommation énergétique annuelle dans un scénario tendanciel des vidéoprojecteurs, ordinateurs fixes, ordinateurs portables, écrans d'ordinateur et tablettes, tout usage compris, étudié dans le projet USES de l'ADEME

On retiendra de ces graphiques que les équipements IoT, smartphones et téléphones fixes sont les seuls équipements dont la consommation énergétique du parc actif augmente avec le temps.

La consommation du parc de l'ensemble des terminaux, tels qu'étudiés par RTE, suit une tendance baissière dans les quatre scénarios (cf. Figure 38).

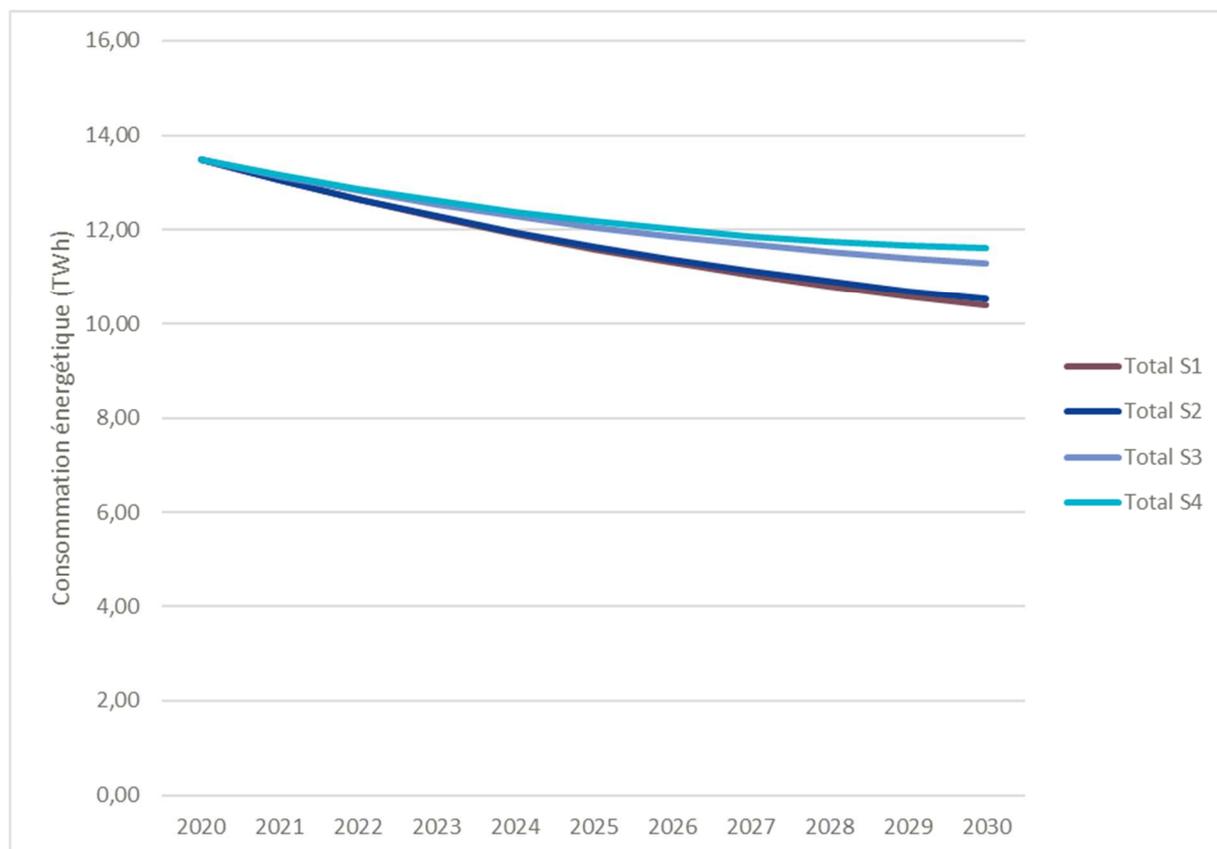


Figure 38- Comparaison des différents scénarios de consommation énergétique annuelle pour tous les terminaux utilisateurs étudiés par RTE, tout usage compris

La Figure 38 montre l'importance du paramètre démographique qui, pour une efficacité énergétique médiane (S1) mais une démographie faible, engendre une évolution de la consommation énergétique des terminaux utilisateurs inférieure à celle d'un scénario d'efficacité énergétique haute mais de démographie médiane (S2). A démographie égale (médiane), l'efficacité énergétique médiane du S3 entraîne logiquement une consommation supérieure à celle du scénario S2. Le scénario d'évolution à la consommation la plus élevée est celui tenant compte d'une démographie haute, malgré une efficacité énergétique haute (S4).

Pour rappel, les méthodologies de calcul et les scénarios envisagés par les deux sources de données d'évolution de consommation énergétique divergent. Il a donc été décidé de ne pas réaliser de classement commun pour l'ensemble des équipements de la brique Terminals utilisateurs.

D'une part, pour les équipements dont le taux de croissance annuel de la consommation énergétique provient du rapport RTE, le classement (tout usage compris) des équipements les plus consommateurs est assez stable entre 2020 et 2030 quel que soit le scénario. Cela conduit au classement par ordre croissant suivant :

1. Téléviseurs (7,7 TWh en 2020 et en moyenne 4,1 TWh en 2030 dans les différents scénarios) ;
2. Equipements IoT (2,7 TWh en 2020 et entre 3,5 et 4,3 TWh en 2030 selon les scénarios) ;
3. Smartphones (1,4 TWh en 2020 et entre 1,5 et 2,0 TWh en 2030 selon les scénarios) ;
4. Consoles de jeux vidéo de salon (0,7 TWh en 2020 et en moyenne 0,5 TWh en 2030 dans les différents scénarios) ;

5. Box TV (0,8 TWh en 2020 et en moyenne 0,5 TWh en 2030 dans les différents scénarios) ;
6. Téléphones fixes (0,15 TWh en 2020 et en moyenne 0,2 TWh en 2030 dans les différents scénarios).

A noter que la prépondérance des téléviseurs et des smartphones est uniquement reliée à leur usage personnel, car les données fournies par le Consortium ne concernent que cet usage. En 2020, leur consommation énergétique est respectivement de 7,7 TWh et 1,4 TWh. A l'inverse, le poids des équipements IoT est majoritairement dû à leur usage professionnel, dont la consommation énergétique en 2020 atteint 2,0 TWh. Enfin, il est à noter que le taux de croissance retenu pour la modélisation des téléphones fixes est associé dans le rapport RTE à la catégorie « téléphones et tablettes ».

D'autre part, pour les équipements dont le taux de croissance annuel de la consommation énergétique provient du scénario tendanciel de l'étude USES, le classement par ordre croissant des équipements les plus consommateurs (tous usages compris) entre 2020 et 2030 est le suivant :

1. Ordinateurs fixes (21,2 TWh en 2020 et 14,0 TWh en 2030) ;
2. Ecrans d'ordinateur (5,0 TWh en 2020 et 4,4 TWh en 2030) ;
3. Ordinateurs portables (3,2 TWh en 2020 et 3,0 TWh en 2030) ;
4. Vidéoprojecteurs (0,7 TWh en 2020 et 0,6 TWh en 2030) ;
5. Tablettes (0,2 TWh en 2020 et 0,4 TWh en 2030).

Dans le sens de ces deux classements, une étude réalisée au niveau mondial par Schneider Electric en 2020¹⁶⁸ sur l'évolution de la demande en électricité des trois briques étudiées relève une importante consommation électrique pour les ordinateurs fixes et portables, supérieure à celle des smartphones et tablettes. Les auteurs du rapport estiment également que la demande en termes de connectivité et d'électricité pour les équipements IoT, croîtra d'ici 2030 d'un CAGR de 5% en termes de taille du parc et de 3% en termes de consommation électrique. Ce second CAGR est cohérent avec ceux calculés par notre modèle – voir Tableau 22, qui varient entre 2,4 à 4,7% en fonction des scénarios envisagés par RTE. Aussi, malgré le poids progressif que prennent les équipements IoT, on notera que leur usage correspond dans 50% du temps à un mode « inactif » (ou « idle » en anglais)¹⁶⁸. Globalement, l'étude estime l'évolution de la demande électrique pour l'ensemble de la brique « équipements » à un CAGR de 3%, pour atteindre une consommation de 821 TWh en 2030 au niveau mondial.

Le rapport publié en 2020 par la Commission Européenne sur l'impact des technologies TIC¹⁶⁶ dans l'Union Européenne fournit un classement très détaillé pour les trois tiers, à horizon 2025 cette fois-ci. En ne s'intéressant qu'aux équipements inclus dans le présent rapport dans la brique Terminaux utilisateurs (tout usage compris), on obtient le classement suivant par ordre croissant de consommation :

1. Téléviseurs (64,4 TWh en 2020 et 43,5 TWh en 2025) ;
2. Box TV (13,1 TWh en 2020 et 13,1 TWh en 2025) ;
3. Ordinateurs fixes¹⁶⁹ (9,3 TWh en 2020 et 8,7 TWh en 2025) ;
4. Ordinateurs portables¹⁷⁰ (6,5 TWh en 2020 et 8,1 TWh en 2025) ;
5. Consoles de jeux vidéo (5,7 TWh en 2020 et 5,1 TWh en 2025) ;
6. Téléphones fixes (4,5 TWh en 2020 et 4,1 TWh en 2025) ;
7. Ecrans d'ordinateur (2,6 TWh en 2020 et 2,6 TWh en 2025) ;
8. Tablettes (1,9 TWh en 2020 et 1,3 TWh en 2025) ;
9. Smartphones (1,7 TWh en 2020 et 1,8 TWh en 2025) ;
10. Vidéoprojecteurs (1,0 TWh en 2020 et 0,4 TWh en 2025).

A noter que les équipements IoT ne font pas partie du périmètre d'étude de la Commission Européenne.

Les différences d'ordres de grandeur entre les classements précédents et celui de la Commission Européenne s'expliquent notamment par les différences de périmètre d'étude et de définition, et de

¹⁶⁸ Blum, O. and Petit, V. (2021), *Digital Economy and Climate Impact*, Schneider Electric, 28 pages

¹⁶⁹ Le calcul inclus les ordinateurs fixes standards, de jeu et intégrés.

¹⁷⁰ Le calcul inclus les ordinateurs portables standards et de jeu.

valeurs de consommation des équipements en 2020. Les données sur lesquelles s'appuient nos calculs, fournies par le consortium, sont généralement plus élevées que celles du rapport USES ou de la Commission Européenne en 2020.

Pour compléter ces observations, RTE souligne dans son rapport des tendances générales d'évolution. Notamment :

- Le **renouvellement du parc**, à savoir le remplacement tendanciel d'équipements existants par des appareils plus performants ;
- Pour les appareils bénéficiant de l'étiquetage énergétique, l'**effet des nouvelles classes énergétiques** envisagées, mais dans une moindre mesure en termes de TWh ;
- La **baisse de puissance en veille** des appareils, qui tend vers des valeurs quasi nulles à horizon 2035. A ce titre, un règlement européen d'écoconception¹⁷¹ spécifiquement dédié à la veille des appareils ménagers et de bureau est en vigueur, limitant la puissance en veille des équipements à des valeurs comprises entre 0,5 et 1 W selon les cas.

On note également ici la limite de l'hypothèse d'exclusion des effets rebonds. En effet, une décroissance globale de la consommation énergétique de la brique des Terminaux utilisateurs est une configuration optimiste. A ce titre, le rapport du Haut Conseil pour le Climat¹⁵⁶ distingue les terminaux « socles » des terminaux « mobiles », les seconds étant affectés par l'effet rebond du déploiement de la 5G. Les deux figures suivantes, extraites du rapport source, présentent le sens d'évolution des paramètres impliqués dans le calcul de la consommation énergétique de la brique, par terminaux « socles » et « mobiles ».

Terminaux "non mobile"	Volume d'achats	Durée de vie	Energie primaire	Emissions amont	Consommation électrique annuelle	Parc actif
Ordinateurs portables	→	→	↓	↓	↓	→
Ordinateurs fixes	↗	↓	↓	↓	↓	→
Ecrans	↗	non-estimé	↗	↗	→	↗
Téléviseurs	↗	→	↗	↗	↓	↗
Box	→	non-estimé	↗	↗	→	→
Tablettes	↗	→	↗	↗	↗	↗
Consoles de jeu salon	↗	non-estimé	↗	↗	↓	↗
Consoles de jeu portables	↓	non-estimé	↗	↗	↓	↓
Imprimantes	↓	→	↗	↗	↗	↓
Enceintes connectées	↗	↓	↗	↗	→	↗
Ecrans publicitaires	↗	↓	↗	↗	→	↗

Figure 39 – Représentation du sens d'évolution des paramètres d'estimation des terminaux du socle commun, extraite du rapport du Haut Conseil pour le Climat

¹⁷¹ Journal officiel de l'Union Européenne (2008), *Règlement européen en ce qui concerne les exigences d'écoconception relatives à la consommation d'électricité en mode veille et en mode arrêt des équipements ménagers et de bureau électriques et électroniques*, 8 pages

Terminaux "mobile"	Volume d'achats	Durée de vie	Energie primaire	Emissions amont	Consommation électrique annuelle	Parc actif
Smartphones	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Modules de connexion IOT	↗	non-estimé	↗	↗	↘	↗
Casques de réalité virtuelle	↗	→	↗	↗	↗	↗
Lunettes de réalité augmentée	↗	→	↗	↗	↗	↗
Montres et bracelets connectés	↗	→	→	→	→	↗

Figure 40 -. Représentation du sens d'évolution des paramètres d'estimation des terminaux "mobiles", extraite du rapport du Haut Conseil pour le Climat

Au-delà des terminaux utilisateurs, les équipements TIC dans le milieu professionnel qui ne sont pas à destination directe des utilisateurs voient leur consommation énergétique par parc croître dans l'Union Européenne à horizon 2025, avec des ordres de grandeurs non négligeables. Ainsi, bien que hors périmètres, il importe de souligner l'évolution de la consommation énergétique de ces équipements. Le rapport de la Commission Européenne¹⁶⁶ relève à ce titre notamment :

- Les supports de signalisation¹⁷² (20,0 TWh en 2020 et 23,5 TWh en 2025) ;
- Les équipements réseaux à usage personnel et professionnel¹⁷³ (16,61 TWh en 2020 et 18,49 TWh en 2025) ;
- Les équipements TIC publics¹⁷⁴ (13,9 TWh en 2020 et 17,8 TWh en 2025).

6.6.2. Réseaux

6.6.2.1. Paramètres influençant l'efficacité énergétique

6.6.2.1.1. Box internet

D'après le rapport RTE, et à l'instar des box TV, l'arrivée d'équipements plus performants en termes de consommation d'énergie est envisagée. La différence entre les trajectoires d'efficacité haute et médiane réside dans l'année d'apparition des boîtiers de nouvelle génération.

L'évolution de la puissance en fonctionnement des box figure dans le Tableau 24. A noter que d'autres estimations prévoient une puissance en mode veille des box internet inférieures à 1W à plus court terme. La puissance des équipements électroniques en mode veille, et notamment des box, est réglementée par le Règlement 1275/2008¹⁷⁵

¹⁷² Un support de signalisation est défini dans le rapport de la Commission Européenne comme un « affichage électronique conçu principalement pour être visualisé par plusieurs personnes dans des environnements non bureautiques et non domestiques ». On en trouve notamment dans les banques, salles de réunion, aéroport ou hôtels.

¹⁷³ Cette catégorie comprend notamment les serveurs de stockage en réseau (*Network Attached Storage* - NAS en anglais) et les passerelles pour équipements IoT.

¹⁷⁴ Les trois premiers posts étant les caméras vidéos (47% de la catégorie en 2020), les points WiFi publics (34% de la catégorie en 2020) ainsi que les équipements pour points de vente (17% de la catégorie en 2020) telles que les machines de paiement pour carte bancaire. Les points WiFi consomment à eux seuls 4,8 TWh en 2020 et 7,0 TWh en 2025.

¹⁷⁵ Règlement (CE) no 1275/2008 de la Commission du 17 décembre 2008 portant application de la directive 2005/32/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les exigences d'écoconception relatives à la consommation d'électricité en mode veille, en mode arrêt et en veille avec maintien de la connexion au réseau des équipements ménagers et de bureau électriques et électroniques.

Tableau 24 - Evolution des puissances en fonctionnement des box internet en 2017 et 2035, d'après le rapport RTE

TYPE DE FONCTIONNEMENT	DE PUISSANCE EN 2017 (W)	PUISSANCE EN 2035 EN EFFICACITE MEDIANE (W)	PUISSANCE EN 2035 EN EFFICACITE HAUTE (W)
FONCTIONNEMENT	11	7,5	7,5

Les box internet ont une **croissance annuelle de consommation énergétique du parc actif de -0,7%**, CAGR calculé selon la méthode exposée en 6.6.1.2.

6.6.2.1.2. Réseaux mobiles

La source de données¹⁵⁶ étudiée pour la brique Réseaux mobiles ne souligne pas de levier influençant l'efficacité énergétique.

Au niveau mondial, le rapport de l'EDNA¹⁷⁶ donne une estimation des gains d'efficacité énergétique attendus pour le Radio Access Network (RAN) des différentes générations de réseaux mobiles. L'efficacité est entendue comme la consommation d'énergie par octet de donnée transféré dans le réseau Wide Area Networks (WAN). Ce rapport modélise des consommations énergétiques à 2030 des datacenters et WAN au sein du Total Energy Model (TEM) de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE).

Comme illustré en Figure 41, à partir de 2021, les gains d'efficacité énergétique attendus pour les réseaux 2G, 3G et 4G sont de 5% par an. En revanche, les gains d'efficacité énergétique attendus pour la 5G sont de 20% par an. Le rapport précise que les réseaux 5G sont considérés comme 10 fois plus efficaces énergétiquement que les réseaux 4G, mais que, à date, l'efficacité énergétique est la même que celle de la 4G en l'attente d'une demande suffisante justifiant le déploiement des small cells, des massive MIMO et des ondes millimétriques :

- Les small cells correspondent à de petites antennes, qui servent de relai et de complément de couverture aux *macrocells* présentes sur les pylônes. La consommation énergétique d'une *smallcell* 5G dans la bande de 3,5 GHz (5037 kWh) est inférieure à celle d'une *macrocell* dans la même bande de fréquence (20148 kWh)¹⁵⁶.
- Le principe MIMO (*multiple-input, multiple-output*) permet l'émission et la réception simultanée de plusieurs sources de données.
- Les ondes millimétriques permettent de transmettre plus de données pour une bande de fréquence donnée¹⁷⁶.

Les gains annuels d'efficacité énergétique mentionnés dans le rapport de l'EDNA sont estimés à partir de tendances historiques, ajustées pour leurs projections selon les estimations d'Andrae et Edler¹⁷⁷. Ces derniers limitent les gains d'efficacité énergétique annuels à 5% à partir de 2022, dans la mesure où il sera de plus en plus difficile d'améliorer l'efficacité énergétique des réseaux selon la « loi de Moore »

¹⁷⁶ EDNA, Energy Consult (2019), *Intelligent Efficiency for Data Centres and Wide Area Networks*, 76 pages

¹⁷⁷ Anders, A.S.G., and Edler, T. (2015), *On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030*, Challenges 6, no. 1: 117-157

(doublement du nombre de transistor présent sur une puce de microprocesseur tous les deux ans)¹⁷⁸. Pour ces auteurs, en suivant cette règle, amélioration de l'efficacité énergétique, augmentation de la vitesse de calcul et réduction des besoins énergétiques progressent au même rythme.

Cette amélioration tendancielle de l'efficacité énergétique des réseaux a également été identifiée par d'autres auteurs cités dans le modèle de l'EDNA, notamment J.G. Koomey¹⁷⁹. Ce dernier estime ainsi que l'efficacité énergétique du calcul informatique a doublé tous les 2,7 ans depuis 2000¹⁸⁰, faisant pendant, pour l'efficacité énergétique du calcul, à la « loi de Moore » décrite ci-dessus pour le nombre de transistors par puce de microprocesseur.

L'extrait ci-dessous Figure 41 du rapport de l'EDNA illustre l'évolution de l'efficacité énergétique des réseaux mobiles entre 2010 et 2030, mesurée par TWh/EB (Exabits). On y retrouve également les courbes de l'évolution du trafic de données par type de réseau mobile. La segmentation du graphique fait écho au Tableau 16 : Catégorisation du modèle énergétique pour les « briques » DC et WAN.

