

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

Evaluation environnementale des équipements et infrastructures
numériques en France **2^{ème} volet de l'étude**

19 janvier 2022

REMERCIEMENTS

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

Membres du Comité de pilotage et de relecture

Erwann Fangeat, ADEME
Raphaël Guastavi, ADEME
Bruno Lafitte, ADEME
David Marchal, ADEME
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 : Etienne Lees Perasso (Bureau Veritas), Caroline Vateau (APL-datacenter), Firmin Domon (Bureau Veritas), avec les contributions de Yasmine Aiouch (Deloitte), Augustin Chanoine (Deloitte), Léo Corbet (Deloitte), Pierrick Drapeau (Deloitte), Louis Ollion (Deloitte), Valentine Vigneron (Deloitte), Damien Prunel (Bureau Veritas), Georges Ouffoué (APL-datacenter), Romain Mahasenga (APL-datacenter), Julie Orgelet (DDemain), Frédéric Bordage (GreenIT.fr) et Prune Esquerre (IDATE). 2022. Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France. 262 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 : LCIE Bureau Veritas,
APL datacenter, DDemain, GreenIT.fr

Coordination technique :

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

SOMMAIRE

SOMMAIRE	3
GLOSSAIRE	10
1. CONTEXTE DU PROJET	12
1.1. Objectif de l'étude	12
1.2. Périmètre de l'étude	13
1.3. Définition du numérique.....	13
1.4. Représentativité et évolution du numérique	14
2. METHODE	15
2.1. Méthodologie de l'ACV	15
2.1.1. Principes généraux de l'ACV.....	15
2.1.2. Approche méthodologique de l'ACV.....	16
2.1.2.1. Quelles sont les différentes étapes d'une ACV.....	16
2.1.2.2. Définition de l'objectif et du périmètre.....	16
2.1.2.3. Analyse de l'inventaire du cycle de vie.....	16
2.1.2.4. Évaluation de l'impact du cycle de vie.....	17
2.1.2.4.1. Sélection, classification et caractérisation des impacts.....	17
2.1.2.4.2. Normalisation & Pondération	17
2.1.2.5. Interprétation des résultats du cycle de vie.....	17
2.1.2.5.1. Analyse de sensibilité & incertitude.....	17
3. DEFINITION DE L'OBJECTIF ET DU PERIMETRE DE L'ETUDE	18
3.1. Objectif de l'étude	18
3.1.1. Cadre	18
3.1.2. Conduite de l'étude	19
3.1.3. Public visé	19
3.1.4. Validité des résultats.....	19
3.2. Périmètre de l'étude	19
3.2.1. Système de produit à étudier	20
3.2.1.1. Frontières technologiques	20
3.2.1.2. Limites temporelles	20
3.2.1.3. Limites géographiques	20
3.2.1.4. Territoires et départements d'outremer.....	20
3.2.2. Fonction et unité fonctionnelle.....	21
3.2.3. Limite du système	21
3.2.3.1. Phase du cycle de vie considérée	21
3.2.3.2. Inclusion.....	21
3.2.3.3. Exclusion.....	22
3.2.3.4. Critère de coupure.....	22
3.2.4. Procédures d'attribution	22
3.2.4.1. Allocations générales	22
3.2.4.2. Allocation pour la fin de vie.....	23
3.2.5. Méthodologie AICV et types d'impacts.....	25
3.2.5.1. Sélection, classification et caractérisation des impacts	25
3.2.5.2. Normalisation & Pondération	29
3.2.6. Type et source des données	30
3.2.7. Exigences de qualité des données	31

3.2.8.	Outil de modélisation ACV	31
3.2.9.	Considérations relatives à la revue critique	31
4.	DONNEES UTILISEES DANS LE MODELE ACV	32
4.1.	Phase de Fabrication	32
4.2.	Phase de Distribution	33
4.3.	Phase d'Utilisation	34
4.4.	Phase de fin de vie	35
4.5.	Tier 1 – Equipement utilisateur.....	36
4.5.1.	Informations générales	36
4.5.1.1.	Quels sont les dispositifs pris en compte dans le périmètre de l'étude ?	36
4.5.1.2.	Quels sont les paramètres considérés liés à ces appareils ?	36
4.5.1.3.	Hypothèses de modélisation et analyses de sensibilité	37
4.5.2.	Téléphones	37
4.5.2.1.	Téléphone Mobile	37
4.5.2.2.	Smartphone	37
4.5.2.3.	Feature phones	38
4.5.2.4.	Téléphone (ligne fixe)	39
4.5.3.	Tablette	40
4.5.4.	Ordinateur portable.....	41
4.5.5.	Ordinateur fixe.....	43
4.5.6.	Stations d'accueil	44
4.5.7.	Projecteur.....	45
4.5.8.	Ecrans	46
4.5.8.1.	Définition.....	46
4.5.8.2.	Ecrans d'ordinateur	46
4.5.8.3.	Ecrans spécifiques, affichage de signalisation et affichage de signalisation spéciale.....	47
4.5.8.4.	Télévisions	50
4.5.8.5.	Résumé pour les écrans	51
4.5.9.	Box TV.....	52
4.5.10.	Consoles de jeux	52
4.5.11.	Imprimantes.....	55
4.5.12.	SSD & HDD externes, clés USB	56
4.5.13.	Enceintes connectées	59
4.5.14.	Objets connectés IoT	59
4.5.15.	Tableau récapitulatif de Niveau 1 – Equipements de l'utilisateur	67
4.5.15.1.	Nombre d'unités	67
4.5.15.2.	Consommation d'énergie.....	67
4.5.15.3.	Durée de vie typique.....	68
4.6.	Tier 2 – Réseaux.....	68
4.6.1.	Informations générales	68
4.6.1.1.	Constitution des réseaux et différents réseaux prise en compte dans l'étude	68
4.6.1.2.	Différentes technologies des réseaux fixes : xDSL et FTTx	69
4.6.1.3.	Inventaire des utilisateurs des réseaux fixes en France.....	69
4.6.1.4.	Différentes générations de réseaux mobiles : 2G, 3G, 4G, 5G.....	70
4.6.1.5.	Inventaire des utilisateurs des réseaux mobiles en France.....	70
4.6.1.6.	Approche de modélisation	71
4.6.1.6.1.	Fabrication, distribution et fin de vie	71
4.6.1.6.2.	Utilisation.....	71
4.6.2.	Réseaux fixes.....	72
4.6.2.1.	Modélisation des phases de fabrication, distribution et fin de vie	72
4.6.2.2.	Modélisation de la phase d'usage	73
4.6.3.	Réseaux mobiles.....	74

4.6.3.1.	Modélisation des phases de fabrication, de distribution et de fin de vie	74
4.6.3.2.	Modélisation de la phase d'utilisation	75
4.7.	Tier 3 – Centres de données	76
4.7.1.	Définition.....	76
4.7.2.	Organisation d'un datacenter	76
4.7.3.	Frontière de l'étude	77
4.7.4.	Panorama des études de caractérisation du parc de datacenter	77
4.7.5.	Méthodologie utilisée pour caractériser le parc datacenter sur le territoire national.....	84
4.7.5.1.	Superficie de salles informatiques	84
4.7.5.2.	Consommation d'énergie.....	86
4.7.5.3.	Equipements informatiques.....	87
4.7.5.4.	Bâtiment et environnement technique	89
4.7.6.	Synthèse des données – Datacenters	91
4.8.	Traitement des données manquantes.....	92
4.8.1.	Approche générique	92
4.8.2.	Durée de vie	92
4.8.3.	Déchets électroniques	92
5.	RESULTATS	94
5.1.	Évaluation globale	94
5.1.1.	Évaluation globale pour les équipements et infrastructures numériques pendant 1 an en France 94	
5.1.2.	Résultats normalisés et pondérés	96
5.1.2.1.	Normalisation.....	96
5.1.2.2.	Pondération.....	96
5.1.3.	Impacts environnementaux moyen pour un français	98
5.1.4.	Comparaison avec la littérature	99
5.2.	Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques.....	102
5.3.	Décomposition par phase du cycle de vie	104
5.4.	Répartition des impacts personnel / professionnel	107
5.5.	Focus spécifique sur chaque tier des équipements et infrastructures numériques.....	109
5.5.1.	TIER 1 – Terminaux utilisateurs	109
5.5.1.1.	Analyse de contribution.....	109
5.5.1.1.1.	Focus sur la fabrication, distribution et fin de vie des terminaux utilisateurs	113
5.5.1.1.2.	Focus sur la phase d'utilisation des terminaux utilisateurs	116
5.5.2.	TIER 2 - Réseaux	119
5.5.2.1.	Analyse de contribution.....	119
5.5.2.1.1.	Focus sur les réseaux mobiles	123
5.5.2.1.2.	Focus sur les réseaux fixes	125
5.5.3.	TIER 3 - Datacenters.....	127
5.5.3.1.	Analyse de contribution – Par type de datacenter	127
5.5.3.2.	Analyse de contribution – Par type d'équipement et de consommation	129
6.	ANALYSES DE SENSIBILITE.....	132
6.1.	Global.....	132
6.1.1.	Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus.....	132
6.2.	Analyse de sensibilité sur les équipements	135
6.2.1.	Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements	135
6.2.2.	Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité des équipements	138
6.2.3.	Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements	141

6.3. Analyse de sensibilité sur les réseaux.....	144
6.3.1. Analyse de sensibilité sur la consommation électrique	144
6.4. Analyse de sensibilité sur les datacenters.....	145
6.4.1. Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité.....	145
6.5. Analyse de sensibilité cumulée.....	147
7. IMPACT PAR FOYER ET PAR ENTREPRISE TYPE.....	149
7.1. Par foyer.....	149
7.1.1. Méthodologie.....	149
7.1.2. Données	149
7.1.3. Résultats	155
7.1.4. Comparaison	171
7.1.5. Conclusions et limites	173
7.2. Par entreprise	174
7.2.1. Méthodologie.....	174
7.2.2. Données	174
7.2.3. Résultats	181
7.2.4. Comparaison	202
7.2.5. Conclusions et limites	204
8. CONCLUSIONS.....	205
8.1. Limites de l'étude.....	207
8.1.1. Réseaux et équipements exclus.....	207
8.1.2. Incertitudes sur le nombre d'équipements, leur durée de vie et leur consommation d'énergie	208
8.1.3. Maintenance et upgrade	208
8.1.4. Marché de seconde-main, réutilisation de composant, économie circulaire	208
8.1.5. Services numériques hors France et services numériques associés à l'usage hors France	208
8.1.6. Energie verte, obligations vertes, autoconsommation, compensation carbone, neutralité carbone	208
8.1.7. Détermination des quantitatifs d'équipement des réseaux.....	209
8.1.8. Calcul de la consommation électrique des réseaux	209
8.1.9. Différentiation métropole / outremer	209
8.1.10. Objets connectés	209
8.1.11. Approche top-down.....	209
8.2. Travaux complémentaires à mener	210
8.2.1. Réseaux et équipements exclus.....	210
8.2.2. Incertitudes sur le nombre d'équipements, leur durée de vie et leur consommation d'énergie	210
8.2.3. Maintenance et upgrade	210
8.2.4. Marché de seconde-main, réutilisation de composant, économie circulaire	210
8.2.5. Calcul de la consommation électrique des réseaux	210
8.2.6. Différentiation métropole / outremer	211
8.2.7. Objets connectés	211
9. ANNEXES	212
9.1. Impact des équipements	212
9.1.1. Tier 1 – Terminaux utilisateurs.....	212
9.1.2. Tier 2 – Réseaux	216

9.1.3. Tier 3 – Datacentres	217
9.2. Evaluation de la qualité des données	217
9.3. Analyse de conformité à la norme ITU L.1450	220
9.4. Rapport de revue critique.....	244
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	248
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	250
TABLEAUX	250
FIGURES.....	252
SIGLES ET ACRONYMES.....	253

RÉSUMÉ

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

Ce rapport s'inscrit dans une démarche d'analyse mais aussi de prospection quant à l'avenir du numérique. Cette étude croise l'ensemble du périmètre, depuis les installations réseaux vers les terminaux tout en considérant les impacts des réseaux, équipements numériques et datacenters.

Spécifiquement, la tâche 2 consiste en une évaluation des impacts du numérique en France selon la méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie (ACV).

Celle-ci porte sur les 3 tiers du numérique : les terminaux utilisateurs, les réseaux et les centres de données, et calcul un panel de 12 indicateurs d'impacts, dont notamment le changement climatique, la consommation de ressources naturelles, ou encore les particules fines.

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

Enfin sont présentés des cas de calcul des impacts du numérique de foyers et entreprises types.

ABSTRACT

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

This report is part of an analysis process, but also of a prospection process related to digital technologies future. This study covers the whole digital perimeter, from the network installations to terminals and considering the network, equipment and datacenters impacts.

Specifically, task 2 consists in an evaluation of France digital technologies impacts with the Life Cycle Assessment (LCA) methodology.

It covers the 3 tiers of digital technologies: user terminals, networks and datacenters, and calculates a panel of 12 impact indicators, including climate change, natural resource consumption or particulate matter.

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

Finally, typical companies and household digital technologies-related impacts are calculated.

Glossaire

- **Analyse de cycle de vie (ACV) complète** : ACV qui tient compte de l'ensemble des aspects du système. Le périmètre d'étude précis et les frontières du système varient d'une ACV à une autre.
- **Analyse de cycle de vie (ACV) hybride** : méthode qui combine l'approche de l'ACV fondée sur l'analyse économique des entrées-sorties avec les spécificités de l'approche ACV process-based (basée sur les processus).
- **Analyse de cycle de vie (ACV) - 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, 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.
- **JRC (Joint Research Center)** : le JRC est le service de connaissances scientifiques de la Commission Européenne, qui emploie des scientifiques pour mener des travaux de recherche afin de fournir des avis de recherche indépendants à la Commission.
- **Méthode (d'évaluation environnementale)**³ : 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)**⁴ : compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie.
- **MtoM / M2M** : *Machine to Machine* (de la machine à la machine), se réfère aux communications entre machines, par opposition aux communications entre humains, ou entre humain et machine.
- **PCR - Product Category Rule : Règles spécifiques des catégories de produits** : ensemble de règles, d'exigences et de lignes directrices spécifiques prévues pour l'élaboration de déclarations environnementales de Type III et de communications d'empreintes carbone pour une ou plusieurs catégories de produits.
- **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.

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

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

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

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

- **TIC - Technologies de l'Information et de la Communication**⁵: 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**⁶ : Un service numérique est une association :
 - D'équipements permettant de stocker, manipuler, afficher des octets (serveurs, terminaux utilisateurs, box ADSL, etc.) ;
 - D'infrastructures qui hébergent et relient les équipements (réseaux opérateurs et centres de données notamment) ;
 - De plusieurs logiciels empilés les uns sur les autres, qui s'exécutent au-dessus des équipements ;
 - D'autres services numériques tier éventuels

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

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

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

1. Contexte du projet

1.1. Objectif de l'étude

La transition numérique, initialement perçue comme vectrice d'emplois, de croissance et de nouveaux modèles économiques, modifie profondément 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, États, administrations) demandent à présent plus de transparence sur le sujet.

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

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

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

- **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 tiers du numérique (terminal, réseau, datacenter) ;
- **Multi composants**, afin d'appréhender ces systèmes complexes qu'est l'association des terminaux utilisateurs, datacenters et réseaux de télécommunications, tous composés d'une multitude d'équipements ayant chacun des cycles de vie propre.
Par rapport à cela, la partie logicielle qui permet le pilotage et le fonctionnement des services détermine le besoin d'équipements ainsi que les consommations électriques associées. Elle est donc considérée de manière implicite, à travers ses impacts sur le cycle de vie des équipements.

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

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

La présente étude, intitulée « *Évaluation 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. Ce rapport, qui est le second volet de l'étude, se concentre sur la détermination des impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques actuelles. Il est complété des volets 1 et 3 de l'étude.

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

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 »⁸ définissant de nouvelles politiques publiques en faveur d'une transition numérique soutenable, et au niveau européen.

Ce livrable regroupera une première version des chiffres collectés sur le secteur du numérique en France. 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.

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 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 permet de quantifier les impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques en France en 2020, conformément aux trois briques présentées ci-dessous :

- Les **terminaux** fixes et mobiles présents en France tels que les téléviseurs, ordinateurs, tablettes, objets connectés, smartphones, etc. ;
- Les **réseaux** déployés ;
- Les **centres 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).

Cette étude couvre l'ensemble des infrastructures et équipements utilisés en France relatifs aux services numériques. Néanmoins, dans une approche cycle de vie, sont aussi pris en considération l'ensemble des impacts environnementaux au-delà des frontières tels que la fabrication des équipements à l'étranger. La partie logicielle (impacts reliés aux ressources humaines tels que le transport, le chauffage ou la nourriture, mais aussi l'influence du code sur la consommation de ressources matérielles et énergétiques) n'est pas couverte par cette étude.

1.3. Définition du numérique

Conformément à l'ITU 1450⁹ définissant une méthodologie pour la quantification de l'impact environnemental du secteur de l'information et de la communication (TIC), l'empreinte du secteur des TIC, autrement dit du numérique, comprend les catégories suivantes :

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

Les biens des utilisateurs finaux comprennent :

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

⁸ Feuille de route « Numérique et environnement – faisons converger les transitions », 23 février 2021

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

II. Biens de réseau TIC (le réseau)

Les biens de réseau TIC comprennent :

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

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

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

III. Centres informatiques (les datacenters)

Les centres informatiques comprennent :

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

De plus, la présente étude comprend des éléments qui sont exclus de la norme ITU L.1450, mais pouvant être reliés au secteur du numérique, à savoir :

- Les téléviseurs et autres écrans
- Les imprimantes
- Les consoles de jeu vidéo

1.4. Représentativité et évolution du numérique

EN 2019 avant la crise sanitaire dû à la Covid19, les dépenses liées au numérique représentait un marché de 150 milliards d'euros¹⁰, soit 6% du PIB français. À titre de comparaison, les banques/assurances et l'aéronautique comptaient respectivement 105 et 65 milliards d'euros. Il est estimé qu'en 2021 le secteur du numérique atteindrait les 4,8%¹¹ de croissance. Le secteur des logiciels et des services numériques représente à lui seul plus de 530 000 postes en France.

Cinq principaux leviers de croissance semblent se démarquer :

- La transformation digitale (+10,8% de croissance attendue en 2021) : comme l'expérience client, la digitalisation des process, la dématérialisation...
- Le Cloud C&SI - Conseil et intégration des systèmes (+28,1% de croissance attendue en 2021) : les clouds verticalisés, la collaboration globalisée, la généralisation des approches containers, modernisation et transformation apps/infra...
- Le Big Data (+23,4% de croissance attendue en 2021) : la collecte et l'usage de la donnée pour faire évoluer les business-models, développer de nouveaux services...
- L'IoT (+21,6% de croissance attendue en 2021) : le développement de nouvelles solutions avec la 5G et l'edge computing...
- La Sécurité (+9,2% de croissance attendue en 2021) : avec une croissance des investissements et de l'externalisation pour parer à la recrudescence des risques, des attaques...

¹⁰ Etude Markess, <https://comarketing-news.fr/infographie-le-poids-du-numerique-en-france/>

¹¹ Numeum, Bilan 2020 et perspectives 2021 : <https://numeum.fr/actu-informatique/bilan-2020-perspectives-2021-impacte-en-2020-secteur-numerique-devrait-connaître>

Malgré la crise sanitaire, ce sont au total 4600 emplois qui ont été créés en 2020 en France, pour une 11e année consécutive de croissance de l'emploi dans le secteur du numérique.

2. Méthode

2.1. Méthodologie de l'ACV

2.1.1. Principes généraux de l'ACV

L'analyse du cycle de vie est une méthode utilisée pour évaluer l'impact environnemental de produits, de services ou d'organisations. Il existe d'autres méthodes d'évaluation de l'impact environnemental, telles que l'empreinte carbone ou les études d'impact. Mais l'ACV présente des spécificités qui rendent son approche holistique unique. En effet, utilisée depuis la fin des années 1990 et normalisée dans les séries ISO 14040:2006¹² et ISO 14044:2006¹³, cette méthode propose d'établir le bagage écologique d'un produit ou service selon plusieurs concepts clés :

- **Multicritère** : Plusieurs indicateurs environnementaux sont à considérer de manière systématique en passant par le potentiel de réchauffement climatique, l'épuisement des ressources abiotiques, la création d'ozone photochimique, la pollution de l'eau, de l'air, des sols, l'écotoxicité humaine, la biodiversité. La liste des indicateurs n'est pas fixe mais dépend des secteurs d'activité.

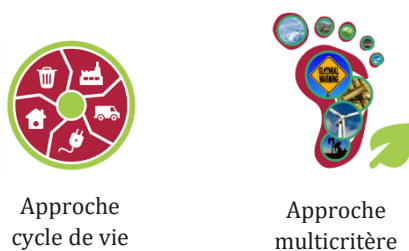


Figure 1 - Approches cycle de vie et multicritère

- **Cycle de vie** : afin d'intégrer les impacts générés lors de toutes les étapes du cycle de vie des équipements, depuis l'extraction des ressources naturelles souvent peu accessibles jusqu'à la production des déchets en passant par la consommation d'énergie en phase d'usage...
- **Quantitative** : chaque indicateur est qualifié de manière chiffrée afin de pouvoir mettre sur une même échelle l'ensemble des externalités d'un produit ou d'un service et de prendre des décisions objectives.
- **Fonctionnelle** : l'objet d'étude est défini par la fonction qu'il remplit afin de pouvoir comparer différentes solutions techniques.
- **Attributionnelle ou conséquentielle** :
 - o Attributionnelle : Il décrit les impacts environnementaux potentiels qui peuvent être attribués à un système (par exemple un produit) au cours de son cycle de vie, c'est-à-dire en amont le long de la chaîne d'approvisionnement et en aval après l'utilisation du système et la chaîne de valeur en fin de vie.
 - o Conséquentielle : Il vise à identifier les conséquences qu'une décision dans le système d'avant-plan a pour d'autres processus et systèmes de l'économie, à la fois dans le système d'arrière-plan du système analysé et sur d'autres systèmes. Il modélise le système analysé autour de ces conséquences.

Même si l'ACV est initialement plus appliquée sur le champ des produits, son périmètre d'actions a été élargi ces dernières années. Tout d'abord grâce à la norme ETSI 203 199¹⁴ et aujourd'hui grâce aux nombreux travaux menés par les organisations professionnelles des télécommunications telles que l'ITU (travaux normatifs au sein de l'ITU), par le consortium NegaOctet (PCR affichage environnemental français) ou encore par le Pôle Ecoconception (Ecoconception de service numérique).

Passer d'un produit à un service, c'est conserver la philosophie multicritères et fonctionnelle, mais en passant d'une approche circulaire (du berceau à la tombe) à une approche matricielle intégrant le cycle de vie de l'ensemble des

¹² ISO 14040:2006 – Management Environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et Cadres

¹³ ISO 14044:2006 - Management Environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices

¹⁴ https://www.etsi.org/deliver/etsi_es/203100_203199/203199/01.03.00_50/es_203199v010300m.pdf

équipements qui composent les trois tiers (équipements utilisateurs, équipements réseaux, équipements des datacenters), pilotés par une partie logicielle, qui permettent au service numérique de fonctionner. Ainsi, un tel diagnostic environnemental permet d'identifier et d'éviter les transferts de pollution d'une phase à l'autre et également d'un tiers du service à l'autre. Par exemple, lors du passage d'une solution locale à une solution SaaS dans le cloud, l'analyse de cycle de vie garantira que les impacts évités au niveau des terminaux utilisateurs ne seront pas compensés par des impacts supplémentaires sur le réseau.

2.1.2. Approche méthodologique de l'ACV

2.1.2.1. Quelles sont les différentes étapes d'une ACV

Comme présenté dans la norme ISO 14040:2006¹⁵, une étude ACV se compose de 4 étapes interdépendantes :

1. Définition de l'objectif et du périmètre
2. Analyse d'inventaire du cycle de vie (ICV)
3. Analyse d'impact sur le cycle de vie (AICV)
4. Interprétation des résultats du cycle de vie

L'ACV est une technique itérative dans laquelle chaque phase utilise les résultats des autres, contribuant à l'intégrité et à la cohérence de l'étude et de ses résultats. Il s'agit d'une approche holistique et par conséquent, la transparence dans son utilisation est cruciale pour assurer une interprétation adéquate des résultats obtenus.

REMARQUE: L'ACV traite des impacts environnementaux potentiels et ne prédit donc pas les impacts environnementaux réels ou absolus.

2.1.2.2. Définition de l'objectif et du périmètre

La définition de l'objectif de l'étude doit décrire le but de l'étude et le processus décisionnel pour lequel elle fournira un soutien dans la prise de décision environnementale. L'objectif d'une ACV est de déterminer l'application envisagée, les raisons de la réalisation de l'étude, le public visé, c'est-à-dire les personnes auxquelles les résultats de l'étude sont censés être communiqués, et si les résultats doivent être utilisés à des fins comparatives qui seront divulguées au public. Le périmètre d'une ACV - y compris les limites du système, le niveau de détail, la qualité des données, les hypothèses formulées, les limites de l'étude, etc. - dépend du sujet et de l'utilisation prévue de l'étude. La profondeur et l'étendue d'un champ d'application peuvent varier considérablement selon l'objectif particulier poursuivi.

Une ACV a une approche structurée, relative à une unité fonctionnelle et/ou une unité déclarée. Toutes les analyses ultérieures sont donc liées à cette unité. Si une comparaison est nécessaire - uniquement des produits ou services remplissant la même fonction - il est nécessaire de choisir une unité fonctionnelle référée à la fonction que les produits ou services en question remplissent.

2.1.2.3. Analyse de l'inventaire du cycle de vie

Collecte de données

Cette phase consiste en la collecte de données et de procédures de calcul pour quantifier les entrées et sorties pertinentes du système à l'étude. Les données à inclure dans l'inventaire doivent être collectées pour chaque processus unitaire considéré dans les limites du système à l'étude.

Inventaire des flux élémentaires

Dans une ICV, les flux élémentaires doivent être comptabilisés dans les limites du système, c'est-à-dire les flux de matières et d'énergie qui proviennent de l'environnement sans transformation préalable par l'être humain (ex.: consommation de pétrole, de charbon, etc.) ou qui vont directement à la nature (ex. émissions atmosphériques de CO₂, SO₂, etc.) sans autre transformation. Les flux élémentaires comprennent l'utilisation des ressources, les émissions atmosphériques et les rejets dans l'eau et le sol associés au système.

Les données collectées, qu'elles soient mesurées, calculées ou estimées, permettent de quantifier l'ensemble des entrées et sorties de matière et d'énergie des différents processus.

Règles d'attribution et d'affectation

La réalité confirme que peu de procédés industriels produisent une seule sortie ; normalement, les procédés industriels produisent plus d'un produit et/ou des produits intermédiaires ou leurs déchets sont recyclés. Dans ce cas, l'application

¹⁵ ISO 14040:2006 - Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework

de critères d'attribution de la charge environnementale aux différents produits est requise, comme c'est le cas dans l'étude réalisée.