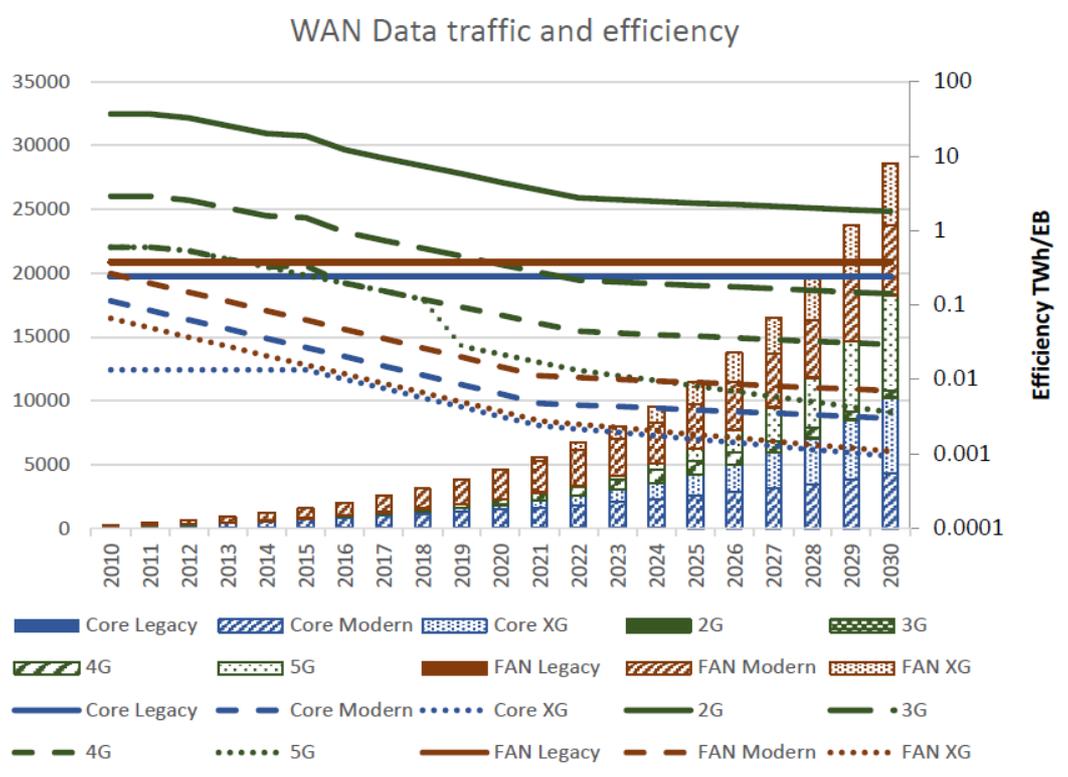


Figure 41 - Trafic de données WAN et efficacité énergétique au niveau mondial par catégorie de composant selon le modèle de l'EDNA¹⁷⁶. Les unités en ordonnées gauche sont des Exabits (EB)

6.6.2.2. Evolution de la consommation énergétique

6.6.2.2.1. Box internet

¹⁷⁸ Peckham, M., Time (2012), *The Collapse of Moore's Law: Physicist Says It's Already Happening*

¹⁷⁹ Aslan, J., Mayers, K., Koomey, J.G. and France, C. (2018), *Electricity intensity of internet data transmission: untangling the estimates*, Journal of Industrial Ecology, 14 pages

¹⁸⁰ J. Koomey, S. Berard, M. Sanchez and H. Wong (2011) *Implications of historical trends in the electrical efficiency of computing;* in IEEE Annals of the History of Computing, volume 33, no. 3, pp. 46-54

L'évolution de la consommation énergétique de cet équipement à partir des données du rapport RTE¹⁵¹ et selon la méthode présentée en section 6.6.1.2 pour les terminaux utilisateurs, est représentée sur la Figure 42.

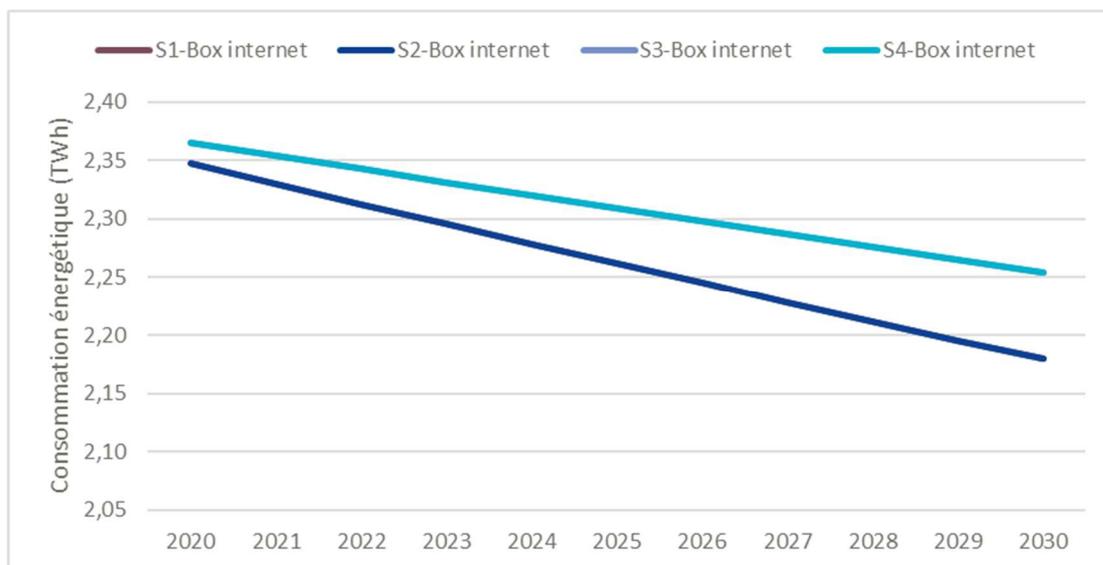


Figure 42 – Comparaison des scénarios de consommation énergétique pour les box internet selon RTE

Une fois de plus, l'évolution des scénarios 1,2 et 3,4 se superposent.

6.6.2.2.2. Réseaux mobiles 2G, 3G, 4G et 5G

Les valeurs détaillées par type de réseau mobile, de l'évolution de la consommation énergétique des réseaux mobiles ne figurant pas dans le rapport source, il est plus pertinent de reprendre les courbes de consommation tracées dans ce même rapport en fonction des différents scénarios étudiés pour l'ensemble des réseaux mobiles. Ces courbes sont représentées sur la Figure 43. Comme indiqué en section 6.5.2.2, le scénario « La 5G du cahier des charges » est une estimation majorante de la consommation électrique totale.

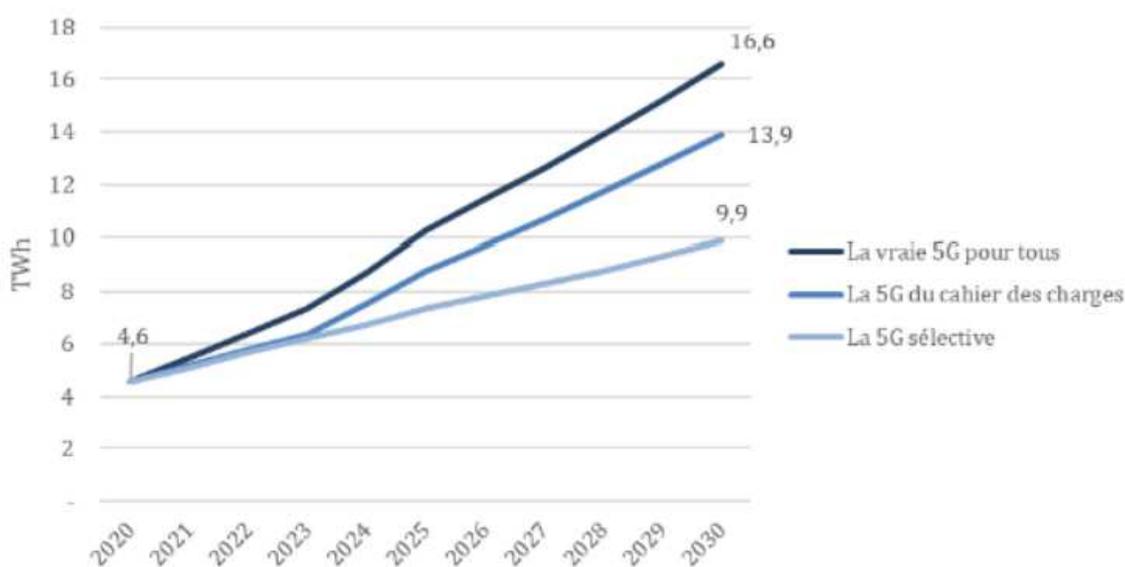


Figure 43 – Consommation d'électricité en France des réseaux par variante du scénario de déploiement, en TWh, extraite du rapport du Haut Conseil pour le Climat

Comme attendu, le **déploiement total de la 5G dans le S1 entraîne une consommation énergétique supérieure** au scénario S2 puis S3.

Pour faire le lien avec l'évolution du trafic de données, celle-ci est différenciée dans le rapport de Citizing entre les variantes des différents scénarios et ventilée entre les réseaux fixes et mobiles. En effet, le déploiement de la 5G conditionne la poursuite de la croissance actuelle du volume de données échangées.

Pour les réseaux mobiles, les hypothèses d'évolution du trafic de données sont spécifiques à chaque variante. Le scénario « La 5G du cahier des charges » connaît une croissance du trafic de données mobile équivalente à celle observée ces dernières années, soit une croissance annuelle de 45% sur l'ensemble de la période. Dans le scénario de non-déploiement, les hypothèses de croissance annuelle du trafic de données mobiles font référence à une plus ou moins grande **sobriété** de la consommation de données. D'après les auteurs du rapport, cette sobriété peut être le résultat :

- Du **changement de comportement** des utilisateurs, lié à une prise de conscience de l'impact environnemental du numérique ;
- De la progressive « **saturation** des réseaux mobiles et au **renoncement aux gains de performance** permis par la 5G (débit, densité, latence, fiabilité) ; deux évolutions qui limiteraient les améliorations de la qualité de service des réseaux mobiles ».

A titre d'information, pour les réseaux fixes (WiFi et filaires), les hypothèses d'évolution du trafic de données sont peu différenciées entre les scénarios du rapport. La **croissance annuelle du trafic filaire** (ADSL et fibre optique) est de **15%** sur l'ensemble de la période. Quant au **trafic de données WiFi**, la **croissance annuelle est de 30%** jusqu'en 2025 puis **passé à 25%** jusqu'à la fin de la période en 2030. De plus, le scénario de Non-déploiement tient compte du léger report de trafic du mobile vers le fixe : le **trafic mobile augmenterait de 25%** à partir de 2026 pour le scénario de « Non-déploiement HAUT », pour **35%** entre 2021 et 2025. Dans le scénario de « Non-déploiement BAS », la croissance du trafic mobile est de **15%** à partir de 2026, alors qu'elle est de **30%** par an jusqu'en 2026.

Les projections de trafic de données mobiles et fixes sont présentées en Figure 44 dans un graphique extrait du rapport du Haut Conseil pour le Climat.

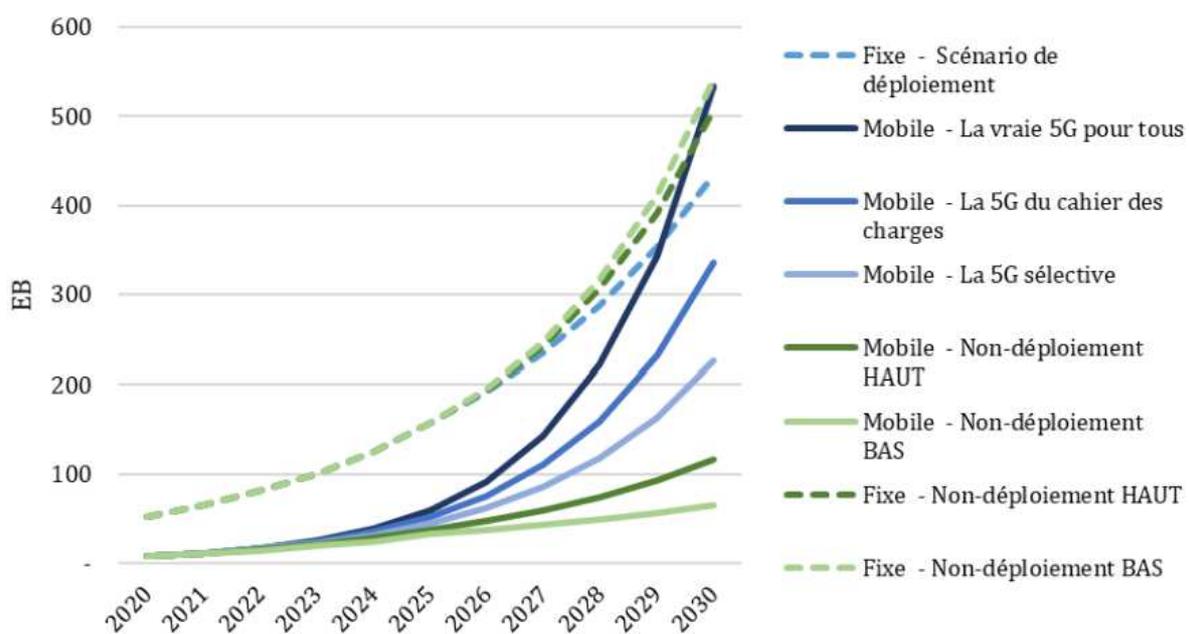


Figure 44 – Projections du trafic de données mobile et fixe par sous-scénario, extraites du rapport du Haut Conseil pour le Climat

Au niveau mondial, les estimations de l'EDNA¹⁷⁶ pour la consommation énergétique des réseaux WAN est décrite en Figure 45. La typologie des réseaux WAN est détaillée en Tableau 16.

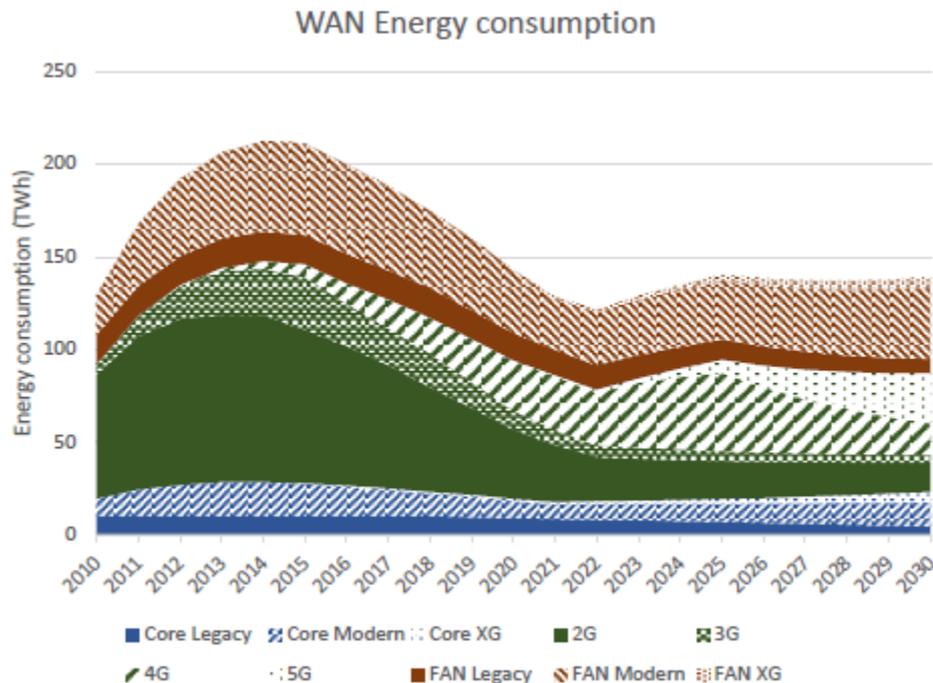


Figure 45 - Consommation énergétique des réseaux WAN au niveau mondial selon les projections de l'EDNA¹⁵⁴

A l'échelle de l'Union Européenne, le rapport mentionné précédemment de la Commission Européenne¹⁶⁶ estime également une faible augmentation de la consommation énergétique des réseaux FAN entre 2020 et 2025, respectivement de 17,7 TWh et 17,9 TWh.

En complément, une manière d'expliquer l'augmentation du trafic de données des réseaux serait d'après l'étude de Schneider Electric¹⁶⁸ de la relier à l'essor des équipements IoT d'ici 2030, dont la connectivité passera par les réseaux 4G et 5G pour 28% d'entre eux.

Le rapport insiste sur l'implication des communications mobiles et du passage vers la 5G dans l'augmentation de 75 % de la consommation électrique mondiale du secteur IT entre 2020 et 2030. En particulier, le réseau de la 5G pourrait représenter 70% de l'ensemble du flux de données mobiles à 2030. Toutefois, les auteurs soulignent l'incertitude de leurs calculs concernant la 5G, notamment la demande énergétique du réseau exacte en mode « inactif » (ou « idle » en anglais) et l'impact qui en découle sur la puissance totale requise pour le fonctionnement de cette génération de réseau.

S'agissant des nouvelles générations de réseau mobile, Le rapport cite l'AIE qui estime que la 4G est cinq fois moins énergivore que la 3G, ainsi que la 5G pourrait être entre 10 à 20 fois plus efficace énergétiquement que la 4G d'ici 2030.

Dans l'ensemble, Schneider Electric calcule une évolution de la consommation électrique pour les réseaux de la télécommunication – incluant les équipements « on-premise » tels que les boxts internet – avec un CAGR de 10% à 2030, et une consommation électrique totale de 239 TWh pour les réseaux fixes, 409 TWh pour les réseaux mobiles et 229 TWh pour les équipements réseaux, au niveau mondial.

6.6.3. Centres de données

6.6.3.1. Paramètres influençant l'efficacité énergétique

Les différents paramètres influençant l'efficacité énergétique des centres de données peuvent être regroupés en deux catégories : **infrastructure** des centres de données et **équipements** présents dans les centres de données.

Les différentes pistes de réduction du PUE des centres de données ont été regroupées dans les points suivants, d'après l'expertise d'APL Datacenter :

- La réduction **des contraintes environnementales de l'infrastructure (température et hygrométrie)**, reliée à l'évolution des seuils de tolérance des serveurs, qui relève du principe de **sobriété**, car elle vise à moins consommer. Toutefois, il existe un **frein psychologique** sous la forme de réticence des professionnels, à l'augmentation des températures de consigne en salle IT. Il est possible de se référer aux normes ASHRAE ¹⁸¹(*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), sur les définitions des températures et d'hygrométrie optimales pour le fonctionnement des équipements IT.
- L'amélioration des **designs de conception** qui pourraient intégrer davantage les performances énergétiques. Le principe de *free-cooling* (ou refroidissement gratuit en français) à air ou eau, est une piste d'action non négligeable, qui relève elle aussi du principe de **sobriété**.
- L'amélioration des **performances énergétiques des équipements entourant le centre de données**, soit les climatiseurs industriels. A ce titre, un indicateur, COP (de l'anglais *Coefficient Of Performance*), permet de suivre cette amélioration.
- L'amélioration de la **performance dans l'utilisation** des centres de données : améliorer le reporting, le suivi des indicateurs, des bonnes pratiques, etc. Le code de conduite Européen¹⁸² regroupe les bonnes pratiques permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des centres de données.
- L'augmentation de la **densité** des centres de données, soit de leur **taux de charge**.
- La réduction de la **consommation énergétique unitaire des serveurs** et l'augmentation de leur **capacité de traitement**, et donc de leur **efficacité**.
- La **migration vers le cloud des petites salles IT** des entreprises ou collectivités vers des centres de données plus performants et complètement virtualisés. D'après VMWare¹⁸³, une société américaine spécialisée dans les technologies de virtualisation et de cloud computing, on peut mesurer à **80% la réduction des coûts énergétiques** entraînée par la consolidation des serveurs lors de la virtualisation d'un centre de données.
- Le **confinement des couloirs chauds et froids**.
- L'amélioration du métier d'**exploitation du bâtiment**, en termes de **maintenance** et de **conduite des installations**.

S'agissant des contraintes réglementaires relatives à l'efficacité des datacenters, on peut noter les suivantes :

- Au niveau français, l'efficacité énergétique des datacenters est réglementée par le « décret tertiaire » (Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire) ;
- Au niveau européen, l'efficacité énergétique des datacenters est réglementée par le Règlement 2019/424¹⁸⁴.

¹⁸¹ Pour plus d'information, consulter le site internet [ASHRAE - Standards and Guidelines](#).

¹⁸² [Code of Conduct for Energy Efficiency in Data Centres](#)

¹⁸³ [Virtualisation Data Center | Data Center virtuel | VMware](#)

¹⁸⁴ Règlement (UE) 2019/424 de la Commission du 15 mars 2019 établissant des exigences d'écoconception applicables aux serveurs et aux produits de stockage de données

Au niveau mondial, l'efficacité énergétique des datacenters est décrite dans le modèle de l'EDNA¹⁷⁶. Des gains de 13% par an en efficacité énergétique sont attendus. Le graphique suivant illustre l'évolution de l'efficacité énergétique attendue par les datacenters selon les calculs de l'EDNA. Cette efficacité énergétique est mesurée en TWh/EB. L'évolution de la consommation de données par type de datacenters est également représentée.

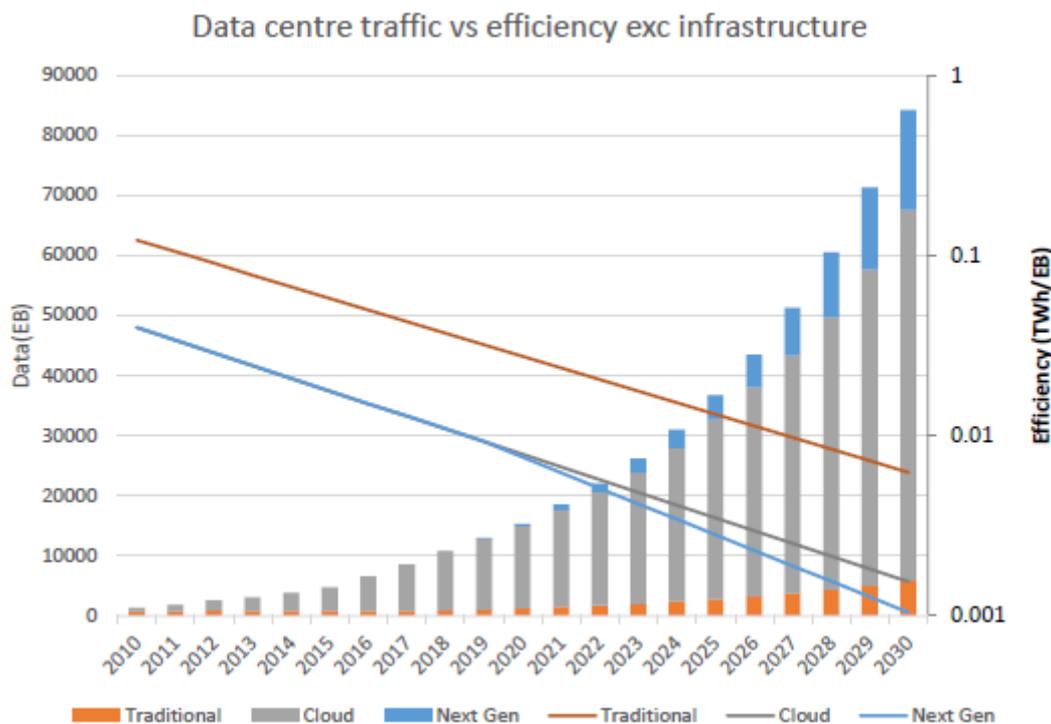


Figure 46 - Trafic de données dans les datacenters au niveau mondial et efficacité énergétique¹⁷⁶

La segmentation des différents types de datacenters dans la Figure 46 est présentée en Tableau 16.