Évaluation de la qualité des données

Les données ACV et LCI liées aux services et équipements numériques restent un défi. La plupart des études inspirées de l'ACV utilisent des données monocritères (telles que l'énergie ou le réchauffement climatique) ou des ensembles de données hétérogènes. Dans ce projet, nous avons utilisé la base de données NegaOctet, à date d'octobre 2021.

Ce choix a été réalisé pour plusieurs raisons :

- Selon la connaissance du consortium, c'est à l'heure de l'étude la seule base de données d'inventaire du cycle de vie homogène pour les équipements numériques
- Elle est développée par les membres en charge de la présente étude, ce qui permet une compréhension profonde et une adaptation éventuelle aux besoins spécifiques de l'étude
- Cette base est indépendante des déclarations fabricants
- Elle a été soumise à revue critique selon la méthode EF 3.0

Une évaluation de la qualité des données est fournie en annexe 9.2 Evaluation de la qualité des données.

2.1.2.4. Évaluation de l'impact du cycle de vie

2.1.2.4.1. Sélection, classification et caractérisation des impacts

Cette phase vise à évaluer l'importance des impacts environnementaux potentiels à partir des résultats de l'inventaire. Ce processus implique la sélection de catégories d'impact et l'association des données d'inventaire avec des catégories d'impact (par exemple le changement climatique) et avec des indicateurs de catégorie d'impact (par exemple le changement climatique dans 100 ans selon le modèle d'impact CML) via le facteur de caractérisation. Cette phase fournit des informations pour la phase d'interprétation.

2.1.2.4.2. Normalisation & Pondération

Les résultats numériques des indicateurs peuvent également être éventuellement ordonnés, normalisés, regroupés et pondérés. Cette approche permet de faciliter l'interprétation, mais aucun consensus scientifique n'existe sur une manière robuste d'effectuer une telle évaluation. De ce fait, cette étape a été utilisée pour la sélection des indicateurs pertinents, mais ne doit pas être considérée comme permettant la hiérarchisation des catégories d'impact.

2.1.2.5. Interprétation des résultats du cycle de vie

L'interprétation est la phase finale de l'ACV.

Il inclut les résultats de l'inventaire, de l'évaluation ou les deux, lesquels sont résumés et discutés de manière compréhensible. Cette partie est utilisée par les destinataires de l'étude comme base pour les conclusions, les recommandations et la prise de décision conformément à l'objectif et du périmètre établi.

2.1.2.5.1. Analyse de sensibilité & incertitude

Considérant qu'une partie de la collecte de données est basée sur une revue de la littérature, le modèle est basé sur des données secondaires qui peuvent être incertaines. Afin de qualifier l'ordre de grandeur de la variation des résultats, une analyse de sensibilité et d'incertitude doit être effectuée.

3. Définition de l'objectif et du périmètre de l'étude

3.1. Objectif de l'étude

De manière générale, réaliser une analyse de cycle de vie d'un domaine d'activité (ici les activités numériques) revient à lui donner sa matérialité et ses externalités environnementales. Il est pertinent d'appliquer cette méthode pour :

- Établir un diagnostic quantitatif des impacts environnementaux directs des activités numériques au niveau de la France
- Déterminer les impacts environnementaux directs des activités numériques pour des foyers et entreprises types (les impacts environnementaux indirects ne sont pas considérés)
- Identifier les principaux contributeurs d'impacts
- Identifier les leviers d'amélioration les plus significatifs
- Permettre un suivi des performances environnementales dans les prochaines années
- Communiquer de manière objective sur les performances environnementales et les améliorations possibles
- Nourrir une stratégie digitale responsable portée par la performance environnementale

Ainsi, cette étude vise à mesurer les impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques en France pour :

1. Faire la lumière sur les impacts environnementaux du numérique pour informer les décideurs
2. Rassembler les décideurs et la communauté scientifique pour aborder la transition environnementale et numérique
3. Généraliser la conscience collective et responsabiliser les citoyens français et les acteurs stratégiques français

Dans ce contexte, la réalisation de cette étude permettra de dégager des compréhensions et des repères clés pour :

1. Reconnaître les zones sensibles
2. Harmoniser l'accès à des résultats solides
3. Poser les bases du développement d'indicateurs de durabilité numériques clairs

3.1.1. Cadre

Ce travail a été réalisé en suivant les recommandations méthodologiques générales des normes ISO 14040:2006 et 14044:2006.

Lorsque cela est possible et pertinent dans notre contexte, le choix méthodologique se référera également à des normes complémentaires telles que :

- ITU L1410 – Méthodologie pour les évaluations environnementales du cycle de vie des biens, réseaux et services des technologies de l'information et la communication¹⁶
- ITU L1450 – Méthodologies d'évaluation de l'impact environnemental du secteur des technologies de l'information et de la communication¹⁷. Une analyse de conformité est présentée au chapitre 9.3 Analyse de conformité à la norme ITU L.1450.
- Directives PEF¹⁸ et PEFCE relatives aux équipements IT¹⁹
- ILCD handbook²⁰
- « Référentiel méthodologique d'évaluation environnementale des services numériques » et « Référentiel méthodologique d'évaluation environnementale de la Fourniture d'Accès Internet (FAI) » de l'affichage environnemental français, porté par l'ADEME,²¹

¹⁶ <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1410/fr>

¹⁷ <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1450/fr>

¹⁸ https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf

¹⁹ https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_ITequipment_Feb2020_2.pdf

²⁰ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>

²¹ <http://www.base-impacts.ademe.fr/documents/Numerique.zip>

3.1.2. Conduite de l'étude

L'étude a été organisée selon les étapes suivantes :

- Une phase de cadrage afin de définir le périmètre de l'étude et d'appréhender la complexité du système
- Une phase de collecte de données couvrant l'ensemble des équipements et usages inclus dans notre périmètre qui a consisté en une recherche bibliographique approfondie, des questionnaires de collecte de données, etc.
- Une phase de développement d'un outil sur mesure pour calculer les impacts environnementaux de la numérisation au niveau français en utilisant la méthodologie d'Analyse de Cycle de Vie
- Une phase de réalisation de l'ACV
- Une phase d'interprétation

À la fin de chaque phase, une présentation au comité de pilotage a été réalisée.

Une revue par le comité de revue critique a été organisée pour présenter la méthodologie et les résultats.

3.1.3. Public visé

Le public visé est :

- L'ADEME
- L'ARCEP
- Les décideurs politiques
- Le grand public

Les résultats ne sont pas destinés à être utilisés dans des affirmations comparatives à divulguer au public.

Commanditaires de l'étude :

- ADEME
- ARCEP
- Ministère de la transition écologique
- Ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance

Réalisateurs de l'étude :

- Consortium Négaoctet (LCIE Bureau Veritas, APL Datacenter, DDeMain, GreenIT.fr)

3.1.4. Validité des résultats

Les résultats ne sont valables que pour la situation définie par les hypothèses décrites dans ce rapport. Les conclusions peuvent changer si ces conditions diffèrent. La pertinence et la fiabilité d'une utilisation par des tiers ou à des fins autres que celles mentionnées dans ce rapport ne peuvent donc être garanties par les praticiens de l'ACV.

Une utilisation à d'autres fins que celles prévues dans le présent rapport est donc de la seule responsabilité du commanditaire.

3.2. Périmètre de l'étude

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

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

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

- Unité fonctionnelle
- Limites du système : inclusion, exclusion, critère de coupure
- Représentativité géographique, temporelle et technologique
- Phase du cycle de vie considérée
- Impact environnemental quantifié, méthodes de caractérisation
- Types et sources des données

- Exigences de qualité des données

3.2.1. Système de produit à étudier

3.2.1.1. Frontières technologiques

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

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

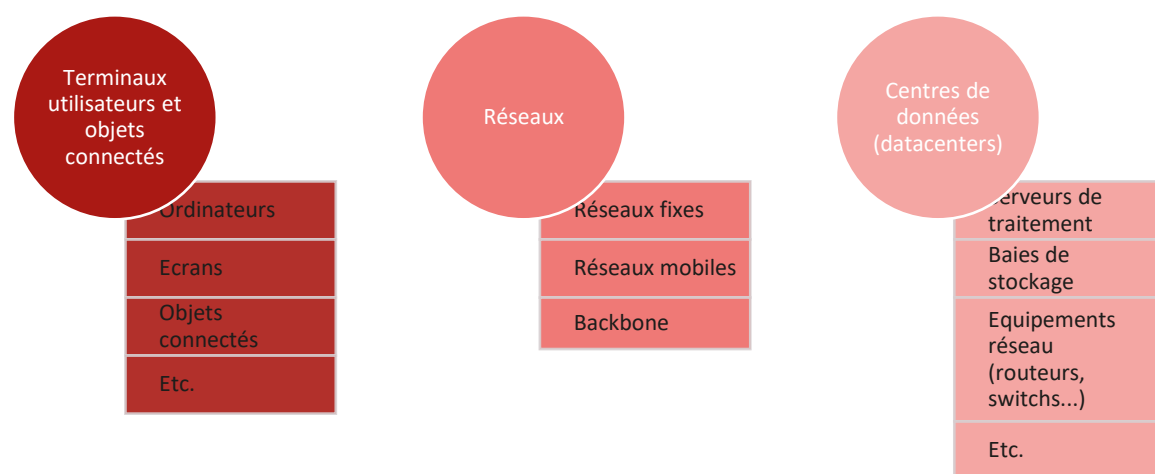


Figure 2 - Illustration des tiers du numérique défini par les 3 principales catégories d'équipement

3.2.1.2. Limites temporelles

Cette étude porte sur l'ensemble des équipements et infrastructures numériques en France en 2020. Par conséquent, dans la mesure du possible, les données sélectionnées sont représentatives de 2020.

Si des données sont manquantes, elles seront remplacées et extrapolées avec des données postérieures à 2015.

3.2.1.3. Limites géographiques

Le périmètre géographique considéré dans cette étude est composé d'équipements informatiques situés en France.

Les équipements et infrastructures informatiques situés à l'étranger sont exclus, quand bien même associés à des usages français.

Cette approche est une des limites de l'étude, car certaines utilisations des services numériques font appel à des infrastructures (datacenters) situées 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, kilowattheures, 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 une 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.

3.2.1.4. Territoires et départements d'outremer

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

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

3.2.2. Fonction et unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle est l'unité de référence utilisée pour relier les entrées et les sorties ainsi que les performances environnementales d'un ou plusieurs systèmes de produits.

« Utiliser les équipements et systèmes basés en France liés aux équipements et infrastructures numériques sur un an »

Et au niveau des habitants français

« Utiliser les équipements et systèmes basés en France liés aux équipements et infrastructures numériques sur un an par habitant »

À noter que l'ACV couvre les usages personnels comme professionnels. Ces notions sont définies dans le cadre de la présente étude comme étant :

- Usage personnel : qui est relatif à des personnes physiques.
- Usage professionnel : tout ce qui n'est pas de l'usage particulier, mais non limité aux usages par les entreprises, associations, administration, enseignement, pouvoirs publics.

3.2.3. Limite du système

3.2.3.1. Phase du cycle de vie considérée

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

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

3.2.3.2. Inclusion

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

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

Tier 1 – Appareils de l'utilisateur final et IoT

Smartphones

Téléphone portable, Téléphone (ligne fixe via box), Tablettes

Ordinateur portable, Ordinateur fixe (incluant les clients légers)

Moniteur / Écran, Moniteur/ écran par taille, projecteur

TV, TV par taille, TV box, Console de jeux

Imprimantes

Objets connectés (seule la partie communicante (tag, RFID, ...)), enceintes connectés

Tier 2 – Réseau

Équipements informatiques impliqués dans le réseau mobile (2G, 3G, 4G, 5G) et fixe (FFTx, xDSL)

Équipement Non informatiques impliqués dans le réseau mobile (2G, 3G, 4G, 5G) et fixe (FFTx, xDSL)

Tier 3 – Datacenters

Equipements informatiques (calcul, stockage, réseau)

Equipements Non informatiques impliqués dans l'infrastructure (refroidisseurs, générateurs, UPS, batteries...)

Tableau 1 - Liste des équipements numériques inclus

3.2.3.3. Exclusion

Les flux suivants ont été exclus de l'étude :

- L'éclairage, le chauffage, l'assainissement et le nettoyage des installations produisant les équipements, en raison d'un manque de données
- Le transport des salariés, considéré en dehors des frontières
- La fabrication et la maintenance des outils de production, par manque de données
- La construction et la maintenance des infrastructures liées à la production des équipements, faute de données
- Les flux des services administratifs, de gestion et de R&D, considérés hors des frontières
- La commercialisation des produits, considérée hors des frontières
- La restauration du personnel, considérée hors périmètre

Pour ce cas d'étude spécifique :

- Les activités de maintenance, réparation, remanufacturing informatique, faute de données homogènes sur tous les tiers concernant les pièces et consommables utilisés pour la maintenance.
- L'impact des salariés des secteurs informatiques et notamment de la conception, du développement, de la distribution et de la maintenance des logiciels : transport, bureau, déjeuner, etc. considérés comme hors champ (ces aspects sont généralement pris en compte dans les approches des sites ISO 14001).
- Datacenters exploitant des données consultées en France, mais situées à l'étranger, le périmètre de l'étude ne faisant référence qu'aux équipements utilisés sur le sol français.
- Réseaux TV/radio, en raison du manque d'informations concernant les équipements constitutifs (données d'inventaire du cycle de vie et quantitatifs d'équipements).
- Réseaux d'entreprise, en raison du manque d'informations concernant les équipements constitutifs (données d'inventaire du cycle de vie et quantitatifs d'équipements).
- RTC (Réseau Téléphonique Public Commuté), en raison du manque d'information sur les équipements constitutifs (données d'inventaire du cycle de vie et quantitatifs d'équipements).
- Certains appareils électroniques grand public comme les lecteurs multimédias, les appareils photo, le GPS, la partie connectée des véhicules en raison du manque d'informations concernant l'équipement constitutif sont considérés comme hors du champ de l'étude.

Pour certaines exclusions (réseaux TV/radio, RTC, réseaux d'entreprise, électronique grand public), une analyse de sensibilité a été réalisée pour inclure leur consommation électrique.

3.2.3.4. Critère de coupure

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

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

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

Cependant, pour les équipements et infrastructures numériques, la vérification de ces règles de coupure est difficile. Dans le cadre de l'étude, toutes les informations disponibles ont été prises en considération, compte tenu des exclusions précisées ci-dessus concernant la portée de l'étude. L'évaluation environnementale nous permettra de savoir quelles parties du service considéré ont le plus d'impact et lesquelles feront l'objet d'une analyse de sensibilité.

3.2.4. Procédures d'attribution

3.2.4.1. Allocations générales

Hormis en fin de vie, aucune allocation générale n'a été réalisée. Des allocations spécifiques ont été effectuées pour certains appareils. Voir chapitre 4 Données utilisées dans le modèle ACV pour plus de détails.

3.2.4.2. Allocation pour la fin de vie

Pour les objectifs de l'analyse de cycle de vie de ce rapport, le recyclage et la valorisation des matériaux en fin de cycle de vie sont considérés tels qu'appliqués par la base de données²² de fin de vie Ecosystem.

Deux approches ont été retenues, en proportion variables pour chaque équipement :

- Approche « sans bénéfices ». Cette méthode suppose que le recyclage ou la valorisation énergétique des matériaux en fin de vie n'apporte aucun bénéfice lié à la substitution de matière vierge ou de sources d'énergie primaire.

La formule telle qu'il est appliqué avec l'approche « sans bénéfices » est la suivante :

- Impacts du recyclage matière

$$(1 - A)R_2 * E_{recyclingEoL}$$

Avec :

- A : facteur de répartition des charges et crédits entre fournisseur et utilisateur de matériaux recyclés, dans l'approche d'Ecosystem, A=0.
- R₂ : c'est la proportion de matière dans le produit qui sera recyclé (ou réutilisée) dans un système ultérieur.
- E_{recyclingEoL} : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) résultant du processus de recyclage en fin de vie, y compris le processus de collecte, de tri et transport.

- Impact de valorisation énergétique :

$$(1 - B)R_3 * E_{ER}$$

Avec :

- B : facteur d'allocation des procédés de valorisation énergétique : il s'applique aussi bien aux charges qu'aux crédits. Dans l'approche d'Ecosystem, B=0
- R₃ : c'est la proportion de matière dans le produit qui est utilisée par la récupération d'énergie en fin de vie.
- E_{ER} : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) liées au processus de valorisation énergétique (ex. Incinération avec valorisation énergétique, mise en décharge avec valorisation énergétique...)

- Impacts de l'élimination des déchets :

$$(1 - R_2 - R_3) * E_D$$

Avec :

- R₂ : c'est la proportion de matière dans le produit qui sera recyclée (ou réutilisée) dans un système ultérieur.
- R₃ : c'est la proportion de matière dans le produit qui est utilisée par la récupération d'énergie en fin de vie.
- E_D : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) résultant de l'élimination des déchets à la fin de vie du produit analysé, sans valorisation énergétique.

- Approche « avec bénéfices ». Cette méthode suppose que le recyclage ou la valorisation énergétique des matériaux en fin de vie apporte un bénéfice lié à la substitution de matière vierge ou de sources d'énergie primaire.

La formule telle qu'il est appliqué avec l'approche « avec bénéfices » est la suivante :

- Impacts du recyclage matière

²² <http://weee-lci.ecosystem.eco/Node/>

$$(1 - A)R_2 * (E_{recyclingEoL} - E_v^* * \frac{Q_{Sout}}{Q_p})$$

Avec :

- A : facteur de répartition des charges et crédits entre fournisseur et utilisateur de matériaux recyclés, dans l'approche d'Ecosystem, A=0.
- R₂ : c'est la proportion de matière dans le produit qui sera recyclée (ou réutilisée) dans un système ultérieur.
- E_{recyclingEoL} : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) résultant du processus de recyclage en fin de vie, y compris le processus de collecte, de tri et transport.
- E_v^{*} : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) générées par l'acquisition et la production de la matière vierge substituée par la matière recyclée
- Q_{Sout} : Qualité, au point de substitution, du matériau recyclé
- Q_p : Qualité du matériau primaire

- Impact de valorisation énergétique :

$$(1 - B)R_3 * (E_{ER} - LHV * X_{ER,heat} * E_{SE,heat} - LHV * X_{ER,elec} * E_{SE,elec})$$

Avec :

- B : facteur d'allocation des procédés de valorisation énergétique : il s'applique aussi bien aux charges qu'aux crédits. Dans l'approche d'Ecosystem, B=0
- R₃ : c'est la proportion de matière dans le produit qui est utilisée par la récupération d'énergie en fin de vie.
- E_{ER} : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) liées au processus de valorisation énergétique (ex. Incinération avec valorisation énergétique, mise en décharge avec valorisation énergétique...)
- E_{ER} : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) générées par la récupération d'énergie (exemple : incinération avec récupération d'énergie, stockage avec récupération d'énergie, etc.)
- LHV : Pouvoir calorifique inférieur (PCI) du matériau sujet à récupération d'énergie.
- X_{ER,heat} : Efficacité de la récupération d'énergie pour la chaleur
- E_{SE,heat} : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) qui auraient été générées par la chaleur substituée par l'énergie récupérée.
- X_{ER,elec} : Efficacité de la récupération d'énergie pour l'électricité
- E_{SE,elec} : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) qui auraient été générées par l'électricité substituée par l'énergie récupérée.

- Impacts de l'élimination des déchets :

$$(1 - R_2 - R_3) * E_D$$

Avec :

- A : facteur de répartition des charges et des crédits entre fournisseur et utilisateur de matériaux recyclés. Dans l'approche d'Ecosystem, A=0.
- R₂ : c'est la proportion de matière dans le produit qui sera recyclée (ou réutilisée) dans un système ultérieur.
- R₃ : c'est la proportion de matière dans le produit qui est utilisée par la récupération d'énergie en fin de vie.
- E_D : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) résultant de l'élimination des déchets à la fin de vie du produit analysé, sans valorisation énergétique.

Ces deux approches sont appliquées de façon variable en fonction des équipements.

En effet, une partie des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) rentre dans une filière conventionnelle, et une partie rentre dans une filière alternative (déchets ménagers, export, filières illégales, etc.). Si la première filière peut donner lieu à des bénéfices liés au recyclage et à la valorisation énergétique, ce n'est pas le cas de la seconde.

Pour la France, le projet Urban Mine Platform²³ indique :

²³ <http://www.urbanmineplatform.eu/wasteflows/eee/percentage>

- Filières conventionnelles : 53% (collectés et reportés 35%, recyclage avec d'autres déchets métalliques 17%, recyclage comme produit 1%)
- Filières alternatives : 47% (déchets ménagers 5%, écart de reporting 42%)

Ces valeurs ont donc été retenues pour la répartition entre les deux approches, à l'exception des smartphones pour lesquels des chiffres plus précis existent (27% pour la filière conventionnelle, et 73% pour la filière alternative).

3.2.5. Méthodologie AICV et types d'impacts

3.2.5.1. Sélection, classification et caractérisation des impacts

Cette phase vise à évaluer l'importance des impacts environnementaux potentiels à partir des résultats de l'inventaire. Ce processus implique la sélection de catégories d'impact et l'association des données d'inventaire avec des catégories d'impact (par exemple le changement climatique) et avec des indicateurs de catégorie d'impact (par exemple le changement climatique dans 100 ans selon le modèle d'impact CML) à travers le facteur de caractérisation. Cette phase fournit des informations pour la phase d'interprétation.

Dans notre contexte, nous baserons notre analyse sur les indicateurs proposés par la Commission européenne dans le cadre du projet Product Environmental Footprint (PEF), en utilisant le PEF 3.0.²⁴

Catégorie d'impact	Modèle	Unité	Méthode niveau de recommandatio n
Changement climatique	IPCC 2013, GWP 100	kg CO ₂ eq	I
Appauvrissement de la couche d'ozone	World Meteorological Organisation (WMO), 1999	kg CFC-11 eq	I
Émissions de particules fines	Fantke et al., 2016	disease incidence	I
Acidification	Posch et al., 2008 ; Seppälä et al. 2006	mol H ⁺ eq	II
Eutrophisation aquatique, eaux douces	Struijs et al., 2009	kg P eq	II
Eutrophisation aquatique, marine	Struijs et al., 2009	kg N eq	II
Eutrophication, terrestre	Posch et al., 2008 ; Seppälä et al. 2006	mol N eq	II
Rayonnements ionisants, santé humaine	Frischknecht et al., 2000	kBq U235 eq	II
Formation d'ozone photochimique, santé humaine	Van Zelm et al., 2008, as applied in ReCiPe, 2008	kg NMVOC eq	II
Toxicité humaine, effets non cancérogènes	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUh	III
Occupation des sols/Qualité du sol	Soil quality index (based on Beck et al. 2010 ; LANCA, Bos et al., 2016)	pt	III
Epuisement des ressources abiotique, combustibles fossiles	ADP for energy carriers, based on van Oers et al. 2002 as implemented in CML, v. 4.8 (2016)	MJ	III
Epuisement des ressources abiotique, minéraux et métaux	ADP for mineral and metal resources, based on van Oers et al. 2002 as implemented in CML, v. 4.8 (2016)	kg Sb eq	III
Besoin en eau	AWARE 100 (based on Boulay et al., 2018)	m ³ world eq	III
Ecotoxicité, eaux douces	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUe	III/Interim*
Toxicité Humaine, effets cancérogène	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUh	III/Interim*

Tableau 2 - Ensemble complet d'indicateurs d'impact recommandés dans la méthodologie PEF

²⁴ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developEF.xhtml> (last retrieved: 19/08/2021)

Afin d'être le plus compréhensible possible et de concentrer notre recommandation sur des sujets appropriés, il est largement admis de réduire le panel complet d'indicateurs à une sélection appropriée. Dans notre cas, les ensembles d'indicateurs limités sont dérivés de l'approche de normalisation et de pondération. Nous avons sélectionné les indicateurs les plus pertinents sur la base des résultats normalisés et pondérés (voir chapitre 5.1.2 Résultats normalisés et pondérés). Les indicateurs suivants ont été sélectionnés, représentant plus de 80 % (98%) des résultats pondérés globaux :

Catégorie d'impact	Modèle	Unité	Méthode LCIA niveau de recommandatio n
Changement climatique	IPCC 2013, GWP 100	kg CO2 eq	I
Émissions de particules fines	Fantke et al., 2016	disease incidence	I
Acidification	Posch et al., 2008	mol H+ eq	II
Rayonnements ionisants, santé humaine	Frischknecht et al., 2000	kBq U235 eq	II
Formation d'ozone photochimique, santé humaine	Van Zelm et al., 2008, as applied in ReCiPe, 2008	kg NMVOC eq	II
Épuisement des ressources abiotique, combustibles fossiles	ADP for energy carriers, based on van Oers et al. 2002 as implemented in CML, v. 4.8 (2016)	MJ	III
Épuisement des ressources abiotique, minéraux et métaux	ADP for mineral and metal resources, based on van Oers et al. 2002 as implemented in CML, v. 4.8 (2016)	kg Sb eq	III
Ecotoxicité, eaux douces	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUe	III/Interim*

Tableau 3 - Sélection d'indicateurs pertinents sur la base de normalisation et de pondération

L'indicateur « consommation d'eau », bien que représentant 16,8 % des impacts pondérés, a été supprimé, car les données utilisées pour évaluer la fin de vie présentent des résultats très élevés sur cet indicateur, que nous ne pouvions justifier.

Les indicateurs « occupation des sols » n'ont pas été jugés comme donnant des résultats pertinents, certaines données utilisées n'incluant pas les flux élémentaires associés, ce qui conduit à un calcul incomplet.

De plus, nous proposons de compléter cet ensemble par quatre indicateurs plus compréhensibles que sont l'empreinte matériau (MIPS) et l'énergie primaire. Ces indicateurs ne peuvent pas être normalisés et pondérés, mais fournissent une compréhension supplémentaire des impacts environnementaux.