6.6.3.2. Evolution de la consommation énergétique

Au niveau mondial, l'EDNA a estimé la consommation énergétique de différents types de datacenters – cf. Figure 47. Le rapport souligne le contraste entre la hausse constante du trafic de données échangées (Figure 46) et la limitation de la croissance de la consommation énergétique mondiale des datacenters.

L'EDNA note également que des améliorations d'efficacité énergétiques significatives liées aux nouvelles générations de datacenters sont attendues : les datacenters *legacy/traditional* représenteront en 2030 30% de la consommation énergétique, mais seulement 9% du trafic de données alors que les datacenters *next generation* consommeront 12% de l'énergie, mais représenteront 20% du trafic de données.

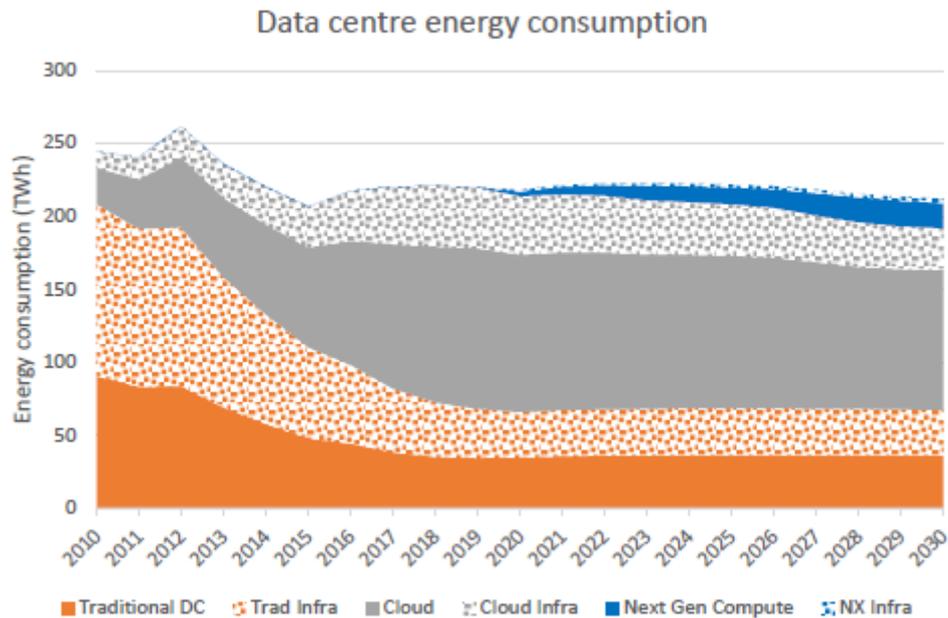


Figure 47 - Consommation énergétique mondiale des datacenters par type de DC¹⁷⁶

Au niveau de l'Union Européenne, l'étude EU ICT¹⁶⁶ a calculé la consommation électrique des datacenters jusqu'en 2025 – voir Figure 48, en adaptant les données de Masanet et al.¹⁸⁵ estimées pour la région « *Western Europe* ». Selon ces auteurs, la consommation énergétique des datacenters a légèrement augmenté depuis 2010, décollée de la hausse du nombre de calculs effectués (« *compute instances* ») sur la même période.

S'agissant de la prospective, les auteurs anticipent des gains d'efficacité énergétique du fait de la marge d'amélioration sur la virtualisation des serveurs, ainsi que des gains d'efficacité énergétique sur les équipement IT des serveurs, baies de stockage, routeurs, switches, etc. Le passage de petits datacenters traditionnels aux datacenters hyperscales - dont certains opèrent déjà à un PUE de 1,1 - permet également d'anticiper des gains d'efficacité énergétique substantiels. Ainsi, selon ces auteurs, les gains d'efficacité énergétique à venir permettront d'absorber la hausse de consommation énergétique induite par le doublement du nombre de calculs (« *compute instances* ») à venir.

¹⁸⁵ Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S.J., & Koomey, J. (2020), *Recalibrating global data center energy-use estimates*. Science, Volume 376, 4 pages.

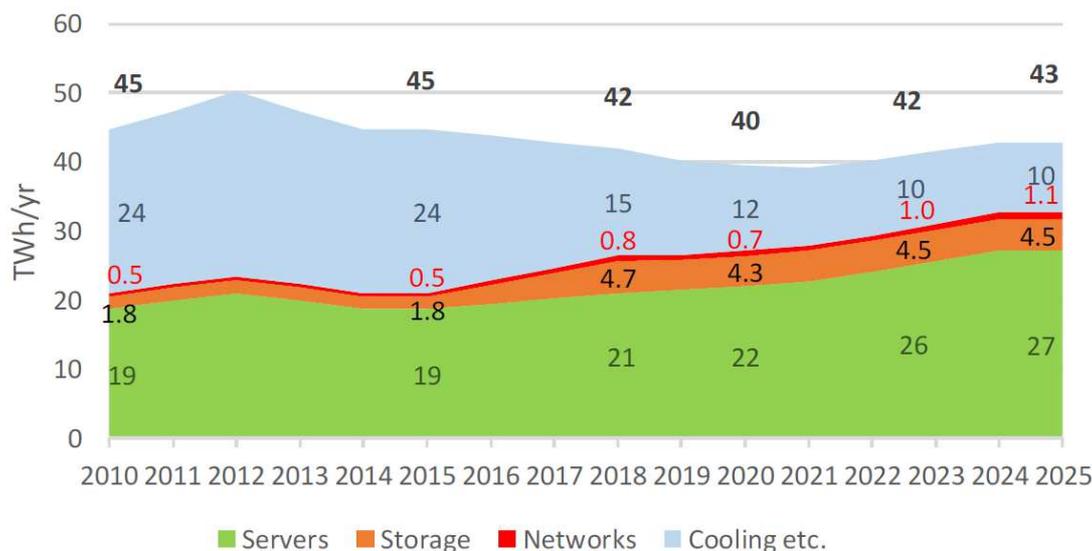


Figure 48 : Consommation d'électricité par les datacenters dans l'UE27 jusqu'en 2025 (TWh/an)¹⁶⁶ selon les données de Masanet et al¹⁸⁵

Masanet et al.¹⁸⁵ insistent cependant sur l'importance du développement continu de l'ecodesign, en particulier soutenu par les pouvoirs publics. C'est le cas au niveau européen avec le règlement ecodesign sur les serveurs (« Règlement (UE) 2019/424 de la Commission du 15 mars 2019 établissant des exigences d'écoconception applicables aux serveurs et aux produits de stockage de données »).

Enfin, au niveau mondial, l'étude réalisée par Schneider Electric en 2020¹⁶⁸ estime un CAGR de 21% à 2030, soit pour une consommation électrique mondiale en 2030 de 719 TWh.

Toutefois, cette étude nuance la stagnation de la consommation électrique des Datacenters. La hausse de la consommation d'électricité est notamment le fait de l'augmentation du edge computing, , limite les améliorations d'efficacité globale des DC. En effet, les DC « edge » ont un PUE proche de 2, car leurs serveurs sont moins virtualisés. A titre de comparaison, les DC de type hyperscales sur lesquels on retrouve des activités de cloud computing ont un PUE moyen de 1,2.

D'autre part, le nombre de serveurs augmenterait avec un CAGR de 13% à 2030, résultant des usages relatifs aux réseaux sociaux, des services de streaming de vidéo et d'applications IoT. Cette augmentation est intensifiée par les limites en termes d'efficacité IT soulignées ci-dessus.

En parallèle, des améliorations d'efficacité sont attendues au niveau des disques de stockage si l'on se tourne vers des technologies de type SSD.

6.7. Synthèse

Les points suivants peuvent être notés quant à la consommation énergétique des différentes « briques » étudiées.

- Terminaux

Les ordinateurs fixes, portables et les téléviseurs sont les plus importants postes de consommation énergétique parmi ceux identifiés. L'IoT et les smartphones sont également à l'origine d'une hausse de la consommation énergétique des équipements dans les années à venir, avec une certaine incertitude concernant l'IoT.

- Réseaux

Deux tendances différentes sont observées pour cette brique selon les auteurs. L'étude européenne EU-ICT¹⁶⁶ ainsi que les travaux de l'EDNA¹⁷⁶ estiment une stabilisation de la consommation électrique de cette brique à horizon 2030, tandis que le rapport de Citizing pour le Haut Conseil pour le Climat¹⁵⁶ et l'étude

de Schneider Electric calculent une augmentation dans la demande énergétique du tiers à 2030. Toutefois, l'ensemble des études s'accordent sur la place importante de la 5G à l'horizon 2030 et l'amélioration de l'efficacité énergétique qui en découle. Le degré de mise en place de la 5G va donc déterminer l'évolution de l'efficacité énergétique des réseaux (d'après l'EDNA) et leur consommation totale (d'après Citizing/HCC).

- Datacenters

Selon l'EDNA, de forts gains d'efficacité énergétique liés aux nouvelles générations de Datacenters sont attendus. En revanche, la faisabilité technico-économique de l'exploitation de ces gisements d'efficacité énergétique reste à vérifier. APL Datacenter cite plusieurs améliorations potentielles de l'efficacité énergétique des datacenters : designs de conception, passage sur le cloud, hausse des taux de charge, etc. Schneider Electric souligne la dualité entre le passage au cloud dans des Datacenters de type hyperscale, dont l'efficacité énergétique s'améliore, et les Datacenters de type edge, dont le PUE est environ le double par rapport à celui des hyperscales.

Sur l'ensemble de ces trois briques, le rapport de Schneider Electric estime que la demande en électricité mondiale augmentera de 50% entre 2020 et 2030, soit avec un CAGR de 5%. Bien que les différentes études que nous avons sélectionnées utilisent des modélisations distinctes, le CAGR du rapport de Schneider Electric est similaire à celui calculé dans l'expected case (7%) de l'étude d'Andrae¹⁷⁷.

Dans la globalité, plusieurs tendances sont envisageables pour les trois briques étudiées, dépendant des périmètres des études, des hypothèses retenues et des choix méthodologiques réalisés. Des tendances fortes sont cependant communes aux différentes études et figurent dans les paragraphes ci-dessus.

Enfin, au-delà du périmètre de l'étude, les équipements TIC dans le secteur public peuvent être mentionnés pour la consommation énergétique non négligeable qu'ils engendreront à horizon 2025, tels que les points WiFi, les supports de signalisation ainsi que les équipements réseaux à usage personnel et professionnel.

7. Pistes d'action

7.1. Introduction

7.1.1. Objectif de l'étude

Conformément au cahier des charges de la présente étude, cette section propose des pistes d'action détaillées et implémentables, sur la base des constats et analyses des sections précédentes. La réalisation d'études complémentaires est également proposée.

7.1.2. Méthodologie

Les pistes d'action ci-après reprennent et approfondissent les travaux de la feuille de route *Numérique & Environnement*¹⁸⁶, élaborée par le gouvernement en février 2021. Elles s'appuient notamment sur les informations et propositions tirées des interviews (cf. partie 4).

Ce faisant, cette section propose un ensemble d'actions et sous-actions élaborées à partir des travaux préalablement menés et initiés par les pouvoirs publics (Convention Citoyenne pour le Climat, rapport du Sénat et du Haut Conseil pour le Climat sur l'empreinte environnementale du numérique, rapport de l'Arcep pour un « numérique soutenable », etc.), enrichies des leviers proposés par les acteurs privés et publics rencontrés pendant cette étude. Certaines actions et sous-actions proposées dans cette partie du rapport recoupent la proposition de loi visant à réduire les impacts environnementaux du numérique, déposée au Sénat en octobre 2020¹⁸⁷ : information et sensibilisation des citoyens aux impacts environnementaux du numérique, limitation du renouvellement des terminaux, développement et émergence d'usages plus vertueux ou encore promotion de centres de données et réseaux plus efficaces énergétiquement.

Afin d'en assurer la pertinence, ces actions ont été confrontées aux volets comportementaux et techniques respectivement présentés en parties 5 et 0.

Enfin, les actions présentées dans cette partie n'ont pas vocation à être toutes portées par l'ADEME et l'Arcep. Elles concernent l'ensemble des acteurs publics et privés.

7.1.3. Les grandes mesures de la feuille de route Numérique et Environnement

La feuille de route Numérique et Environnement propose des actions concrètes pour faire converger les politiques publiques relatives aux transitions numérique et écologique.

Elle se compose de 15 actions qui s'articulent autour de trois grands axes :

- **1^{er} axe - Connaître pour agir** : Développer les connaissances de l'empreinte environnementale du numérique :
 - *Action 1* : Élaborer une méthodologie de quantification de l'empreinte du numérique sur l'environnement ;
 - *Action 2* : Savoir mesurer l'empreinte écologique du numérique des ministères ;
 - *Action 3* : Construire un baromètre environnemental des acteurs du numérique.

¹⁸⁶ Ministère de la Transition Ecologique (2021), *Feuille de route Numérique & Environnement*, 34 pages

¹⁸⁷ Proposition de loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France, P. Chaize, G. Chevrollier, J-M. Houllégatte, H. Maurey, et al. Texte déposé au Sénat le 12 octobre 2020.

-
- **2^e axe – Soutenir un numérique plus sobre** : réduire l’empreinte environnementale du numérique :
 - Action 4 : Mettre en œuvre un cadre de confiance pour l’écoconception et l’information des consommateurs ;
 - Action 5 : Soutenir le développement d’une filière française du réemploi et du reconditionnement ;
 - Action 6 : Prolonger la durée de vie des équipements et lutter contre l’obsolescence logicielle ;
 - Action 7 : Soutenir le développement d’une offre française compétitive de produits et services numériques écoresponsables ;
 - Action 8 : Accompagner les acteurs du numérique dans l’adoption de l’écoconception et des principes du numérique durable et sobre ;
 - Action 9 : Maîtriser l’empreinte environnementale liée à l’usage des infrastructures numériques ;
 - Action 10 : Accompagner les entreprises dans une transition numérique ;
 - Action 11 : Mettre en œuvre l’exemplarité de l’Etat avec des services publics écoresponsables (tech.gouv) ;
 - Action 12 : Former et sensibiliser les citoyens.
-
- **3^e axe – Innover** : Faire du numérique un levier de transition écologique et solidaire :
 - Action 13 : Mettre les données au service de l’environnement ;
 - Action 14 : Mettre l’innovation numérique au service de l’environnement ;
 - Action 15 : Soutenir l’écosystème des GreenTech mobilisant le numérique.

Pour chacune des 15 actions, les encadrés gris présentés dans la partie suivante ont été repris de la feuille de route du gouvernement *Numérique et Environnement*. Les actions ont ensuite été développées et étayées grâce aux enseignements des parties précédentes du rapport.

7.2. Les actions proposées pour limiter les impacts environnementaux du numérique

7.2.1. Axe 1 : Développer la connaissance de l’empreinte environnementale du numérique

Action 1 : Élaborer une méthodologie de quantification de l’empreinte du numérique sur l’environnement

a. Présentation et justification de l’action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

L’empreinte écologique d’un produit ou d’un service numérique est un prérequis essentiel pour avancer sur la réduction de l’empreinte écologique du numérique, en particulier pour mettre en œuvre une politique d’affichage environnementale et pour permettre aux acteurs de travailler à réduire leur empreinte environnementale. Cette évaluation suppose une analyse sur l’ensemble du cycle de vie du produit et la constitution de bases de données partagées, à jour et de bonne qualité.

Les sous actions proposées dans le cadre de l’Action 1 – Elaborer une méthodologie de quantification de l’empreinte du numérique sur l’environnement, sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

N°	Sous-actions
1.1	Développer une méthodologie d’évaluation environnementale des services numériques.
1.2	Réaliser un plan d’action pour la mobilisation de sources de données environnementales complémentaires
1.3	Suivre la mission ARCEP-ADEME sur l’évaluation de l’impact environnemental du numérique en France.
1.4	Lancer une étude sur les objets connectés afin d’identifier les principaux impacts environnementaux et les gains de productivité utiles à la préservation de l’environnement.
1.5	Lancer et participer aux travaux européens pour normaliser les méthodologies de quantification de l’empreinte du numérique.
1.6	Enrichir la méthode MAREVA2 d’évaluation de projet par un volet méthodologique intégrant des axes d’analyse d’écoconception.

Tableau 25 - Sous-actions de l’action 1: Élaborer une méthodologie de quantification de l’empreinte du numérique sur l’environnement

La création d’une méthodologie consensuelle de mesure des impacts environnementaux du numérique a été plébiscitée par les personnes interviewées (cf. partie 2). La mesure constitue en effet un vecteur de changement car elle permet aux acteurs concernés de connaître leurs sources d’émissions principales, de comparer des résultats et de concentrer leurs efforts sur les actions les plus efficaces d’un point de vue environnemental. Elle est ainsi essentielle pour définir un plan d’action robuste et efficace.

Pour être pertinente, cette méthodologie doit être disponible en libre accès, gratuite et accessible à l’ensemble de l’écosystème. L’accessibilité s’entend à la fois au regard des moyens mis en œuvre pour la déployer (temps, compétences, etc.) et des services concernés (elle doit être aussi bien applicable à un site internet qu’à la mesure de l’impact environnemental d’un équipement numérique par exemple). Il est également nécessaire que, à l’instar d’autres méthodologies de mesure des impacts environnementaux développées par l’ADEME, les acteurs puissent être formés de façon volontaire et gratuite. Les travaux

menés dans le cadre de l'article 13 de la loi AGEC et la création d'un PCR – *Product Category Rules*, cf. *section 2.2.3-* mis à disposition des acteurs du numérique vont en ce sens¹⁸⁸.

Néanmoins, de nombreux défis doivent encore être surmontés afin de proposer une méthodologie consensuelle. En effet, la complexité (aussi bien en matière d'approvisionnement en ressources que de consommation d'énergie par exemple) et l'intersectorialité (attribution des bénéfices et enjeux du véhicule autonome entre les secteurs automobile et/ou des services numérique par exemple) des services numériques rendent l'allocation des impacts et la mesure des effets rebonds difficiles à opérer. **Il apparaît donc nécessaire que les frontières du numérique soient définies et collectivement comprises pour que les études menées sur des services/biens puissent être effectivement comparées.**

En parallèle de la construction d'une méthodologie chapeau de mesure des impacts environnementaux du numérique, il apparaît nécessaire de créer des bases de données disponibles en open source/open data pour pallier les difficultés de la collecte de données, et alimenter par exemple la Base Impact mis en place par l'ADEME¹⁸⁹. Ces mesures seront plus amplement présentées en Action 13.

Etant donné le caractère transfrontalier de l'impact environnemental du numérique, il serait intéressant d'établir des méthodologies de mesures harmonisées au niveau UE, à l'image du PCR au niveau national. La méthode PEF (*Product environmental footprint*) développée sous l'égide de la Commission européenne permet de développer des analyses de cycle de vie pour des biens et services, les PEFCR (*Product Environmental Footprint Category Rules*). Ces PEFCR concernent différentes catégories de produits (par ex. produits laitiers, eau en bouteille, etc.), et permettent aux consommateurs de comparer les produits entre eux. Il existe un PEFCR¹⁹⁰ pour l'*IT equipment*, mais dont le périmètre est actuellement limité aux équipements de stockage. Il exclut ainsi les centres de données, les réseaux et autres équipements IT.

b. Eléments complémentaires aux sous actions de la feuille de route Numérique & Environnement du gouvernement

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions de la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
1.1	<p>Développer une méthodologie d'évaluation environnementale des services numériques.</p> <p>Adapter cette méthodologie pour qu'elle soit applicable à tous les acteurs et activités de l'écosystème numérique et qu'elle permette un suivi des progrès et évolutions des services / biens concernés.</p> <p>Déployer cette méthodologie accessible afin d'y garantir l'accès pour tous les acteurs de l'écosystème numérique.</p> <p>Soutenir le développement de <i>Product Category Rules (PCR)</i> pour différents types de produits et services numériques à l'échelle française, permettant de comparer notamment l'impact environnemental des différents types de stockage de données.</p>

¹⁸⁸ Voir « ADEME, NegaOctet (2021), *Principes généraux pour l'affichage environnemental des produits de grande consommation – référentiel méthodologique d'évaluation environnementale des services numériques* » et « ADEME, NegaOctet (2021), *Principes généraux pour l'affichage environnemental des produits de grande consommation – Référentiel méthodologique d'évaluation environnementale de la Fourniture d'Accès Internet (FAI)* »

¹⁸⁹ Voir <https://www.base-impacts.ademe.fr/>

¹⁹⁰ European Commission (2018), *Product Environmental Footprint Category Rule - IT equipment (Storage)*, 238 pages

1.2	Réaliser un plan d'action pour la mobilisation de sources de données environnementales complémentaires (Envisager le déploiement de bases de données en open-source / open-data. Ces données doivent être issues d'un consensus entre les acteurs. Cf action proposée en 13.1)
Nouvelle proposition	Proposer des formations aux acteurs de l'écosystème pour les accompagner dans la mise en œuvre de la méthodologie de mesure des impacts environnementaux et l'utilisation des bases de données.
Nouvelle proposition	Travailler à la mise en place de PEFCR pour les centres de données et les réseaux, à échelle européenne

Tableau 26 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 1: Élaborer une méthodologie de quantification de l'empreinte du numérique sur l'environnement

Action 2 : Savoir mesurer l'empreinte écologique du numérique des ministères

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route Numérique & Environnement

La crédibilité de la parole de l'Etat suppose sa capacité à démontrer la faisabilité pratique de la démarche proposée et son application exemplaire. Savoir mesurer l'empreinte écologique du numérique des ministères constitue le socle de la démarche de réduction de cette empreinte.

L'approche englobera à terme l'ensemble des impacts et non pas seulement ceux relatifs à l'énergie et aux gaz à effet de serre, afin d'éviter les phénomènes de transfert d'impacts.