Catégorie d'impact	Modèle	Unité	Méthode LCIA niveau de recommandatio n
Matières premières	MIPS, Schmidt-Bleek, 1994 and Ritthoff et al., 2002	kg	N/A
Production de déchets		kg	N/A
Consommation d'énergie primaire	Cumulative Energy	MJ	N/A
Consommation d'énergie finale		MJ	N/A

Tableau 4 - Ajout de quatre indicateurs

Afin de mieux comprendre les indicateurs sélectionnés, le tableau suivant détaille chacun avec une explication des aspects environnementaux associés :

INDICATEURS D'IMPACT	<p>Épuisement des ressources naturelles (minérales et métaux)</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) Unité : kg Sb équivalent (kg Sb eq.) Méthode d'évaluation : CML 2002 <p>Définition : L'exploitation industrielle entraîne une diminution des ressources disponibles dont les réserves sont limitées. Cet indicateur évalue la quantité de ressources minérales et métalliques extraites de la nature comme s'il s'agissait d'antimoine.</p>	<p>Changement climatique</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur: Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) Unité: kg CO₂ équivalent (kg CO₂ eq.) Méthode d'évaluation: IPCC 2013 méthode <p>Définition: Les gaz à effet de serre (GES) sont des composés gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre contribue au réchauffement climatique.</p>
	<p>Acidification</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) Unité : mol H⁺ eq. Méthode d'évaluation : Accumulated Exceedance (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008) <p>Définition : L'acidification de l'air est liée aux émissions d'oxydes d'azote, d'oxydes de soufre, d'ammoniac et d'acide chlorhydrique. Ces polluants se transforment en acides en présence d'humidité, et leurs retombées peuvent endommager les écosystèmes ainsi que les bâtiments.</p>	<p>Emissions de particules fines</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) Unité : Disease incidence Méthode d'évaluation: PM method recommended by UNEP (UNEP 2016) <p>Définition : La présence de particules fines de petit diamètre dans l'air - en particulier celles d'un diamètre inférieur à 10 microns - représente un problème de santé humaine, car leur inhalation peut provoquer des problèmes respiratoires et cardiovasculaires</p>
	<p>Radiations ionisantes</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) Unité : kBq U235 eq. Méthode d'évaluation: Human health effect model as developed by Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al, 2000) <p>Définition : Les radionucléides peuvent être libérés lors de plusieurs activités humaines. Lorsque les radionucléides se désintègrent, ils libèrent des rayonnements ionisants. L'exposition humaine aux rayonnements ionisants provoque des dommages à l'ADN, qui à leur tour peuvent conduire à divers types de cancer et de malformations congénitales</p>	<p>Formation d'ozone photochimique, santé humaine</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) Unité : kg NMVOC eq. Méthode d'évaluation : Van Zelm et al., 2008, as applied in ReCiPe, 2008 <p>Définition : L'ozone troposphérique se forme dans la basse atmosphère à partir de composés organiques volatils (COV) et d'oxydes d'azote résultant du rayonnement solaire. L'ozone est un oxydant très puissant connu pour avoir des effets sur la santé, car il pénètre facilement dans les voies respiratoires.</p>
	<p>Épuisement des ressources abiotiques (fossiles)</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) Unité : MJ Méthode d'évaluation : CML 2002 <p>Définition: L'indicateur représente la consommation d'énergie primaire provenant de différentes sources non renouvelables (pétrole, gaz naturel, etc.). Contrairement à ce que le nom indique, la consommation d'énergie primaire issue de l'uranium est également considérée. Les calculs sont basés sur le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) des types d'énergie considérés, exprimé en MJ/kg. Par exemple, 1 kg de pétrole apportera 41,87 MJ à l'indicateur considéré.</p>	<p>Ecotoxicité, eaux douces</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) Unité : CTUe Méthode d'évaluation : USEtox (Rosenbaum et al., 2008) <p>Définition : Ces indicateurs suivent toute la chaîne d'impact depuis l'émission d'un composant chimique jusqu'à l'impact final sur l'homme et les écosystèmes. Cela comprend la modélisation de la distribution et du devenir dans l'environnement, l'exposition des populations humaines et des écosystèmes, et les effets liés à la toxicité associés à l'exposition.</p>

INDICATEURS DE FLUX	Masse de déchets <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur de flux Unité : kg Définition : Quantité de déchets générés tout au long du cycle de vie, y compris les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), ainsi que les déchets liés à l'extraction des matières premières	Consommation d'énergie primaire <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur de flux Unité : MJ Définition : L'énergie primaire est la première forme d'énergie directement disponible dans la nature avant toute transformation : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent, rayonnement solaire, énergie hydraulique, géothermique, etc.
	Consommation d'énergie finale <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur de flux Unité : MJ Définition : Désigne l'énergie directement utilisée par l'utilisateur final, sous forme d'électricité ou de carburant	Matières premières <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur de consommation de ressources Unité : kg Méthode d'évaluation : MIPS - Material Input per Service-unit Définition : L'indicateur MIPS permet de calculer les ressources utilisées pour produire une unité de produit ou de service avec une approche d'analyse de cycle de vie (Schmidt-Bleek, 1994). Cinq types de ressources sont considérés: les ressources abiotiques (matériaux, énergie fossile...), la biomasse, les déplacements de terre mécaniques ou par érosion, l'eau, et l'air (Ritthoff et coll., 2002). Ces consommations sont simplement sommées, ce qui donne un indicateur de consommation de ressources (matières premières extraites et matières premières énergétiques)

Tableau 5 - Détail des indicateurs d'impact

3.2.5.2. Normalisation & Pondération

Les résultats numériques des indicateurs peuvent également être éventuellement ordonnés, normalisés, regroupés et pondérés. Cette approche permet de faciliter l'interprétation, mais aucun consensus scientifique n'existe sur une manière robuste d'effectuer une telle évaluation.

Dans notre étude, nous avons utilisé les facteurs de normalisation et de pondération fournis par le JRC dans la méthode PEF/OEF (EF 3.0)²⁵, publiée le 20 novembre 2019, tels que rapportés dans le tableau ci-dessous.

Catégorie d'impact	Facteur de normalisation	Unité
Changement climatique	8,10E+03	kg CO ₂ eq./personne
Appauvrissement de la couche d'ozone	5,36E-02	kg CFC-11 eq./personne
Émissions de particules fines	5,95E-04	disease incidences/personne
Acidification	5,56E+01	mol H ⁺ eq./personne
Eutrophisation aquatique, eaux douces	1,61E+00	kg P eq./personne
Eutrophisation aquatique, marine	1,95E+01	kg N eq./personne
Eutrophisation, terrestre	1,77E+02	mol N eq./personne
Rayonnements ionisants, santé humaine	4,22E+03	kBq U-235 eq./personne
Formation d'ozone photochimique, santé humaine	4,06E+01	kg NMVOC eq./personne
Toxicité humaine, effets non cancérogènes	2,30E-04	CTUh/personne
Occupation des sols/qualité du sol	8,19E+05	pt/personne
Épuisement des ressources abiotique, combustibles fossiles	6,50E+04	MJ/personne
Épuisement des ressources abiotique, minéraux et métaux	6,36E-02	kg Sb eq./personne
Utilisation de l'eau	1,15E+04	m ³ water eq of deprived water/personne
Ecotoxicité, eaux douces	4,27E+04	CTUe/personne
Toxicité humaine, effets cancérogènes	1,69E-05	CTUh/personne

Tableau 6 - Facteurs de normalisation proposés par le JRC

²⁵ https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/EF_3.0_Complete.zip

Catégorie d'impact	Facteur de pondération (%)
Changement Climatique	21,06
Appauvrissement de la couche d'ozone	6,31
Émissions de particules fines	8,96
Acidification	6,20
Eutrophisation aquatique, eaux douces	2,80
Eutrophisation aquatique, marine	2,96
Eutrophisation, terrestre	3,71
Rayonnements ionisants, santé humaine	5,01
Formation d'ozone photochimique, santé humaine	4,78
Toxicité humaine, effets non cancérogènes	2,13
Occupation des sols/qualité du sol	7,94
Épuisement des ressources abiotiques, combustibles fossiles	8,32
Épuisement des ressources abiotiques, minéraux et métaux	7,55
Utilisation de l'eau	8,51
Ecotoxicité, eaux douces	1,92
Toxicité humaine, effets cancérogènes	1,84

Tableau 7 - Facteurs de pondération proposés par le JRC

3.2.6. Type et source des données

Le calcul d'ACV nécessite deux types d'informations différentes :

- Des données liées aux **caractéristiques physiques** du système considéré (comme le nombre de smartphones utilisé en Europe et la quantité d'électricité consommée par les smartphones). Pour ce projet, ces données sont issues d'une statistique et d'un benchmark interne.
- Des données relatives aux **impacts du cycle de vie** des équipements informatiques ou des flux d'énergie entrant dans le système considéré. Ces données sont issues des bases de données disponibles dans le logiciel EIME grâce au projet Négaoctet.

Données relatives aux caractéristiques physiques

Notre revue bibliographique nous a permis de couvrir plus de **175** études d'impact environnemental de **67** éditeurs différents²⁶.

La diversité des ressources couvertes a permis à la fois une couverture large et précise des impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques avec **+94 %** couvrant un de ces **10** secteurs : TIC (transversal), TIC (équipement), DEEE, pratiques numériques, composants, médias /divertissement, EEE, ICT (centres de données), ICT (réseaux), IoT.

Nos ressources bibliographiques, collectées et mises à jour tout au long de la phase de collecte des données de notre étude, nous ont permis de dresser un inventaire (nombre et type d'équipements) à jour 2019-2020. Cet inventaire a été utilisé pour déterminer les impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques en France.

Ces ressources bibliographiques ont été la base de notre travail pour la réalisation de l'ACV et des études de cas.

Données relatives aux impacts du cycle de vie

Les données sur les impacts du cycle de vie des équipements informatiques ou des flux d'énergie sont classées dans les catégories suivantes :

- **Données primaires** (également appelées « données spécifiques au site ») – données recueillies à partir de l'usine de fabrication réelle où des processus spécifiques au produit sont effectués, et données provenant d'autres parties du cycle de vie liées au système de produit spécifique à l'étude, par ex. les matériaux ou l'électricité fournis par un fournisseur sous contrat qui est en mesure de fournir des données sur les services réellement fournis, le transport qui a lieu sur la base de la consommation réelle de carburant et les émissions associées, etc.
- **Données secondaires** divisées en :

²⁶ Etude « Impacts environnementaux des objets connectés et des services basés sur leur utilisation : Ordres de grandeurs et recommandations méthodologiques », 2021, Négaoctet, pour ScoreLCA (Etude 2019-03)

- **données secondaires sélectionnées** - données provenant de sources de données couramment disponibles qui remplissent les caractéristiques de qualité des données prescrites pour la précision, l'exhaustivité et la représentativité,
- **données proxy** – données provenant de sources de données couramment disponibles (qui ne remplissent pas toutes les caractéristiques de qualité des données des « données secondaires sélectionnées »).

Les données proviennent des bases de données disponibles dans le logiciel EIME (données secondaires sélectionnées) : bases de données NegaOctet²⁷, CODDE²⁸, Ecosystem²⁹ et ecoinvent³⁰.

3.2.7. Exigences de qualité des données

Conformément aux objectifs et aux limites du système, la qualité requise des données collectées suit les règles décrites ci-dessous, en ligne avec les catégories définies dans la méthode PEF/OEF (EF 3.0)³¹ :

- **Représentativité technologique** : représentatif des technologies entre 2015 et 2020.
- **Représentativité géographique** : des données spécifiques correspondant à l'utilisation des équipements et infrastructures numériques en France. Si des données sont manquantes, les hypothèses seront justifiées.
- **Représentativité temporelle** : données 2019-2020. Ne pas considérer les données de plus de 5 ans. Si les données datent de plus de 5 ans (avant 2015), elles seront mises à jour et les hypothèses seront justifiées.
- **Intégralité** : l'application des critères de coupure est complexe compte tenu de la quantité d'équipements et de processus. L'étude comprend tous les flux identifiés, sauf mention contraire.
- **Incertitude des paramètres** : pour la plupart des données, une seule source était disponible, ce qui donne une faible représentativité. Dans la mesure du possible, les données ont été recoupées avec des sources supplémentaires (précisé lorsque c'est le cas).
- **Adéquation et cohérence méthodologique** : méthodologie utilisée : ISO 14040-44. Application uniforme de la méthodologie de collecte de données pour toutes les composantes à l'étude.

3.2.8. Outil de modélisation ACV

Pour chaque appareil, les flux de ressources matérielles et énergétiques de la nature vers le système technique et les émissions du système technique vers l'air, le sol et l'eau sont pris en compte par EIME version 5.9.1. du logiciel et sa base de données.

L'évaluation des équipements et infrastructures numériques françaises depuis 1 an a été réalisée en compilant toutes les données des équipements dans un outil Excel.

3.2.9. Considérations relatives à la revue critique

La revue critique est une procédure permettant de certifier que l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est conforme aux normes internationales et compléments nationaux pour répondre aux objectifs de l'étude. Elle est réalisée principalement lorsque les résultats sont destinés à être communiqués au public ou lorsqu'il s'agit d'allégations comparatives. Son objectif est de limiter les risques en termes de :

- Incohérence entre l'objectif, la collecte des données et les résultats de l'étude
- Communication de conclusions non fondées

Dans notre contexte, la revue critique vise également à :

- Identifier les éléments importants et les limites de l'étude afin qu'elle ne soit pas déformée et n'ait aucun biais dans la communication.

²⁷ <https://negaoctet.org/>

²⁸ <https://codde.fr/en/our-services/software-tools>

²⁹ <http://weee-lci.ecosystem.eco/Node/>

³⁰ <https://ecoinvent.org/>

³¹ https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/EF_3.0_Complete.zip

- S'assurer de la pertinence et de la fiabilité des informations données.
- Garantir à l'ADEME et l'ARCEP que les éléments sur lesquels ils s'appuieront, issus de cette étude, sont robustes, dans les limites des données disponibles.

La revue critique de l'étude conduite pour l'ADEME et l'ARCEP et permettant de valider les données, les hypothèses et les procédures est conduite par :

- **Stéphane Le Pochat**, EVEA
- **Thierry Leboucq**, Greenspector,
- **Martin Dargent**, Easyvirt,

La revue critique s'est déroulée suivant les étapes :

1. Revue critique du rapport v0.1 envoyé le 08/09/2021 :

Rapport Ademe – Arcep. Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Tâche 2 – Evaluation environnementale des services numériques en France – Rapport final, Août 2021. 136 pages.

2. Présentation de la modélisation (fichier XLS) le 20/10/2021 en réunion dans les locaux de APL-Datacenter à Montrouge en présence de Caroline Vateau, Etienne Lees Perasso, Romain Mahasenga, Stéphane Le Pochat. La consultation n'a pas permis de vérifier les ICV et données d'inventaire.
3. Envoi des commentaires au consortium le 22/10/2021
4. Réponse aux commentaires par le consortium, et intégration des modifications dans le rapport
5. Revue critique du rapport v0.8 (envoi du 21/12/2021) intégrant les modifications :

Rapport Ademe – Arcep. Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Tâche 2 – Evaluation environnementale des services numériques en France – Rapport final, Août 2021. 245 pages.

6. Envoi d'une seconde série de commentaires (07/01/2022)
7. Publication du rapport final :

Rapport Ademe – Arcep. Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Rapport 2/3. Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France – Rapport final, Janvier 2022. 250 pages.

Le rapport de revue critique est joint à ce rapport, en annexe 9.4 Rapport de revue critique.

4. Données utilisées dans le modèle ACV

Cette partie détaille les sources de données, l'évaluation et les hypothèses de l'ACV.

D'abord un aperçu global sur les différents cycles de vie est fourni, puis chaque niveau et équipement est détaillé.

4.1. Phase de Fabrication

Les données ont été évaluées avec la base de données Negaocet au 11/2021. Ces données comportent notamment les inventaires du cycle de vie (ICV) sur la fabrication des équipements et des infrastructures utilisés dans la présente étude.

Cette base de données a été établie à l'issue d'un projet de R&D de 3 ans, incluant des démontages de produits, de la recherche bibliographique, de retro-engineering. Cette base de données a fait l'objet d'une revue critique évaluant la conformité au référentiel EF 3.0 sur le périmètre suivant :

- Tier 1 : Téléphones portables, tablettes, ordinateurs fixes et portables, écrans d'ordinateur, télévision, SSD, HDD, clés USB revus
- Tier 2 : revu partiellement
- Tier 3 : serveurs revus

4.2. Phase de Distribution

La distribution des équipements numériques suit généralement un parcours complexe, depuis l'entrepôt en Asie jusqu'à l'utilisateur final en France. Les équipements support non IT et liés à l'infrastructure ont un scénario logistique plus local.

Par choix méthodologique, cette étude ne prend pas en compte la distribution du magasin au client.

Le transport de l'entrepôt au magasin peut suivre trois voies :

- Transport par bateau (Hypothèse de distance de Pékin à Paris, 20 204 km³²)
- Transport en avion (Hypothèse de distance de Pékin à Paris, 8 330 km³³)
- Transport en train (Hypothèse de distance de Pékin à Paris, 11 661 km³⁴)

À chaque fois, 1 000 km supplémentaires en camion sont ajoutés pour évaluer la distance supplémentaire requise³⁵.

Chaque produit ne suit pas le même cheminement. Afin de déterminer le scénario de distribution de tous les produits, nous avons utilisé les données des déclarations carbone de Lenovo³⁶. D'autres fabricants ont été considérés, mais ne communiquent pas sur les scénarios logistiques. Ont été considérés : Apple, Asus, Dell, HP, Lexmark, Seagate.

Les schémas de distribution qui en résultent sont les suivants :

³² Source: <https://www.ecotransit.org/fr/calculateur-demissions/>

³³ Source: <https://www.ecotransit.org/fr/calculateur-demissions/>

³⁴ Source: <https://www.ecotransit.org/fr/calculateur-demissions/>

³⁵ Hypothèse PEP ecopassport PCR v3, approche pénalisante

³⁶ <https://www.lenovo.com/us/en/compliance/eco-declaration>

Tier	Equipement	Ratio de transport par Avion	Ratio de transport maritime	Ratio de transport ferroviaire	Commentaire
Tier 1 –Equipement Utilisateur	Ordinateur fixe	0	1	0	
	Ordinateur portable	0,36	0,60	0,04	
	Stockage	0,3	0,08	0,62	
	Tablettes (smartphones ont été considérés comme des tablettes)	0,26	0,58	0,16	
	Autres équipements	0	1	0	Par hypothèse
Tier 2 - Réseau	Tout équipement	0	1	0	Par hypothèse
Tier 3 - Datacenters	Equipement IT	0,3	0,08	0,62	
	Equipement Non IT	0	0	0	Par hypothèse
	Eléments architecturaux	0	0	0	Hypothèse de 100 km par camion

Tableau 8 - Scénarios logistiques des équipements

Les données de transport utilisées sont des données ecoinvent v3.6 :

- Avion: market for transport, freight, aircraft, unspecified; GLO // transport, freight, aircraft, unspecified
- Bateau: market for transport, freight, sea, container ship; GLO // transport, freight, sea, container ship
- Train: market for transport, freight train; Europe without Switzerland // transport, freight train
- Camion :
 - o market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO1; ZA // transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO1
 - o market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO2; ZA // transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO2
 - o market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3; RER // transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3
 - o market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4; RER // transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4
 - o market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5; RER // transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5
 - o market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6; RER // transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
 - o Répartition EURO en 2018 selon "Simon Martinet. Estimation in-situ des facteurs d'émission des polluants du trafic routier. Infrastructures de transport. Université de Lyon, 2020. Français. ffNNT : 2020LYSET006ff. fftel-03058446v1f" : 0,5% Euro1, 1,5% Euro 2, 7% Euro3, 13% Euro4, 38% Euro5 et 40% Euro6

4.3. Phase d'Utilisation

Les données électriques sont évaluées comme un mix électrique français.

La donnée d'électricité utilisée est le mix français.

Afin d'être cohérent avec la période de collecte des données (2019), nous avons choisi les données électriques fiables les plus récentes disponibles, provenant de RTE pour l'année 2019³⁷.

Le mix de production est comme suit, pour une production totale de 537,6 TWh :

- Nucléaire : 70,59%
- Charbon : 0,30%
- Fioul : 0,43%
- Gaz naturel : 7,18%
- Hydro : 11,16%
- Eolien : 6,34%
- Solaire : 2,16%
- Biogaz : 0,48%
- Biomasse : 0,50%
- Déchets : 0,86%

Il faut également considérer :

- Exports : 84 TWh
- Imports : 28,3 TWh
 - o Italie (0,4 TWh)
 - o Espagne (4,2 TWh)
 - o Suisse (6,1 TWh)
 - o Royaume-Uni (2,9 TWh)
 - o CWE (14,7 TWh)

De plus, des pertes en ligne de 2,22% ont été considérées.

Ce qui donne le mix de consommation suivant, pour une consommation de 471 TWh :

- Nucléaire : 66,62%
- Charbon : 0,28%
- Fioul : 0,40%
- Gaz naturel : 6,78%
- Hydro : 10,53%
- Eolien : 5,99%
- Solaire : 2,04%
- Biogaz : 0,46%
- Biomasse : 0,47%
- Déchets : 0,81%
- Imports : 5,89%
 - o Italie : 0,08%
 - o Espagne : 0,87%
 - o Suisse : 1,27%
 - o Royaume-Uni : 0,60%
 - o CWE : 3,06%

De plus, des pertes en ligne de 2,22% ont été considérées.

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

4.4. Phase de fin de vie

La fin de vie a été évaluée avec la base de données DEEE d'Ecosystèmes à partir de 2021, avec un mix d'approche « sans bénéfice » et « avec bénéfice » ³⁸ (voir chapitre 3.2.4.2 Allocation pour la fin de vie).

³⁷ RTE, Bilan Electrique 2019

³⁸ <http://weee-lci.ecosystem.eco/Node>

4.5. Tier 1 – Equipement utilisateur

4.5.1. Informations générales

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

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

Tableau 9 - Liste des terminaux utilisateurs

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

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

Les paramètres considérés liés à ces dispositifs sont :

1. Le Nombre d'unités : pour inventorier le stock d'appareils. Les résultats sont séparés entre usage personnel et professionnel.
2. La consommation énergétique : pour reconstituer la consommation énergétique du parc, en se basant soit : sur le profil de consommation d'un ou plusieurs modèles types d'appareil, avec attribution d'une puissance à chaque mode de consommation ; ou sur des travaux cohérents et récents trouvés sur le périmètre français (lorsque possible) ou autre. La seconde option est privilégiée. Les résultats sont séparés entre usage personnel et professionnel.
3. La fréquence d'utilisation : pour affiner les calculs de consommation d'énergie.
4. La durée de vie typique : pour attribuer les impacts en fonction de la durée de vie des appareils. Les résultats ne sont pas séparés entre usage personnel et professionnel du fait de l'absence d'information différenciante.
5. Caractéristiques : présentent les principales caractéristiques des modèles retenus permettant la modélisation des impacts relatifs aux équipements concernés. Les résultats sont séparés entre usage personnel et professionnel.

6. Déchets électroniques : Pour évaluer la partie Fin de Vie. *En raison de la forte incertitude des données sur le flux de déchets électroniques, veuillez consulter le chapitre 4.8 Traitement des données manquantes Déchets électroniques pour savoir comment nous avons traité ce paramètre de l'étude.*
- 7.

4.5.1.3. Hypothèses de modélisation et analyses de sensibilité

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

Par équipement, des paramètres techniques tels que la taille de l'écran, etc. pour faire une analyse détaillée de l'équipement ont été proposés. Aucune analyse de sensibilité sur différents scénarios d'équipement basée sur des performances techniques différentes n'a été réalisée.

En revanche, des analyses de sensibilité sur le nombre d'équipements, leur durée de vie et leur consommation d'électricité ont été réalisées.

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

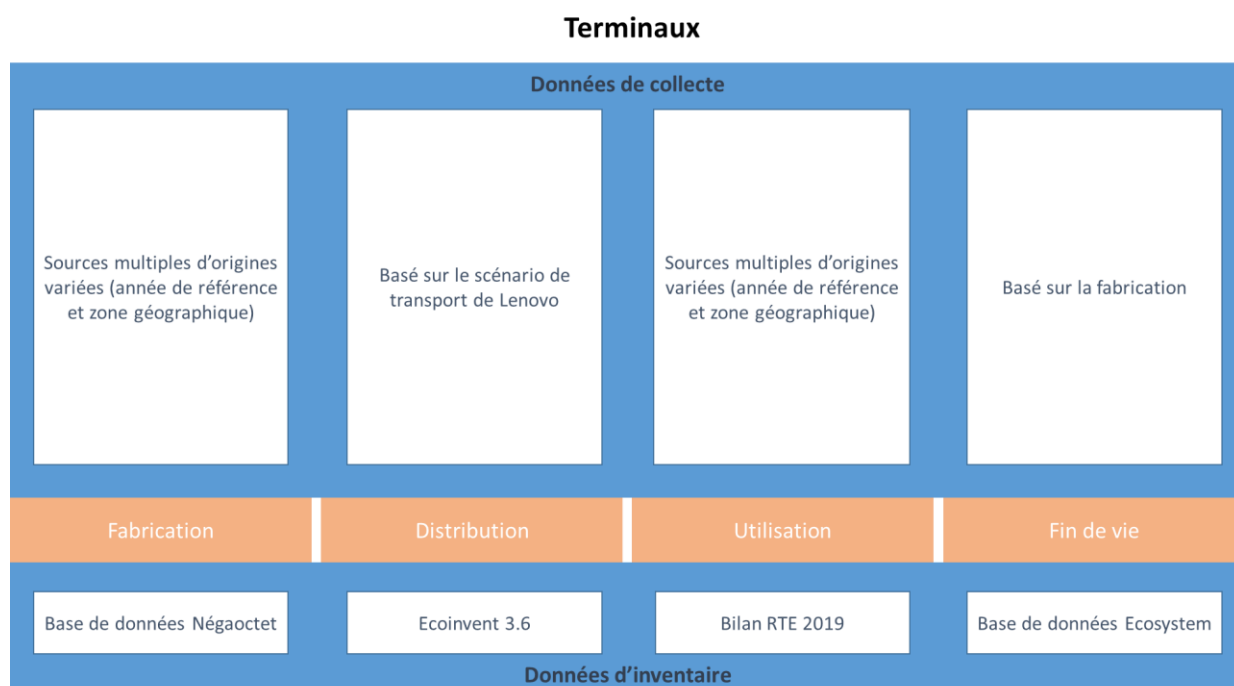


Figure 3 - Récapitulatif des principales hypothèses et sources - Tier 1

4.5.2. Téléphones

4.5.2.1. Téléphone Mobile

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

Nombre d'équipements : L'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, indique une part de détenteur pro de 14,47%.

4.5.2.2. Smartphone

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

Nombre d'équipements : L'étude « Étude du marché et parc de téléphones portables français en vue d'augmenter durablement leur taux de collecte », Sofies & Bio Innovation Service, Juillet 2019³⁹ indique un nombre total de smartphone de 69 600 000, ainsi que la répartition suivante :

- Pour usage personnel : 62 200 000 équipements
- Pour usage professionnel : 7 400 000 équipements

Consommation électrique : La consommation électrique est basée sur la moyenne de kWh/an déterminé dans le rapport ICT 2020, basée sur l'endurance (test par GSMArena⁴⁰) des 8 smartphones les plus vendus en Europe en 2019 et en le divisant par le nombre d'heures par an. Le rapport ICT explique : « le nombre de charges théorique a été multiplié par deux pour fournir un scénario plus réaliste. Le nombre de charges par an est multiplié par la capacité de la batterie en Wh pour donner la consommation d'énergie par an. La consommation est ensuite divisée par une efficacité de 75% pour estimer les pertes du chargeur. » Elle est de 3,9 kWh/an. Pour les professionnels, la valeur retenue est celle de l'étude Conso IT, de 2 kWh⁴¹.