Une fois consolidée, la méthodologie a vocation à être partagée avec tous les acteurs publics, et en particulier les collectivités territoriales pour les accompagner dans la prise en compte de l'empreinte environnementale de leur numérique et vers plus de sobriété numérique.

N°	Sous-actions
2.1	Mesurer l'empreinte écologique annuelle du ministère de la Transition écologique
2.2	Produire une méthodologie standardisée de calcul de l'empreinte du numérique du MTE [SNUM] et passage à l'échelle au niveau interministériel [DINUM]

Tableau 27 -Sous-actions de l'action 2: Savoir mesurer l'empreinte écologique du numérique des ministères

Pour retrouver l'intégralité de la feuille de route Numérique & Environnement, cliquez [ici](#).

Les acteurs interviewés en partie 4 insistent sur le fait que les pouvoirs publics doivent être exemplaires dans leurs démarches, afin d'induire des comportements similaires chez les acteurs privés et utilisateurs de numérique. Dans le cas de la mesure de l'empreinte environnementale du numérique notamment, les pouvoirs publics doivent adopter un rôle pionnier pour encourager et stimuler le développement d'offres de numérique responsable sur le territoire.

L'application des méthodologies de mesure des impacts environnementaux du numérique au sein de l'administration centrale permettra d'identifier les axes d'amélioration de la méthodologie et de diffuser les bonnes pratiques nécessaires à son application à d'autres administrations, notamment aux collectivités territoriales. Toutefois, comme présenté en partie 4.2, la mise en œuvre d'une méthodologie harmonisée de mesure des impacts du numérique faisant consensus est très complexe. Pour permettre la comparabilité des études entre elles, cette méthodologie devra expressément définir l'allocation des

impacts à suivre, les différents usages considérés et le périmètre d'étude (prise en compte des impacts directs et indirects). Par ailleurs, au regard de la rapide évolution du secteur numérique, la méthodologie devra être mise à jour régulièrement pour être adaptée aux évolutions du secteur.

De telles actions permettent également d'encourager les discussions entre les instances privées et publiques. En effet, elles donnent plus de visibilité aux acteurs privés sur les travaux menés par le gouvernement sur le volet numérique et permettent d'engager une démarche participative dans la construction de méthodologie de calcul des impacts environnementaux.

b. Eléments complémentaires aux sous actions de la feuille de route Numérique & Environnement du gouvernement.

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions de la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
Nouvelle proposition	Diffuser un retour d'expérience (RETEX) à destination des collectivités territoriales ainsi qu'un registre des bonnes pratiques nécessaires à la bonne application de la méthodologie de calcul.

Tableau 28 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 2: Savoir mesurer l'empreinte écologique du numérique des ministères

Action 3 : Construire un baromètre environnemental des acteurs du numérique

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

La collecte de données sur l'empreinte environnementale des équipements et services numériques est essentielle à l'élaboration et à la mise en place de plans d'actions adaptés pour maîtriser l'empreinte environnementale de ce secteur et pour suivre les progrès réalisés.

L'enjeu est de développer au sein de la société une prise de conscience de l'impact environnemental du numérique via la transparence et le partage d'information à destination du public.

Cette collecte auprès de l'ensemble des acteurs du numérique (opérateurs de télécommunications, fabricants d'équipements et terminaux, fournisseurs de contenu et applications, datacenters) est la première étape de création d'un baromètre environnemental du numérique.

N°	Sous-actions
3.1	Confier à l'ARCEP, en associant l'ADEME, la mise en place d'une collecte annuelle de données environnementales auprès des acteurs du numérique.
3.2	Instruire la base légale pour rendre obligatoire cette collecte.
3.3	Construire un baromètre environnemental des acteurs du numérique et suivre son évolution.

Tableau 29 - Sous-actions de l'action 3: Construire un baromètre environnemental des acteurs du numérique

Pour retrouver l'intégralité de la feuille de route Numérique & Environnement, cliquez ici

Au-delà de la mesure de l’empreinte écologique du numérique des ministères, présentée dans l’action précédente, il est essentiel de pouvoir suivre les pratiques, tendances et développements de produits et services auprès de l’ensemble de l’écosystème numérique pour pouvoir à la fois alimenter les données d’inventaire des études d’impact quantifiées mais aussi, pour comprendre les évolutions du marché. Ainsi, il incombe à l’ensemble de l’écosystème des services numériques de mesurer ses impacts environnementaux selon les procédures créées par les pouvoirs publics.

En effet, pour pouvoir être comparées, les données environnementales collectées auprès des acteurs du numérique doivent être relevées annuellement et être mesurées au travers d’un référentiel de mesure commun présenté en Action 1 et de la mise à disposition de jeux de données communs présentés en Action 13. A l’instar des données de performance extra-financière publiées dans les rapports de gestion, la conformité et la sincérité des données environnementales collectées vis-à-vis de la méthodologie engagée doit être vérifiée par les pouvoirs publics, voire par des organismes tiers. En effet, les acteurs publics doivent s’assurer de la véracité de la donnée collectées, dans ce cadre le déploiement d’un cadre légal de collecte et de vérification des données permettrait notamment d’assurer la transparence de celles-ci.

Dans le cadre de la mise en place d’un baromètre spécifique aux questions environnementales mis en place par l’ARCEP, il faudrait pouvoir suivre les tendances de consommation des utilisateurs de numérique (utilisation des équipements, numérisation et dé-numérisation de certains secteurs, etc.- cf partie 5.2). D’autre part, les tendances techniques du secteur (consommation des réseaux, développement de certaines technologies, etc. - cf partie 6.6) devront être étudiées par l’observatoire des impacts environnementaux du numérique¹⁹¹, pour mieux comprendre l’empreinte environnementale des tendances de consommation. Ces informations pourront être utilisées à des fins de sensibilisation et de formation des utilisateurs et consommateurs mais pourront aussi permettre la réalisation d’études prospectives, notamment au regard de l’évolution de la consommation énergétique. En effet, il est nécessaire d’évaluer les éléments techniques et comportementaux de façon simultanée pour pouvoir réaliser des études tendancielle. Par exemple, les équipementiers développent des technologies de téléviseurs 8K dont la valeur ajoutée n’est perceptible que dans le cas d’une augmentation de la taille des écrans. Les habitudes et tendances de consommations des utilisateurs doivent donc être questionnées pour pouvoir évaluer le poids de la consommation d’énergie des téléviseurs dans les prochaines années.

b. Eléments complémentaires aux sous-actions de la feuille de route Numérique & Environnement du gouvernement

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
Nouvelle proposition	Déployer le baromètre environnemental du numérique pour évaluer l’évolution générale du secteur numérique et de ses impacts environnementaux (numérisation, dé-numérisation, réemploi, consommation d’énergie, émergence de technologies, émergence des low-techs, etc.).
Nouvelle proposition	Etudier la possibilité de contrôler la conformité des données environnementales du numérique publiées.

¹⁹¹ Créé par la LOI n° 2021-1485 du 15 novembre 2021 visant à réduire l’empreinte environnementale du numérique en France : « Un observatoire des impacts environnementaux du numérique analyse et quantifie les impacts directs et indirects du numérique sur l’environnement ainsi que la contribution apportée par le numérique, notamment l’intelligence artificielle, à la transition écologique et solidaire. Il élabore une définition de la sobriété numérique »

7.2.2. Axe 2 : Réduire l’empreinte environnementale du numérique

Action 4 : Mettre en œuvre un cadre de confiance pour l'écoconception et l'information des consommateurs

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

L'écoconception consiste à intégrer la protection de l'environnement dès la conception des biens ou services. Elle a pour objectif de réduire les impacts environnementaux des produits tout au long de leur cycle de vie : extraction des matières premières, production, distribution, utilisation et fin de vie. Elle se caractérise par une vision globale de ces impacts environnementaux : c'est une approche multi-étapes (prenant en compte les diverses étapes du cycle de vie) et multicritères (prenant en compte les consommations de matière et d'énergie, les rejets dans les milieux naturels, les effets sur le climat et la biodiversité).

L'impact environnemental de la production des équipements numériques représentant une part fortement majoritaire de leur impact environnemental total, l'écoconception constitue un enjeu particulièrement majeur pour le secteur. Il constitue également un enjeu de filière industrielle et d'emploi pour la France, porté par une demande forte des consommateurs.

N°	Sous-actions
4.1	Elaborer les textes d'application de la loi contre le gaspillage et économie circulaire au niveau français (indice de réparabilité, indice de durabilité, extension de la GLC pour les produits réparés, information du consommateur sur la disponibilité des pièces détachées).
4.2	Finaliser le nouveau plan de travail pour la directive européenne écoconception 2020-2024 début 2021 afin d'y actualiser et intégrer de nouveaux critères environnementaux.
4.3	Porter au niveau européen un élargissement du périmètre de l'écolabel européen à davantage d'équipements numériques.
4.4	Développer un référentiel pour l'écoconception des produits et services numériques, destiné aux administrations et entreprises susceptibles d'acquérir, concevoir, développer ou implémenter un service numérique et accompagner sa mise en œuvre.

Tableau 31 - Sous-actions de l'action 4: Mettre en œuvre un cadre de confiance pour l'écoconception et

Il ressort des section 4 et 5 qu'il est utile de permettre aux consommateurs, grâce à un **référentiel de confiance**, de **comprendre et de comparer les biens et services au regard de leurs impacts environnementaux**. Cela nécessite un **cadre de communication clair** et transparent, notamment lorsque la communication poursuit des fins commerciales. Les **labels** sont un premier exemple d'information simple et accessible pour les consommateurs, de même que la certification ou encore l'affichage environnemental. En informant les consommateurs sur l'impact de leurs choix en matière de matériel numérique, cet outil d'aide à la décision a un impact indirect sur l'environnement en contribuant à une plus grande information et autonomisation des utilisateurs, et leur permet d'orienter leurs choix. Au regard des analyses de la partie 0, corroborées par les résultats de l'analyse cycle de vie, l'écoconception et les communications environnementales des téléviseurs et équipements IoT serait à prioriser car ces terminaux sont susceptibles de présenter la part de consommation énergétique

majoritaire dans les années à venir en phase d'utilisation. Avec les smartphones, ces terminaux sont les plus émetteurs de GES en France, phase d'utilisation et de production confondues, à horizon 2040¹⁹².

En parallèle des mesures de communication et de sensibilisation à mettre en œuvre (*cf. Action 12*), il apparaît nécessaire que les indicateurs tiennent compte des **différentes étapes du cycle de vie** d'un produit ou d'un service. Par exemple, l'indice de réparabilité d'un produit apporte des informations sur la réparabilité et la phase d'usage et permet d'avoir un impact sur la fin de vie des produits, tandis qu'un critère de consommation énergétique (Directive 2009/125/EC dite directive Ecodesign) permet de traduire des impacts environnementaux induits par la phase d'utilisation. Il est donc important que certaines mesures, telles que la limitation des consommations d'énergie lors de la non-utilisation des équipements (par exemple, dans le cas des nouvelles générations de box internet et TV), puissent être identifiées facilement par les consommateurs au travers d'indicateurs simples. De plus, la mise en place de tels éléments de communication sur les équipements et terminaux pourrait **inciter les fabricants et acteurs privés à intégrer plus de critères environnementaux** dans les phases de conception. Les critères d'écoconception pourraient ainsi rapidement devenir des critères différenciant sur le positionnement des produits auprès des consommateurs. En effet, certaines études¹⁹³ montrent que même si certains critères d'écoconception, tels que l'intégration de matériaux recyclés, peuvent freiner l'acceptabilité des consommateurs à payer un prix plus élevé pour un même produit, le cadre de confiance développé par des certifications auditées par des tiers a, lui, tendance à faire augmenter la valeur marchande des produits ou services.

En revanche, pour être efficace, les labels et autres déclarations environnementales doivent susciter la confiance des consommateurs. Le soutien des autorités publiques au développement de **labels officiels** apparaît pour cela nécessaire, en collaboration avec les associations professionnelles, acteurs privés, chercheurs, etc. Les autorités publiques devraient également pouvoir assurer leur bonne application. A l'instar des travaux réalisés dans le cadre de l'EcoScore alimentaire, ces éléments de communications peuvent par exemple être construits par un consortium d'entreprises et d'associations engagées sur le sujet. Également, en réponse à l'article 15 de la loi n°2020-105 relative à la lutte contre le gaspillage et l'Economie circulaire, la vérification de la sincérité et de la conformité des éléments de communication doit être validée par la Délégation de Service Public (DSP) de l'ADEME créée dans le cadre de l'affichage environnemental. Les acteurs publics devraient donc définir des critères de communications simples et faciles d'appréhension par le grand public et ils doivent également s'assurer du bon développement méthodologies de calcul adaptées à différents types d'objets (téléviseurs, smartphones, etc.).

Une fois ces mesures appliquées aux produits avec succès, leur extension aux services devra être étudiée. En effet, il a par exemple été mentionné lors des entretiens (*cf partie 4.3.2*) la possibilité d'informer les utilisateurs de l'impact environnemental d'une session de visionnage vidéo (en fonction de la qualité de la vidéo, du type de réseau/Wifi utilisé, du terminal sur lequel la vidéo a été regardée, etc.). Cette mesure nécessiterait d'étendre l'article 13 de la loi AGEC, déjà applicable aux opérateurs de réseaux, aux fournisseurs de contenu par exemple.

¹⁹² Brux, J., Ferreboeuf, H., Guillet, L., Laly, C-E., Mevel, A. et Sevaistre, C. (2020), *Empreinte carbone du numérique en France*, Senat CITIZING, 128 pages

¹⁹³ Voir par exemple Boyer, R.H.W., Hunka, A.D., Linder, M., Whalen, K.A., Habibi, S. (2021), *Product Labels for the Circular Economy: Are Customers Willing to Pay for Circular?*, Sustainable Production and Consumption, Volume 27 Pages 61-71

et Pretner, G., Darnall, N., Testa, F., Iraldo, F. (2021), *Are consumers willing to pay for circular products? The role of recycled and second-hand attributes, messaging, and third-party certification*, Resources, Conservation and Recycling, Volume 175,

b. Éléments complémentaires aux sous-actions de la feuille de route Numérique & Environnement du gouvernement

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
Nouvelle proposition	Déployer un système de contrôle et de validation des labels et référentiels d'écoconception pour assurer un cadre de confiance aux utilisateurs de produits et services numériques.

Tableau 32 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 4: Mettre en œuvre un cadre de confiance pour l'écoconception et l'information des consommateurs

Action 5 : Soutenir le développement d'une filière française du réemploi et du reconditionnement

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route <i>Numérique & Environnement</i>	
La production de terminaux numériques est responsable de la grande majorité de l'impact environnemental du secteur. Ces équipements étant composés à plus de 90% de contenu manufacturier fabriqué hors de France, leur production contribue très peu à l'emploi en France.	
Les activités des acteurs de la filière du réemploi et du reconditionnement d'équipements informatiques permettent de prolonger la durée de vie des équipements tout en favorisant l'emploi local. Le développement et la dynamisation de la filière du réemploi et du reconditionnement d'équipements informatiques contribuerait ainsi à maîtriser l'impact environnemental des équipements, à créer des emplois et à favoriser l'inclusion numérique.	
N°	Sous-actions
5.1	Accompagner et faciliter la montée en charge des éco-organismes.
5.2	Soutenir la demande pour le matériel reconditionné au travers de la politique d'achat public (20 % des achats de téléphones fixes et portables et 20 % du matériel informatique issu du réemploi ou de la réutilisation).
5.3	Abonder le fonds économie circulaire de l'ADEME (Plan France Relance) d'une enveloppe de 21 M€.
5.4	Lancer une enquête de la DGCCRF sur le fonctionnement du marché de l'après-vente des terminaux numériques.
5.5	Mobiliser les opérateurs de télécommunication et l'ensemble des distributeurs dans le cadre de la concertation annoncée par les ministres afin de faire d'eux des acteurs centraux de la collecte des smartphones.
5.6	En s'appuyant sur la définition des produits reconditionnés prévue par la loi AGEC, mettre en place un label sur le reconditionné

Tableau 33– Sous-actions de l'action 5 : Soutenir le développement d'une filière française du réemploi et du

La partie 5.3.1 a permis de montrer qu'un usage responsable des équipements constitue la première bonne pratique en matière de sobriété numérique. Ainsi, dès lors que la fabrication d'équipements

représente la majorité des impacts¹⁹⁴, l'achat d'équipements reconditionnés¹⁹⁵ ou issus du réemploi constitue une vraie opportunité d'allonger la durée de vie des équipements et de réduire les pressions sur l'environnement. Par exemple dans le cas des terminaux mobiles, d'après le rapport sur le renouvellement des terminaux mobiles et pratiques commerciales de distribution¹⁹⁶ de l'Arcep, bien que la durée d'usage individuel des terminaux se soit allongées de 6 à 12 mois sur la période 2013-2019, le rythme de renouvellement des terminaux est toujours trop rapide et éloigné de la durée de vie potentielle des terminaux mobiles estimée à 5 à 10 ans par certains experts du numérique (à condition qu'il n'y ait pas de limitation d'obsolescence culturelle ou logicielle).

La diffusion de ces pratiques nécessite cependant un cadre de confiance pour les utilisateurs et notamment des garanties sur la qualité des terminaux. En outre, les entretiens (partie 4) ont permis de souligner plusieurs freins au déploiement de filières de réemploi ou de reconditionnement, notamment un modèle économique encore trop instable. Les acteurs publics pourraient intervenir ici en créant un cadre réglementaire propice à la mise à disposition et la sécurisation de pièces détachées et en incluant prioritairement des critères liés à l'achat de matériels reconditionnés dans la commande publique.

Les services et garanties associés aux produits reconditionnés devraient également être étudiés afin de s'assurer qu'ils ne constituent pas des freins au développement de la filière. Le fait que les équipements reconditionnés aient aujourd'hui des garanties moins longues que les produits neufs n'aide pas à améliorer la confiance des utilisateurs et des acheteurs. En outre, comme présenté en partie 5.5.2., la représentation induite par la possession d'un terminal neuf est cruciale dans la prise en compte de la conduite du changement. D'après le baromètre Re-commerce, 50% des Français ne sont pas encore prêts à remplacer l'achat d'un téléphone neuf par un équipement reconditionné.¹⁹⁷ Il est donc nécessaire de travailler sur la communication et les bénéfices utilisateurs (financiers, etc.) des filières de réemploi et de reconditionnement pour rendre ces services plus attractifs auprès des consommateurs. Par exemple, en plus des avantages environnementaux induits, les filières de réemploi et reconditionnement permettent de rapatrier une expertise sur le territoire européen et français et de créer plus d'inclusion numérique. Ainsi, bien que complexes à mettre en œuvre au vu d'éventuels obstacles législatifs, il est nécessaire que les pouvoirs publics définissent un cadre fiscal et organisationnel vertueux permettant de promouvoir l'émergence de solutions de réemploi et de reconditionnement. En proposant un bénéfice utilisateur plus grand et donc une demande accrue de la part des consommateurs, ces avantages permettront ensuite aux acteurs privés de proposer plus d'offres de produits reconditionnés et issus du réemploi. En ce sens, la proposition de loi, visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France, propose par exemple des taux de TVA réduits sur la réparation des terminaux et l'acquisition d'objets électroniques reconditionnés ainsi qu'une obligation pour les professionnels proposant la vente ou location d'équipements neufs d'informer les consommateurs de l'existence d'offres d'équipements reconditionnés¹⁹⁸.

D'autres solutions pourraient également être étudiées pour encourager le développement de filières de réemploi et de reconditionnement en France. En effet, même si les professionnels ont pour obligation d'informer les consommateurs de la disponibilité des pièces détachées des produits mis sur le marché

¹⁹⁴ Bordage, F. et Fournier, C. (2017), *Benchmark numérique responsable*, GreenIT, ADEME, Institut du Numérique Responsable et World Wildlife Foundation, 39 pages

¹⁹⁵ On pourra noter quelques limites du modèle du reconditionnement. L'origine des terminaux reconditionnés d'abord, puisque la durée de première utilisation du terminal d'origine n'est pas connue, et est potentiellement courte. D'autre part, le marché actuel se concentrerait sur un nombre réduit de terminaux principalement haut de gamme, qui garderaient une valeur élevée plus longtemps - voir Arcep (2021), *Renouvellement des terminaux mobiles et pratiques commerciales de distribution*, 43 pages.

¹⁹⁶ Arcep (2021), *Renouvellement des terminaux mobiles et pratiques commerciales de distribution* 43 pages.

¹⁹⁷ Baromètre Re-commerce (2021), *Le marché du mobile d'occasion*, Communiqué de presse

¹⁹⁸ Proposition de loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France, P. Chaize, G. Chevrollier, J-M. Houllégatte, H. Maurey, et al. Texte déposé au Sénat le 12 octobre 2020.

depuis le 1^{er} mars 2015¹⁹⁹, la disponibilité même de certaines pièces peut s'avérer être un frein au développement de ces filières. Au niveau européen, dans le cadre de la Directive 2009/125/EC (dite « Directive Ecodesign »), les travaux préparatoires à la mise en place de critères d'éco-conception pour les tablettes et smartphones²⁰⁰ préconisent une obligation de mise à disposition de certaines pièces détachées pour une durée de 5 ans (smartphones) ou 6 ans (tablettes) à l'utilisateur final ou au réparateur professionnel. Certaines mises à jour, notamment de sécurité, doivent également être disponibles pendant 5 ans, afin d'éviter le phénomène d'obsolescence logicielle. La durée de ces obligations pourrait être allongée, et leur périmètre étendu à d'autres catégories de terminaux à l'empreinte environnementale significative, et potentiellement sujets à l'obsolescence programmée (par ex. les *smart TVs*).

D'autre part, la viabilité de nouvelles solutions technologiques pourrait également être étudiée. L'impression 3D par exemple permettrait de résorber les difficultés liées à la production à la demande des pièces nécessaires à la réparation d'objets numériques. Ainsi, plutôt que de solliciter les équipementiers souvent étrangers, cette mesure permettrait de rapatrier une activité économique sur le territoire et de créer des emplois en France. Toutefois, malgré un coût de la fabrication des pièces constant (pas besoin de moules, etc.) et une plus grande facilité à fabriquer des pièces en petites séries, des obstacles demeurent, notamment liés à un surcoût comparé au prix de vente du fabricant et à des questions de propriété intellectuelle (nécessité de disposer des plans, design, spécifications, etc. des pièces détachées)²⁰¹.

b. **Éléments complémentaires aux sous-actions de la feuille de route *Numérique & Environnement* du gouvernement**

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
Nouvelle proposition	Etendre la durée de disponibilité des pièces détachées et de mises à jour logicielles pour les smartphones et tablettes, et étudier l'opportunité d'extension de cette action à d'autres terminaux utilisateur.
Nouvelle proposition	Etudier la faisabilité du déploiement de nouvelles technologies (fabrication additive par exemple) pour permettre la fabrication de pièces détachées et donc soutenir le développement de filières de reconditionnement et réemploi.

Tableau 34 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 5 : Soutenir le développement d'une filière française du réemploi et du reconditionnement

¹⁹⁹ Loi Consommation : Décret n°2014-1482 du 9 décembre 2014 relatif aux obligations d'information et de fourniture concernant les pièces détachées indispensables à l'utilisation d'un bien.

²⁰⁰ Schischke, K. et al., (2020b), *Ecodesign preparatory study on mobile phones, smartphones and tablets*, European Commission.

²⁰¹ Rayna, T. (2021), *Pourquoi la révolution de l'impression 3D n'a toujours pas eu lieu ?* Polytechnique Insights

Action 6 : Prolonger la durée de vie des équipements et lutter contre l'obsolescence logicielle

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

L'allongement de la durée de vie des équipements numériques est un enjeu majeur, leur production représentant une part majoritaire de leur impact environnemental.

De nombreuses mesures de la loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (AGEC) visent à allonger la durée de vie des produits (indice de réparabilité, disponibilité des pièces détachées, garantie légale de conformité) et plusieurs actions de la feuille de route « numérique et environnement » vont également dans ce sens (cf. action 5 « Soutenir le développement d'une filière française du réemploi et du reconditionnement », action 7 « Soutenir le développement d'une offre française compétitive de produits et services numériques écoresponsables » et action 8 « Accompagner les entreprises du numérique dans l'adoption de l'écoconception et des principes du numérique durable et sobre »).

Par ailleurs, la durabilité des logiciels contribue largement à la durée d'usage des équipements électroniques, qu'il s'agisse des systèmes d'exploitation, des applications ou d'autres fonctionnalités.

Cette obsolescence logicielle impacte le taux de renouvellement des équipements et leurs possibilités de reconditionnement : les fabricants développant des pilotes matériels (drivers) uniquement pour les versions les plus récentes des systèmes d'exploitation.

En outre, la mise à jour de fonctionnalités ne sont pas toujours conçues pour les systèmes d'exploitation plus anciens, provoquant d'éventuelles dégradations de performance ou pannes matérielles qui incitent à leur tour au renouvellement des équipements.

N°	Sous-actions
6.1	Confier à l'ARCEP l'élaboration d'une étude sur les pratiques commerciales des téléphones mobiles subventionnés (dont les téléphones à « 1€ ») et de leur impact.
6.2	Identifier les moyens de lutter contre l'obsolescence logicielle via les travaux du Conseil général de l'économie (CGE) et du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD).
6.3	Élaborer les textes d'application de la loi AGEC relatifs à l'information du consommateur sur les mises à jour logicielles.
6.4	Transposer les directives 2019/770 sur les contrats de fourniture de contenus numériques et de services numériques et de la directive 2019/771 « vente de biens » en ligne avec l'intention du législateur sur la loi AGEC.
6.5	Au niveau européen, promouvoir l'intégration des pratiques d'obsolescence (programmée) logicielle dans la révision de la directive européenne relative aux pratiques commerciales déloyales.

Tableau 35 - Sous-actions de l'action 6 : Prolonger la durée de vie des équipements et lutter contre l'obsolescence logicielle

Le cas de l'obsolescence logicielle a été soulevé à plusieurs reprises par les acteurs interviewés, notamment par des associations œuvrant sur des thématiques en lien avec l'économie circulaire telles que Halte à l'Obsolescence Programmée. L'Eurobaromètre de la Commission Européenne montre par ailleurs que les problèmes de logiciel comptent pour près de 20% dans les motifs de renouvellement d'un

appareil numérique²⁰². De nombreuses mesures contre l'obsolescence logicielle sont portées au niveau européen, le rapport du Conseil général de l'Environnement et du Développement Durable propose notamment d'allonger la durée de disponibilité des mises à jour logicielles nécessaires au maintien de la conformité de l'équipement numérique²⁰³.

Mentionné en partie 5.3, l'allongement de la durée de vie des équipements est un volet essentiel à l'adoption de bonnes pratiques de sobriété numérique. Pour assurer son succès, il est nécessaire de sensibiliser les utilisateurs sur la matérialité du numérique (*cf Action 12*) et de travailler sur le bénéficiaire utilisateur pour inciter au changement : par exemple, le gain financier de recourir à un appareil reconditionné plutôt qu'à un appareil neuf ou bien la réduction d'actions de migrations de données d'un terminal vers l'autre induite par le changement fréquent d'équipements (*cf partie 5.5.3*)

Il a également été remonté au cours des entretiens la nécessité de lutter contre une obsolescence marketing et culturelle. En particulier, les publicités actuelles et les offres commerciales de certains opérateurs par exemple peuvent inciter à renouveler des équipements encore en état de marche. Celles-ci pourraient être encadrées à la fois sur la vente de terminaux (offres de mobiles à 1€, démarchage téléphonique, etc.) mais aussi sur la distribution systématique d'accessoires avec les terminaux (écouteurs, chargeurs, câbles, etc.).

Certaines mesures sont déjà portées à l'échelle européenne, c'est le cas notamment des travaux réalisés par la Commission Européenne sur le chargeur unique²⁰⁴. La Commission propose notamment des chargeurs aux ports de charge harmonisés pour l'ensemble des appareils électroniques **ainsi que la dissociation de la vente systématique du chargeur avec celle de l'appareil**. A l'échelle européenne, de telles mesures pourraient permettre de limiter les 11 000 tonnes de déchets électroniques dues à la mise au rebut de chargeurs.

Néanmoins, s'agissant de l'obsolescence marketing, d'autres mesures, telles que l'encadrement de la vente de terminaux subventionnés, semblent avoir un effet plus limité sur la durée de vie et d'usage des équipements. En effet, les résultats de l'étude menée par l'Arcep sur le renouvellement des terminaux mobiles et pratiques commerciales de distribution²⁰⁵ démontrent que les offres forfaitaires couplées à l'achat de téléphones mobiles ne participent que très peu à la réduction de la durée d'usage des terminaux mobiles (29 mois versus 32 mois d'usage).

In fine, bien que les actions pour limiter l'obsolescence anticipée des terminaux doivent être réalisées par les acteurs privés, fournisseurs d'équipements ou de logiciels/applications, il ressort des entretiens que des textes de loi soient établis et portés par les acteurs publics contribueraient à inciter au changement. Ces bonnes pratiques liées à l'allongement de la durée de vie (*cf partie 5.3*) vont également de pair avec les bonnes pratiques liées à la consommation de données. En effet, en plus de rendre certains terminaux obsolètes du fait de mises à jour logicielle trop complexes, l'étude de Hazas²⁰⁶ démontre que les mises à jour logicielle représentent une demande automatique considérable de données sur Internet. En effet, les demandes de mises à jour logicielle représentent actuellement près de 6% du trafic de téléchargement, voire 10% si on inclut les téléchargements et les mises à jour de jeux vidéo. Il est donc nécessaire, pour limiter la pression environnementale des services numériques, d'agir à la fois sur l'allongement de la durée de vie des équipements mais aussi des logiciels.

Pour comprendre les habitudes des consommateurs et proposer des mesures efficaces, des études complémentaires devront être réalisées, notamment sur l'impact des pratiques commerciales sur les

²⁰² Obsolescence logicielle, M. Castellazzi, A. Moatti, B. Flury-Herard, B. Schwob. Rapport CGEDD n°013416-01, CGE n°2020/11/CGE/SG, Février 2021

²⁰³ Obsolescence logicielle, M. Castellazzi, A. Moatti, B. Flury-Herard, B. Schwob. Rapport CGEDD n°013416-01, CGE n°2020/11/CGE/SG, Février 2021

²⁰⁴ La Commission propose un chargeur universel pour les appareils électroniques, Commission Européenne, 23 septembre 2021.

²⁰⁵ Renouvellement des terminaux mobiles et pratiques commerciales de distribution, Arcep, 3 juin 2021.

²⁰⁶ Hazas, M. et al. (2016), *Are there limits to growth in data traffic?: On time use, data generation and speed*, ResearchGate, 6 pages

habitudes de consommations des utilisateurs et sur les enjeux environnementaux associés. Ces études pourraient être réalisées à partir des données du baromètre environnemental du numérique présenté en Action 3.

b. Eléments complémentaires aux sous-actions de la feuille de route Numérique & Environnement du gouvernement

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
Nouvelle proposition	Dans la lignée des travaux de la Commission Européenne sur le chargeur unique, étudier l'encadrement de la vente systématique d'accessoires pour les terminaux (chargeurs mais aussi écouteurs, etc.).
Nouvelle proposition	Sur l'obsolescence logicielle : voir Action 6

Tableau 36 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 6 : Prolonger la durée de vie des équipements et lutter contre l'obsolescence logicielle

Action 7 : Soutenir le développement d'une offre française compétitive de produits et services numériques écoresponsables

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

Le marché des produits numériques écoresponsables et éco-conçus est actuellement faiblement développé, alors que la sensibilité du grand public aux enjeux environnementaux est croissante. En effet, des marchés dédiés à des produits à l'impact écologique réduit se sont fortement développés ces dernières années, dans le domaine de l'alimentation mais aussi de la mode ou de l'électroménager.

Face à cette tendance de fond, le développement d'une offre numérique sobre et l'écoconception de produits et services numériques peut devenir un levier de compétitivité et un facteur différenciant pour les acteurs français sur le marché international. Afin de les aider à développer des tels produits et services, un programme de soutien à l'innovation frugale va être développé.

N°	Sous-actions
7.1	Soutien financier des projets de recherche et développement industriels dédiés à l'écoconception des produits et services numériques.
7.2	Soutien financier des entreprises développant des produits et services numériques écoconçus.

Tableau 37 - Sous-actions de l'action 7 : Soutenir le développement d'une offre française compétitive de produits et services numériques écoresponsables

Revenir à la table des matières de la feuille de route Numérique & Environnement

Puisqu'il existe aujourd'hui peu de demande de la part des clients pour des services numériques écoconçus, il ressort de certains entretiens qu'une impulsion de la part des acteurs publics permettrait

aux prestataires de se différencier et de se distinguer en promouvant des leviers d'écoconception du numérique. En effet, les entretiens réalisés en partie 4 ont révélé que le manque d'incitations réglementaires et la concurrence accrue au sein du marché privé sont de vrais freins à la mise en place de solutions numériques éco-conçues.

Des mesures pourraient ainsi être adoptées pour faciliter le développement d'une offre numérique responsable. Par exemple, il conviendrait d'étudier l'incidence de la réorientation des subventions et financements en faveur des acteurs privés et de projets de recherche sur la base d'indices environnementaux, et de taxations préférentielles attribuées aux acteurs agissant en faveur d'un numérique plus soutenable. Pour ce faire et par souci de transparence, des critères bien établis et connus des acteurs privés doivent être mis en place et audités par les acteurs publics. D'autre part, il est nécessaire d'étudier l'opportunité de **soutenir la demande** pour des services et produits numériques écoconçus en proposant par exemple des mécanismes financiers préférentiels (dans le cadre d'une fiscalité écologique). Le soutien au développement d'offres et services écoconçus permettra indirectement de minimiser les impacts du numérique, notamment via une fiscalité écologique si les études spécifiques s'avèrent concluantes.

Il a néanmoins été souligné en partie 4 que cela ne devait pas conduire à créer un cadre réglementaire et fiscal trop contraignant et propice à la délocalisation de certaines activités numériques. En effet, les **réglementations doivent être mises en place à l'échelle européenne** et doivent être préalablement appliquées sur les activités territoriales sur lesquelles les autorités ont une marge de manœuvre (par exemple, les activités relatives aux réseaux, qui sont non-délocalisables).

Présenté en Action 3, le soutien à une offre française compétitive peut également s'accompagner de la **création d'un laboratoire français de recherche** financé par l'Etat afin de créer une émulation sur le sujet du numérique responsable. Les actions de formation à l'écoconception numérique présentées en Action 8 & Action 12 permettront également de développer un courant autour du sujet du numérique responsable et de faciliter le développement d'offre de services numériques adéquats.

Enfin, tous ces éléments doivent s'appuyer sur des **actions de sensibilisation**. La partie 4 souligne en effet le décalage entre les actes de consommation responsable et la perception de ces enjeux. Pour garantir le succès d'offres différenciantes d'un point de vue environnemental, il apparaît donc nécessaire de sensibiliser les consommateurs et d'agir sur leurs habitudes et attitudes en leur fournissant les raisons d'essayer de nouveaux services (*cf. Action 12 et partie 5.5.2*).

b. Eléments complémentaires aux sous-actions de la feuille de route Numérique & Environnement du gouvernement

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
Nouvelle proposition	Etudier l'éventualité d'une fiscalité écologique adaptée aux services numériques pour soutenir la demande pour des produits et services numériques responsables (au travers de subventions, taxes, redevances, etc.).

Tableau 38 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 7 : Soutenir le développement d'une offre française compétitive de produits et services numériques écoresponsables

Action 8 : Accompagner les acteurs du numérique dans l'adoption de l'écoconception et des principes du numérique durable et sobre

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

Des solutions technologiques ainsi que des bonnes pratiques existent pour réduire l'impact environnemental des entreprises du secteur du numérique sans pour autant limiter leurs performances. Au-delà des avantages écologiques, l'adoption de celles-ci entraînerait une économie de coûts de production et de fonctionnement et augmenterait la résilience des outils numériques. De surcroît, la mise en valeur de ces bonnes pratiques sous forme de labels (référentiels plutôt) répondrait à la demande de société civile, dont les propositions de la Convention citoyenne pour le climat se font l'écho, de pouvoir consommer des produits et services numériques plus éco-responsables.

Il s'agit donc ici de sensibiliser et d'accompagner les acteurs du numérique afin que les produits et services qu'ils développent soient plus responsables.

N°	Sous-actions
8.1	Intégrer dans le suivi sectoriel de toutes les filières numériques par les ministères un axe de sensibilisation des industriels du secteur numérique (data centers, cloud, infrastructures...) aux bénéfices économiques de l'écoconception et de la sobriété numérique.
8.2	Solliciter auprès des acteurs du numérique la formalisation de « codes de bonne conduite » en matière d'impact environnemental.
8.3	Adresser une première lettre de cadrage du Gouvernement demandant à l'ARCEP de prendre en compte les enjeux environnementaux dans les modalités d'attribution des fréquences 26 GHz de la 5G.
8.4.1	Poursuivre et finaliser la concertation avec les opérateurs télécom et les plateformes en vue de définir des engagements forts en faveur de la collecte et du reconditionnement des smartphones, d'émission de gaz à effet de serre, d'écoconception des box et des services numériques.
8.4.2	Mener une concertation avec les fabricants et distributeurs de téléphones en vue de définir des engagements forts en faveur de la collecte et du reconditionnement des smartphones.
8.5	Créer une offre de formation à l'écoconception et au GreenIT en formation continue, et intégrer de tels modules dans la formation initiale et continue à destination des personnels techniques et des décideurs.

Tableau 39 - Sous-actions de l'action 8 : Accompagner les acteurs du numérique dans l'adoption de l'écoconception et des principes du numérique durable et sobre

Au même titre que l'accompagnement des citoyens dans l'appréhension et la compréhension de enjeux environnementaux du numérique (*cf Action 12*), il est nécessaire que les acteurs publics accompagnent les acteurs privés dans la mise en œuvre de solutions plus responsables. Le déploiement du projet GreenConcept (2017-2019) par la CCI Occitanie/Hérault est un exemple d'accompagnement des entreprises privés par des acteurs publics pour le déploiement de mesures en faveur du numérique responsable. Le projet s'articulait en plusieurs volets, sensibilisation – accompagnement individuel et collectif des entreprises – valorisation des retours d'expériences (livre blanc, clips vidéo, etc.), afin de sensibiliser les entreprises aux enjeux environnementaux du numérique pour leur fournir des pistes et des leviers d'action pour monter en compétence sur le sujet. Bien que le projet soit terminé, les actions mises en place au sein des entreprises sont pérennes et les formations toujours en cours.

Pour se faire, des moyens techniques devraient être mis en œuvre, tels que la mise à disposition d'outils de mesure des impacts environnementaux présentés en Action 1 et Action 3 au même titre que des actions permettant de réduire l'impact environnemental de l'ensemble du cycle de vie des équipements numériques (fabrication, utilisation, fin de vie, etc.) et des formations. Il existe par ailleurs des référentiels mis à disposition des acteurs du numérique, comme EcolIndex ou Greenit.fr, regroupant l'ensemble des outils d'écoconception du numérique.

Au travers de ces actions, une implication croissante du secteur privé et une visibilité accrue sur les enjeux environnementaux du numérique permettra de créer un cadre de confiance et de préparer le changement auprès des citoyens dans la mise en place d'actions individuelles (*cf Partie 5.5.2*). En complément des mesures présentées en Action 7 pour soutenir le développement d'une offre française compétitive de produits et services écoconçus, ces actions permettront de stimuler la demande pour des produits plus responsables.

b. Présentation des sous-actions

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
8.4.2	<p>Mener une concertation avec les fabricants et distributeurs de téléphones en vue de définir des engagements forts en faveur de la collecte et du reconditionnement des smartphones.</p> <p>Le rapport rédigé pour l'AFNUM²⁰⁷ recommande par exemple la mise en place d'une incitation financière des fabricants et distributeurs à la collecte des téléphones, ciblant notamment les téléphones – fonctionnels ou non- stockés dans les tiroirs de leurs utilisateurs. Ces recommandations peuvent également être étudiées d'un point de vue réglementaire en cas d'échec de la concertation.</p>

Tableau 40 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 8 : Accompagner les acteurs du numérique dans l'adoption de l'écoconception et des principes du numérique durable et sobre

²⁰⁷ AFNUM (2019), *Étude du marché et parc de téléphones portables français en vue d'augmenter durablement leur taux de collecte*, 79 pages

URL:

https://www.afnum.fr/wp-content/uploads/2019/11/2019_EtudeTelephonesPortablesFR_Final_Rev.pdf

[https://www.afnum.fr/wp-](https://www.afnum.fr/wp-content/uploads/2019/11/2019_EtudeTelephonesPortablesFR_Final_Rev.pdf)

Action 9 : Maîtriser l’empreinte environnementale liée à l’usage des infrastructures numériques

a. Présentation et justification de l’action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

Les infrastructures numériques (réseaux et data centers) sont une des principales sources de l’empreinte environnementale du numérique. Les data centers en particulier (incluant les data centers étrangers utilisés pour les données consommées en France dont le mix énergétique est plus carboné) représentent 14% de l’empreinte carbone du numérique français, selon une étude réalisée dans le cadre de la mission d’information du Sénat. Depuis plusieurs années, les gains énergétiques de la filière ne font que compenser l’accroissement continu des usages.

N°	Sous-actions
9.1	Suivre la mission ARCEP-ADEME sur l’empreinte environnementale des réseaux de télécommunication.
9.2	Définir le cadre de mise en œuvre de l’obligation pour les opérateurs de télécommunication de fournir à leurs abonnés des informations sur la quantité de données consommées et leur équivalent en émissions de gaz à effet de serre.
9.3	Mettre en œuvre une consultation avec les plateformes pour évaluer l’ensemble des actions à mener pour développer la sobriété dans les usages.
9.4	Imposer des objectifs ambitieux de réduction de la consommation énergétique pour les gestionnaires de data centers (à activité constante, réduction de 40% de leur consommation d’ici 2030, 50% en 2040, 60% en 2050) via le décret relatif aux obligations d’actions de réduction de la consommation d’énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire
9.5	Soutenir les data centers écologiquement vertueux : approfondir l’éco-conditionnalité à l’application du tarif réduit de la TICFE sur la valorisation de la chaleur fatale et la consommation d’eau.

Tableau 41 - Sous-actions de l’action 9 : Maîtriser l’empreinte environnementale liée à l’usage des infrastructures numériques

S’agissant des réseaux, comme mentionné en partie 0, le degré de mise en application de la 5G va déterminer l’évolution de l’efficacité énergétique des réseaux et leur consommation totale. En effet, bien que son déploiement total entrainerait une consommation d’énergie supérieure à la consommation des réseaux actuels (du fait notamment de la hausse du trafic de données attendue ces dix prochaines années), la 5G est beaucoup plus efficace énergétiquement (en kWh/Go transféré) que d’autres technologies mobiles²⁰⁸. Ainsi, comme mentionné par l’un des acteurs interviewés en partie 4.3.2, les effets des améliorations technologiques des réseaux seront réellement perçus dès lors que les anciennes technologies (dont les réseaux cuivre, 2G/3G, etc.) auront été démantelées. Néanmoins, la pertinence environnementale de l’extinction des anciennes générations de réseaux mobiles semble complexe à évaluer

- d’après le rapport *Pour un numérique soutenable* ²⁰⁹ de l’Arcep, , certains équipements, notamment professionnels (par exemple des terminaux de carte bancaire), requièrent encore l’utilisation d’anciens réseaux mobiles 2G/3G. Puisque ces équipements ne sont pas pour l’instant voués à être changés, l’extinction des réseaux d’ancienne génération viendrait à rendre obsolètes lesdits équipements numériques et à questionner l’avantage environnemental de telles mesures ;

²⁰⁸ EDNA (2021), *Total Energy Model V2.0 for connected devices*, 34 pages

²⁰⁹ ARCEP (2020), *Pour un numérique soutenable*, rapport d’étape, synthèse de la plateforme de travail et 11 propositions de l’Arcep pour conjuguer développement des usages et réduction de l’empreinte environnementale du numérique, 130 pages

- Les équipements réseaux 2G/3G supportent plusieurs technologies, et peuvent pour certains être mobilisés pour la 4G. De même, les fréquences anciennement mobilisées pour la 2G/3G peuvent être utilisées par les opérateurs utilisant des générations postérieures de réseaux mobiles.