- Pour usage personnel : 3,9 kWh/an par équipement.
- Pour usage professionnel : 2 kWh/an par équipement.

Durée de vie typique : 2,5 ans pour un usage personnel.⁴² Considéré identique pour un usage professionnel.

Caractéristiques:

Usage personnel et professionnel :

Le modèle de smartphone est un mix pondéré de trois configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2	3
Répartition (hypothèse)	33%	33%	33%
Poids de l'appareil (kg)	0,204	0,189	0,202
Taille de l'écran (pouces)	6,59	6,57	6,72
Technologie de l'écran	LCD	AMOLED	OLED
Processeur	MediaTek Helio G85	SnapdragonTM 730G	Exynos 990
RAM (GB)	6	7	11
Capacité SSD (GB)	128	160	341
Surface PWB (cm ²)	125,16	117,94	122,36
Poids de la batterie (g)	84	79	77

Tableau 10 - Détail des configurations des smartphones

4.5.2.3. Feature phones

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

Nombre d'équipements :

L'étude « Quantification des équipements électriques et électroniques au sein des ménages », Ipsos Public Affairs, 2016 indique un nombre de téléphones portables, smartphones et feature phones confondus, de 70 080 000 pour les ménages (hors entreprises).

Considérant un nombre de smartphones pour les ménages de 62 200 000 équipements (voir 4.5.2.2 Smartphone), le nombre de feature phones pour les ménages est de 7 880 000.

³⁹ https://www.afnum.fr/wp-content/uploads/2019/11/2019_EtudeTelephonesPortablesFR_Final_Rev.pdf

⁴⁰ <https://www.gsmarena.com/battery-test.php3>

⁴¹ Livre blanc - Consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel - SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE «Conso IT», 2015, ADEME

⁴² European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p. 132

Considérant une répartition de 14,47% de téléphones portables pour les entreprises (voir 4.5.2 Téléphones), le nombre total de feature phones est de 9 665 043, et le nombre de feature phones pour les professionnels est de 1 785 043.

- Pour usage personnel : 7 880 000 équipements.
- Pour usage professionnel : 1 785 043 équipements.

Consommation électrique : Aucune donnée sur la consommation électrique n'a été trouvée. La consommation d'énergie a été estimée basée sur la fréquence d'utilisation et la puissance électrique des équipements (0,5W en mode actif, 0,007W en mode stand-by)⁴³. La consommation d'énergie totale est de 0,09 kWh/an.

- Pour usage personnel : 0,09 kWh/an par équipement.
- Pour usage professionnel : 0,09 kWh/an par équipement.

Fréquence d'usage : Des données récentes sur la fréquence d'usage des feature phones n'ont pas pu être trouvées, mais l'étude "Life Cycle Environmental Issues of Mobile Phones", 2005 de Nokia⁴⁴ indique un usage de 11 minutes de conversation par jour. Cette donnée est relativement ancienne, et les usages ont évolué, mais il n'a pas été possible d'identifier des sources plus récentes.

Durée de vie typique : 2,5 pour un usage personnel.⁴⁵ Considéré identique pour un usage professionnel. Par hypothèse identique à un smartphone.

Caractéristiques :

Usage personnel et professionnel :

Le modèle de feature phone présente les caractéristiques suivantes :

Configuration	1
Répartition (hypothèse)	100%
Poids de l'appareil (kg)	0,13
Taille de l'écran (pouces)	1,8
Technologie de l'écran	TFT

Tableau 11 - Détail des configurations des feature phones

4.5.2.4. Téléphone (ligne fixe)

Définition : « Un téléphone connecté à une ligne fixe. Peut-être soit fixé à un emplacement car il est connecté par câble, soit un combiné sans fil (généralement un téléphone DECT) qui doit être chargé sur un support, qui peut également fonctionner comme une base assurant la connexion entre le combiné et la ligne fixe. ⁴⁶

Nombre d'équipements :

L'étude « European Commission, ICT Impact study », July 2020⁴⁷, indique un nombre de 285 937 000 de téléphones à l'échelle de l'UE-28. Pour la France, une extrapolation a été établie, basée sur le nombre d'habitant (considérant un taux d'équipement identique sur tout le territoire européen⁴⁸). Les populations considérées sont de 513,5 millions pour l'UE-28, et de 67,01 millions pour la France.

⁴³ Basée sur des études LCIE entre 2009 et 2013, pour Vodafone et SFR, basées sur plus de 100 feature phones

⁴⁴

https://www.researchgate.net/publication/239545987_Integrated_Product_Policy_Pilot_Project_Stage_I_Final_Report_Life_Cycle_Environmental_Issues_of_Mobile_Phones

⁴⁵ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p. 132

⁴⁶ Définition du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.129

⁴⁷ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.133

⁴⁸ Cette approche entraîne une incertitude, cependant il n'a pas été trouvé de données à l'échelle française. Il est hypothétique d'affirmer que le taux de ces équipements est le même dans toute l'UE, cependant l'indicateur DESI (Digital Economy and Society Index) développé par la Commission Européenne indique que la France est très proche de la moyenne de l'UE (autour d'un score de 52)

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

Le calcul donne un résultat de 37 313 804 téléphones fixes en France.

La répartition entre usage professionnel et privé est donnée par l'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, avec 30% pour les professionnels.

- Pour usage personnel : 26 119 663 équipements.
- Pour usage professionnel : 11 194 141 équipements.

Consommation électrique : La consommation électrique des téléphones fixes pour les particuliers a été estimée à 20 kWh par an en 2015, et de 18 kWh par an en 2020 par un rapport⁴⁹ cité par le rapport ICT.⁵⁰ Pour les professionnels, la valeur retenue est celle de l'étude Conso IT, de 40 kWh⁵¹.

- Pour usage personnel : 18 kWh/an par équipement.
- Pour usage professionnel : 40 kWh/an par équipement.

Durée de vie typique : 8 ans, basée sur une étude allemande.⁵²

Caractéristiques :

Usage personnel et professionnel :

Le modèle de téléphone fixe présente les caractéristiques suivantes :

Configuration	1
Répartition (hypothèse)	100%
Poids de l'appareil (kg)	0,522
Technologie de l'écran	Monochrome
Batterie	NiMH AAA

Tableau 12 - Détail des configurations des téléphones (ligne fixe)

4.5.3. Tablette

Définition : « Un produit qui est un type d'ordinateur portable qui comprend à la fois un écran tactile et peut avoir un clavier physique connecté. »⁵³

Nombre d'équipements :

L'étude « CITIZING, Empreinte carbone du numérique en France », Juin 2020⁵⁴ indique un nombre de 24 074 512 tablettes en France.

La répartition entre usage professionnel et privé est donnée par l'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, avec 45,5% pour les professionnels.

- Pour usage personnel : 13 120 609 équipements.
- Pour usage professionnel : 10 953 903 équipements.

⁴⁹ Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland - page 168

⁵⁰ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.140

⁵¹ Livre blanc - Consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel - SYNTHÈSE DE L'ETUDE «Conso IT», 2015, ADEME

⁵² Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland - page 169

⁵³ Définition du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.132

⁵⁴ https://www.citizing-consulting.com/wp-content/uploads/Rapport_Empreinte-carbone-du-num%C3%A9rique-2019-%C3%A0-2040_Citizing-1.pdf

Consommation électrique : 18,6 kWh/an en 2020. La consommation d'électricité des tablettes est basée sur le rapport ICT 2020⁵⁵ pour les particuliers. Pour les professionnels, la valeur retenue est celle de l'étude Conso IT, de 5 kWh⁵⁶.

- Pour usage personnel : 18,6 kWh/an par équipement.
- Pour usage professionnel : 5 kWh/an par équipement.

Durée de vie typique : 3 ans, basée sur le rapport ICT.⁵⁷

Caractéristiques :

Usage personnel et professionnel :

Le modèle tablette est un mix pondéré de trois configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2	3
Répartition (hypothèse)	33%	33%	33%
Poids de l'appareil (kg)	0,465	0,461	0,499
Taille de l'écran (pouces)	10,2	10,3	11,1
Technologie de l'écran	LCD Tactile	LCD Tactile	LCD Tactile
Processeur	Huawei Kirin 659	A10 Fusion	Apple A12 Bionic
RAM (GB)	3	4	5
Capacité SSD (GB)	32	96	288
Surface PWB (cm ²)	400,84	421,35	461,14
Poids batterie (g)	156,2	205,8	216,4

Tableau 13 - Détail des configurations des tablettes

4.5.4. Ordinateur portable

Définition : « Un ordinateur conçu spécifiquement pour la portabilité et pour être utilisé pendant de longues périodes, avec ou sans connexion directe à une source d'alimentation. Il a un écran intégré ». ⁵⁸ Désigné comme notebook dans le rapport ICT.

Nombre d'équipements : L'étude « Quantification des équipements électriques et électroniques au sein des ménages », Ipsos Public Affairs, 2016 indique un nombre d'ordinateurs portables, de 32 120 000 pour les ménages (hors entreprises).

La répartition entre usage professionnel et privé est donnée par l'étude « Données gisement DEEE ménage pour ADEME », 2019, avec 45,5% pour les professionnels. Le nombre total d'ordinateurs portables est donc de 58 935 780, et le nombre d'ordinateurs portables pour les professionnels est de 26 815 780.

- Pour usage personnel : 32 120 000 équipements.
- Pour usage professionnel : 26 815 780 équipements.

Consommation électrique : 29,1 kWh/an en 2020. La consommation d'électricité des ordinateurs portables est basée sur le rapport ICT 2020.⁵⁹ Pour les professionnels, la valeur retenue est celle de l'étude Conso IT, de 48 kWh⁶⁰.

⁵⁵ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.138; Viegand Maagøe (2018), Internal modelling files that supports the computer regulation.

⁵⁶ Livre blanc - Consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel - SYNTHÈSE DE L'ETUDE «Conso IT», 2015, ADEME

⁵⁷ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p. 132

⁵⁸ Definition from the ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.128

⁵⁹ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.138; Viegand Maagøe (2018), Internal modelling files that supports the computer regulation.

⁶⁰ Livre blanc - Consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel - SYNTHÈSE DE L'ETUDE «Conso IT», 2015, ADEME

- Pour usage personnel : 29,1 kWh/an par équipement.
- Pour usage professionnel : 48 kWh/an par équipement.

Durée de vie typique : 5 ans, basée sur le rapport ICT.⁶¹

Caractéristiques :

Usage personnel :

Pour la configuration personnelle, il s'agit d'un mix pondéré de trois configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2	3
Répartition (basé sur le rapport ICT ⁶²)	45%	45%	10%
Poids de l'appareil (kg)	1,5	1,54	2,3
Taille de l'écran (pouces)	14,5	14,5	15,6
Technologie de l'écran	LCD	LCD	LED
Processeur	AMD Ryzen 5	Intel® Core™ i7 de 8e génération	Intel Core i5
RAM (GB)	13	8	16
Capacité SSD (GB)	427	564	512
Capacité HDD (GB)	0	0	0
Surface PWB (cm ²)	52,93	62,03	88,22
Carte graphique	Integrated	Integrated	NVIDIA Ampere GeForce RTX 2060 6Go
Poids de la batterie (g)	330	165	287
EPS (g)	245	211	208

Tableau 14 - Détail des configurations des ordinateurs portables – usage personnel

Usage professionnel :

Pour la configuration professionnelle, il s'agit d'un mix pondéré de trois configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2	3
Répartition (hypothèse)	33%	33%	33%
Poids de l'appareil (kg)	1,53	1,54	2,25
Taille de l'écran (pouces)	14	14,5	16,5
Technologie de l'écran	LCD	LCD	LCD
Processeur	AMD 3020e Ryzen	Intel® Core™ i7	Intel core i5
RAM (GB)	4	8	22
Capacité SSD (GB)	64	564	756
Capacité HDD (GB)	0	0	0
Surface PWB (cm ²)	69,67	62,03	86,2
Carte graphique	Integrated	Integrated	Integrated
Poids de la batterie (g)	165	165	165
EPS (g)	211	211	211

Tableau 15 - Détail des configurations des ordinateurs portables – usage professionnel

⁶¹ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.132

⁶² European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.111

4.5.5. Ordinateur fixe

Définition : "Un ordinateur dont l'unité principale est destinée à être dans un emplacement permanent et n'est pas conçu pour la portabilité. Il n'est opérationnel qu'avec des équipements externes tels que l'écran, le clavier et la souris. »⁶³

Nombre d'équipements : L'étude « Quantification des équipements électriques et électroniques au sein des ménages », Ipsos Public Affairs, 2016 indique un nombre d'ordinateurs fixes, de 17 520 000 pour les ménages (hors entreprises).

La répartition entre usage professionnel et privé est donnée par l'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, avec 53% pour les professionnels. Le nombre total d'ordinateurs fixes est donc de 37 276 596, et le nombre d'ordinateurs fixes pour les professionnels est de 19 756 596.

- Pour usage personnel : 17 520 000 équipements.
- Pour usage professionnel : 19 756 596 équipements.

Consommation électrique : 100 kWh/an par équipement. La consommation d'énergie des ordinateurs fixes est basée sur le rapport ICT 2020.⁶⁴

Les ordinateurs fixes peuvent être divisés en N sous-catégories (0, I1, I2, I3) dépendamment de leurs performances, depuis la catégorie 0 qui dispose des performances les plus basses, jusqu'à la I3 étant la plus performante. Cette classification est basée sur les règles Energy Star : I=Carte graphique intégrée ; D=carte graphique discrète; le nombre de cœurs de processeurs multiplié par la vitesse de base de l'horloge (I1, I2, I3, D1, D2). Pour les professionnels, la valeur retenue est celle de l'étude Conso IT, de 151 kWh⁶⁵.

- Pour usage personnel : 100 kWh/an par équipement.
- Pour usage professionnel : 151 kWh/an par équipement.

Durée de vie typique : 6 ans, basée sur le rapport ICT.⁶⁶ 5 ans sans réutilisation, et 6,2 ans avec réutilisation selon le benchmark professionnel GreenIT.fr.⁶⁷

Caractéristiques :

Usage personnel :

Pour la configuration personnelle, il s'agit d'un mix pondéré de cinq configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2	3	4	5
Répartition (basé sur le rapport ICT ⁶⁸)	18%	17%	29%	15%	21%
Poids de l'appareil (kg)	2,2	2,4	4,8	6,8	10,5
Poids alimentation (kg)	0,34	1,2	3,27	1,7	1,66
Surface PWB (cm ²)	289	359,1	590,49	686,25	686,25
Processeur	Intel Celeron G3930	Intel Pentium G4560	AMD Ryzen 5 1500X	AMD Ryzen 5 1600	AMD Ryzen 7 1700X
RAM (GB)	4	8	8	16	16
Carte graphique	Integrated	MSI GeForce GTX 1050 2GT LP	Sapphire Radeon RX 570 Nitro+ 4Go	GeForce RTX 2080	GeForce RTX 3080

⁶³ Definition from the ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.128

⁶⁴ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.138; Viegand Maagøe (2018), Internal modelling files that supports the computer regulation.

⁶⁵ Livre blanc - Consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel - SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE «Conso IT», 2015, ADEME

⁶⁶ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.132

⁶⁷ GreenIT.fr Benchmark 2021 (professionals)

⁶⁸ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.111

Capacité SSD (GB)	250	250	250	500	1000
Capacité HDD (GB)	0	1000	1000	2000	2000
Lecteur DVD (kg)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Tableau 16 - Détail des configurations des ordinateurs fixes – usage personnel

Usage professionnel :

Pour la configuration professionnelle, il s'agit d'une configuration simple, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1
Répartition (hypothèse)	100%
Poids de l'appareil (kg)	2,4
Poids alimentation (kg)	1,2
Surface PWB (cm ²)	359,1
Processeur	Intel Pentium G4560
RAM (GB)	8
Carte graphique	MSI GeForce GTX 1050 2GT LP
Capacité SSD (GB)	250
Capacité HDD (GB)	1000
Lecteur DVD (kg)	69,67

Tableau 17 - Détail des configurations des ordinateurs fixes – usage professionnel

4.5.6. Stations d'accueil

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

Nombre d'équipements : aucune donnée n'a été trouvée pour le nombre de stations d'accueil. Par hypothèse, il a été supposé que pour un usage professionnel, chaque ordinateur portable dispose d'une station d'accueil. Il a également été considéré que cet équipement n'est pas utilisé dans un cadre personnel.

- Pour usage personnel : 0 équipements.
- Pour usage professionnel : 26 815 780 équipements.

Consommation électrique : Aucune donnée n'a été trouvée concernant la consommation d'électricité. La consommation a été estimée à partir de la fréquence d'usage et de la puissance électrique (1 W en mode actif, amenant à 1,28 kWh/an de consommation).

- Pour usage personnel : pas d'équipement.
- Pour usage professionnel : 1,28 kWh/an par équipement.

Fréquence d'usage : Aucune donnée n'était disponible concernant la fréquence d'usage. Par hypothèse, celle-ci a été définie comme égale à la fréquence d'usage des ordinateurs portables en milieu professionnel, à savoir 3 heures et 27 minutes par jour, selon le Global Web Index Device report.⁶⁹

Durée de vie typique : 5 ans sans réutilisation, et 5,7 ans avec réutilisation, base sur le benchmark GreenIT.fr.⁷⁰

Caractéristiques :

Usage professionnel :

Le modèle de station d'accueil est une configuration unique, avec les caractéristiques suivantes :

⁶⁹ Global Web Index Device report, p.10: PC/Laptop/Tablet time spent in Europe

⁷⁰ GreenIT.fr Benchmark 2021 (professionals)

Configuration	1
Répartition (hypothèse)	100%
Poids de l'appareil (kg)	0,9

Tableau 18 - Détail des configurations des stations d'accueil

4.5.7. Projecteur

Définition: « Un projecteur est un dispositif optique, pour le traitement des informations d'image vidéo analogiques ou numériques, dans n'importe quel format de diffusion, de stockage ou de mise en réseau pour moduler une source lumineuse et projeter l'image résultante sur un écran externe. Les informations audio, au format analogique ou numérique, peuvent être traitées en tant que fonction optionnelle du projecteur. »⁷¹

Nombre d'équipements : L'étude « European Commission, ICT Impact study », July 2020⁷², indique un nombre de 35 403 000 projecteurs à l'échelle de l'UE-28. Pour la France, une extrapolation a été établie, basée sur le nombre d'habitant (considérant un taux d'équipement identique sur tout le territoire européen⁷³). Les populations considérées sont de 513,5 millions pour l'UE-28, et de 67,01 millions pour la France.

Le calcul donne un résultat de 4 619 971 projecteurs en France.

La répartition entre usage professionnel et privé est donnée par l'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, avec 51% pour les professionnels (considéré dans la catégorie moniteurs à écran plats).

- Pour usage personnel : 2 263 786 équipements.
- Pour usage professionnel : 2 356 185 équipements.

Consommation électrique : Une moyenne de 200 kWh/an par équipement, basée sur l'étude DG GROW lot 3⁷⁴, citée dans le rapport ICT 2020⁷⁵. La consommation électrique est déterminée à partir de cycles de 24 heures représentatifs des projecteurs types en UE :

- Les projecteurs dans les salles de classe : actif 3 h à 275W, standby 6 h à 1W, off 15 h à 0.5W, total 318 kWh/an
 - Les projecteurs dans les bureaux : actif 1.5h à 250W, standby 8h à 1W, off 14.5h à 0.5W, total 158 kWh/an
 - Les projecteurs à la maison : actif 0,5h à 200W, standby 20h à 1W, off 3,5h à 0,5W, total 49 kWh/an⁷⁶
- Pour usage personnel : 49 kWh/an par équipement.
 - Pour usage professionnel : 200 kWh/an par équipement.

Durée de vie typique : 5 ans, basée sur le rapport ICT.⁷⁷

Caractéristiques :

⁷¹ Définition du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.105

⁷² European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.106

⁷³ Cette approche entraîne une incertitude, cependant il n'a pas été trouvé de données à l'échelle française. Il est hypothétique d'affirmer que le taux de ces équipements est le même dans toute l'UE, cependant l'indicateur DESI (Digital Economy and Society Index) développé par la Commission Européenne indique que la France est très proche de la moyenne de l'UE (autour d'un score de 52)

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

⁷⁴ AEA with Intertek, Lot 3 – Sound and imaging equipment, Ecodesign preparatory study for EC DG Grow, November 2010

⁷⁵ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.108

⁷⁶ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.107-108

⁷⁷ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.106

Usage personnel et professionnel :

Le modèle de projecteur est une configuration unique, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1
Répartition (hypothèse)	100%
Poids de l'appareil (kg)	4,14

Tableau 19 - Détail des configurations des projecteurs

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

4.5.8. Ecrans

4.5.8.1. Définition

« Un écran d'affichage et l'électronique associée qui, comme fonction principale, affiche des informations visuelles à partir de sources filaires ou sans fil » ⁷⁸

Catégorie de produit	Ecran dans le périmètre ⁷⁹
Ecrans ordinaires	Moniteurs de PC (indifférencié que ce soit pour les ordinateurs de bureau, les clients légers ou les deuxièmes écrans d'ordinateurs portables externes)
Ecrans spécifiques, affichage de la signalisation régulière & affichage de la signalisation spéciale	Moniteurs de sécurité, écrans médicaux (y compris intégrés), écrans de diffusion, écrans professionnels (CAD, graphiques) Affichages intérieurs pour commerces et banques (hors guichets automatiques), salles de réunion (y compris vidéoconférence), salles de classe (y compris tableaux intelligents), aéroports/gares/stations de métro affichages de signalisation externes et <i>intégrés réguliers (affichage d'informations avion ou train)*</i> , bars, hôtels (espace public), restaurants, salles d'attente (ex. soins de santé), à l'extérieur Super grand (>100°, mur vidéo), exclusion des projecteurs
Télévisions	Télévision ordinaire, hôtellerie (chambres d'hôtel & autres logements, lits d'hôpitaux)

Tableau 20 – Définitions des catégories d'écran

**Remarque : Les écrans intégrés répertoriés dans le rapport TIC (tableau 42) ⁸⁰ ont été exclus de cet inventaire, d'une part, pour éviter le double comptage des autres catégories (appareils mobiles, ordinateurs portables, tablettes, compteurs intelligents...), d'autre part, puisque le reste des équipements dans cette catégorie est à la limite de ce qui peut être considéré comme un dispositif TIC (DAB, distributeurs automatiques, unités de ventilation, micro-ondes, réfrigération...). Seuls les affichages intégrés dans les moyens de transport (info trafic & affichage publicitaire, TV passagers dans l'avion ou le train) ont été pris en compte, dans le cadre de notre catégorie de produits d'affichage de signalisation régulière, à l'exception des écrans LCD inclus dans les voitures, car il n'a pas été possible de distinguer la partie numérique de la partie classique pour ces véhicules.*

4.5.8.2. Ecrans d'ordinateur

Nombre d'équipements :

L'étude « CITIZING, Empreinte carbone du numérique en France », Juin 2020⁸¹ indique un nombre de 37 324 278 écrans d'ordinateur en France.

La répartition entre usage professionnel et privé est donnée par l'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, avec 51% pour les professionnels.

Dernièrement, une nouvelle technologie a fait son apparition : les écrans OLED sont désormais considérés comme l'état de l'art. Les impacts environnementaux sont différents des téléviseurs LCD classiques.

⁷⁸ COMMISSION REGULATION (EU) 2019/2021 of 1 October 2019 laying down eco-design requirements for electronic displays pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council, amending Commission Regulation (EC) No 1275/2008 and repealing Commission Regulation (EC) No 642/2009

⁷⁹ Cette catégorisation se base sur le tableau 42 du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.97

⁸⁰ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.97

⁸¹ https://www.citizing-consulting.com/wp-content/uploads/Rapport_Empreinte-carbone-du-num%C3%A9rique-2019-%C3%A0-2040_Citizing-1.pdf

La répartition n'est pas connue pour les moniteurs, mais sur la base des données TV, en 2019, 1,4% des téléviseurs vendus dans le monde étaient OLED, 2,7% étaient QLED et 95,9% étaient LCD⁸².

- Pour usage personnel : 18 288 896 équipements.
- Pour usage professionnel : 19 035 382 équipements.

Consommation électrique : une moyenne de 70 kWh/an par équipement, basée sur le rapport ICT.⁸³

- Pour usage personnel : 70 kWh/an par équipement.
- Pour usage professionnel : 70 kWh/an par équipement.

Durée de vie typique : 6 ans sans réutilisation, et 7 ans avec réutilisation, basée sur le benchmark GreenIT.fr.⁸⁴

Caractéristiques :

Usage personnel et professionnel :

Le modèle écran est un mélange pondéré de deux configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2
Répartition (basé sur les données Statista ⁸⁵)	98,6%	1,4%
Poids de l'appareil (kg)	3,64	11,5
Taille de l'écran (pouces)	24	39
Technologie de l'écran	LCD	OLED
Surface PWB (cm ²)	1 783,68	2 014,01

Tableau 21 - Détail des configurations des écrans d'ordinateur

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

Nombre d'équipements :

Le rapport ICT indique le nombre d'unités et la moyenne de la diagonale de surface (en pouces) et de surface (en dm²) nous permet d'estimer la surface totale de l'écran, exprimée en km², à l'échelle de l'UE-28.

Pour la France, une extrapolation a été établie, basée sur le nombre d'habitant (considérant un taux d'équipement identique sur tout le territoire européen⁸⁶). Les populations considérées sont de 513,5 millions pour l'UE-28, et de 67,01 millions pour la France.

Type	Superficie dm ²	Unité de stock TV – UE-28	Superficie totale en km ² - UE-28	Unité de stock TV – France	Superficie totale en km ² - France	Note
Ecrans spécifiques	38,8	9 849 645	3,82	1 285 345	0,498	Rapport ICT + mises à jour ⁸⁷

⁸² Worldwide TV unit shipments in 2019 and 2020, by type (in million units), Statista

⁸³ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.108

⁸⁴ GreenIT.fr Benchmark 2021 (professionals)

⁸⁵ Worldwide TV unit shipments in 2019 and 2020, by type (in million units), Statista

⁸⁶ Cette approche entraîne une incertitude, cependant il n'a pas été trouvé de données à l'échelle française. Il est hypothétique d'affirmer que le taux de ces équipements est le même dans toute l'UE, cependant l'indicateur DESI (Digital Economy and Society Index) développé par la Commission Européenne indique que la France est très proche de la moyenne de l'UE (autour d'un score de 52)

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

⁸⁷ Stocks basés sur la répartition d'écran par type, utilisée dans le rapport ICT, p.97, qui sont des prévisions pour 2020 datant de 2014, et des estimations mises à jour pour l'UE-28 basées sur [IDC worldwide shipments between 2012 and 2020](#).