Ainsi, même si rapport de l'EDNA²¹⁰ soutient que les mesures publiques qui accélèrent le passage aux nouvelles technologies peuvent avoir des effets directs positifs sur le long-terme, il reste néanmoins important que ces politiques publiques soient évaluées au regard d'études d'impacts multicritères d'une part, pour éviter les transferts de pollution, et selon des méthodologies fiables d'autre part.

La mutualisation des infrastructures réseau a également été évoquée comme un levier de réduction de leur impact environnemental. De ce point de vue on pourra distinguer deux cas, et nuancer l'opportunité de mutualiser :

- Le cas des réseaux fixes, où conformément aux décisions de l'Arcep, l'ensemble du segment terminal²¹¹ des réseaux Fiber to the Home (FttH) sera à terme mutualisé.
- le cas des réseaux mobiles, où les opérateurs sont encouragés par les autorités de régulation à partager les infrastructures passives (points hauts support des antennes mobiles, câbles métalliques, etc.) et actives (stations de base par exemple) lorsque cela n'entrave pas l'accessibilité des réseaux²¹². En effet, si la mutualisation active a un avantage dans les zones rurales, elle n'empêche pas la sur-densification des réseaux dans les zones urbaines, liée à des problèmes de congestion du réseau. Ainsi, dans le cas de la mutualisation des réseaux, les différents scénarii doivent être étudiés de près pour prendre en considération les particularités de chaque situation.

S'agissant des datacenters, bien que de forts gains d'efficacité énergétique soient attendus (selon certains auteurs, ces gains seront censés compenser le doublement du nombre d'instances de calcul – cf *partie 0*), de nombreux efforts en matière d'efficacité énergétique restent nécessaires, notamment au regard du dimensionnement des infrastructures (cf *partie 4.2.4*). Par exemple, il est estimé qu'uniquement 30% des infrastructures datacenters installées sont aujourd'hui utilisées. Certaines sources pointent par ailleurs l'arrivée de méthodes de calcul telles que l'edge computing comme une problématique pour la consommation des datacenters, compte tenu de leurs PUE élevés (plus proches de 2 que de 1). Il faut noter que l'impact environnemental du développement de nouvelles technologies, telles que la blockchain par exemple, doit également être suivi par les pouvoirs publics. Il est nécessaire d'évaluer comment l'Etat va pouvoir soutenir le développement de ces technologies sans toutefois sacrifier le volet environnemental. D'après le rapport du Shift Project sur la 5G²¹³, l'essor des cryptomonnaies, dont certaines s'appuient sur une technologie blockchain, augmente considérablement la consommation énergétique des datacenters. Par exemple, la consommation électrique annualisée du bitcoin était de l'ordre de 130 TWh en mars 2021, avec une augmentation annuelle de près de 40%. Bien qu'une majorité de cette énergie soit consommée dans des « fermes » de datacenters spécialisées à l'étranger (cryptomining farms), l'impact des cryptomonnaies sur la consommation énergétique des datacenters n'en demeure pas moins considérable.

²¹⁰ EDNA (2021), *Total Energy Model V2.0 for connected devices*, 34 pages

²¹¹ « partie du réseau comprise entre le point de mutualisation et les prises situées dans les logements. La partie terminale est constituée par un ensemble de lignes ». Voir ARCEP (2021) Recueil de spécifications fonctionnelles et techniques sur les réseaux en fibre optique jusqu'à l'abonné en dehors des zones très denses. - Comité d'experts pour la boucle locale en fibre optique jusqu'à l'abonné V9 (28/07/2021)

²¹² Il y a deux formes de partage d'installations actives : l'itinérance, « lorsque un opérateur accueille les clients d'un autre opérateur sur son réseau mais seules les fréquences de l'opérateur d'accueil sont exploitées », et la mutualisation des réseaux, « lorsqu'un opérateur accueille les clients d'un autre opérateur sur son réseau mais que les fréquences des deux opérateurs sont exploitées ». Voir le site de l'ARCEP : <https://www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-reseaux-mobiles/le-partage-dinfrastructures-mobiles.html>

²¹³ Ferreboeuf, H., Efoi-Hess, M. et Verne, X. (2021), *Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G*, Note d'analyse, The Shift Project, 47 pages

De leur côté, les acteurs privés ont également un rôle à jouer dans la réduction de l’empreinte environnementale liée à l’usage des équipements, des données et des infrastructures numériques. Par exemple, des équipements plus performants et des évolutions technologiques sont attendus sur les box internet et TV pour limiter la consommation d’énergie lors de leur non-utilisation. La mise en œuvre de l’affichage environnementale et des solutions sont proposées dans le cadre de l’action 4.

Cependant, les progrès réalisés sur l’efficacité énergétique des infrastructures ne permettent pas de se passer complètement d’une approche holistique de l’impact environnement des infrastructures numériques. Cette approche holistique permettrait de prendre en compte l’impact environnemental global des infrastructures numériques, et non des équipements individuels, permettant d’évaluer un éventuel effet rebond. L’inflation d’ici 2030 du trafic de données traitées dans les datacenters (Figure 46) et transitant par les réseaux (Figure 41), et donc pesant sur la consommation énergétique de ces équipements, vient renforcer le besoin d’une approche holistique. Il n’existe pas actuellement de stratégie au niveau national (par exemple un budget carbone défini dans le cadre de la SNBC - Stratégie nationale bas-carbone) ou européen fixant des limites d’impact environnemental spécifiquement pour le secteur du numérique. Cette option pourrait être explorée.

De ce fait, un moyen potentiel de maîtriser l’impact environnemental réside pour les constructeurs et opérateurs d’infrastructures dans le fait d’utiliser des outils disponibles tels que les initiatives SBTi ou CDP (*cf partie 2.2.3*), qui portent néanmoins sur le seul impact climatique (la fixation d’autres objectifs est listée parmi les actions complémentaires au point b. ci-dessous). Ces démarches restent cependant volontaires et présentent plusieurs limites :

- S’agissant du périmètre sectoriel : par exemple, même s’il existe une méthodologie SBT développée sectoriellement pour l’ICT (recommandation ITU-T L.1470), celle-ci ne couvre pas l’ensemble du scope du secteur numérique. En effet, à date, des trajectoires de réduction des émissions à horizon 2030 ont été établies uniquement pour les opérateurs de réseaux mobiles, fixes et les opérateurs data-center. Il est nécessaire que les travaux sur la méthodologie soient poursuivis pour intégrer les autres sous-secteurs du numérique non encore couverts (par exemple, les producteurs d’équipements).
- S’agissant de l’application de ces initiatives : il est nécessaire que les entreprises engagées sur les initiatives SBT fassent preuve de cibles de réduction des émissions tangibles et validées par le SBTi pour démontrer du bienfondé et de la crédibilité de leur démarche. La question du périmètre géographique d’application, dans un ou plusieurs pays pour les entreprises multinationales, doit également être posée.
- S’agissant de la prise en compte des effets indirects : l’exclusion des émissions évitées dans le reporting SBT peut aussi être questionnée pour le secteur du numérique au regard de sa transversalité, son omniprésence et de ses impacts indirects, positifs ou négatifs. En effet, dans certains cas, les innovations numériques permettront à d’autres secteurs de se décarboner plus rapidement. Ces émissions évitées sont généralement exclues des mesures d’impact notamment du fait de l’incertitude et du manque de robustesse de leur chiffrage.

Dans un second temps, le développement d’une méthodologie ACT²¹⁴ pour le secteur numérique peut être soutenu. Au même titre que les méthodologies ACT développées par l’ADEME pour les secteurs de la construction automobile, l’industrie du ciment, les transports, etc. ou des méthodologies à venir pour le secteur de la chimie, agro chimie etc., cette méthodologie permettrait de valider la pertinence et la progression des stratégies bas-carbone amorcées par les différentes entreprises du numérique.

Néanmoins comme mentionné en action 1, il est nécessaire que soit au préalable établie une méthodologie de quantification des impacts environnementaux du numérique robuste pour pouvoir proposer des cibles de réduction des émissions cohérentes.

²¹⁴ ACT (*Assessing low Carbon Transition*): méthodologie développée par l’ADEME en partenariat avec l’initiative *Carbon Disclosure Project* (CDP).

b. Éléments complémentaires aux sous-actions de la feuille de route *Numérique & Environnement* du gouvernement

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
Nouvelle proposition	Etudier la pertinence environnementale, par rapport aux services apportés, du renouvellement des infrastructures (cessation des anciennes technologies, démantèlement du réseau cuivre, etc.).
Nouvelle proposition	Etude multicritères des impacts environnementaux du numérique - Imposer des objectifs suivant d'autres critères que les émissions de GES – traduisant la réduction de consommation d'eau et autres ressources.
Nouvelle proposition	Pour les acteurs privés fabricants ou opérants des infrastructures numériques, adhérer à des initiatives de cibles de réduction de GES
Nouvelle proposition	Etudier l'opportunité d'intégrer le numérique dans les stratégies nationales de réductions de GES (par ex. SNBC) en prenant en compte sa transversalité

Tableau 42 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 9 : Maîtriser l'empreinte environnementale liée à l'usage des infrastructures numériques

Action 10 : Accompagner les entreprises dans une transition numérique

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

Les outils numériques viennent bouleverser les manières de produire, travailler et de commercer. La crise sanitaire a contribué à accélérer considérablement ces bouleversements, en particulier avec le développement du télétravail. Cet usage massif des outils numériques a une influence certaine sur le bilan environnemental des entreprises – une influence qui peut se révéler tantôt positive tantôt négative, selon la manière dont il est géré et planifié.

Les entreprises doivent embrasser la transition numérique de la même manière qu'elles doivent assumer leurs responsabilités sociétales. Une entreprise numérique responsable devrait répondre à plusieurs enjeux majeurs en lien avec les objectifs de développement durable, parmi lesquels la responsabilité environnementale, liée à l'utilisation des données et des équipements numériques et informatiques.

N°	Sous-actions
10.1	Mobiliser les outils existants d'accompagnement des TPE-PME à la transition écologique en faveur des PME qui s'engagent dans la sobriété numérique.
10.2	Intégrer les risques, les opportunités et les impacts environnementaux liés au numérique dans le cadre du reporting extra-financier des entreprises.
10.3	Financer des démonstrateurs territoriaux sur l'accompagnement des TPE/PME dans leurs démarches vers le numérique durable avec 4 M€ par an financés par le plan France Relance.
10.4	Promouvoir la charte et le label numérique responsable de l'Institut du Numérique Responsable.

Tableau 43 - Sous-actions de l'action 10 : Accompagner les entreprises dans une transition numérique

Il a été présenté en partie 0 que les enjeux environnementaux du numérique doivent être intégrés aux stratégies économiques des entreprises. En effet, le business model doit être adapté afin d'intégrer la performance environnementale aux KPIs des entreprises. Ces actions doivent être menées en interne par les acteurs de l'écosystème numérique mais peuvent être encouragées par les acteurs publics, notamment au travers de dynamiques inter et intra-entreprises (au sein de l'INR par exemple). En effet, il a notamment été mentionné en entretien (*cf partie 4*) la nécessité de fédérer un écosystème foisonnant mais très atomisé d'initiatives existantes sur le sujet du numérique responsable. Certaines initiatives, telles que le label Numérique Responsable, permettent par exemple d'identifier et rassembler la communauté des acteurs de l'écosystème engagés pour réduire les impacts du numérique. Ainsi, quels que soit leurs tailles ou secteurs d'activité, les organisations (entreprises, associations, administrations, etc.) peuvent démontrer de la robustesse de leur démarche numérique responsable mise en œuvre dans leur stratégies économiques internes.

D'autres canaux de communication, tels que les comités stratégiques de filières du Conseil National de l'Industrie, pourraient être utilisés pour fédérer l'écosystème numérique autour du Numérique Responsable. En effet, en complément des sous-actions de l'action 7, la filière « Électronique » du conseil National de l'Industrie pourrait être utilisée pour instaurer un dialogue entre l'Etat, les entreprises et les représentants des salariés afin d'encourager le développement d'une offre française différenciante et compétitive de produits et services numériques soutenables.

Toutefois, il demeure nécessaire que ces dynamiques inter-entreprises soient impulsées et supervisées par les pouvoirs publics. Ces concertations avec les parties prenantes peuvent être rapidement initiées par les pouvoirs publics afin de faire émerger des terrains d'entente et des premiers chantiers d'étude.

b. Présentation des sous-actions

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
Nouvelle proposition	Utiliser les canaux de communication des comités stratégiques de filières du <i>Conseil National de l'Industrie</i> pour fédérer l'écosystème numérique autour du Numérique Responsable. La filière « Électronique » doit porter les enjeux environnementaux liés au développement des services numériques sur le territoire en stimulant les synergies inter-entreprises et en proposant des projets structurants adaptés..
Nouvelle proposition	En lien avec les propositions faites dans l'action 1 (section 7.2.1) donner aux entreprises les outils pour mesurer la pertinence économique et environnementale du transfert vers le cloud de leur système informatique.

Tableau 44 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 10 : Accompagner les entreprises dans une transition numérique

Action 11 : Mettre en œuvre l'exemplarité de l'Etat avec des services publics écoresponsables (tech.gouv)

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

Soumis à une exigence d'exemplarité, l'Etat propose une stratégie volontariste de maîtrise de l'empreinte environnementale de son numérique et de ses effets. Les administrations, les collectivités territoriales, les agents, tout un écosystème recherche cette cohérence et participe aux côtés d'acteurs privés, coopératives et associations, à la mise en œuvre du numérique responsable sur l'échelle du territoire.

Une mission interministérielle dans le cadre du programme TECH.GOUV porté par le ministère de la Transformation et de la fonction publique (DINUM – direction interministérielle du numérique) est consacrée au sujet GREEN.TECH et travaille avec les différents ministères à la mise en œuvre de la réduction de l'empreinte environnementale des administrations.

N°	Sous-actions
11.1	Publier des documents facilement réutilisables par les administrations, notamment diffusion et adaptation de la méthodologie de calcul de l'empreinte environnementale du numérique.
11.2.1	Porter une stratégie de mesure [de l'impact du numérique] de l'État via la diffusion des méthodologies développées avec le ministère de la Transition écologique.
11.2.2	Porter une stratégie d'achat responsable de l'État via la diffusion d'un guide de l'achat numérique responsable début 2021.
11.3	Produire et participer à la mise en œuvre de boîte à outils à destination des agents afin qu'ils puissent actionner les leviers pour faire du numérique responsable une réalité.
11.4	Accompagner les administrations dans leur transition vers le numérique responsable.
11.5.1	Vers un Etat exemplaire dans ses achats : ambition d'atteindre l'achat de 20% de téléphones fixes et portables et de matériel informatique reconditionnés ou de seconde main.
11.5.2	Vers un Etat exemplaire : adoption de l'écoconception par les services publics numériques dans le cadre de la feuille de route Tech.gouv.

Tableau 45 - Sous-actions de l'action 11 : Mettre en œuvre l'exemplarité de l'Etat avec des services publics écoresponsables (tech.gouv)

Dans la continuité des mesures présentées en Action 2, il apparaît nécessaire que les pouvoirs publics jouent un rôle pionnier dans la mise en œuvre d'actions en faveur du numérique responsable pour encourager son plus ample déploiement sur le territoire.

Présenté en partie 4.3.2, le levier de la commande publique semble être un point consensuel remonté par de nombreux acteurs interviewés comme un moyen de soutenir le développement d'offres en faveur du numérique responsable. Pour cela il est nécessaire que des critères environnementaux, au même titre que d'autres critères techniques ou économiques, soient intégrés aux cahiers des charges des appels d'offre publics. Des recommandations européennes existent déjà pour les marchés publics relatifs aux

ordinateurs, écrans, tablettes et téléphones intelligents²¹⁵ mais également pour les centres de données, salles de serveurs et services associés au cloud²¹⁶. On remarque également que ces recommandations ne s'appliquent pas à certains équipements très consommateurs d'énergie tels que les téléviseurs (seuls les écrans d'ordinateur sont couverts) alors que leur consommation d'énergie représentera une part majoritaire de la consommation des terminaux dans les années à venir (*cf partie 6.7*). Également, les critères proposés dans ces documents ne font office que de lignes directrices et n'ont pas de valeur réglementaire. Ainsi, si ces directives visent à accompagner et former les acheteurs de l'Etat dans l'inclusion de critères environnementaux dans les appels d'offres publics, il est toutefois nécessaire de s'assurer de leur plus ample application, au-delà de démarches volontaristes. En ce sens, le nouveau Plan National pour des Achats Durables (2021-2025)²¹⁷ fixe des objectifs clairs et ambitieux pour que d'ici 2025, 100% des marchés notifiés au cours de l'année comprennent au moins une considération environnementale (contre 15,8% en 2019). Au-delà de la formation des acheteurs de l'Etat, il est également nécessaire de former les soumissionnaires aux critères environnementaux requis dans les appels d'offres publics afin de s'assurer que les marchés soient toujours accessibles à toutes les entreprises (au regard de leur taille et des moyens humains et financiers associés au développement du numérique responsable). Ces critères environnementaux permettront l'écoconception systématique des services numériques gérés par l'administration. Ces mesures permettraient également, conjointement au développement des Action 5 et Action 7, de soutenir le déploiement d'une offre française compétitive de services numériques écoconçus ainsi que le développement d'une filière française du réemploi et du reconditionné. En effet, en augmentant la demande encore trop peu présente de la part des consommateurs pour des services numériques plus éco-conçus (*cf partie 4.2.5*), une impulsion de la part des services publics permettrait de stimuler l'offre présente sur le marché pour ce type de biens. Un acte réalisé publiquement aura d'autant plus de chance d'être répété, ainsi en mettant en œuvre de telles pratiques, l'Etat peut agir comme une vitrine pour susciter le changement auprès de l'ensemble de l'écosystème. Les premiers axes à privilégier sont ceux détaillés en partie 5.3.2 sur les bonnes pratiques de sobriété numérique, tels que l'utilisation de matériel reconditionné ou issu du réemploi. De plus, bien que le volume financier représenté par la commande publique en général soit complexe à évaluer (estimé à 71,5 milliards d'euros annuels pour l'Etat, les établissements publics et les collectivités)²¹⁸, l'écoconception des services publics peut grandement contribuer à développer l'offre de solutions de numérique responsable.

b. Eléments complémentaires aux sous-actions de la feuille de route Numérique & Environnement du gouvernement

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
11.5.2	Vers un Etat exemplaire : adoption de l'écoconception par les services publics numériques dans le cadre de la feuille de route Tech.gouv. Etendre les mesures d'écoconception d'une manière proportionnée aux enjeux environnementaux et sociaux à l'ensemble des services numériques relevant du domaine public (pages internet les plus consultées, logiciels les plus utilisés, etc.)
Nouvelle proposition	Intégrer de façon systématique des critères environnementaux dans les cahiers des charges des appels d'offres publics relevant du numérique
Nouvelle proposition	Former et accompagner les soumissionnaires dans la prise en compte de critères d'écoconception dans les appels d'offre publics.

²¹⁵ Commission Européenne, Green Public Procurement : Critères de l'UE en matière de marchés publics écologiques pour les ordinateurs, les écrans, les tablettes et les téléphones intelligents.

²¹⁶ Commission Européenne, Green Public Procurement : Critères applicables aux marchés publics écologiques de l'UE pour les centres de données, salles de serveurs et services en nuage

²¹⁷ Ministère de la Transition Ecologique (2021), *Plan National pour des Achats Durables (2021-2025)*

²¹⁸ Villani, C. (2018), *Donner un sens à l'intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne*, 235 pages

Action 12 : Former et sensibiliser les citoyens

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

La diminution des impacts environnementaux des services numériques passe également par une meilleure connaissance des enjeux par ses usagers, et par l'adoption de gestes plus responsables.

La cible se doit d'être grand public, incluant les personnes en tant que particuliers et en tant que salariés, et permettre d'enclencher des changements de comportements sur le long terme.

Les mesures seront basées sur la mise à disposition d'information / communication vers le grand public sur les impacts environnementaux des services numériques et de dispositif de formation adaptée au plus grand nombre. Les actions de communication pourront se faire au fur et à mesure des résultats d'études prévues dans les précédentes fiches actions, et pourront se faire avec les différents partenaires impliqués.

N°	Sous-actions
12.1	Organiser une campagne nationale pour informer et sensibiliser les Français sur les pratiques numériques moins polluantes, sous l'égide de l'ADEME.
12.2	Mettre en œuvre des mesures de la Convention citoyenne pour le Climat relatives à l'éducation aux enjeux de développement durable.
12.3	Mettre en œuvre les nouvelles mesures d'affichage prévues dans la loi AGEC (indice de réparabilité, quantité de données et équivalent GES dans le cadre des abonnements) visant à sensibiliser les citoyens et campagnes d'information les accompagnant Déployer un éco-score numérique.
12.4	Faire connaître le MOOC "numérique responsable" réalisé par l'INR avec le soutien de l'ADEME.

Tableau 47 - Sous-actions de l'action 12: Former et sensibiliser les citoyens

Bien que le sujet du numérique responsable ait commencé à trouver sa place dans la littérature scientifique (*cf partie 2*) et dans les sujets d'actualités, seul un Français sur trois se sent bien informé concernant l'impact environnemental de ses usages numériques²¹⁹. De plus, comme indiqué en partie 5.2, les usages et le volume de données numériques consommées sont appelés à croître fortement dans les années venir. La formation des utilisateurs aux bonnes pratiques du numérique et la sensibilisation des citoyens à la matérialité de ces usages semblent de ce fait des leviers incontournables pour limiter les impacts environnementaux du numérique dans le futur.

Quel que soit le domaine, la mise en application de mesure de sobriété individuelle passe par une meilleure connaissance des impacts environnementaux. Ainsi, la sensibilisation des usagers doit s'effectuer en trois étapes pour pouvoir porter ses fruits (*cf partie 5.4.1*) :

²¹⁹BVA Group(2019), *Numérique et Environnement*

- **1^{ère} étape : La compréhension du problème environnemental.**
 - D'après les acteurs interviewés en partie 4, cette compréhension du problème environnemental doit être intégrée aux cursus scolaires dès le plus jeune âge. En effet, « l'invisibilisation » des impacts du numérique est ressortie comme un des freins sociaux et sociétaux majeurs vers un numérique responsable. Au-delà de l'apprentissage de l'utilisation des services numériques, il est nécessaire de comprendre leur fonctionnement pour appréhender le versant matériel du numérique. La proposition de loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France²²⁰ déposée au Sénat porte ces mesures notamment au travers de propositions pour sensibiliser les élèves à l'impact environnemental des outils numériques mais également au travers d'enseignements relatifs à la sobriété numérique.
 - Les enjeux du numérique responsable et de l'écoconception doivent également être intégrés dans les formations diplômantes. Par exemple, la proposition de loi visant à réduire les impacts environnementaux du numérique propose notamment de conditionner la diplomation des ingénieurs en informatique à l'obtention d'une attestation de compétences acquises sur l'écoconception (en particulier l'écoconception logicielle) et la sobriété numérique²²¹.
 - Bien que les mesures de sensibilisation et de formation requièrent la définition d'un contenu pédagogique adapté aux différents publics ainsi qu'un plan de communication centralisé, la formation et sensibilisation des citoyens aux enjeux environnementaux du numérique ne doit pas être uniquement portée par l'éducation nationale et les institutions de formation supérieures. Les acteurs privés sont également responsables de la formation de leurs employés ainsi que de leurs communications auprès des consommateurs. Au même titre que la régulation des publicités autour des produits alcoolisés ou du tabac par la loi Evin, les communications vers le grand public sur les sujets numériques pourraient également être encadrées pour intégrer la dimension environnementale du numérique dans leurs messages ;
- **2^{ème} étape : La connaissance de solutions pratiques.** Cette étape doit être notamment pilotée par les acteurs publics pour que les bonnes pratiques soient ensuite véhiculées par les acteurs privés auprès des consommateurs. En effet, aujourd'hui de nombreuses études se contredisent sur l'impact de l'utilisation d'un service plutôt qu'un autre, e.g., l'utilisation du wifi plutôt que de la 4G sur son smartphone. Il est donc important de proposer un guide de bonnes pratiques unique et faisant foi pour aligner les recommandations auprès des usagers ;
- **3^{ème} étape : La capacité d'évaluer l'impact des solutions pour les hiérarchiser.** Il est essentiel que les consommateurs puissent se référer à un indice unique pour évaluer leur propre impact. Les mesures d'affichage environnemental telles que proposées dans la loi AGEC permettront aux consommateurs d'évaluer l'équivalent gaz à effet de serre de leur quantité de données consommées. Pour aller plus loin, à l'instar de l'éco-score alimentaire, un éco-score numérique pourrait être déployé dans le cadre de l'affichage environnemental²²² pour simplifier les communications. Ce système pourrait être répliqué à l'identique pour les produits numériques, puis autres produits en général, pour faciliter la compréhension auprès des consommateurs. Mentionné en partie 5.5.3, les réflexions sur la création d'un « Digital product passport » recensant l'ensemble des informations techniques, environnementales, etc. sur un produit peuvent également être suivies, notamment au niveau européen au sein de la *Sustainable Products Initiative*²²³, pour améliorer la confiance des utilisateurs envers un produit, et le niveau de connaissance des impacts qui y sont associés.

Toutefois, la sensibilisation et la formation des utilisateurs n'est pas la seule condition pour réduire l'empreinte environnementale des usages numériques. Pour cause, il peut exister un décalage, le *Green*

²²⁰ Proposition de loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France, P. Chaize, G. Chevrollier, J-M. Houllégatte, H. Maurey, et al. Texte déposé au Sénat le 12 octobre 2020.

²²¹ Proposition de loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France, P. Chaize, G. Chevrollier, J-M. Houllégatte, H. Maurey, et al. Texte déposé au Sénat le 12 octobre 2020.

²²² Ademe (2021) *Affichage environnemental : contexte et objectifs*.

²²³ Initiative visant notamment à réviser et élargir le périmètre de la directive (2009/125/CE) dite Directive Ecodesign Voir « Inception Impact Assessment – Ares(2020)4754440 - Sustainable Products Initiative ».

Gap, entre la prise de conscience des impacts environnementaux du numérique et la mise en œuvre de solutions par les usagers (cf partie 5.4.1.3).

Certaines approches semblent toutefois plus plébiscitées que d'autres : entre deux tiers et plus de 90% des Français déclarent régulièrement considérer la réparation lorsqu'ils achètent un produit numérique (cf partie 5.2.1.2) alors que le reconditionné lui, n'est pas encore une option largement considérée par les Français²²⁴.

Ainsi, puisque les effets des mesures de sensibilisation sont indirects et prennent plusieurs années pour porter leurs fruits de façon tangible la sensibilisation des utilisateurs devrait prioritairement être ciblée sur les usages à fort impact pour maximiser son effet. D'après le volet technique sur l'efficacité énergétique des équipements numériques (cf partie 0), les impacts environnementaux liés à l'utilisation des terminaux seront majoritairement localisés sur l'utilisation des téléviseurs et de l'IoT dans les années à venir. Il est donc également essentiel pour les acteurs publics d'accompagner les acteurs privés concernés (fabricants et exploitants) dans la sensibilisation de leurs clients.

b. Présentation des sous-actions

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en bleu et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
12.3	Mettre en œuvre les nouvelles mesures d'affichage prévues dans la loi AGEC (indice de réparabilité, quantité de données et équivalent GES dans le cadre des abonnements) visant à sensibiliser les citoyens et campagnes d'information les accompagnant Déployer un éco-score numérique.
Nouvelle proposition	Proposer des parcours de sensibilisation des enfants au sein de l'éducation nationale sur la matérialité du numérique. Définir le contenu pédagogique à intégrer aux formations au fil des années (par exemple: fonctionnement, construction, approvisionnement, maintenance des objets et services numériques).
Nouvelle proposition	Intégrer les enjeux du numérique responsable et les notions d'écoconception de façon systématique aux formations diplômantes (formations d'ingénieur, écoles spécialisées, cursus techniques et technologiques).
Nouvelle proposition	Déployer un guide des bonnes pratiques des usages numériques de référence pour les particuliers et les entreprises.
Nouvelle proposition	Etudier l'intégration du dispositif d'affichage environnemental dans les communications des acteurs privés pour intégrer les critères environnementaux aux allégations commerciales.

Tableau 48 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 12: Former et sensibiliser les citoyens

²²⁴ Baromètre Recommerce (2021), *Le marché du mobile d'occasion*, Communiqué de presse

7.2.3. Axe 3 : Faire du numérique un levier de la transition écologique et solidaire

Action 13 : Mettre les données au service de l'environnement

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

La mobilisation, la réutilisation et le traitement de données toujours plus nombreuses est une composante essentielle pour accélérer la transition écologique, que cela soit via des politiques publiques plus efficaces ou via la stimulation de l'innovation du secteur privé ou associatif. La disponibilité de données de qualité est par ailleurs le principal frein au développement d'une IA au service de cette innovation.

De nombreuses actions sont déjà mises en œuvre pour publier librement les jeux de données publiques. Le déploiement d'espaces communs de données, qui visent à assurer un partage efficace et une interopérabilité de données tant publiques que privées, constitue une étape supplémentaire cruciale dans la publication, la diffusion transverse et la réutilisation effective de ces données au service de la transition.

Partant de ce constat, le Président de la République a, dans son discours en clôture du *Global Forum on Artificial Intelligence for Humanity* le 30 octobre 2019, souhaité accélérer la constitution d'espaces communs de données dans les secteurs de l'environnement, de la logistique et de l'agriculture

N°	Sous-actions
13.1	Favoriser l'émergence d'espaces communs de données pour accélérer le partage de données entre acteurs privés et/ou publics
13.2	Participer, au niveau européen, à la révision et à l'adoption des directives et règlements européens structurants pour le développement du cadre du numérique et le partage de données, ainsi qu'à la négociation du futur "Data Act".
13.3	Intégrer l'environnement dans la stratégie d'accélération IA, afin de favoriser des solutions innovantes en faveur de la transition écologique.

Tableau 49 - Sous-actions de l'action 13 : Mettre les données au service de l'environnement

En complément des mesures présentées dans l'action 1, la création d'un référentiel de mesure commun devra s'accompagner de la mise à disposition de bases de données homogènes et fiables pour permettre la comparaison des études entre elles. Sur le long-terme, la création d'un laboratoire de recherche français dédié à la construction de base de données fiables et de méthodologies harmonisées en faveur d'un numérique responsable pourrait être envisagée et financée par des investissements publics. En effet, l'effort important lié au travail de recherche nécessaire à la constitution de bases de données publiques pourrait être supporté par les financements publics. Ce laboratoire pourrait également servir de **forum de discussion entre les acteurs privés et publics** pour convenir d'une méthodologie adaptée aux besoins du marché. Également, puisque de nombreuses données sont dépendantes des produits et chaînes de valeurs des acteurs privés, il est nécessaires que les **acteurs privés** (par ex. les opérateurs de datacenters) **partagent certaines de leurs données environnementales** - en open source/open data - pour permettre l'application des méthodologies présentées en action 1. De nombreux obstacles risquent d'être rencontrés dans la collecte des données étant donné le caractère stratégique des données environnementales collectées les industriels. De plus, puisque les chaînes d'approvisionnement des

acteurs du numérique sont opaques, complexes et présentent une évolution rapide, il sera difficile de générer des données fiables sur l'impact environnemental du numérique.

Les données devront être collectées tous les ans pour pouvoir appréhender la rapide évolution du secteur numérique et être mises à jour régulièrement.

D'autre part, les parties précédentes ont permis de constater l'inflation d'ici 2030 du trafic de données traitées dans les datacenters (Figure 46) et transitant par les réseaux (Figure 41), et donc pesant sur la consommation énergétique de ces équipements, et la multiplication des terminaux connectés qui participera à cette inflation de la donnée générée. Ces facteurs justifient l'engagement d'une réflexion sur **la sobriété de la donnée**, et sur l'utilité de la génération et du stockage de quantités importantes de données qui peut être remise en question au regard des enjeux environnementaux du secteur numérique.

b. Présentation des sous-actions

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
Nouvelle proposition	Créer un laboratoire de recherche français spécialisé sur le numérique responsable (construction de base de données, etc.).
Nouvelle proposition	Favoriser les recherches sur la « sobriété de la donnée ».

Tableau 50 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 13 : Mettre les données au service de l'environnement

Action 14 : Mettre l'innovation numérique au service de l'environnement

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

L'Etat choisit de favoriser l'émergence de solutions numériques innovantes en faveur de la transition écologique.

Les exemples sont déjà nombreux en matière de gestion des déchets, d'optimisation de l'utilisation des ressources, dans l'agriculture, mais aussi d'optimisation des flux logistiques et énergétiques, de la gestion thermique des bâtiments, etc.

N°	Sous-actions
14.1	Soutenir le développement de solutions innovantes mettant la 5G au service de la transition écologique, dans le cadre de la stratégie d'accélération sur la 5G et les réseaux du futur.
14.2	Intégrer dans la Stratégie d'accélération Cloud – portée par l'État – une dimension environnementale.
14.3	Lancer une mission afin de recenser et d'analyser les cas d'usages concrets au sein des territoires permettant d'illustrer les contributions des innovations numériques aux objectifs de la transition écologique et d'étudier les modalités de leur passage à l'échelle.

Tableau 51 - Sous-actions de l'action 14 : Mettre l'innovation numérique au service de l'environnement

Pour retrouver l'intégralité de la feuille de route Numérique & Environnement, cliquez [ici](#).

Le rapport Villani²²⁵ sur l'intelligence artificielle publié en 2018 portait déjà les ambitions de la France et l'Europe de devenir le fer de lance d'une transition écologique intelligente. En effet, comme mentionné en partie 4.2.1, la complexité du périmètre numérique est un des freins majeurs à la quantification de ses impacts environnementaux. Secteur très transverse, le numérique implique de nombreux impacts indirects tantôt positifs, tantôt négatifs. Par exemple, il a été démontré que la consommation de données est partiellement indépendante des usagers et que l'augmentation des équipements de l'IoT dans les prochaines années doublera le nombre de communications machine-à-machine (qui devront elles-mêmes être quantifiées - cf. *paragraphe 5.4.2.2*). Ainsi, même si ces innovations permettent de réduire la pression environnementale d'un service ou d'un secteur d'activité, il est essentiel que des mesures objectives soient réalisées pour mesurer les impacts environnementaux induits/rebonds de tels services. Pour cela, comme précisé en Action 1, il est nécessaire que des méthodes de mesure fiables et répliquables soient développées et applicables aux différentes briques numériques. Il serait en particulier intéressant de développer dans ce cadre un référentiel de critères permettant d'évaluer si une innovation sera au service de la transition écologique.

A titre d'exemple, une première mesure pourrait être d'évaluer l'impact environnemental de la migration vers le cloud pour favoriser la migration des services prioritaires à l'aune de cette évaluation. Si les datacenters de colocation, et à plus forte raison les datacenters HPC, ont un PUE plus bas que les datacenters d'entreprise – Voir Tableau 20, et que le cloud est évoqué comme un levier d'amélioration

²²⁵ Villani, C. (2018), *Donner un sens à l'intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne*, 235 pages

d'efficacité énergétique - voir Tableau 16, il serait intéressant de donner aux entreprises les outils pour évaluer l'opportunité de leur migration vers le cloud d'un point de vue environnemental,

D'autre part, certaines innovations en cours peuvent être soutenues. Ainsi un passeport produit (« *Digital Product Passport* » - DPP) a été proposé au niveau européen au sein de l'initiative relative aux produits durables (*sustainable products initiative*). Ce passeport devrait pouvoir fournir des informations notamment susceptibles d'améliorer la durabilité, la réparabilité ou la recyclabilité d'un produit. Il pourrait s'appuyer sur des technologies innovantes, et visera à réduire l'impact environnemental des terminaux concernés.

Enfin, pour maximiser les impacts positifs, les acteurs privés doivent être moteur de l'innovation numérique. En revanche, les acteurs publics peuvent stimuler la recherche et l'innovation en proposant des programmes d'innovation sur des thématiques précises où le numérique pourrait jouer un rôle important pour réduire la pression environnementale. Les mesures d'impacts, directs et indirects, doivent être validées et contrôlées par les acteurs publics.

b. Présentation des sous-actions

Le tableau ci-dessous propose des compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

N°	Sous-actions
Nouvelle proposition	Soutenir et suivre les études existantes, notamment au niveau de l'UE et dans d'autres Etats membres, visant à développer un passeport produit numérique pour certaines catégories de terminaux.
Nouvelle proposition	Développer un référentiel de critères basé sur la méthodologie développée en action 1 pour définir le bienfondé d'une innovation au regard de la transition écologique

Tableau 52 – Compléments aux sous-actions de l'action 14 : Mettre l'innovation numérique au service de l'environnement

Action 15 : Soutenir l'écosystème des GreenTech mobilisant le numérique

a. Présentation et justification de l'action

Contexte - Feuille de route *Numérique & Environnement*

Les GreenTech rassemblent les activités qui développent des technologies à impact positif sur l'environnement et notre transition écologique. Le dénominateur commun de ce secteur multiforme est sa finalité plutôt que le secteur dans lequel il opère (à la différence par exemple des FinTech ou de l'AgTech) ou que les technologies utilisées (Internet des objets).

Le numérique représente également une technologie transversale au service de l'innovation verte (ex : analyse en temps réel grâce aux capteurs et à l'IA des sources de pollutions majeures, optimisation de la conception et la fabrication en intégrant « nativement » des bonnes pratiques environnementales). Cette utilisation du numérique est l'une des tendances et un des leviers majeurs des innovations GreenTech.

Au sein de l'Etat, le soutien aux entreprises et acteurs des GreenTech, qui dépasse la seule thématique du numérique, se trouve assuré conjointement par différents acteurs publics (mission French Tech, direction générale des Entreprises, ministère de la Transition écologique, Bpifrance, ADEME, etc.). Il s'agit désormais d'assurer une meilleure synergie et articulation des dispositifs au profit de l'écosystème des GreenTech françaises.

N°	Sous-actions
15.1	Renforcer le financement des Greentech dans leur ensemble.
15.2	<p>Améliorer les synergies entre les dispositifs d'accompagnement et de labellisation des startups et PME de la Greentech :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lancement du nouvel accompagnement FrenchTech For The Planet par la Mission French Tech en partenariat avec le ministère de la Transition écologique et la Greentech Innovation, pour 20 startups GreenTech à fort potentiel, sous la forme d'un soutien renforcé des services de l'État et de visibilité pour accélérer leur développement basé sur le programme French Tech Next40/120. • Renforcement du programme GreenTech Innovation au travers de la poursuite de la labellisation de startups GreenTech concourant à l'atteinte des objectifs de politiques du Ministère de la transition écologique, et du lancement du réseau national des incubateurs de la GreenTech. • Définition et lancement d'un programme d'engagements sociétaux et notamment environnementaux pour les entreprises labellisées FT120, dont « numérique responsable ». <p>Dans le cadre des programmes French Tech Central et Greentech Innovation, programmation d'événements dédiés à la transition écologique pour soutenir le développement des startups GreenTech et la transition écologique de l'ensemble de l'écosystème French Tech, en leur donnant accès à l'ensemble des expertises publiques.</p>

Tableau 53 – Sous-actions de l'action 15 : Soutenir l'écosystème des GreenTech mobilisant le numérique

Comme présenté dans l'Action 14, le soutien et la stimulation de l'écosystème est nécessaire à la mise en place de solutions transversales pour réduire les impacts environnementaux du numérique.

7.3. Synthèse générale

7.3.1. Vue d'ensemble des pistes d'action proposées

Le tableau ci-dessous rassemble les compléments ou précisions aux sous-actions proposées dans la feuille de route *Numérique & Environnement*. Ces compléments apparaissent en **bleu** et proviennent des enseignements des parties précédentes du rapport.

On note que des études et travaux devraient être réalisés, à la suite de cette étude. Il apparaît par exemple nécessaire d'étudier la prolongation des travaux réalisés dans le cadre du baromètre numérique sur la publication des données environnementales par les acteurs privés (*cf action 3*). Pour allonger la durée de vie des équipements et soutenir le développement de filières du réemploi et du reconditionnement, les avantages environnementaux des nouvelles technologies (telles que l'impression 3D) doivent également être plus amplement analysés (*cf action 5*). L'application d'une fiscalité écologique peut aussi être envisagée et étudiée pour soutenir la demande pour des produits et services numériques responsables (*cf action 7*). Pour limiter les impacts liés à la fabrication des équipements, il conviendrait également, dans la lignée des travaux réalisés par la Commission Européenne sur le chargeur unique, d'évaluer l'impact de la vente systématique d'accessoires pour les terminaux (chargeurs, écouteurs, etc.). Enfin, des travaux doivent être poursuivis sur le renouvellement des infrastructures et la cessation des anciennes technologies pour évaluer et limiter les impacts liés à l'usage et la fin de vie des infrastructures (*cf action 9*).

Actions	Action	Etude	N°	Sous-actions
Action 1 : Élaborer une méthodologie de quantification de l'empreinte du numérique sur l'environnement	X		1.1	<p>Développer une méthodologie d'évaluation environnementale des services numériques. Adapter cette méthodologie pour qu'elle soit applicable à tous les acteurs et activités de l'écosystème numérique et qu'elle permette un suivi des progrès et évolutions des services / biens concernés.</p> <p>Déployer cette méthodologie accessible afin d'y garantir l'accès pour tous les acteurs de l'écosystème numérique.</p> <p>Soutenir le développement de Product Category Rules (PCR) pour différents types de produits et services numériques à l'échelle française, permettant de comparer notamment l'impact environnemental des différents types de stockage de données.</p>

Actions	Action	Etude	N°	Sous-actions
	X		1.2	Réaliser un plan d'action pour la mobilisation de sources de données environnementales complémentaires (Envisager le déploiement de bases de données en open-source / open-data. Ces données doivent être issues d'un consensus entre les acteurs. Cf action proposée en 13.1)
	X		Nouvelle proposition	Proposer des formations aux acteurs de l'écosystème pour les accompagner dans la mise en œuvre de la méthodologie de mesure des impacts environnementaux et l'utilisation des bases de données.
Action 2 : Savoir mesurer l'empreinte écologique du numérique des ministères et, à terme, des services publics	X		Nouvelle proposition	Diffuser un retour d'expérience (RETEX) à destination des collectivités territoriales ainsi qu'un registre des bonnes pratiques nécessaires à la bonne application de la méthodologie de calcul.
Action 3 : Construire un baromètre environnemental des acteurs du numérique	X		Nouvelle proposition	Déployer le baromètre environnemental du numérique pour évaluer l'évolution générale du secteur numérique et de ses impacts environnementaux (numérisation, dé-numérisation, réemploi, consommation d'énergie, émergence de technologies, émergence des low-techs, etc.).
		X	Nouvelle proposition	Etudier la possibilité de réguler la publication des données environnementales du numérique.
Action 4 : Mettre en œuvre un cadre de confiance pour l'écoconception et l'information des consommateurs	X		Nouvelle proposition	Déployer un système de contrôle et de validation des labels et référentiels d'écoconception pour assurer un cadre de confiance aux utilisateurs de produits et services numériques.