Affichage régulier de la signalisation – sauf intégré dans les moyens de transport	83	34 763 454	28,85	4 536 512	3,765	Rapport ICT + mises à jour ⁸⁸
Affichage régulier de la signalétique – Intégré dans les moyens de transport : Info trafic et affichage publicitaire	16	1 370 000	0,2	178 780	0,026	Rapport ICT p. ⁹⁷ ⁸⁹
Affichage régulier de la signalétique – Intégré dans les moyens de transport : TV voyageur (avion ou train)	6,2	4 500 000	0,3	587 235	0,039	Rapport ICT p. ⁹⁷ ⁷³
Affichage spécial de signalisation	333	23 176	0,08	3 024	0,01	Rapport ICT + mises à jour ⁹⁰
Total		55 506 275	33,25	6 590 896	4,34	

Tableau 22 – Nombre d'équipements pour les écrans spécifiques

Dernièrement, une nouvelle technologie a fait son apparition : les écrans OLED sont désormais considérés comme l'état de l'art. Les impacts environnementaux sont différents des téléviseurs LCD classiques.

La répartition n'est pas connue pour les écrans spécifiques, mais sur la base des données TV, en 2019, 1,4% des téléviseurs vendus dans le monde étaient OLED, 2,7% étaient QLED et 95,9% étaient LCD⁹¹.

Ces équipements sont tous considérés comme professionnels.

- Pour usage personnel : 0 équipements.
- Pour usage professionnel : 6 590 897 équipements.

Consommation électrique :

Une étude de l'ADEME⁹² présente un calcul de la consommation électrique des écrans en fonction de la taille de l'écran. Il est basé sur 58 références de produits, et fournit une formule pour calculer la consommation d'énergie de n'importe quelle taille d'écran d'affichage :

⁸⁸ Stocks basés sur la répartition d'écran par type, utilisée dans le rapport ICT, p.97, qui sont des prévisions pour 2020 datant de 2014, et des estimations mises à jour pour l'UE-28 basées sur [IDC worldwide shipments between 2012 and 2020](#).

⁸⁹ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.97

⁹⁰ Stock updated based on share of monitor by type used in ICT report, p.97, which are 2014 forecasts for 2020 and updated estimations for EU28 based on [IDC worldwide shipments between 2012 and 2020](#).

⁹¹ Worldwide TV unit shipments in 2019 and 2020, by type (in million units), Statista

⁹² ADEME. J.Lhotellier, E.Lees, E.Bossanne, S.Pesnel. Mars 2018. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport.

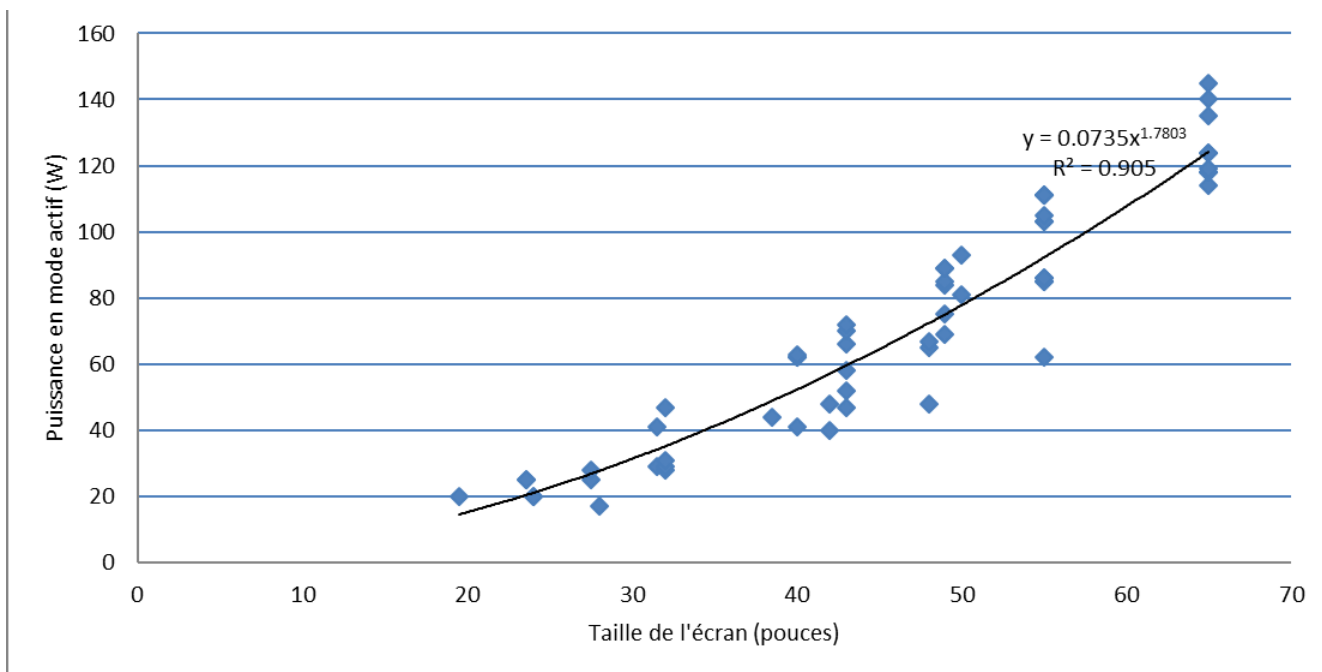


Figure 4 - Extrait de l'ADEME. J.Lhotellier, E.Lees, E.Bossanne, S.Pesnel. Mars 2018. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport

Par exemple, voici quelques calculs:

Taille écran (pouces)	Consommation d'énergie en mode actif (W)	Consommation d'énergie (kWh/an)
30	31.3	173
40	52.3	288
50	77.8	428
60	107.6	591
70	141.6	777

Tableau 23 – Exemples de consommation d'énergie en fonction de la taille d'écran

- Pour usage personnel : pas d'équipement.
- Pour usage professionnel :

Type	Superficie dm ² (source : rapport ICT)	Consommation annuelle (kWh/an/équipement)
Ecrans spécifiques	38,8	173
Affichage régulier de la signalisation – sauf intégré dans les moyens de transport	83	506
Affichage régulier de la signalétique – Intégré dans les moyens de transport : Info trafic et affichage publicitaire	16	117
Affichage régulier de la signalétique – Intégré dans les moyens de transport : TV voyageur (avion ou train)	6,2	52
Affichage spécial de signalisation	333	1735

Tableau 24 – Consommation des écrans

Fréquence d'usage : Aucune donnée de fréquence d'usage n'a été trouvée, du fait notamment de la variété d'équipement. Par hypothèse, il a été considéré que ces écrans sont utilisés principalement durant la journée (6h à 21h), donc en mode actif 15 heures par jour, et en mode standby 9 heures par jour. En effet, les écrans en question concernent les transports et la signalisation, ainsi que la publicité. Ces écrans sont majoritairement actifs en journée.

Durée de vie typique : Aucune information spécifique n'était disponible. Par hypothèse, la durée de vie retenue est celle d'un écran d'ordinateur (6 ans).

Caractéristiques :

Usage professionnel :

Le modèle d'écran spécifique est un mélange pondéré de cinq configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2	3	4	5
Répartition (basé sur le rapport ICT ⁹³)	19,50%	68,83%	2,71%	8,91%	0,05%
Poids de l'appareil (kg)	9,39	19,8	4,02	1,71	78,7
Taille de l'écran (pouces)	30	55	24	15	110
Technologie de l'écran	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD

Tableau 25 - Détail des configurations des écrans spécifiques

4.5.8.4. Télévisions

Nombre d'équipements :

L'étude « Quantification des équipements électriques et électroniques au sein des ménages », Ipsos Public Affairs, 2016 indique un nombre de télévisions de 43 800 000 pour les ménages (hors entreprises).

La répartition entre usage professionnel et privé est donnée par l'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, avec 30% pour les professionnels. Le nombre total de télévision est donc de 62 571 429, et le nombre de télévisions pour les professionnels est de 18 771 429.

Dernièrement, une nouvelle technologie a fait son apparition : les écrans OLED sont désormais considérés comme l'état de l'art. Les impacts environnementaux sont différents des téléviseurs LCD classiques.

En 2019, 1,4% des téléviseurs vendus dans le monde étaient OLED, 2,7% étaient QLED et 95,9% étaient LCD. ⁹⁴

- Pour usage personnel : 43 800 000 équipements.
- Pour usage professionnel : 18 771 429 équipements.

⁹³ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.97

⁹⁴ Worldwide TV unit shipments in 2019 and 2020, by type (in million units), Statista

Consommation électrique : une moyenne de 179 kWh/an par équipement, basée sur le rapport ICT.⁹⁵

- Pour usage personnel : 179 kWh/an par équipement.
- Pour usage professionnel : 179 kWh/an par équipement.

Durée de vie typique : 8 ans, basée sur un rapport ADEME⁹⁶.

Caractéristiques :

Usage personnel :

Pour la configuration personnelle, il s'agit d'un mix pondéré de deux configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2
Répartition (basé sur les données Statista ⁹⁷)	98,6%	1,4%
Poids de l'appareil (kg)	9,35	29,1
Taille de l'écran (pouces)	45	68
Technologie de l'écran	LCD LED	OLED
Surface PWB (cm ²)	989	2256

Tableau 26 - Détail des configurations des télévisions – usage personnel

Remarque : la taille de 45 pouces est la moyenne des écrans de télévisions, selon le rapport ICT. Concernant les écrans OLED, la taille a été considérée par hypothèse comme plus importante, les écrans concernés étant du haut de gamme.

Usage professionnel :

Pour la configuration professionnelle, il s'agit d'un mix pondéré de deux configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2
Répartition (basé sur les données Statista ⁹⁸)	98,6%	1,4%
Poids de l'appareil (kg)	9,15	29,1
Taille de l'écran (pouces)	36	68
Technologie de l'écran	LCD LED	OLED
Surface PWB (cm ²)	638	2256

Tableau 27 - Détail des configurations des télévisions – usage professionnel

Remarque : la taille de 45 pouces est la moyenne des écrans de télévisions, selon le rapport ICT. Concernant les écrans OLED, la taille a été considérée par hypothèse comme plus importante, les écrans concernés étant du haut de gamme.

4.5.8.5. Résumé pour les écrans

Type d'écran	Usage	Nombre	Consommation d'énergie (kWh/an)	Durée de vie (an)
Ecrans ordinaires	Particuliers	18 288 896	70	6
	Professionnels	19 035 382	70	6
Ecrans spécifiques	Particuliers	0	-	-
	Professionnels	6 590 896	Dépend des types d'écran	6
Téléviseurs	Particuliers	43 800 000	179	8
	Professionnels	18 771 429	179	8

⁹⁵ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.108

⁹⁶ ADEME, 2019, <https://www.base-impacts.ademe.fr/gestdoclist>

⁹⁷ Worldwide TV unit shipments in 2019 and 2020, by type (in million units), Statista

⁹⁸ Worldwide TV unit shipments in 2019 and 2020, by type (in million units), Statista

4.5.9. Box TV

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

Nombre d'équipements :

L'étude iNum⁹⁹, indique un nombre de 20 681 289 box à l'échelle de la France.

La répartition entre usage professionnel et privé est extrapolée à partir de l'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, en considérant le même taux que les équipements vidéo, avec 10% pour les professionnels.

- Pour usage personnel : 18 613 160 équipements.
- Pour usage professionnel : 2 068 129 équipements.

Consommation électrique : 73 kWh/an par équipement en 2020, basé sur le rapport ICT 2020.¹⁰⁰

- Pour usage personnel : 73 kWh/an par équipement.
- Pour usage professionnel : 73 kWh/an par équipement.

Durée de vie typique : Aucune information n'était disponible. Une durée de 5 ans a été retenue par hypothèse.

Caractéristiques :

Usage personnel et professionnel :

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

Le modèle TV box est une configuration unique, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1
Répartition (hypothèse)	100%
Poids de l'appareil (kg)	0,99
Capacité SSD (GB)	240

Tableau 29 - Détail des configurations des Box TV

4.5.10. Consoles de jeux

Définition : Selon le SRI¹⁰¹, cité dans le rapport sur les ICT, « La console de jeux est un appareil informatique dont la fonction principale est de jouer à des jeux vidéo. Les consoles de jeux partagent de nombreuses fonctionnalités et composants de l'architecture matérielle que l'on trouve dans les ordinateurs personnels généraux (par exemple, unité(s) centrale(s) de traitement, mémoire système, architecture vidéo, lecteurs optiques et/ou disques durs ou autres formes de mémoire interne). Les consoles de jeux couvertes par ce SRI sont celles qui :

- Utilisent des contrôleurs portables dédiés ou d'autres contrôleurs interactifs conçus pour permettre le jeu (plutôt que la souris et le clavier utilisés par les ordinateurs personnels) ;

⁹⁹ "Impacts environnementaux du numérique en France », 2021, GreenIT.fr

¹⁰⁰ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.138; Viegand Maagøe (2018), Internal modelling files that supports the computer regulation.

¹⁰¹ En Union Européenne, les consoles de jeux vidéo sont soumises à une Self-Regulatory Initiative (SRI) selon la directive eco-design (ENTR lot 3). Les signataires sont les trois principaux fabricants : Microsoft (Xbox), Sony (PlayStation) et Nintendo. La version la plus récente est le SRI 2.6.3 (2018) et le dernier rapport de conformité par un inspecteur indépendant (Intertek) a été publié en octobre 2019 (Intertek, Independent Inspector Annual Compliance Report – Games Consoles Self-Regulatory Initiative, Reporting Period 2018, Oct. 2019). Toutes les informations sur le SRI sont disponibles sur le site dédié : www.efficientgaming.eu.

- Sont équipées de sorties audiovisuelles pour une utilisation avec des téléviseurs externes comme écran principal ; et
- Utilisent des systèmes d'exploitation de console dédiés (plutôt que d'utiliser un système d'exploitation PC classique) ;
- Peuvent inclure d'autres fonctionnalités secondaires telles qu'un lecteur de disque optique, la visualisation de vidéos et d'images numériques, la lecture de musique numérique, etc. ;
- Sont des appareils alimentés sur secteur qui utilisent plus de 20 watts en mode de jeu actif avec l'un ou l'autre des stocks de vente. » ¹⁰²

Nombre d'équipements : Le stock de consoles de jeu a été calculé à partir des ventes entre 2014 et 2020 rapportées par VGChartZ pour l'Europe¹⁰³. La période 2014-2020 a été déterminée du fait de la durée de vie estimée des consoles, à 6,5 ans. Les consoles considérées sont les suivantes :

Console	Type de consoles	Nombre en Europe	Nombre en France
PSP	Portables	134 268	17 522
Wii	De salon	158 643	20 702
X360	De salon	673 286	87 862
PS3	De salon	2 184 059	285 012
3DS	Portables	13 427 462	1 752 238
PSV	Portables	2 410 259	314 531
WiiU	Portables	1 791 061	233 727
PS4	De salon	69 183 431	9 028 202
XOne	De salon	13 146 494	1 715 573
NS	Portables	33 967 168	4 432 600
PS5	De salon	2 855 628	372 650
XS	De salon	1 808 806	236 043
Total consoles portables		51 730 218	6 750 617
Total consoles de salon		90 010 347	11 746 044
Total		141 740 564	18 496 661

Tableau 30 – Nombre de consoles

Il est considéré que l'ensemble des usages est personnel.

- Pour usage personnel : 6 750 617 consoles portables et 11 764 044 consoles de salon.
- Pour usage professionnel : consoles de salon et portables : 0 équipements.

Consommation électrique :

55,88 kWh/an pour les consoles fixes, et 5,15 kWh/an pour les consoles portables en 2020. La consommation d'électricité des consoles est basée sur le rapport ICT¹⁰⁴, adaptée avec les chiffres de VGChartZ ci-dessus, et en utilisant le Global Web Index Q3 figures, présenté par Hootsuite et rapport dans le rapport ICT¹⁰⁵ pour la fréquence d'usage (voir plus bas)

Table 1 – Consommation d'électricité des consoles

Modèle	Type	Nombre	Consommation (kWh/an)
PSP	portable	134 268	Non connue

¹⁰² Définition du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.128

¹⁰³ https://www.vgchartz.com/tools/hw_date.php?reg=Europe&ending=Yearly (last retrieved: 29/06/2021)

¹⁰⁴ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.111; Viegand Maagøe (2018), Internal modelling files that supports the computer regulation.

¹⁰⁵ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.259

Wii	fixe	158 643	Non connue
X360	fixe	673 286	Non connue
PS3	fixe	2 184 059	Non connue
3DS	portable	13 427 462	Non connue
PSV	portable	2 410 259	Non connue
WiiU	portable	1 791 061	Non connue
PS4	fixe	69 183 431	44,21
XOne	fixe	13 146 494	116,58
NS	portable	33 967 168	5,15
PS5	fixe	2 855 628	Non connue
XS	fixe	1 808 806	60,67
Moyenne des consoles portables			5,15
Moyenne des consoles fixes			55,88

Tableau 31 – Consommation des consoles

Fréquence d'utilisation : 56 minutes par jour pour la France, basé sur le Global Web Index Q3 figures, présenté par Hootsuite et rapport dans le rapport ICT¹⁰⁶.

- Pour usage personnel : 55,88 kWh/an par console fixe, et 5,15 kWh/an par console mobile.
- Pour usage professionnel : pas d'équipement.

Durée de vie typique : La durée de vie typique dans le secteur des consoles de jeu est de 6,5 ans, basée sur le rapport ICT¹⁰⁷.

Caractéristiques :

Usage personnel :

Pour la configuration bureau, il s'agit d'un mix pondéré de quatre configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2	3	4
Répartition (basé sur VGChartZ ¹⁰⁸)	79,5%	3,3%	2,1%	15,1%
Poids de l'appareil (kg)	2,8	4,78	2,9	3,5
Surface PWB (cm ²)	838,75		904,72	
Processeur	AMD Jaguar	AMD Zen 2	AMD Jaguar	AMD Jaguar
RAM (GB)	8	16	8	8
Carte graphique	AMD Radeon	AMD RDNA 2	AMD Radeon	AMD Radeon
Capacité SSD (GB)	0	825	0	0
Capacité HDD (GB)	500	0	500	500

Tableau 32 - Détail des configurations des consoles de bureau

Pour la configuration mobile, il s'agit d'un mix pondéré de deux configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2
Répartition (hypothèse)	50%	50%
Poids de l'appareil (kg)	0,297	0,277
Taille de l'écran (pouces)	6,2	5,5

¹⁰⁶ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.259

¹⁰⁷ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.138; Viegand Maagøe (2018), Internal modelling files that supports the computer regulation.

¹⁰⁸ https://www.vgchartz.com/tools/hw_date.php?reg=Europe&ending=Yearly (en date du 29/06/2021)

Technologie de l'écran	Tactile LCD	Tactile LCD
Surface PWB (cm ²)	Nvidia Tegra 20nm	Nvidia Tegra 16nm
Processeur	4	4
RAM (GB)	32	32
Capacité SSD (GB)	189,49	189,49
Surface PWB (cm ²)	6,2	5,5

Tableau 33 - Détail des configurations des consoles mobiles

4.5.11. Imprimantes

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

Produit	Description ¹⁰⁹
MFD Mono laser	Imprimante multifonctionnelle, capable de copier, numériser et imprimer, qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électrophotographique) pour imprimer en une seule couleur.
MFD Couleur laser	Une imprimante multifonctionnelle, qui peut copier, numériser et imprimer, qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électrophotographique) pour imprimer en plusieurs couleurs.
Imprimante Mono laser	Imprimante qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électrophotographique) pour imprimer en une seule couleur.
Imprimante Couleur laser	Une imprimante qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électrophotographique) pour imprimer en plusieurs couleurs.
Photocopieuse Mono laser	Produit d'imagerie disponible dans le commerce dont la seule fonction est de produire des copies papier à partir d'originaux graphiques imprimés, en une seule couleur.
Photocopieuse Couleur laser	Un produit d'imagerie disponible dans le commerce dont la seule fonction est la production de copies papier à partir d'originaux graphiques sur papier, en plusieurs couleurs.
MFD à jet d'encre	Une imprimante multifonctionnelle, qui peut copier, numériser et imprimer, qui utilise la technologie de marquage à jet d'encre pour imprimer en plusieurs couleurs.
Imprimante à jet d'encre	Une imprimante qui utilise la technologie de marquage à jet d'encre pour imprimer en plusieurs couleurs.
Imprimante Professionnelle / MFD	Une imprimante ou un MFD professionnel prenant en charge un grammage supérieur à 141 g/m ² ; compatible A3 ; s'il n'imprime que du monochrome, l'IPM est égal ou supérieur à 86 ; s'il imprime en couleur, l'IPM est égal ou supérieur à 50 ; résolution d'impression de 600 x 600 ppp ou plus ; poids du modèle de base supérieur à 180 kg et plusieurs autres caractéristiques telles que perforatrice et relieur à anneaux.
Scanner	Un produit dont la fonction principale est de convertir des originaux papiers en images électroniques qui peuvent être stockées, modifiées, converties ou transmises.

Tableau 34 – Définition des imprimantes

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

Nombre d'équipements :

L'étude « CITIZING, Empreinte carbone du numérique en France », Juin 2020¹¹⁰ indique un nombre de 22 981 575 imprimantes.

¹⁰⁹ Définition du rapport ICT : European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.143

¹¹⁰ https://www.citizing-consulting.com/wp-content/uploads/Rapport_Empreinte-carbone-du-num%C3%A9rique-2019-%C3%A0-2040_Citizing-1.pdf

La répartition entre usage professionnel et privé est donnée par l'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, avec 73% pour les professionnels.

- Pour usage personnel : 6 205 025 équipements.
- Pour usage professionnel : 16 776 550 équipements.

Consommation électrique : 6,16 TWh/an de consommation d'électricité annuelle du stock de l'UE-28 pour 2020, basé sur le rapport TIC¹¹¹ ci-dessous :

Type d'imprimante	Consommation annuelle pour l'ensemble du stock (TWh)	Consommation annuelle par équipement (kWh)	Stock en 2020
Mono laser MFD	1,11	79	12186500
Colour laser MFD	1,38	92	12160500
Mono laser printer	0,75	71	10156500
Colour laser printer	1,29	110	9578000
Mono laser copier	0,06	79	8785
Colour laser copier	0,14	92	1435000
Ink jet MFD	0,46	6	70882000
Ink jet printer	0,01	2	5281000
Professional printers / MFD	0,92	664	1486500
Total	6,12		

Tableau 35 – Consommation des imprimantes

Pour le calcul de la consommation d'électricité des imprimantes personnelles et professionnelles, il a été considéré que les imprimantes suivantes sont d'usage personnel : Mono laser printer, Colour laser printer, Ink jet MFD, Ink jet printer, et les autres d'usage professionnel.

La moyenne pondérée de la consommation d'un équipement personnel est donc de 23,05 kWh/an.

De la même façon, la moyenne pondérée de la consommation d'un équipement personnel est de 117,36 kWh/an. Cependant, pour les professionnels, la valeur retenue est celle de l'étude Conso IT, de 71 kWh¹¹².

- Pour usage personnel : 23,05 kWh/an par équipement.
- Pour usage professionnel : 71 kWh/an par équipement.

Durée de vie typique : Sur la base du rapport ICT¹¹³, la durée de vie typique est de 6 ans pour les mono laser MFD, colour laser MFD, mono laser printer, colour laser printer, mono laser copier, colour laser copier et scanner, et de 5 ans pour les ink jet printer et ink jet MFD. Pas de donnée disponible pour les imprimantes professionnelles. Par hypothèse, une durée de 5 ans a été retenue.

4.5.12. SSD & HDD externes, clés USB

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

- Un HDD est un dispositif de stockage de données électromécanique utilisant un stockage magnétique et un ou plusieurs plateaux rigides à rotation rapide recouverts d'un matériau magnétique.
- Un SSD utilise des assemblages de circuits intégrés pour stocker des données dans des cellules semi-conductrices.

¹¹¹ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.147

¹¹² Livre blanc - Consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel - SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE «Conso IT», 2015, ADEME

¹¹³ European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.144

- Une clé USB, ou une clé USB basée sur la mémoire, ou une clé USB utilise des assemblages de circuits intégrés pour stocker des données dans des cellules semi-conductrices comme un SSD, mais avec des capacités inférieures.

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

Nombre d'équipements :

- **HDD et SSD :** Les données se basent sur les ventes mondiales de HDD et de SSD entre 2015 et 2019 de Statista et IHS Markit estimates¹¹⁴. Ces données ont été extrapolées pour le marché de l'UE-28 en se basant sur le PIB (en considérant que l'UE-28 correspond à 22,2% du PIB mondial en 2019)¹¹⁵. La période 2015-2019 correspond à la durée de vie estimée des disques (5 ans).

	HDD	SSD
Somme des livraisons européennes 2015-2019 (en unités)	448 463 611	210 911 104

Ces données incluent également les disques pour serveurs. Ce chapitre concernant uniquement les disques utilisés par les utilisateurs finaux, le nombre de disques pour serveurs a été soustrait :

	HDD	SSD
Somme des livraisons européennes 2015-2019 (en unité)	448 463 611	210 911 104
Disques pour serveurs	169 910 578	150 675 419
Total des disques pour les utilisateurs finaux	278 553 033	60 235 685

Pour la France, une extrapolation a été établie, basée sur le nombre d'habitant (considérant un taux d'équipement identique sur tout le territoire européen¹¹⁶). Les populations considérées sont de 513,5 millions pour l'UE-28, et de 67,01 millions pour la France.

	HDD	SSD
Total des disques pour les utilisateurs finaux – UE-28	278 553 033	60 235 685
Total des disques pour les utilisateurs finaux – France	36 350 222	7 860 552

La répartition entre usage professionnel et privé est donnée par l'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, avec 2,87% pour les professionnels. Le nombre total de clefs USB est donc de 66 138 165, et le nombre de clefs USB pour les professionnels est de 1 898 165.

	HDD	SSD
Total des disques pour les utilisateurs	35 306 971	7 634 954

¹¹⁴ <https://www.statista.com/statistics/285474/hdds-and-ssds-in-pcs-global-shipments-2012-2017/>

¹¹⁵ Calcul PIB basé sur les données du PIB monde 2019 (87,608 trillion de dollars, source : <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?end=2019&start=1960&view=chart>) eu de l'UE-28 en 2019 (19,45 trillion de dollars, source : https://europa.eu/european-union/about-eu/figures/economy_en).

¹¹⁶ Cette approche entraîne une incertitude, cependant il n'a pas été trouvé de données à l'échelle française. Il est hypothétique d'affirmer que le taux de ces équipements est le même dans toute l'UE, cependant l'indicateur DESI (Digital Economy and Society Index) développé par la Commission Européenne indique que la France est très proche de la moyenne de l'UE (autour d'un score de 52).

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

finiaux – France – Usage personnel		
Total des disques pour les utilisateurs finaux – France – Usage professionnel	1 043 251	225 598

Tableau 36 – Livraison des HDD et SSD

- Clefs USB : L'étude « Quantification des équipements électriques et électroniques au sein des ménages », Ipsos Public Affairs, 2016 indique un nombre de clefs USB de 2,2 par foyer, soit un total de 64 240 000 pour les ménages (hors entreprises).

La répartition entre usage professionnel et privé est donnée par l'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, avec 2,87% pour les professionnels. Le nombre total de clefs USB est donc de 66 138 165, et le nombre de clefs USB pour les professionnels est de 1 898 165.

Au total :

- Pour usage personnel : 35 306 971 HDD, 7 634 954 SSD et 64 240 000 clefs USB.
- Pour usage professionnel : 1 043 251 HDD, 225 598 SSD et 1 898 165 clefs USB.

Consommation électrique : Aucune donnée n'a été trouvée concernant la consommation électrique des SSD, HDD et clefs USB. La consommation d'énergie a été estimée sur la base de la fréquence d'usage et la puissance électrique des équipements :

- SSD : 6W (source : "United States Data Center Energy Usage Report", 2016¹¹⁷. Potentiellement surestimé du fait que le rapport concerne les SSD de serveurs).
- HDD : 6W (source : "United States Data Center Energy Usage Report", 2016¹¹⁸. Potentiellement surestimé du fait que le rapport concerne les HDD de serveur).
- USB key : 2,5W (estimations).
- Pour usage personnel : 0,37 kWh/an pour les SSD et HDD, 0,15 kWh/an pour les clefs USB.
- Pour usage professionnel : 0,37 kWh/an pour les SSD et HDD, 0,15 kWh/an pour les clefs USB.

Fréquence d'usage : Aucune donnée n'était disponible concernant les HDD, SSD et clefs USB. Par hypothèse, nous avons considéré un usage de 10 minutes par jour.

Durée de vie typique : Aucune donnée n'était disponible concernant la durée de vie. Une durée de 5 ans a été retenue par hypothèse.

Caractéristiques :

Usage personnel et professionnel :

- HDD : le modèle HDD est un mélange pondéré de trois configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2	3
Répartition (hypothèse)	33%	33%	33%
Poids de l'appareil (kg)	0,17	0,149	0,238
Capacité (GB)	1 000	2 000	4 000

Tableau 37 - Détail des configurations des HDD

- SSD : le modèle SSD est un mélange pondéré de trois configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2	3
Répartition (hypothèse)	33%	33%	33%
Poids de l'appareil (kg)	0,5	0,13	0,52

¹¹⁷ <https://eta.lbl.gov/publications/united-states-data-center-energy>

¹¹⁸ <https://eta.lbl.gov/publications/united-states-data-center-energy>

Capacité (GB)	512	1 024	2 048
Technologie	TLC	TLC	TLC

Tableau 38 - Détail des configurations des SSD

- **Clés USB**: la clé USB est un mix pondéré de trois configurations, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1	2	3
Répartition (hypothèse)	33%	33%	33%
Poids de l'appareil (kg)	0,015	0,0091	0,01
Capacité (GB)	16	32	128
Technologie	TLC	TLC	TLC

Tableau 39 - Détail des configurations des clés USB

4.5.13. Enceintes connectées

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

Nombre d'équipements : L'étude « CITIZING, Empreinte carbone du numérique en France », Juin 2020¹¹⁹ indique un nombre de 2 484 956 enceintes connectées en France.

Il est considéré que l'usage des enceintes connectées est uniquement personnel.

- Pour usage personnel : 2 484 956 équipements.
- Pour usage professionnel : 0 zéro équipements.

Consommation électrique : Le rapport ICT¹²⁰ indique une consommation annuelle totale de 0,66 TWh pour 28 700 000 équipements, soit une consommation annuelle de 23 kWh par équipement.

- Pour usage personnel : 23 kWh/an par équipement.
- Pour usage professionnel : pas d'équipement.

Durée de vie typique : Aucune donnée n'était disponible concernant la durée de vie. Une durée de 5 ans a été retenue par hypothèse.

Caractéristiques :

Usage personnel :

Le modèle d'enceinte connectée est une configuration unique, avec les caractéristiques suivantes :

Configuration	1
Répartition (hypothèse)	100%
Poids de l'appareil (kg)	0,838

Tableau 40 - Détail des configurations des enceintes connectées

4.5.14. Objets connectés IoT

Description: « Les objets qui deviennent compatibles avec Internet (appareils IoT) interagissent généralement via des systèmes intégrés, une forme de communication réseau, ainsi qu'une combinaison d'informatique de pointe et de cloud

¹¹⁹ https://www.citizing-consulting.com/wp-content/uploads/Rapport_Empreinte-carbone-du-num%C3%A9rique-2019-%C3%A0-2040_Citizing-1.pdf

¹²⁰ CITIZING, Empreinte carbone du numérique en France, Juin 2020

computing. Les données des appareils connectés à l'IoT sont souvent (mais pas exclusivement) utilisées pour créer de nouvelles applications pour les utilisateurs finaux. » ¹²¹

Les ordinateurs, tablettes ou smartphones ne sont pas considérés comme IoT. La RFID peut être considérée comme un exemple extrêmement simplifié et précoce de l'IoT, mais il a été impossible de déterminer le stock et les ventes de puces en France ; dans cette étude ACV, nous avons exclu la RFID de notre périmètre.

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

Catégories d'appareils IoT

Nous avons basé notre inventaire d'appareils IoT sur le rapport IEA 2019¹²² pour obtenir les catégories et sous-catégories suivantes :

Secteur	Catégorie - Groupe - Appareil
Résidentiel	Sécurité - Vidéo
Entreprise / Publique	Sécurité - Vidéo
Résidentiel	Sécurité - Contrôle
Résidentiel	Automatisation – Chauffage de l'eau
Publique	Automatisation - Lampadaires
Résidentiel	Automatisation – Conditionnement de l'espace
Résidentiel	Automatisation - Climatisation – Thermostat Intelligent
Résidentiel	Automatisation - Climatisation - Climatiseurs
Résidentiel	Automatisation – Lumières
Résidentiel	Automatisation - Lumières - Wi-Fi
Résidentiel	Automatisation - Lumières - LE
Résidentiel	Automatisation – temps de cuisson
Résidentiel	Automatisation - Cuisson - Four + Table de cuisson
Résidentiel	Automatisation - Cuisson – Hotte aspirante
Résidentiel	Automatisation - Audio
Résidentiel	Automatisation – Appareils électroménagers
Résidentiel	Automatisation - Electroménagers - Réfrigérateur
Résidentiel	Automatisation - Electroménagers - Congélateur
Résidentiel	Automatisation - Electroménagers – Machine à laver
Résidentiel	Automatisation - Electroménagers – Sèche-linge
Résidentiel	Automatisation - Electroménagers – Lave-vaisselle
Résidentiel	Automatisation - Electroménagers – Petit électroménager
Résidentiel	Automatisation - IoT
Services publiques	Compteurs intelligents
Résidentiel	Capteurs: Res - Wi-Fi
Résidentiel	Capteurs: Res - LE
Entreprise	Capteurs: Industrie - LE
Santé publique	Capteurs: Santé - LE
Entreprise	Passerelle: Bus
Résidentiel	Passerelle: LE to Wi-Fi
Entreprise	Communication de contrôle de bâtiment

¹²¹ Définition de l'IoT développée par IoT Analytics : <https://iot-analytics.com/our-coverage/> (en date du 29/06/2021)

¹²² IEA, *Total Energy Model for Connected Devices*, IEA 4E EDNA, 2019, p.33-34, 53-60, 62-68

Résidentiel	Stores + Fenêtres
-------------	-------------------

Tableau 41 – Liste des catégories d'IoT

Nombre d'équipements :

Le nombre d'objets connectés en UE-28 a été estimé à partir des données mondiales en 2020 fournies par le rapport IEA 2019¹²³ et au rapport Data Bridge Market Research.

L'extrapolation à l'UE-28 s'est faite en considérant qu'en 2019, l'Europe était responsable de 23% des dépenses sur l'IOT, selon le « IDC's Worldwide Internet of Things Spending Guide »¹²⁴. Comme ce rapport considère l'Europe au niveau global, en incluant la Russie et la Turquie, une soustraction de 17,8% a été effectuée pour estimer le marché de l'UE-28, basée sur le PIB des régions considérées (le choix de l'allocation basée sur le PIB a été retenu considérant que le développement économique, et numérique, de la zone UE est plus important que la Russie et la Turquie, ramené à la population) :

Catégories	Nombre en UE-28 (extrapolation) en 2020	Nombre dans le monde en 2020
Security - Video	53 536 207	300 000 000
Security - Control	89 227 011	500 000 000
Automation - Water Heating	53 536 207	300 000 000
Automation - Street Lights	53 536 207	300 000 000
Automation - Space Conditioning	53 536 207	300 000 000
Automation - Lightning	142 763 218	800 000 000
Automation - Cooking	53 536 207	300 000 000
Automation - Audio	178 454 022	1 000 000 000
Automation - Appliances	71 381 609	400 000 000
Smart Meters	223 067 528	1 250 000 000
Sensors: Res - Wi-Fi	8 922 701	50 000 000
Sensors: Res - LE	46 398 046	260 000 000
Sensors: Industry - LE	80 304 310	450 000 000
Sensors: Health - LE	117 779 655	660 000 000
Gateway: Bus	9 814 971	55 000 000
Gateway: LE to Wi-Fi	8 922 701	50 000 000
Comm Building Control	624 589 079	3 500 000 000
Blinds + Windows	4 461 351	25 000 000
Total	1 873 767 237	10 500 000 000

Tableau 42 – Nombre d'objets connectés en Europe

Pour la France, une extrapolation a été établie, basée sur le nombre d'habitant (considérant un taux d'équipement identique sur tout le territoire européen¹²⁵). Les populations considérées sont de 513,5 millions pour l'UE-28, et de 67,01 millions pour la France.

La répartition professionnel / personnel s'est faite de la manière suivante :

- Certains types d'IoT ont un usage strictement personnel ou professionnel (par exemple *Sensors : Industry – LE*)

¹²³ IEA, *Total Energy Model for Connected Devices*, IEA 4E EDNA, 2019, 53-60

¹²⁴ <https://www.cbi.eu/market-information/outsourcing-itobpo/industrial-internet-things/market-potential>

¹²⁵ Cette approche entraîne une incertitude, cependant il n'a pas été trouvé de données à l'échelle française. Il est hypothétique d'affirmer que le taux de ces équipements est le même dans toute l'UE, cependant l'indicateur DESI (Digital Economy and Society Index) développé par la Commission Européenne indique que la France est très proche de la moyenne de l'UE (autour d'un score de 52)

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

- Pour le reste, la répartition entre usage professionnel et privé est donnée par l'étude « Données gisement DEEE ménager pour ADEME », 2019, avec 10% pour les professionnels. Ce taux n'apparaissant pas satisfaisant pour toutes les catégories, des hypothèses complémentaires ont été formulées.

Catégories	Nombre en UE-28 (extrapolation) en 2020	Nombre en France (extrapolation) en 2020	Nombre en France (extrapolation) en 2020 – Personnel	Nombre en France (extrapolation) en 2020 – Professionnel	Taux d'usage professionnel
Security – Video	53 536 207	6 986 293	3 493 147	3 493 147	50% (hypothèse)
Security – Control	89 227 011	11 643 821	5 821 911	5 821 911	50% (hypothèse)
Automation – Water Heating	53 536 207	6 986 293	6 287 663	698 629	10%
Automation – Street Lights	53 536 207	6 986 293	-	6 986 293	100%
Automation – Space Conditioning	53 536 207	6 986 293	6 287 663	698 629	10%
Automation – Lightning	142 763 218	18 630 113	16 767 102	1 863 011	10%
Automation – Cooking	53 536 207	6 986 293	6 287 663	698 629	10%
Automation – Audio	178 454 022	23 287 642	20 958 878	2 328 764	10%
Automation – Appliances	71 381 609	9 315 057	8 383 551	931 506	10%
Smart Meters	223 067 528	29 109 552	26 198 597	2 910 955	10%
Sensors: Res – Wi-Fi	8 922 701	1 164 382	1 164 382	-	0%
Sensors: Res – LE	46 398 046	6 054 787	6 054 787	-	0%
Sensors: Industry – LE	80 304 310	10 479 439	-	10 479 439	100%
Sensors: Health – LE	117 779 655	15 369 844	-	15 369 844	100%
Gateway: Bus	9 814 971	1 280 820	-	1 280 820	100%
Gateway: LE to Wi-Fi	8 922 701	1 164 382	-	1 164 382	100%
Comm Building Control	624 589 079	81 506 746	73 356 072	8 150 675	10%
Blinds + Windows	4 461 351	582 191	523 972	58 219	10%
Total	1 873 767 237	244 520 239	189 037 432	55 482 807	

Tableau 43 – Nombre d'objets connectés

Consommation électrique des appareils IoT et durée de vie moyenne

La consommation d'énergie et la durée de vie des appareils IoT présentée dans le rapport IEA 2019¹²⁶ a été utilisée, comme suit :

Secteur	Catégorie - Groupe - Appareil	Consommation Réseau Actif [W]	Consommation Réseau Veille [W]	Réseau Actif [h]	Réseau Veille [h]	Durée de vie moyenne [année]	Portée de la consommation d'énergie incluse dans le TEM
	Sécurité - Vidéo						Toute énergie, supposée être en état de veille
Résidentiel	Sécurité - Vidéo	2	2	0	24	5	Toute énergie, supposée être en état de veille
Entreprise / Publique	Sécurité - Vidéo	8	8	24	0	10	Toute énergie, supposée dans l'état de réseau actif
Résidentiel	Sécurité – Contrôle	0.001	0.001	0	24	5	Toute énergie, supposée être en état de veille
Résidentiel	Automatisation – Chauffage à l'eau	2	2	0	24	12	Connexion réseau uniquement
Publique	Automatisation Lampadaires	1.5	1.5	0	24	10	Seule la connexion réseau est supplémentaire
Résidentiel	Automatisation Climatisation	1.77	1.77	0	24	12	
Résidentiel	Automatisation Climatisation – Thermostat Intelligent	1.77	1.77	0	24	12	Toute énergie, supposée être en état de veille
Résidentiel	Automatisation Climatisation - Climatiseurs	1.77	1.77	0	24	12	Connexion réseau uniquement

¹²⁶ IEA, *Total Energy Model for Connected Devices*, IEA 4E EDNA, 2019, p.33-34, 53-60, 62-68

Résidentiel	Automatisation - Lumières			0	24	7	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Lumières - WiFi	2	2	0	24	7	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Lumières - LE	0.44	0.44	0	24	7	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Cuisson						Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Cuisson - Four + Table de cuisson	2.5	2.5	0	24	15	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Cuisson - Hotte aspirante	2.5	2.5	0	24	4	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Audio	3.34	2.84	2	22	4	Toujours en mode écoute (veille), un certain temps en réseau actif
Résidentiel	Automatisation - Appareils électroménagers						Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Appareils électroménagers - Réfrigérateur	15	2.5	2	22	12	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Appareils électroménagers - Congélateur	2.5	2.5	0	24	12	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Appareils électroménagers - Machine à laver	2.5	2.5	0	24	12	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Appareils électroménagers - Sèche-linge	2.5	2.5	0	24	12	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Appareils électroménagers - Lave-vaisselle	2.5	2.5	0	24	12	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - Appareils électroménagers - Petit électroménager	2.5	2.5	0	24	4	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Automatisation - IoT						
Services publics	Compteurs Intelligents	2	2	0	24	12	Connexion réseau uniquement
Résidentiel	Capteurs: Res - WiFi	1.2	1.2	0	24	5	Toute énergie, supposée être en état de veille
Résidentiel	Capteurs: Res - LE	0.001	0.001	0	24	5	Toute énergie, supposée être en état de veille
Entreprise	Capteurs: Industrie - LE	0.001	0.001	0	24	5	Toute énergie, supposée être en état de veille
Santé publique	Capteurs: Santé - LE	0.001	0.001	0	24	5	Toute énergie
Entreprise	Passerelle: Bus	7	7	24	0	7	Toute énergie, réseau active
Résidentiel	Passerelle: LE to WiFi	1.4	1.4	24	0	7	Toute énergie, réseau active
Entreprise	Communication de contrôle de bâtiment	1.5	1.5	0	24	12	Toute énergie, supposée être en état de veille
Résidentiel	Stores et Fenêtres	0.0001	0.0001	0	24	5	Energie réseau seulement, supposée être en état de veille

Tableau 44 – Consommation et durée de vie des objets connectés

Profils matériel IoT

Les objets connectés IoT se caractérisent par leurs conceptions diverses, ce qui rend la performance de l'ACV pour un objet connecté spécifique loin d'être représentative de la variété des conceptions et des applications dans le domaine de l'IoT. L'approche méthodologique retenue ici est une approche bottom-up, développée par Thibault Pirson et David Bol¹²⁷.

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

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

¹²⁷ « Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach », 2021, Thibault Pirson et David Bol

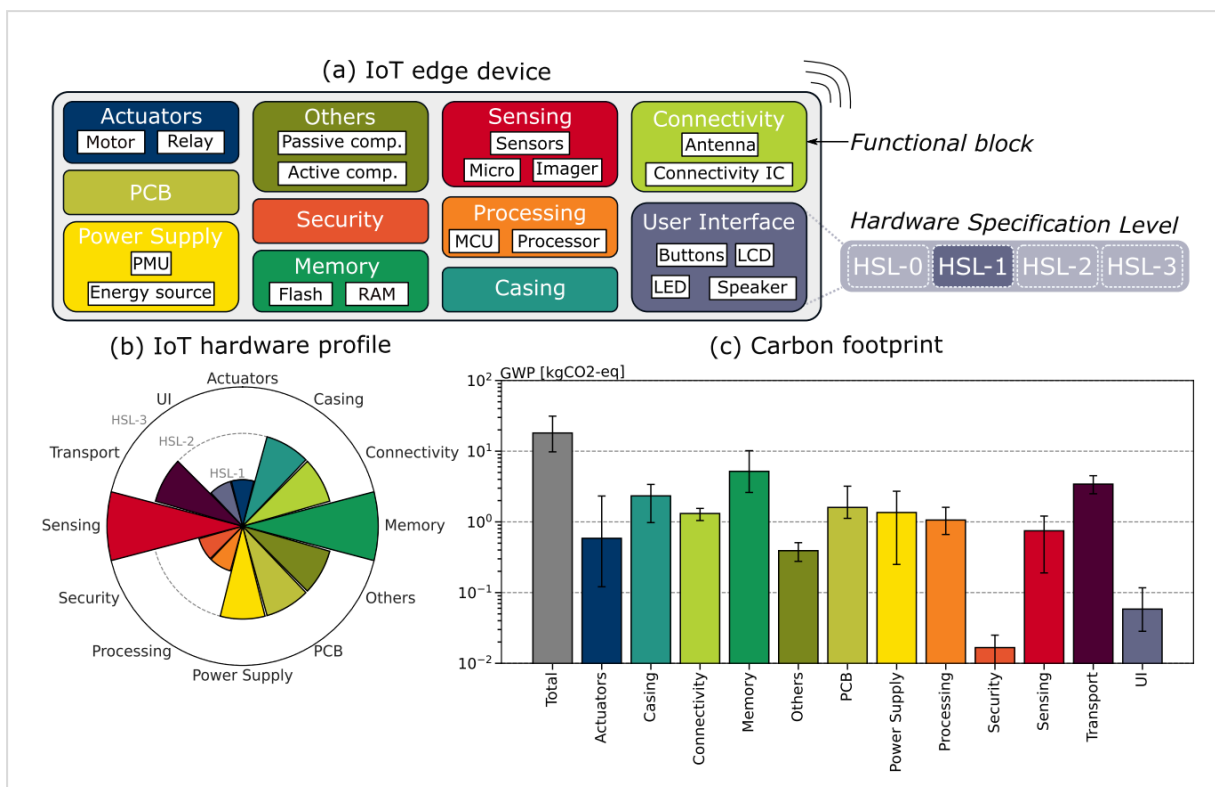


Figure 5 - (a) L'architecture générale d'un dispositif de périphérie IoT avec le concept de blocs fonctionnels et le niveau de spécification matérielle, (b) un exemple de profil matériel IoT, (c) l'empreinte carbone résultante obtenue par le cadre pour le profil

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

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

Hardware Specification Level (HSL)			
Functional Block	HSL-1	HSL-2	HSL-3
Actuators	No actuator	Vibration motor (1g) 1/2/4	Relay (SSR) 1/2/4 DC motor (50g) 1/4/6 Motor driver † 1/2/5 mm ² Motor driver transistor 1/4/6
Casing	No casing	ABS plastic granulate 10/50/100 g Aluminium 1/10/30 g Steel 1/10/30 g	ABS plastic granulate 700/800/900 g Aluminium 70/160/300 g Steel 70/160/300 g
Connectivity	Embedded in <i>Processing</i> (share of the die area) Printed antenna (embedded in <i>PCB</i>)	Connectivity IC * 5/10/20 mm ² Printed antenna (embedded in <i>PCB</i>)	Connectivity IC † 45/50/60 mm ² External whip-like antenna 10/15/30 g
Memory	Embedded in <i>Processing</i> , Flash + RAM (≈ kB)	DRAM ° (32/128/512 MB) 2/7.9/31.5 mm ² Flash † (32/128/512 MB) 0.2/0.8/3.2 mm ²	DRAM ° (0.5/1/2 GB) 31.5/61.5/123.1 mm ² Flash † (8/16/32 GB) 50/100/200 mm ²
Others	Capacitors and resistors 5/10/15 Diodes 2/2/2, transistors 1/2/3 Tantalum capacitors 0/0/2, crystals 0/1/1	Capacitors and resistors 15/20/25 Diodes 2/4/6, transistors 2/4/6 Tantalum capacitors 0/0/3, crystals 1/1/2 Steel metal shield 0.5/1/2 g, cables 1/2/5 cm	Capacitors and resistors 75/85/100 Diodes 2/6/10, transistors 7/10/15 Tantalum capacitors 0/2/4, crystals 1/2/4 Steel metal shield 0.5/1/2 g, cables 1/2/5 cm
PCB	FR4 (4 layers) 8/10/15 cm ² Solder Paste (SAC305) 4/8/13 mg	FR4 (4 layers) 15/35/50 cm ² Solder Paste (SAC305) 38/53/98 mg	FR4 (8 layers) 80/130/150 cm ² Solder Paste (SAC305) 178/265/454 mg
Power Supply	Mains powered Power transistor 2/3/4 Diodes power 0/1/2, radial capacitor 2/3/4 Miniature coil 2/3/4, ring core coil 0/1/1 Power cable 0.5/1/1.5 m CEE 7/4 Schuko plug 0/1/1	1 Coin cell Li-Po/2 AAA alkaline/2 AA alkaline Solder Paste (SAC305) 38/53/98 mg	Li-ion battery 10/50/100 g Power transistor 0/1/2 Diodes power 0/1/2, radial capacitor 0/1/2 Miniature coil 0/1/2 External IC † 5/15/25 mm ²
Processing	MCU * 5/10/17 mm ²	Application processor † 20/30/45 mm ² Auxiliary MCU * 5/10/17 mm ²	Application processor † 75/100/125 mm ² Auxiliary MCU * 5/10/17 mm ²
Security	Embedded in <i>Processing</i> or non-existent	External IC † 1/2/3 mm ²	N/A
Sensing	No sensor	Electret microphone 0.05/0.1/0.2 g	Single-multiple sensors ° 0/3/5 mm ² Single CMOS imager † (1/4" to 2/3") 8/30/58 mm ²
Transport	No transport	Transport from China to Europe Truck distance : 100/300/600 km Plane distance : 6100/6775/7400 km Total weight = 50/100/300 g	Transport from China to Europe Truck distance : 600/900/1200 km Plane distance : 6100/6775/7400 km Total weight = 900/1500/2000 g
User Interface	No user interface	Switch-button 0/1/2 LED 1/2/4	Switch-button 2/3/4 LED 3/5/8, LED driver † 0/1/2 mm ² 1 LCD screen 5/25/100 cm ² , driver † 0/1/2 mm ²

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

Figure 6 - Détail sur les profils matériels des objets connectés, extrait de ¹²⁸

¹²⁸ « Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach », 2021, Thibault Pirson et David Bol

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

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

Ce choix engendre donc un certain niveau d'incertitude.

Les résultats sont comme suit :

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

Tableau 45 – Profil matériel des objets connectés

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

4.5.15. Tableau récapitulatif de Niveau 1 – Equipements de l'utilisateur

4.5.15.1. Nombre d'unités

Catégorie d'appareil	Nombre pour usage personnel	Nombre pour usage professionnel
Téléphones	96 199 663	23 050 304
Smartphones	59 528 880	10 071 120
Feature phones	10 551 120	1 785 043
Téléphones (ligne fixe)	26 119 663	11 194 141
Tablettes	24 074 512	10 953 903
Ordinateur portable	32 120 000	26 815 780
Ordinateur fixe	17 520 000	19 756 596
Station d'accueil	0	26 815 780
Projecteurs	4 157 974	461 997
Afficheurs électroniques	62 088 896	44 397 707
Ecrans d'ordinateur	18 288 896	19 035 382
Ecrans spécifiques	0	6 590 897
Télévisions	43 800 000	18 771 429
Box TV (décodeurs)	19 009 283	8 146 836
Consoles de jeux	18 496 661	0
Consoles bureau	11 746 044	0
Consoles mobiles	6 750 617	0
Imprimantes	6 205 025	16 776 550
Disques Externes	107 181 925	3 167 015
SSD	7 634 954	225 598
HDD	35 306 971	1 043 251
Clés USB	64 240 000	1 898 165
Enceintes connectées	2 484 956	0
Objets connectés IoT	189 037 432	55 482 807
Nombre d'équipements - hors IoT	673 506 040	250 957 494
Nombre d'équipements - avec IoT	862 543 472	306 440 301
Nombre total d'équipements	1 168 983 773	

Tableau 46 - Récapitulatif terminaux - nombre d'unités

4.5.15.2. Consommation d'énergie

Catégorie d'appareil	Consommation énergétique pour usage personnel (kWh/an)	Consommation énergétique pour usage professionnel (kWh/an)	Consommation énergétique totale pour tous les équipements (TWh/an)
Téléphones			1,18
Smartphones	3,9	3,9	0,257
Feature phones	0,09	0,09	0,000912
Téléphones (ligne fixe)	18	18	0,918
Tablettes	18,6	18,6	0,299
Ordinateur portable	29,1	29,1	2,22
Ordinateur fixe	100	100	4,74
Station d'accueil	1,28	1,28	0,0343
Projecteurs	49	200	0,924
Afficheurs électroniques			16,6
Ecrans d'ordinateur	70	70	2,61
Ecrans spécifiques	Plusieurs valeurs, voir le chapitre correspondant		2,77
Télévisions	179	179	11,2
Box TV (décodeurs)	73	73	1,51
Consoles de jeux			0,691
Consoles bureau	100,2	100,2	0,656
Consoles mobiles	6,5	6,5	0,0348
Imprimantes	21,34	106,37	1,33
Disques Externes			0,0263

SSD	0,37	0,37	0,00287
HDD	0,37	0,37	0,0133
Clés USB	0,15	0,15	0,0101
Enceintes connectées	23		0,0572
Objets connectés IoT	Plusieurs valeurs, voir le chapitre correspondant		3,52

Tableau 47 - Récapitulatif terminaux – consommation d'électricité

4.5.15.3. Durée de vie typique

Catégorie d'appareil	
Téléphones	
Smartphones	2,5
Feature phones	2,5
Téléphones (ligne fixe)	8
Tablettes	3
Ordinateur portable	5
Ordinateur fixe	6
Station d'accueil	6
Projecteurs	5
Afficheurs électroniques	
Ecrans d'ordinateur	6
Ecrans spécifiques	6
Télévisions	8
Box TV (décodeurs)	5
Consoles de jeux	
Consoles bureau	6,5
Consoles mobiles	6,5
Imprimantes	5
Disques Externes	
SSD	5
HDD	5
Clés USB	5
Enceintes connectées	5
Objets connectés IoT	4-12

Tableau 48 - Récapitulatif terminaux – durées de vie

4.6. Tier 2 – Réseaux

4.6.1. Informations générales

4.6.1.1. Constitution des réseaux et différents réseaux prise en compte dans l'étude

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

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

Tableau 49 – Types de réseaux

Les autres réseaux (ex : TV/radio, téléphone fixe, satellite, entreprise, Wifi public et LPWAN) ne sont pas considérés du fait d'un manque de données. Ce point a été adressé dans le chapitre 6.1.1 Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus.