Actions	Action	Etude	N°	Sous-actions
Action 5 : Soutenir le développement d'une filière française du réemploi et du reconditionnement	X	X	Nouvelle proposition	Etendre la durée de disponibilité des pièces détachées et de mises à jour logicielles pour les smartphones et tablettes, et étudier l'opportunité d'extension de cette action à d'autres terminaux utilisateur.
		X	Nouvelle proposition	Etudier la faisabilité du déploiement de nouvelles technologies (fabrication additive par exemple) pour permettre la fabrication de pièces détachées et donc soutenir le développement de filières de reconditionnement et réemploi.
Action 6 : Prolonger la durée de vie des équipements et lutter contre l'obsolescence logicielle		X	Nouvelle proposition	Dans la lignée des travaux de la Commission Européenne sur le chargeur unique, étudier l'encadrement de la vente systématique d'accessoires pour les terminaux (chargeurs mais aussi écouteurs, etc.).
Action 7 : Soutenir le développement d'une <u>offre française</u> compétitive de produits et services numériques écoresponsables		X	Nouvelle proposition	Etudier la possibilité d'une fiscalité écologique adaptée aux services numériques pour soutenir la demande pour des produits et services numériques responsables (au travers de subventions, taxes, redevances, etc.).
Action 8 : Accompagner les acteurs du numérique dans l'adoption de l'écoconception et des principes de numérique durable et sobre	X	X	8.4.2	Mener une concertation avec les fabricants et distributeurs de téléphones en vue de définir des engagements forts en faveur de la collecte et du reconditionnement des smartphones. Le rapport rédigé pour l'AFNUM recommande par exemple la mise en place d'une incitation financière des fabricants et distributeurs à la collecte des téléphones, ciblant notamment les téléphones – fonctionnels ou non- stockés dans les tiroirs de leurs utilisateurs. Ces recommandations peuvent également être étudiées d'un point de vue réglementaire en cas d'échec de la concertation.

Actions	Action	Etude	N°	Sous-actions
Action 9 : Maîtriser l’empreinte environnementale liée à l’usage des infrastructures numériques		X	Nouvelle proposition	Etudier la pertinence environnementale - par rapport au service apporté - du renouvellement des infrastructures (cessation des anciennes technologies, démantèlement du réseau cuivre, etc.).
	X		Nouvelle proposition	Etude multicritères des impacts environnementaux du numérique - Imposer des objectifs suivant d’autres critères que les émissions de GES – traduisant la réduction de consommation d’eau et autres ressources.
	X		Nouvelle proposition	Pour les acteurs privés fabricants ou opérants des infrastructures numériques, adhérer à des initiatives de cibles de réduction de GES
		X	Nouvelle proposition	Etudier l’opportunité d’intégrer le numérique dans les stratégies nationales de réductions de GES (par ex. SNBC)
Action 10 : Accompagner les entreprises dans une transition numérique écologique	X		Nouvelle proposition	Utiliser les canaux de communication des comités stratégiques de filières du Conseil National de l’Industrie pour fédérer l’écosystème numérique autour du Numérique Responsable. La filière « Électronique » doit porter les enjeux environnementaux liés au développement des services numériques sur le territoire en stimulant les synergies inter-entreprises et en proposant des projets structurants adaptés..
	X		Nouvelle proposition	En lien avec les propositions faites dans l’action 1 (section 7.2.1) donner aux entreprises les outils pour mesurer la pertinence économique et environnementale du transfert vers le cloud de leur système informatique.

Actions	Action	Etude	N°	Sous-actions
Action 11 : Mettre en œuvre l'exemplarité de l'Etat avec des services publics écoresponsables	X		11.5.2	Vers un Etat exemplaire : adoption de l'écoconception par les services publics numériques dans le cadre de la feuille de route Tech.gouv. Etendre les mesures d'écoconception d'une manière proportionnée aux enjeux environnementaux et sociaux à l'ensemble des services numériques relevant du domaine public (pages internet les plus consultées, logiciels les plus utilisés, etc.)
	X		Nouvelle proposition	Intégrer de façon systématique des critères environnementaux dans les cahiers des charges des appels d'offre publics relevant du numérique
	X		Nouvelle proposition	Former et accompagner les soumissionnaires dans la prise en compte de critères d'écoconception dans les appels d'offre publics.
Action 12 : Former et sensibiliser les citoyens	X		12.3	Mettre en œuvre les nouvelles mesures d'affichage prévues dans la loi AGEC (indice de réparabilité, quantité de données et équivalent GES dans le cadre des abonnements) visant à sensibiliser les citoyens et campagnes d'information les accompagnant Déployer un éco-score numérique.
	X		Nouvelle proposition	Proposer des parcours de sensibilisation au sein de l'éducation nationale sur la matérialité du numérique. Définir le contenu pédagogique à intégrer aux formations au fil des années (par exemple: fonctionnement, construction, approvisionnement, maintenance des objets et services numériques).
	X		Nouvelle proposition	Intégrer les enjeux du numérique responsable et les notions d'écoconception de façon systématique aux formations diplômantes (formations d'ingénieur, écoles spécialisées, cursus techniques et technologiques).

Actions	Action	Etude	N°	Sous-actions
	X		Nouvelle proposition	Déployer un guide des bonnes pratiques des usages numériques de référence pour les particuliers et les entreprises.
		X	Nouvelle proposition	Etudier l'intégration du dispositif d'affichage environnemental dans les communications des acteurs privés pour intégrer les critères environnementaux aux allégations commerciales.
Action 13 : Mettre les données au service de l'environnement	X		Nouvelle proposition	Créer un laboratoire de recherche français spécialisé sur le numérique responsable (construction de base de données, etc.).
	X		Nouvelle proposition	Favoriser les recherches sur la « sobriété de la donnée ».
Action 14 : Mettre l'innovation numérique au service de l'environnement	X	X	Nouvelle proposition	Soutenir et suivre les études existantes, notamment au niveau de l'UE et dans d'autres états membres, visant à développer un passeport produit numérique pour certaines catégories de terminaux.
	X	X	Nouvelle proposition	Développer un référentiel de critères basé sur la méthodologie développée en action 1 pour définir le bienfondé d'une innovation au regard de la transition écologique

Tableau 54 - Ensemble des actions et sous-actions proposées

7.3.2. Conclusion

Se doter des méthodes d'évaluation et approfondir les connaissances

D'après les parties précédentes, la construction d'une **méthodologie de calcul partagée, multicritère et complète** des impacts environnementaux du numérique semble être une condition essentielle à la minimisation des impacts environnementaux du numérique. En effet, qu'il s'agisse d'actions d'accompagnement, de sensibilisation ou bien de minimisation directe des impacts environnementaux du numérique, il est nécessaire de connaître les postes d'émissions les plus émetteurs pour, d'une part, prioriser les actions à mener et, d'autre part, éviter les transferts de pollution. Ainsi, l'action 1, considérée comme l'action la plus difficile à mettre en œuvre d'après la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, apparaît pourtant comme **un préalable nécessaire à la réussite de toutes les autres actions**. A noter que l'amélioration des connaissances sur l'impact environnemental du numérique doit prendre en compte les tendances du secteur, notamment la hausse des quantités de données échangées à venir.

Entraîner le changement

D'après la cartographie précédente, les actions visant l'exemplarité des administrations publiques semblent également se démarquer des autres actions. En effet, comme mentionné plus haut, **le volet de la commande publique apparaît comme un élément important pour stimuler l'offre pour des produits plus responsables** et la demande aujourd'hui encore faible pour des services numériques éco-conçus. Ces actions font également office de vitrine et de sensibilisation auprès de l'ensemble de l'écosystème numérique. La **formation et la sensibilisation des citoyens** semblent également être des mesures facilement applicables et nécessaires à la minimisation des impacts environnementaux du numérique. En effet, bien que les effets directs de ces mesures ne soient pas quantifiables, la formation massive la population française apparaît comme une clé du changement.

Se fixer des objectifs

Compte tenu de la part prédominante que représente la fabrication des terminaux dans l'empreinte environnementale des équipements numériques, il est également nécessaire d'encourager **l'allongement de la durée de vie des équipements**, notamment au travers de mesures favorisant l'essor du réemploi et du reconditionnement.

Enfin la détermination d'objectifs sectoriels ou au niveau des organisations, prenant en compte une limite prédéterminée, par exemple un budget carbone, permettrait d'éviter un « effet rebond » trop marqué. En effet, l'amélioration de l'efficacité énergétique individuelle des différents équipements du secteur numérique (terminaux, datacenters, réseaux) ne permet pas d'appréhender l'impact global du secteur, qui est également lié à la multiplication de ces équipements. Des initiatives telles que SBT permettent de matérialiser ce type d'objectifs.

SE Doter de méthodes d'évaluation et approfondir les connaissances	SE fixer des objectifs	ENTRAÎNER LE CHANGEMENT
Développer des méthodes consensuelles et rendre les données accessibles	Se fixer des objectifs en absolu en matière de réduction d'impact environnemental	Développer la commande publique
Etudes complémentaires à mener, notamment sur la sobriété de la donnée	Favoriser la réparation et le réemploi des terminaux	Sensibiliser le publics et les acteurs du numérique
Améliorer l'acquisition de données environnementales pour alimenter un baromètre du numérique responsable		

Ces actions entretiennent de fortes synergies. Il est donc recommandé de les engager simultanément afin d'en maximiser les bénéfices.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

La bibliographie pour la partie 2 est disponible dans le fichier **Bibliographie des méthodes existantes d'évaluation de l'impact environnemental du numérique**.

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

1.1. TABLEAUX

Tableau 1 - Type de documents analysés	16
Tableau 2 : Référentiels d'évaluation environnementale de services numériques, ou spécifique au secteur des TIC	20
Tableau 3 - Répartition des documents analysés par typologie	40
Tableau 4 - Répartition des publications étudiées par méthode d'analyse	42
Tableau 5 - Suivi temporel du nombre d'études d'impact utilisant les différentes méthodes	42
Tableau 6 - Répartition des études d'impact environnemental par périmètre numérique	44
Tableau 7 - Suivi temporel du périmètre numérique des études d'impact environnemental	45
<i>Tableau 8 - Acteurs interviewés</i>	55
Tableau 9 - Méthodologie de synthèse des freins et leviers identifiés lors des entretiens	57
Tableau 10 - Freins à un numérique plus responsable	59
Tableau 11 - Leviers pour un numérique plus responsable	69
Tableau 12 : Scénarios de prospective énergie-ressources de l'ADEME	96
Tableau 13 : adoption de la sobriété numérique selon les cinq scénarios de prospective énergie ressource développés par l'ADEME	98
Tableau 14 - Segmentation des équipements de la brique Terminaux utilisateurs retenus pour l'étude	102
Tableau 15 - Segmentation des équipements de la brique Réseaux retenus pour l'étude	105
Tableau 16 : Catégorisation du modèle énergétique pour les « briques » DC et WAN	106
Tableau 17 - Segmentation des équipements de la brique Centres de données retenus pour l'étude	106
Tableau 18 - Définition des différents scénarios de consommation énergétique selon le rapport de RTE	109
Tableau 19 - Définition des différents scénarios de consommation énergétique selon le rapport du Haut Conseil pour le Climat	110
Tableau 20 – Données d'entrées de la modélisation relative à la brique Centres de données	112
Tableau 21 – Evolution des puissances en fonctionnement, en veille et à l'arrêt des ordinateurs portables en 2017 et 2035, d'après le rapport RTE	113
Tableau 22 – Taux de croissance annuel moyen de la consommation énergétique calculée pour chaque équipement de la brique Terminaux utilisateurs, d'après le rapport de RTE	114
Tableau 23 - Taux de croissance annuel moyen de la consommation énergétique calculée pour chaque équipement de la brique Terminaux utilisateurs, d'après l'étude USES de l'ADEME	115
Tableau 24 - Evolution des puissances en fonctionnement des box internet en 2017 et 2035, d'après le rapport RTE	123
Tableau 25 - Sous-actions de l'action 1: Élaborer une méthodologie de quantification de l'empreinte du numérique sur l'environnement	135
Tableau 26 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 1: Élaborer une méthodologie de quantification de l'empreinte du numérique sur l'environnement	137
Tableau 27 -Sous-actions de l'action 2: Savoir mesurer l'empreinte écologique du numérique des ministères	137
Tableau 28 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 2: Savoir mesurer l'empreinte écologique du numérique des ministères	138
Tableau 29 - Sous-actions de l'action 3: Construire un baromètre environnemental des acteurs du numérique	138
Tableau 30 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 3: Construire un baromètre environnemental des acteurs du numérique	140
Tableau 31 - Sous-actions de l'action 4: Mettre en œuvre un cadre de confiance pour l'écoconception et l'information des consommateurs	140
Tableau 32 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 4: Mettre en œuvre un cadre de confiance pour l'écoconception et l'information des consommateurs	142
Tableau 33– Sous-actions de l'action 5 : Soutenir le développement d'une filière française du réemploi et du reconditionnement	142
Tableau 34 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 5 : Soutenir le développement d'une filière française du réemploi et du reconditionnement	144

Tableau 35 - Sous-actions de l'action 6 : Prolonger la durée de vie des équipements et lutter contre l'obsolescence logicielle	145
Tableau 36 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 6 : Prolonger la durée de vie des équipements et lutter contre l'obsolescence logicielle	147
Tableau 37 - Sous-actions de l'action 7 : Soutenir le développement d'une offre française compétitive de produits et services numériques écoresponsables	147
Tableau 38 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 7 : Soutenir le développement d'une offre française compétitive de produits et services numériques écoresponsables	148
Tableau 39 - Sous-actions de l'action 8 : Accompagner les acteurs du numérique dans l'adoption de l'écoconception et des principes du numérique durable et sobre	149
Tableau 40 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 8 : Accompagner les acteurs du numérique dans l'adoption de l'écoconception et des principes du numérique durable et sobre.....	150
Tableau 41 - Sous-actions de l'action 9 : Maîtriser l'empreinte environnementale liée à l'usage des infrastructures numériques	151
Tableau 42 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 9 : Maîtriser l'empreinte environnementale liée à l'usage des infrastructures numériques	154
Tableau 43 - Sous-actions de l'action 10 : Accompagner les entreprises dans une transition numérique.....	155
Tableau 44 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 10 : Accompagner les entreprises dans une transition numérique	156
Tableau 45 - Sous-actions de l'action 11 : Mettre en œuvre l'exemplarité de l'Etat avec des services publics écoresponsables (tech.gouv)	157
Tableau 46 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 11 : Mettre en œuvre l'exemplarité de l'Etat avec des services publics écoresponsables (tech.gouv)	159
Tableau 47 - Sous-actions de l'action 12: Former et sensibiliser les citoyens.....	159
Tableau 48 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 12: Former et sensibiliser les citoyens.....	161
Tableau 49 - Sous-actions de l'action 13 : Mettre les données au service de l'environnement	162
Tableau 50 – Compléments apportés aux sous-actions de l'action 13 : Mettre les données au service de l'environnement	163
Tableau 51 - Sous-actions de l'action 14 : Mettre l'innovation numérique au service de l'environnement	164
Tableau 52 – Compléments aux sous-actions de l'action 14 : Mettre l'innovation numérique au service de l'environnement	165
Tableau 53 – Sous-actions de l'action 15 : Soutenir l'écosystème des GreenTech mobilisant le numérique.....	166
Tableau 54 - Ensemble des actions et sous-actions proposées.....	172

1.2. FIGURES

Figure 1 - Cartographie simplifiée des référentiels d'évaluation environnementale de services numériques, ou spécifiques au secteur des TIC	28
Figure 2 – Développement des directives d'écoconception des produits numériques	30
Figure 3 : Principaux organismes de normalisation et leurs connexions à l'échelle internationale, européenne et française.....	35
Figure 4 - Les limites du système de produits pour l'ACV des biens, réseaux et services liés aux TIC36	
Figure 5 - structuration des référentiels proposés (PSR – Product Specific Rules)	37
Figure 6 - Contexte réglementaire des méthodes développées dans le secteur du bâtiment.....	37
Figure 7 - Distribution temporelle des études d'impact environnemental étudiées.....	41
Figure 8 - Distribution dans les études analysées du degré de mention ou de suivi d'un ou plusieurs référentiels	43
Figure 9 - Répartition des publications étudiées par référentiel. La mention « général » signifie que l'étude d'impact cite un référentiel qu'elle utilise sans citer le nom spécifique du référentiel.	43
Figure 10 – Répartition des études d'impact environnemental par périmètre numérique	44
Figure 11 - Maillons matériels entre l'utilisateur final et internet - Equipements terminaux - Etude de l'analyse de leur influence sur l'ouverture d'internet.....	47
Figure 12 - Schéma des réseaux de télécommunication et des interactions entre composantes - AFD 2020.....	49

Figure 13 - Illustration de l'architecture d'un réseau mobile 2G/3G/4G et analogie avec un arbre – Plateforme de travail « Pour un numérique soutenable » Atelier « Façonner les réseaux pour un numérique soutenable » - Novembre 2020	50
Figure 14 : Représentation schématique d'un datacenter	53
Figure 15 - Répartition en nombre des acteurs interviewés par typologie.....	56
Figure 16 - Résultats des interviews et freins à un numérique plus responsable.....	58
Figure 17 - Nombre de freins au développement d'un numérique responsable identifiés par les acteurs interviewés.....	60
Figure 18 - Freins réglementaires : Pourcentage de réponses par type d'acteur.....	62
Figure 19 - Freins économiques identifiés : zoom sur le frein « manque de réglementation »	62
Figure 20 - Freins sociaux et sociétaux : Pourcentage de réponses par type d'acteur	64
Figure 21 - Freins techniques identifiés : pourcentage de réponses par type d'acteur	65
Figure 22 - Freins économiques identifiés : pourcentage de réponses par type d'acteur	67
Figure 23 - Résultats des interviews : leviers pour un numérique plus responsable	68
Figure 24 - Responsabilité des leviers préconisés par les acteurs interviewés.....	70
Figure 25 - Leviers pour un numérique responsable - Vision par type d'acteur : type de leviers mentionnés par type d'acteur	79
Figure 26 - Leviers : attentes des acteurs interviewés.....	80
Figure 27 – Synthèse des entretiens : part des freins et leviers pour chacun des quatre piliers (en %)	80
Figure 28 - Potentiel de réchauffement global (PRG) des activités de streaming moyennes et de la durée moyenne du streaming en une semaine pour quatre appareils de streaming (ordinateur, smartphone, smart TV et tablette).....	86
Figure 29 : Ecart entre l'importance attribuée à certaines actions environnementales et leur mise en pratique ¹³⁹	89
Figure 30 : Réponse à la question « Parmi les mesures suivantes, lesquelles seriez-vous personnellement prêt-e à prendre en faveur de l'environnement » trois réponses possibles à cocher par les répondants	90
Figure 31 : Croissance par secteur du nombre de connexions M2M au niveau mondial.....	92
Figure 32 - Schéma des étapes de la conduite du changement.....	93
Figure 33- Décomposition de l'évolution de la consommation des téléviseurs entre 2017 et 2035 selon la trajectoire intermédiaire 3, extraite du rapport de RTE	109
Figure 34 - Comparaison des différents scénarios de consommation énergétique annuelle pour les téléviseurs et équipements IoT, tout usage compris, étudié par RTE	116
Figure 35 - Comparaison des différents scénarios de consommation énergétique annuelle pour les boxes TV et consoles de jeux vidéo de salon, tout usage compris, étudié par RTE	117
Figure 36 - Comparaison des différents scénarios de consommation énergétique annuelle pour les smartphones et téléphones fixes, tout usage compris, étudié par RTE.....	118
Figure 37 - Evolution de la consommation énergétique annuelle dans un scénario tendanciel des vidéoprojecteurs, ordinateurs fixes, ordinateurs portables, écrans d'ordinateur et tablettes, tout usage compris, étudié dans le projet USES de l'ADEME	118
Figure 38- Comparaison des différents scénarios de consommation énergétique annuelle pour tous les terminaux utilisateurs étudiés par RTE, tout usage compris	119
Figure 39 – Représentation du sens d'évolution des paramètres d'estimation des terminaux du socle commun, extraite du rapport du Haut Conseil pour le Climat	121
Figure 40 - . Représentation du sens d'évolution des paramètres d'estimation des terminaux "mobiles", extraite du rapport du Haut Conseil pour le Climat	122
Figure 41 - Trafic de données WAN et efficacité énergétique au niveau mondial par catégorie de composant selon le modèle de l'EDNA ¹⁷⁶ . Les unités en ordonnées gauche sont des Exabits (EB). 124	124
Figure 42 – Comparaison des scénarios de consommation énergétique pour les box internet selon RTE.....	125
Figure 43 – Consommation d'électricité en France des réseaux par variante du scénario de déploiement, en TWh, extraite du rapport du Haut Conseil pour le Climat.....	125
Figure 44 – Projections du trafic de données mobile et fixe par sous-scénario, extraites du rapport du Haut Conseil pour le Climat.....	126
Figure 45 - Consommation énergétique des réseaux WAN au niveau mondial selon les projection de l'EDNA	127
Figure 46 - Trafic de données dans les datacenters au niveau mondial et efficacité énergétique	129
Figure 47 - Consommation énergétique mondiale des datacenters par type de DC	130
Figure 48 : Consommation d'électricité par les datacenters dans l'UE27 jusqu'en 2025 (TWh/an) selon les données de Masanet et al	131

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 NUMÉRIQUE EN FRANCE ET ANALYSE PROSPECTIVE, RAPPORT INTRODUCTIF

Le présent rapport étudie tout d'abord les méthodes et référentiels utilisés pour l'évaluation des impacts environnementaux du numérique. Il propose ensuite un état des lieux de l'ensemble des équipements ou technologies soutenant les services numériques en France et explore les points de vue des acteurs de l'écosystème numérique sur les leviers et les freins à la réduction des impacts environnementaux du numérique. Ce tour d'horizon est complété par deux évaluations : analyse des tendances d'usage du numérique et d'acceptabilité de la sobriété numérique d'une part ; analyse des scénarios de consommation énergétique des équipements (terminaux, réseaux, datacenters) jusqu'à 2030 d'autre part. Sur ces fondements, l'étude propose enfin une série de recommandations à destination des acteurs publics et privés, dans le but de réduire l'impact environnemental du numérique.

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 invite à se doter de méthodes d'évaluation partagées des impacts environnementaux du numérique, à se fixer des objectifs de réduction de ces impacts et à accroître la sensibilisation des utilisateurs à ces enjeux.