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

- Les réseaux mobiles
- Les réseaux fixes.

Le périmètre inclut les équipements IT, les câbles (cuivre et fibre optique) et les consommations électriques du :

- Réseau d'accès (incluant les box chez les utilisateurs)
- Réseau d'agrégation
- Réseau core/backbone

Les réseaux sont constitués des équipements suivants :

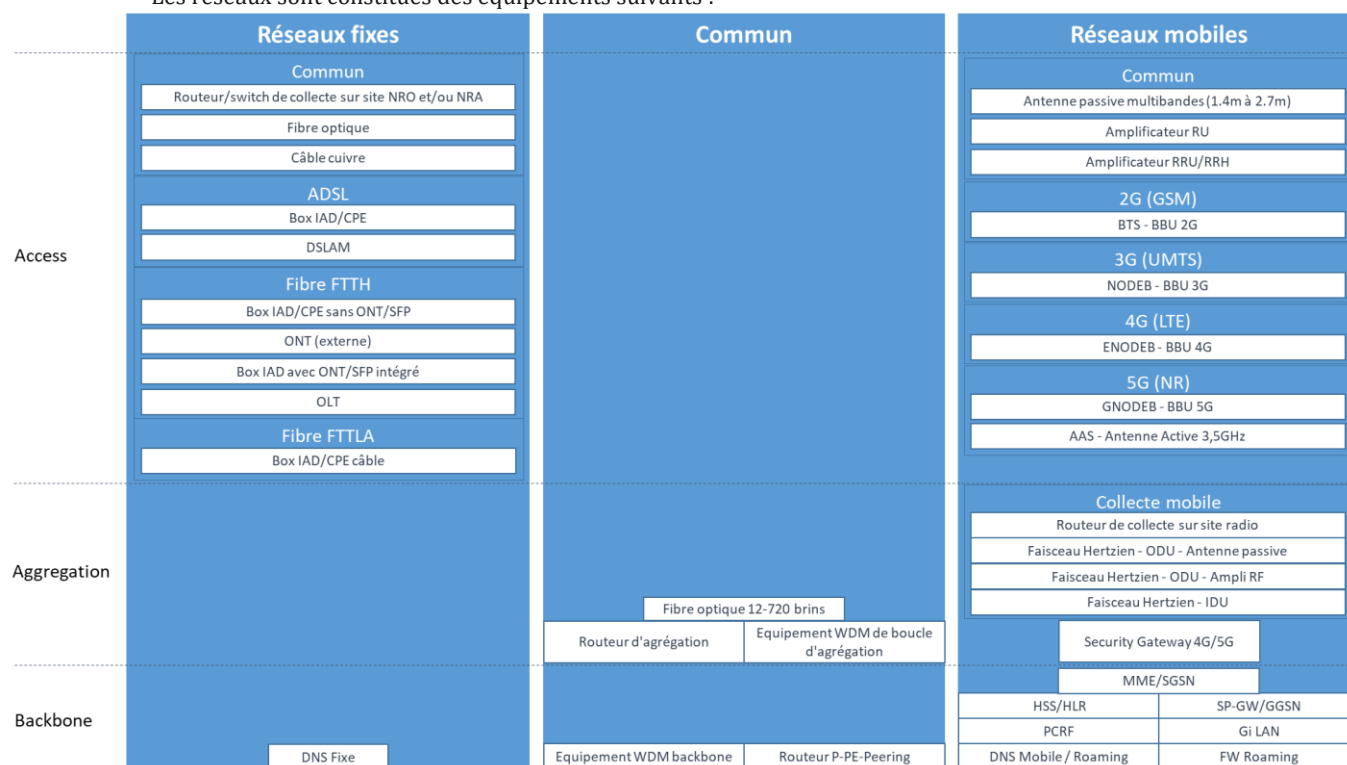


Figure 7 - Equipements constitutifs des réseaux

4.6.1.2. Différentes technologies des réseaux fixes : xDSL et FTTx

En France en 2019, les deux principales technologies de réseaux fixes sont le xDSL et le FTTx.

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

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

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

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

4.6.1.3. Inventaire des utilisateurs des réseaux fixes en France

Le nombre d'abonnés (et donc de box internet) en France pour 2020 est de :

- FTTx : 14 700 000 abonnés (incluant les abonnements VDSL2, terminaisons coaxiales, 4G fixe et THD radio, par hypothèse, 11 410 000 sans)¹²⁹ dont 530 000 abonnés professionnels¹³⁰.
- xDSL : 15 952 000 abonnés¹³¹ dont 1 550 000 abonnés professionnels¹³².

La consommation de données est considérée comme étant de 220 Go par mois et par abonné, tout usage et toute technologie confondus. Ce chiffre se base sur le rapport ICT¹³³ indiquant une consommation de 518 Eo en 2020 en UE-27, pour un nombre d'abonnés total de 198 969 905, soit 2 643,3 Go par an, soit 220 Go par mois.

4.6.1.4. Différentes générations de réseaux mobiles : 2G, 3G, 4G, 5G

En France en 2020, les trois principaux réseaux mobiles sont la 2G, la 3G, et la 4G. La 5G commence seulement son déploiement (les premiers sites 5G sont opérationnels depuis octobre 2020 en France, avec un nombre de 8 675 sites opérationnels fin 2020¹³⁴, dont 5 640 sites 700 & 800 MHz, 2 287 sites 1 800 & 2 100 MHz, et 1 198 sites 3 500 MHz¹³⁵).

Réseau mobile 2G : Aussi appelé Global System for Mobile Communications (GSM), le réseau 2G utilise des fréquences radio de 900 MHz et de 1800 MHz (très peu utilisé en France).

Réseau mobile 3G : Aussi appelé Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), le réseau 3G utilise un grand nombre de fréquences radio, parmi lesquelles 900 MHz, et 2100 MHz.

Réseau mobile 4G : Aussi appelé Long Term Evolution (LTE-Advanced), le réseau 4G utilise un grand nombre de fréquences radio, parmi lesquelles 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, et 2600 MHz.

Réseau mobile 5G : Aussi appelé (IMT), le réseau 5G utilise un grand nombre de fréquences radio, parmi lesquelles 3,4-3,8 GHz (bande-cœur), 700 MHz, 2,1 GHz

4.6.1.5. Inventaire des utilisateurs des réseaux mobiles en France

Le nombre d'abonnés en France pour 2020 est de :

- Tout réseaux hors MtoM : 75 763 000 abonnés¹³⁶
- MtoM : 22 205 000 abonnés¹³⁷
- Usage personnel : 65 944 000 abonnés¹³⁸
- Usage professionnel : 9 596 000 abonnés¹³⁹

Note : en l'absence de données sur la répartition professionnel / personnel des abonnements MtoM, elle a été considérée identique à la répartition hors MtoM (9 596 000 / 75 763 000 = 12,7%)

¹²⁹ Services fixes haut et très haut débit : abonnements et déploiements - 1^{er} trimestre 2021 – résultats provisoires, 3 juin 2021, ARCEP https://www.arcep.fr/fileadmin/cru-1627977896/reprise/observatoire/HD-THD-2017/2021-t1/Observatoire_HD_THD_T1_2021.pdf

¹³⁰ Les services de communication électronique : le marché entreprise – Résultats définitifs – Année 2019, 10 décembre 2020, ARCEP <https://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/observatoire/march-an2019/obs-marches-annuel-2019-ENTREPRISE-def-101220.pdf>

¹³¹ Services fixes haut et très haut débit : abonnements et déploiements - 1^{er} trimestre 2021 – résultats provisoires, 3 juin 2021, ARCEP https://www.arcep.fr/fileadmin/cru-1627977896/reprise/observatoire/HD-THD-2017/2021-t1/Observatoire_HD_THD_T1_2021.pdf

¹³² Les services de communication électronique : le marché entreprise – Résultats définitifs – Année 2019, 10 décembre 2020, ARCEP <https://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/observatoire/march-an2019/obs-marches-annuel-2019-ENTREPRISE-def-101220.pdf>

¹³³ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.93

¹³⁴ ANFR <https://www.anfr.fr/gestion-des-frequences-sites/lobservatoire/lobservatoire-en-carte2/>

¹³⁵ Observatoire du déploiement 5G – Janvier 2021 - ARCEP

¹³⁶ Services mobiles – 2^{ème} trimestre 2021, 5 août 2021, ARCEP https://www.arcep.fr/fileadmin/cru-1627977896/user_upload/obs-mobile-T2-2021_050821.pdf

¹³⁷ Services mobiles – 2^{ème} trimestre 2021, 5 août 2021, ARCEP https://www.arcep.fr/fileadmin/cru-1627977896/user_upload/obs-mobile-T2-2021_050821.pdf

¹³⁸ Services mobiles – 2^{ème} trimestre 2021, 5 août 2021, ARCEP https://www.arcep.fr/fileadmin/cru-1627977896/user_upload/obs-mobile-T2-2021_050821.pdf

¹³⁹ Services mobiles – 2^{ème} trimestre 2021, 5 août 2021, ARCEP https://www.arcep.fr/fileadmin/cru-1627977896/user_upload/obs-mobile-T2-2021_050821.pdf

La consommation de données totale est de 6,937 Eo (exaoctet, équivalent à 1 000 000 000 Go), soit 5,90 Go par mois par abonné (en comptant le MtoM, 8 Go/mois sans compter le MtoM).¹⁴⁰

4.6.1.6. Approche de modélisation

4.6.1.6.1. Fabrication, distribution et fin de vie

Par opposition à l'approche des tiers 1 et 3, les impacts des équipements réseaux n'ont pas pu se baser sur le nombre d'équipements installés et leurs durées de vie. L'allocation des réseaux faite selon la durée de vie a été envisagée en première approche, mais s'est révélée impossible. En effet, les opérateurs et les équipementiers n'ont pas été capables de déterminer les durées de vie des différents équipements. Une approche d'amortissement comptable a aussi été envisagée, mais abandonnée du fait du biais méthodologique que cela entraînerait (différence entre amortissement comptable et durée de vie des équipements).

Pour cette raison, l'approche choisie est de considérer tous les équipements installés sur une année donnée (2020), et de prendre en compte les impacts de leur fabrication, distribution et fin de vie comme s'ils intervenaient dans le courant de l'année. Cela entraîne de la variabilité d'une année à l'autre du fait que le volume et la nature des équipements installés varient.

Une exception a été faite pour les câbles cuivre et les fibres optiques : la longueur de câble installée en 2020 n'était pas connue. Seule la longueur de câble total en usage était connue. Les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Connexion finale vers le client : 10 ans de durée de vie
- Autres câbles : 20 ans de durée de vie

Cette étude est basée sur les données d'inventaire opérateurs 2020, centralisées par l'ADEME, et les données d'inventaire ARCEP sur les câbles et fibres optiques.

Chaque équipement a été modélisé avec le logiciel et la base de données Négaoctet, en date d'octobre 2021.

L'infrastructure n'a pas été prise en compte du fait d'un manque de données, notamment sur les durées de vie des installations et la réutilisation de celles-ci. L'ARCEP a fourni des données concernant le volume de génie civil réalisé pour les réseaux. Une approximation des impacts a été réalisée en considérant que l'ensemble de ce volume est du béton. Cela a montré que les impacts de l'infrastructure étaient faibles (inférieur à 10% sur chaque catégorie d'impact).

4.6.1.6.2. Utilisation

Les données du rapport ICT¹⁴¹, utilisant comme source un rapport de l'IEA¹⁴² ont été utilisées pour déterminer la consommation électrique des réseaux fixes et mobiles. Ce rapport indique :

- Consommation des réseaux fixes : 17,7 TWh, pour 518 Eo transférés (consommation hors box), soit 0,0342 kWh/Go. Pour une consommation de données de 80,92 Eo, cela implique une consommation électrique de 2,769 TWh
- Consommation des réseaux mobiles : 15,17 TWh pour 64 Eo transférés, soit 0,237 kWh/Go. Pour une consommation de données de 6,94 Eo, cela implique une consommation électrique de 1,64 TWh

L'utilisation de l'étude ICT présente un certain nombre de caractéristiques et de limites qu'il convient de citer ici :

- Le rapport date de 2019, utilisant des données plus anciennes, et a été extrapolé pour déterminer une consommation pour 2020
- La source IEA fournit une valeur à l'échelle mondiale que le rapport ICT ramène au niveau de l'Union européenne. Dans cette étude, cette valeur est ramenée au niveau français. Cette approche entraîne de l'incertitude du fait de cette double extrapolation.
- Les technologies de réseau (2G, 3G, 4G, 5G, et xDSL, fibre) ont une répartition différente en fonction des pays.

L'approche via une extrapolation basée sur les Go de données transférées intègre de l'incertitude. En effet, la consommation électrique dépend de nombreux facteurs : densité de population, technologies de réseaux, type de terrain, consommation de données, etc.

¹⁴⁰ Les services de communication électronique en France – Résultats provisoire/année 2020, 26 mai 2021, ARCEP https://www.arcep.fr/fileadmin/cru-1627977896/reprise/observatoire/march-an2020/obs-marches-annuel-2020-prov_260521.pdf

¹⁴¹ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.73

¹⁴² IEA-4E, *Intelligent Efficiency For Data Centres & Wide Area Networks*, Report Prepared for IEA-4E EDNA, May 2019

Une approche plus précise aurait été de collecter les informations de consommation d'électricité reliées aux réseaux de la part des opérateurs français. Cependant, cela n'a pas été possible dans le cadre du projet, les opérateurs ne disposant pas des données au moment de l'étude.

Une évaluation de la qualité de cette donnée est fournie en annexe 9.2 Evaluation de la qualité des données.

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

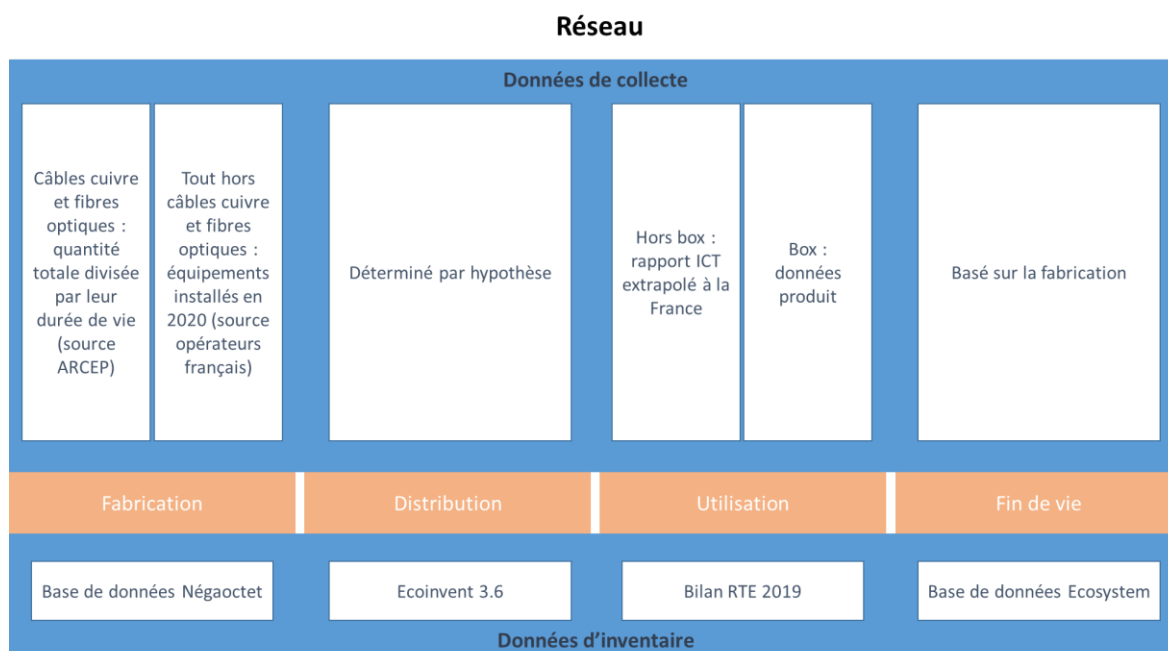


Figure 8 - Récapitulatif des principales hypothèses et sources - Tier 2

4.6.2. Réseaux fixes

4.6.2.1. Modélisation des phases de fabrication, distribution et fin de vie

Basés sur les informations des opérateurs et de l'ARCEP, les équipements installés en 2020 sont les suivants :

ACCESS	
Réseau	Equipment
Commun	Routeur/switch de collecte sur site NRO ¹⁴³ et/ou NRA ¹⁴⁴
	Fibre optique
	Câble cuivre
xDSL	Box IAD ¹⁴⁵ /CPE ¹⁴⁶ (modem ADSL avec routeur WiFi intégré)
	DSLAM ¹⁴⁷
FTTH fibre	Box IAD/CPE sans ONT ¹⁴⁸ /SFP ¹⁴⁹ (routeur WiFi)
	ONT (externe)
	Box IAD avec ONT/SFP intégré (routeur WiFi intégrant un ONT ou un SFP)

¹⁴³ Nœud de raccordement optique

¹⁴⁴ Nœuds de raccordement abonné

¹⁴⁵ Integrated Access Device

¹⁴⁶ Customer Premise Equipment

¹⁴⁷ Digital Subscriber Line Access Multiplexer

¹⁴⁸ Optical Network Termination

¹⁴⁹ Small Form-factor-Pluggable

	OLT ¹⁵⁰
FTTLA fibre	Box IAD/CPE câble (routeur WiFi intégrant un modem DOCSIS)

AGGREGATION	
Réseau	Equipment
Commun	Routeur d'agrégation*
	Équipement WDM ¹⁵¹ de boucle d'agrégation*

BACKBONE	
Réseau	Equipment
Commun	Équipement WDM backbone*
	Routeur P-PE-Peering*
	DNS Fixe

FIBRES OPTIQUES AGGREGATION ET BACKBONE	
Réseau	Equipment
Commun	Fibre optique 12 brins*
	Fibre optique 24 brins*
	Fibre optique 48 brins*
	Fibre optique 72 brins*
	Fibre optique 96 brins*
	Fibre optique 144 brins*
	Fibre optique 288 brins*
	Fibre optique 576 brins*
	Fibre optique 720 brins*

* Note : ces équipements sont partagés entre les réseaux fixes et mobiles. Une allocation basée sur le volume de données transférées a été faite.

Tableau 50 – Liste des équipements – réseaux fixes

4.6.2.2. Modélisation de la phase d'usage

Comme détaillé dans le chapitre 4.6.1.6.2 Utilisation, la consommation du réseau fixe est de 2,769 TWh, hors box. La consommation des box est la suivante :

- Box FTTx : 11,25 W en mode actif 4,5 heures par jour et 8,86 W en mode passif 19,5 heures par jour pour un total de 82 kWh par an.
- Box xDSL : 14,4 W en mode actif 4,5 heures par jour et 10,5 W en mode passif 19,5 heures par jour pour un total de 98 kWh par an.

Considérant le nombre d'abonnés suivant :

- FTTx : 14 700 000 abonnés
- xDSL : 15 952 000 abonnés

La consommation totale est de :

- FTTx : 1,199 TWh
- xDSL : 1,656 TWh
- Hors box : 2,769 TWh

¹⁵⁰ Optical Line Termination

¹⁵¹ Wavelength Division Multiplexing

- Total : 5 704 TWh

4.6.3. Réseaux mobiles

4.6.3.1. Modélisation des phases de fabrication, de distribution et de fin de vie

Basés sur les informations des opérateurs et de l'ARCEP, les équipements installés en 2020 sont les suivants :

ACCESS	
Réseau	Equipment
Commun	Antenne passive multibandes (1.4m à 2.7m)
	Amplificateur RU (700, 800, 900, 1800, 2100, 2600MHz)
	Amplificateur RRU ¹⁵² /RRH ¹⁵³ (700, 800, 900, 1800, 2100, 2600MHz)
2G (GSM)	BTS ¹⁵⁴ - BBU ¹⁵⁵ 2G
3G (UMTS)	NODEB - BBU 3G
4G (LTE)	ENODEB - BBU 4G
5G (NR)	GNODEB - BBU 5G
	AAS - Antenne Active 3,5GHz
Transport	Routeur de collecte sur site radio
	Faisceau Hertzien - ODU ¹⁵⁶ - Antenne passive
	Faisceau Hertzien - ODU - Ampli RF ¹⁵⁷ r
	Faisceau Hertzien - IDU ¹⁵⁸

AGGREGATION	
Réseau	Equipment
Commun	Routeur d'agrégation*
	Equipement WDM ¹⁵⁹ de boucle d'agrégation*
	Security Gateway 4G/5G

BACKBONE	
Réseau	Equipment
Commun	Equipement WDM backbone*
	Routeur P-PE-Peering*
	MME ¹⁶⁰ /SGSN ¹⁶¹
	HSS ¹⁶² /HLR ¹⁶³
	SP-GW ¹⁶⁴ /GGSN ¹⁶⁵
	PCRF ¹⁶⁶

¹⁵² Remote Radio Unit

¹⁵³ Remote Radio Head

¹⁵⁴ Base Transceiver Station

¹⁵⁵ BaseBand Unit

¹⁵⁶ OutDoor Unit

¹⁵⁷ Radio Frequency

¹⁵⁸ InDoor Unit

¹⁵⁹ Wavelength Division Multiplexing

¹⁶⁰ Mobility Management Entity

¹⁶¹ Serving GPRS support node

¹⁶² Home Subscriber Server

¹⁶³ Home Location Register

¹⁶⁴ Serving/PDN-Gateway

¹⁶⁵ Gateway GPRS Support Node

¹⁶⁶ Policy and Charging Rules Function

	Gi ¹⁶⁷ LAN ¹⁶⁸
	DNS ¹⁶⁹ Mobile / Roaming
	FW ¹⁷⁰ Roaming

FIBRES OPTIQUES AGGREGATION ET BACKBONE	
Réseau	Equipment
Commun	Fibre optique 12 brins*
	Fibre optique 24 brins*
	Fibre optique 48 brins*
	Fibre optique 72 brins*
	Fibre optique 96 brins*
	Fibre optique 144 brins*
	Fibre optique 288 brins*
	Fibre optique 576 brins*
	Fibre optique 720 brins*

* Note : ces équipements sont partagés entre les réseaux fixes et mobiles. Une allocation basée sur le volume de données transférées a été faite.

Tableau 51 – Liste des équipements – réseaux mobiles

4.6.3.2. Modélisation de la phase d'utilisation

Comme détaillé dans le chapitre 4.6.1.6.2 Utilisation, la consommation du réseau mobile est de 1,64 TWh.

¹⁶⁷ Gateway-Internet
¹⁶⁸ Local Area Network
¹⁶⁹ Domain Name System
¹⁷⁰ FireWall

4.7. Tier 3 – Centres de données

4.7.1. Définition

Les centres de données ou datacenters sont définis par la norme EN 50600-1 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, les centres de données sont 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 :

- **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 répondants 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 informatiques 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.

4.7.2. 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 bâtiminaire**, 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'espaces énergisés en salles informatiques compatibles avec un niveau de résilience et de sécurité et des conditions environnementales en accord 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.

Le schéma ci-dessous illustre une représentation d'un datacenter et des différents espaces et équipements.

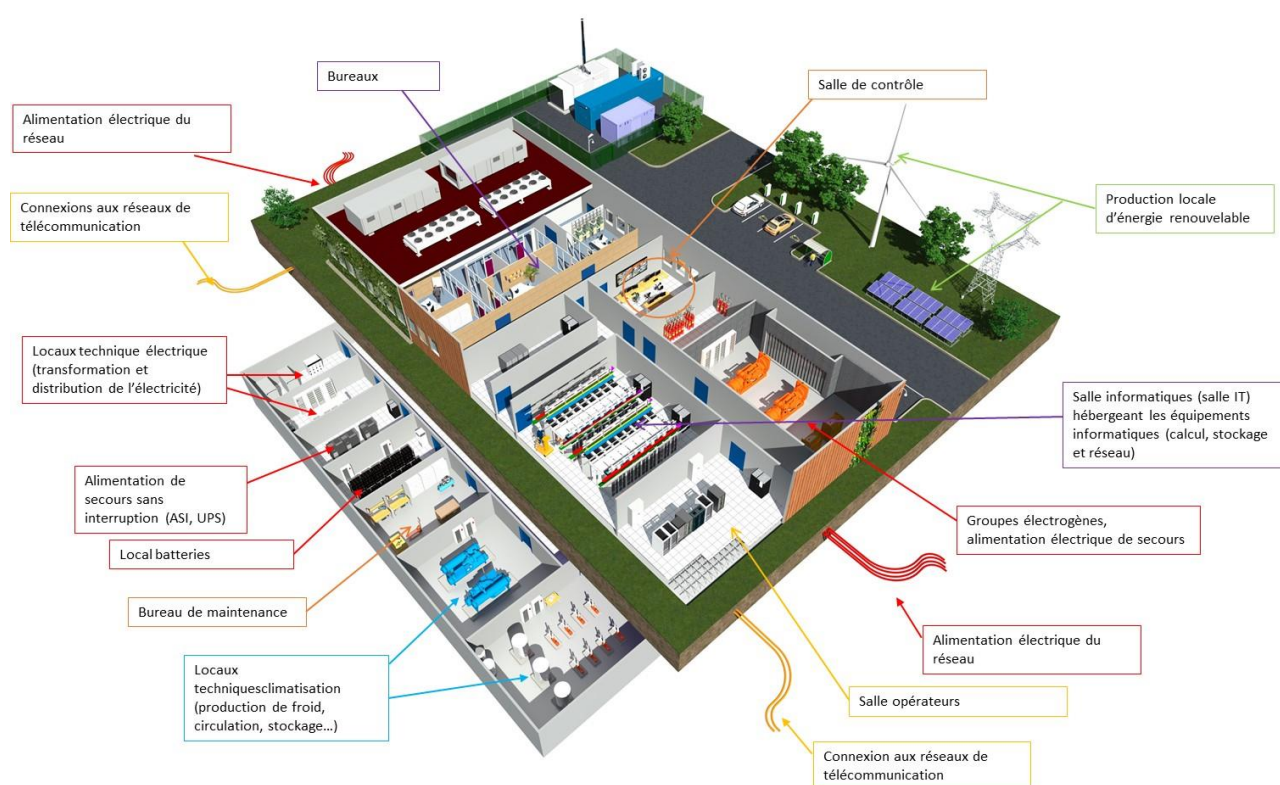


Figure 9 - Représentation d'un datacenter - Source APL DATA CENTER

4.7.3. Frontière de l'étude

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

4.7.4. Panorama des études de caractérisation du parc de datacenter

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

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

- Issues du terrain, des constats et des retours d'expériences qui peuvent être extrapolés,

- Issues de données macro de marché associées à des modèles de fonctionnement généralisés à l'ensemble d'un territoire,
- Issues d'une combinaison des deux solutions précédentes.

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

Cette difficulté d'accéder aux données nécessite de recourir à des approximations qui représentent une limite dans la précision des résultats d'évaluation des impacts environnementaux du parc datacenter.

Cette problématique a été analysée dans quelques études à l'échelle de la France ou de l'Europe, parmi lesquelles nous pouvons citer :

A l'échelle européenne

- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., and J.G. Koomey (2020). "**Recalibrating global data center energy use estimates.**" *Science*, Vol 367, Iss 6481. Associé à un outil de calcul open source¹⁷¹ utilisé dans l'étude « ICT Impact Study ¹⁷². »
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., Montevecchi, F., & Stickler, T. (2020). ***Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market.*** Borderstep Institute & Environment Agency Austria.¹⁷³
- Dodd, N., Alfieri, F., Maya-Drysdale, L., Viegand, J., Flucker, S., Tozer, R., Whitehead, B., Wu, A., Brocklehurst F., **Development of the EU Green Public Procurement (GPP) Criteria for Data Centres Server Rooms and Cloud Services**, Final Technical Report, EUR 30251 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020

A l'échelle nationale :

- Etude Relative à l'évaluation des politiques publiques pour réduire l'empreinte carbone du numérique, 2020 Citizing¹⁷⁴
- Etude iNum: Impacts environnementaux du numérique en France, 2021, GreenIT.fr¹⁷⁵

Chaque étude a utilisé des méthodes différentes qui aboutissent à des résultats différents pour caractériser le parc datacenter, ce chapitre détaille ces approches.

4.7.4.1. Development of the EU Green Public Procurement (GPP) Criteria for Data Centres Server Rooms and Cloud Services

Périmètre étudié : Cette étude intègre l'ensemble des datacenters du territoire de l'Europe des 28, à l'exclusion:

- Des petits datacenters ayant une capacité IT inférieures ou égales à 25kW
- Des datacenters qui ne disposent pas d'une alimentation électrique dédiée et qui ne sont pas intégrés dans un bâtiment dédié

Méthodologie : L'approche méthodologique retenue est basée sur des données publiées par Data Center Dynamic Sensus en 2013 complétées par des relevés de terrain qui estiment le nombre de datacenter, les surfaces de salles IT (salles blanches), ainsi que les puissances installées et consommées à l'échelle de l'Europe 28 et par pays. Ces données sont complétées de différentes sources (de 2016 à 2017) dont les informations collectées dans le cadre du programme « Code de Conduite des Datacenter ».

La caractérisation du parc de datacenter interne a été estimée sur la base des statistiques d'entreprises.

La répartition des consommations d'énergies entre les équipements IT et non IT se base sur l'étude américaine « US Data Center Energy Usage Report » publiée en juin 2016.

¹⁷¹ Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., and J.G. Koomey (2020) "Recalibrating global data center energy use estimates." *Science*, vol 367, ISS 6481.

¹⁷² [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjai5vhuZ3zAhVRLBoKHcAkDjMQFnOECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fsusproc.jrc.ec.europa.eu%2Fproduct-bureau%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2020-11%2FIA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf&usg=AOvVaw2EM90SSZ83alurb9i4vRnN](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjai5vhuZ3zAhVRLBoKHcAkDjMQFnOECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fsusproc.jrc.ec.europa.eu%2Fproduct-bureau%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2020-11%2FIA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf&usg=AOvVaw2EM90SSZ83alurb9i4vRnN)

¹⁷³ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/energy-efficient-cloud-computing-technologies-and-policies-eco-friendly-cloud-market>

¹⁷⁴ <http://www.senat.fr/rap/r19-555/r19-55516.html#toc167>

¹⁷⁵ <https://www.greenit.fr/impacts-environnementaux-du-numerique-en-france/>

La répartition entre les différents types de datacenter est évaluée selon les profils de consommations d'électricité collectées par la Commission Européenne.

Classification des datacenters :

- Datacenter d'entreprise : datacenter qui a pour seul objectif de fournir des services informatiques aux employés et clients de l'entreprise qui opère le data center.
- Datacenter de colocation : datacenter au sein duquel plusieurs client hébergent et opèrent leur propres équipements informatiques (serveurs, stockages, réseaux).
- Managed Service Providers Datacenter (MSP) : datacenters qui proposent des services informatiques, l'opérateur du datacenter gère les équipements informatiques et éventuellement les applications associées.

Principales données publiées dans l'étude

Sujet	Données	Valeurs
Caractérisation du parc datacenter	Superficie totale des salles informatiques	Europe 28 Datacenter d'entreprise 3 629 250 m2 Datacenter de colocation : 2 562 000m2 Datacenter MSP: 170 660 m2 TOTAL UE 28: 6 361 910 m2 France Datacenter d'entreprise : 577 500 m2 Datacenter de colocation : 305 500 m2 Datacenter MSP : 21 000 m2 TOTAL France : 904 000 m2 (14% des salles informatiques de l'UE28)
	Superficie moyenne des salles informatiques	Datacenter d'entreprise : 60 m2 Datacenter de colocation : 1 152 m2 Datacenter MSP : 1 123 m2
	Nombre de datacenter	Europe 28 Datacenter d'entreprise : 60 215 Datacenter de colocation : 2 215 Datacenter MSP : 152 TOTAL UE : 62 582 Datacenter d'entreprise : 8 700 Datacenter de colocation : 270 Datacenter MSP : 20 TOTAL France : 8 990 (14% des datacenter de l'UE 28)
Energie	Consommation d'énergie totale des datacenter	Consommations totale des datacenter en Europe 28 : 104 TWh PUE moyen= 1,54
Equipements IT	Quantité d'équipements	Serveurs : pas d'information Stockage : pas d'information Réseau : pas d'information
Equipements non IT	Quantité d'équipements	Onduleurs : pas d'information Batteries : pas d'information Groupes froid : pas d'information Groupes électrogènes : pas d'information
Autre	Autres informations	Pas d'information complémentaire

Tableau 52 – Principales données dans l'étude « Recalibrating global data center energy use estimates »

Conclusion sur le potentiel d'utilisation des données dans le cadre de l'étude France 2020 :

L'étude couvre un large scope de datacenter et fournit des données à l'échelle européenne et certaines informations à l'échelle du territoire français. Cependant les sources sont trop anciennes pour pouvoir caractériser le parc de datacenter de 2020. Par ailleurs, il est précisé dans le rapport que certains experts évaluent ces données comme une surestimation et l'étude ne fournit pas de détails sur le parc d'équipements informatiques hébergés dans les datacenters.

4.7.4.1. Recalibrating global data center energy use estimates

Périmètre : Etude mondiale détaillée par région (Asie Pacifique, Europe Centrale et de l'Est, Amérique Latine, Moyen Orient et Afrique, Amérique du Nord, Europe de l'Ouest), sont considérés comme exclus les équipements associés aux cryptomonnaies.

Méthodologie : Approche basée sur des données publiées par CISCO sur les stocks d'équipements informatiques à l'échelle mondiale et régionale (2016)¹⁷⁶. Les consommations d'énergie sont évaluées en intégrant des puissances moyennes par famille d'équipements informatique¹⁷⁷, des valeurs de PUE moyen par région et par type de datacenter. Le rapport « ICT Impact Study » extrapole les données d'Europe de l'Ouest à l'Europe 28 par un coefficient multiplicateur de 1,2.

Classification des datacenters :

- Datacenter traditionnel
- Cloud datacenter
- datacenter hyperscale

Principales données publiées dans l'étude :

Sujet	Données	Valeurs
Caractérisation du parc datacenter	Superficie totale des salles informatiques	Pas d'information
	Superficie moyenne des salles informatiques	Pas d'information
	Nombre de datacenter	Pas d'information
Energie	Consommation d'énergie totale des datacenter	Consommations totale des datacenter d'Europe de l'Ouest : 37, 2 TWh PUE moyen datacenter traditionnel= 1,93 PUE moyen Cloud datacenter= 1,55 PUE datacenter hyperscale = 1,17 PUE moyen = 1,45
Equipements IT	Quantité d'équipements	Serveurs : Europe de l'Ouest Datacenter traditionnel : 2 266 000 Cloud datacenter : 2 510 000 Datacenter hyperscale : 4 292 000 Stockage : Monde Datacenter traditionnel : 13 millions de disques SSD et 15 millions de disques HDD Cloud datacenter : 37 millions de disques SSD et 42 millions de disques HDD Datacenter hyperscale: 59 millions de disques SSD et 67 millions de disques HDD Réseaux : Mode Datacenter traditionnel : 49 millions de ports installés Cloud datacenter : 69 millions de ports installés Datacenter hyperscale: 109 millions de ports installés
Equipements non IT	Quantité d'équipements	Onduleurs : pas d'information Batteries : pas d'information Groupes froid : pas d'information Groupes électrogènes : pas d'information
Autre	Autres informations	Précisions sur les consommations des équipements IT à l'échelle de l'Europe de l'Ouest

¹⁷⁶ Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2016-2021: White Paper, 2018, <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.html>

¹⁷⁷ Shehabi, A., Smith, S.J., Horner, N., Azevedo, I., Brown, R., Koomey, J., Masanet, E., Sartor, D., Herrlin, M., Lintner, W. 2016. United States Data Center Energy Usage Report. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. LBNL-1005775

Tableau 53 – Principales données dans l'étude « Development of the EU Green Public Procurement (GPP) Criteria for Data Centres Server Rooms and Cloud Services »

Conclusion sur le potentiel d'utilisation des données dans le cadre de l'étude France 2020 :

Le périmètre géographique des données est difficilement extrapolable à l'échelle du périmètre de l'étude (pas suffisamment homogène selon les données) et les données de 2016 paraissent trop anciennes.

4.7.4.2. Borderstep Institute Model, Hintemann et al. 2020

Périmètre : Union Européenne des 28 Etats membres, avec une répartition selon les sous régions géographiques :

- Europe de l'Est : Bulgarie, République Tchèque, Hongrie, Pologne, Roumanie, Slovaquie
- Europe du Nord : Danemark, Estonie, Finlande, Ireland, Lettonie, Lituanie, Suède, Royaume Uni, Irlande du Nord
- Europe du Sud : Croatie, Grèce, Italie, Malte, Portugal, Slovénie, Espagne
- Europe de l'Ouest : Autriche, Belgique, Luxembourg, France, Allemagne, Pays Bas

Méthodologie : Approche basée sur des données publiées par IDC sur les stocks d'équipements informatiques en 2018 à l'échelle de l'Union Européenne 28 et des pays. Les données sont publiées jusqu'en 2018 et 2020 (prévisions).

La méthode utilisée par Borderstep est un modèle de calcul intégrant plusieurs paramètres :

- Inventaire des équipements informatiques (quantités par type)
- Profils d'utilisation
- Taux de charge électrique des équipements

Classification des datacenters :

- Cloud datacenter
- Datacenter traditionnel
- Edge datacenter

Principales données publiées dans l'étude, valeurs

Sujet	Données	Valeurs
Caractérisation du parc datacenter	Superficie totale des salles informatiques	Pas d'information
	Superficie moyenne des salles informatiques	Pas d'information
	Nombre de datacenter	Pas d'information
Energie	Consommation d'énergie totale des datacenter	Europe de l'Ouest Consommations totale des datacenter d'Europe des 28 en 2019 : 79,98 TWh Consommations totale des datacenters France 2018 : 11 TWh Projection de consommations totale des datacenters France 2020 : 11,7TWh PUE moyen EU 28, 2020 = 1,71
Equipements IT	Quantité d'équipements	Europe 28 (valeur projetée 2020) High End servers : 17 000 Mid range servers : 418 000 Volume servers : 10 722 000 Application specific hardware : 159 000 Disques durs 3.5: 39 639 000 Disques durs 2.5: 59 219 000 SSD disques durs : 50 224 000 Storage controller : 925 000 Ports réseaux 1Gbit : 2 974 000 Ports 10 Gbit : 22 830 000 Ports 40/100 Gbits : 13 583 000 Ports de stockage : 27 749 000

Equipements non IT	Quantité d'équipements	Onduleurs : pas d'information Batteries : pas d'information Groupes froid : pas d'information Groupes électrogènes : pas d'information
Autre	Autres informations	Répartition des consommations d'électricité selon les datacenters EU 28 en 2019 <ul style="list-style-type: none"> - Cloud datacenter : 37% - Datacenter traditionnel : 60% - Edge datacenter : 3% Répartition des consommations selon les familles d'équipements EU 28, 2019: <ul style="list-style-type: none"> - Serveurs : 42% - Stockage : 12% - Réseaux : 4% - Climatisation : 29% - Onduleurs : 11% - Autres : 3%

Tableau 54 – Principales données dans l'étude « Borderstep Institute Model, Hintemann et al. 2020 »

Conclusion sur le potentiel d'utilisation des données dans le cadre de l'étude France 2020 :

Les données issues du modèle Borderstep sont de bonne qualité temporelle et adaptées d'un point de vue géographique.

4.7.4.3. Evaluation des politiques publiques pour réduire l'empreinte carbone du numérique, 2020 Citizing

Périmètre : datacenters situés en France et datacenters situés à l'étranger pour un usage France.

Méthodologie : L'estimation des consommations d'énergies des datacenters est basée sur les flux de données entre et sortant des datacenter.

Classification des datacenters :

- Datacenter classiques, incluant les datacenter edge
- Datacenter hyperscale

Principales données publiées dans l'étude

Sujet	Données	Valeurs
Caractérisation du parc datacenter	Superficie totale des salles informatiques	Pas d'information
	Superficie moyenne des salles informatiques	Pas d'information
	Nombre de datacenter	Pas d'information
Energie	Consommation d'énergie totale des datacenter	Pas d'information
Equipements IT	Quantité d'équipements	Pas d'informations
Equipements non IT	Quantité d'équipements	Onduleurs : pas d'information Batteries : pas d'information Groupes froid : pas d'information Groupes électrogènes : pas d'information

Autre	Autres informations	Ratio entre trafic IP utilisateur et trafic IP datacenter =15% Estimation qu'en 2019, - 55% du trafic des datacenters vers les terminaux provient de l'étranger. - 45% du trafic des datacenters vers les terminaux vient de France Efficacité énergétique des datacenters situés à l'étranger estimée à 0,007 TWh/EB (données UE 2018) Intensité carbone de l'électricité des datacenters situés à l'étranger= 0,49 kg CO2e/kWh

Tableau 55 – Principales données dans l'étude « Evaluation des politiques publiques pour réduire l'empreinte carbone du numérique, 2020 Citizing »

Conclusion sur le potentiel d'utilisation des données dans le cadre de l'étude France 2020 :

Les données sont parcellaires et sont disponibles sur un scope différent de celui de l'étude car il inclut les datacenter situés en France et hors de France.

4.7.4.4. Etude iNum: Impacts environnementaux du numérique en France, 2021, GreenIT.fr

Périmètre : data centers situés en France.

Méthodologie : L'impact environnemental des datacenters est basé sur le stock de serveurs (source Université de Sherbrook) auquel est appliqué un facteur d'émission qui embarque l'empreinte environnementale du centre informatique ramené à un serveur (source : GreenIT.fr).

Classification des datacenters :

- Pas de classification

Principales données publiées dans l'étude

Sujet	Données	Valeurs
Caractérisation du parc datacenter	Superficie totale des salles informatiques	Pas d'information
	Superficie moyenne des salles informatiques	Pas d'information
	Nombre de datacenter	Pas d'information
Energie	Consommation d'énergie totale des datacenter	Pas d'information
Equipements IT	Quantité d'équipements	Quantité de serveurs internet sécurisés = 1 971000
Equipements non IT	Quantité d'équipements	Onduleurs : pas d'information Batteries : pas d'information Groupes froid : pas d'information Groupes électrogènes : pas d'information
Autre	Autres informations	Pas d'informations

Tableau 56 – Principales données dans l'étude « Evaluation des politiques publiques pour réduire l'empreinte carbone du numérique, 2020 Citizing »

Conclusion sur le potentiel d'utilisation des données dans le cadre de l'étude France 2020 :

Les données ne sont pas suffisamment détaillées pour être réutilisées.

4.7.5. Méthodologie utilisée pour caractériser le parc datacenter sur le territoire national

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

- Des données publiques (sur la caractérisation des datacenters de colocation)
- Les études et retours d'expériences et benchmark internes APL Data Center et Négaoctet
- Des statistiques issues des études précédemment citées, notamment issue du modèle Borderstep.

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

4.7.5.1. Superficie de salles informatiques

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** : datacenters opérés 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** : datacenters aussi appelés supercalculateurs dédiés 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 secteur d'activité, de son niveau de digitalisation et de son niveau de migration vers le Cloud et la stratégie d'hébergement.

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

Les résultats d'inventaire ont fait l'objet d'un contrôle de cohérence avec plusieurs publications afin de s'assurer de la pertinence des données d'entrée utilisées pour modéliser les impacts environnementaux du TIER « datacenter ».

Les paramètres ayant un faible niveau de fiabilité car peu de données publiées, font l'objet d'une analyse de sensibilité afin d'évaluer l'impact de leur variation sur les résultats.

Les datacenters de colocation et les HPC sont référencés et les données sur leurs caractéristiques sont souvent accessibles et publiques, cette partie du parc de datacenters est construite sur des données publiques complétées par des données de benchmark et retours d'expériences.

Par contre, les inventaires des datacenters publics (local et national) et des entreprises sont rarement publiés, cette partie a été estimée sur la base des besoins en espace d'hébergement et taux de migration vers les colocations et le cloud.

Les hypothèses et données utilisées sont synthétisées dans le tableau suivant.

Type de datacenter	Organisation	Nombre d'entités sur le territoire	Besoin en espaces informatique m2	% de migration vers de l'hébergement externe (colocation et Cloud)	Superficie de salles informatiques m2
Public local	Conseil régionaux	13	50 m2	70%	81 390 m2
	Conseils départementaux	97	50 m2	70%	

	SDIS	97	50 m2	70%	
	COMUE (Communauté Universitaire et d'établissements)	69	250m2	10%	
	Agglomérations	258	100 m2	30%	
	Mairie (plus de 30 000 habitants)	277	50 m2	70%	
	CHRU	29	150 m2	10%	
	CHU et Centres Hospitaliers	550	75 m2	10%	
Public national	Ministères	80	250 m2	0%	65 000 m2
	EPIC	30	500 m2	10%	
	ODAC	700	50 m2	10%	
Entreprises (hors acteur du digital)¹⁷⁸	MIC (1 -9 salariés)	3 700 000	0 m2	100%	311 800 m2
	PME (10-49 salariés)	172 600	5 m2	90%	
	PME (50-99 salariés)	18 100	10 m2	80%	
	PME (100- 249 salariés)	10 800	15 m2	80%	
	ETI (250-5000 salariés)	5 700	50 m2	70%	
	Grandes Entreprises (> 5000 salariés)	238	1 000 m2	70%	
Colocations	Datacenter de colocation	264			414 175 m2
HPC	Datacenter HPC ¹⁷⁹	18			10 800 m2

Tableau 57 - Evaluation des superficies de salles informatiques en France

Les superficies de salles informatiques à l'échelle nationale sont évaluées à 883 165m2, cette donnée est proche de celle estimée par le Joint Research Center pour la France, aussi bien sur le résultat total (904 000 m2) que sur la répartition.

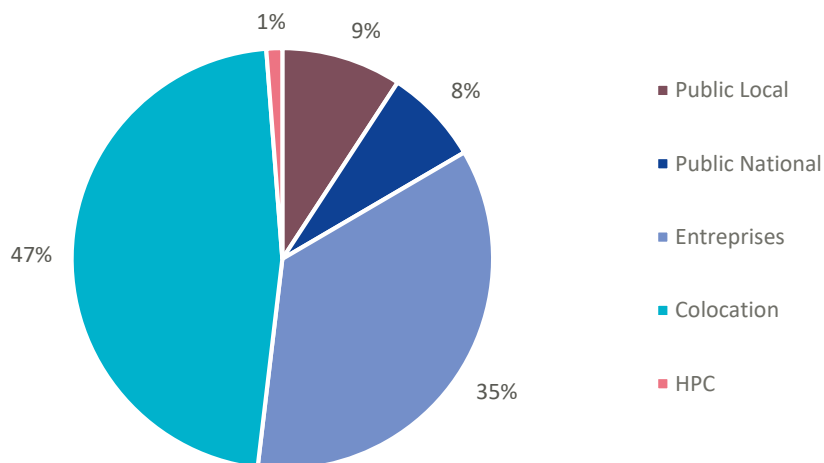


Figure 10 - Répartition des 883 165 m2 de superficie de salles informatiques en France

On constate que les datacenters opérés par des organisations privées (entreprises et colocation) représentent la majorité des superficies (82%).

¹⁷⁸ INSEE

¹⁷⁹ https://www.eib.org/attachments/pj/financing_the_future_of_supercomputing_en.pdf

Pour les datacenters de colocation, ils représentent près de la moitié des salles informatiques à l'échelle nationale. Ce ratio diffère légèrement des moyennes européennes - la France est le 4^{ème} pays en termes d'implantations de datacenters et concentre une part importante des datacenters de colocation.

Malgré un mouvement de migration vers le cloud, une partie du gisement de salles informatiques est encore hébergée en interne (35%) dans des bâtiments de type datacenters dédiés ou dans des salles informatiques intégrées dans des bâtiments à usage tertiaire ou autre.

4.7.5.2. Consommation d'énergie

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

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

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

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

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

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

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

- Densité : représente la puissance électrique installée par unité de surface de salle informatique, ici exprimé en kW par baie (source : données issue du benchmark interne APL Data Center)¹⁸⁰
- PUE : niveau de performance énergétique (source : ICT Impact Study¹⁸¹), qui appliqué au périmètre donne un PUE moyen de 1,69, proche de la valeur 1,71 indiqué pour 2020 dans le modèle européen Borderstep)
- Taux de charge électrique : représente le taux d'utilisation de la puissance électrique disponible installée dans le datacenter, exprimé selon le ratio entre la puissance électrique réellement appelée sur la puissance électrique disponible en salle informatique (source : données issues du benchmark interne APL Data Center)

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

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

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

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

¹⁸⁰ L'hypothèse moyenne considérée en termes d'occupation au sol est de 2,5m² par baie informatique

¹⁸¹ European Commission, ICT Impact study, Final report, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020

Les données utilisées sont présentées dans le tableau suivant :

Type de datacenter	Public Local	Public National	Entreprises	Colocation	HPC	TOTAL
Superficie de salles informatiques m2	81 390 m2	65 000m2	311 800 m2	414 174 m2	10 800 m2	883 165 m2
Densité kW/baie	3	4,5	4	5	15	
Taux de charge	40%	35%	50%	50%	60%	
PUE	1,93	1,93	1,93	1,55	1,17	1,69
Consommations électriques IT TWh	0,34	0,36	2,19	3,63	0,34	6,85
high end servers						435 164 902
mid range servers						940 758 672
volume servers						2 937 479 344
application specific hardware						676 339 197
3.5 Hard disk						400 097 785
2.5 Hard disk						370 022 885
SSD						289 678 796
Storage controller						332 002 326
Network port 1Gbit						5 360 390
Network port 10 Gbit						93 271 508
Network port 40/100 Gbit						177 904 269
Storage Ports						196 726 797
Network port 1Gbit						5 360 390
Consommations électriques Environnement technique TWh	0,32	0,33	2,03	2,00	0,06	4,74
Consommations de fioul m3	66	69,2	422	562	40	1 159
Consommations électriques totales TWh	0,66	0,69	4,22	5,62	0,40	11,59

Tableau 58 - Evaluation des consommations annuelles d'énergie des datacenters par type

Les consommations d'électricité des datacenters situés sur le territoire national sont évaluées à 11,59 TWh ce qui correspond à 2,4% de la consommation d'électricité nationale (donnée AIE : 474,4 TWh). Ces résultats sont alignés avec les projections du modèle Borderstep qui reportent une consommation de 11,7 TWh pour la France en 2020, ce qui représente 14% des consommations d'énergie des datacenters en Europe 28.

4.7.5.3. Equipements informatiques

Les équipements informatiques peuvent être définis en trois catégories :

- **Serveurs:** Le règlement 2019/424/UE sur les serveurs et le stockage des données définit le groupe de produits comme suit :
« serveur : un produit informatique qui fournit des services et gère des ressources en réseau pour des dispositifs clients, tels que des ordinateurs de bureau, des ordinateurs portables, des clients légers de bureau, des téléphones IP (protocole internet), des téléphones intelligents, des tablettes, des systèmes automatisés de télécommunication ou d'autres serveurs, auquel on accède principalement par l'intermédiaire de connexions réseau et non par des dispositifs d'entrée directe des utilisateurs, tels qu'un clavier ou une souris, et qui possède les caractéristiques suivantes:
 - a) il est conçu pour prendre en charge des systèmes d'exploitation de serveurs et/ou des hyperviseurs et il est destiné à exécuter des applications métier installées par les utilisateurs ;
 - b) il prend en charge de la mémoire avec code correcteur d'erreur et/ou avec tampon [y compris les modules DIMM (Dual Inline Memory Module) et les configurations de type BOB (buffered on board)];
 - c) tous les processeurs ont accès à une mémoire système partagée et sont visibles indépendamment par un seul système d'exploitation ou hyperviseur ;

- **Réseau¹⁸²:**
 - **Switch:** Les Switch (commutateurs en français) sont des hubs intelligents et performants. Au fur et à mesure que les données sont envoyées dans les deux sens via le switch, il enregistre les adresses MAC (numéro d'identification unique pour le matériel compatible réseau) pour chaque expéditeur et destinataire. Dans ce processus, le switch apprend quel périphérique est connecté à quel port. Lorsqu'un switch reçoit des données sur un port, il utilise ses enregistrements d'adresses pour identifier d'où provient le trafic et vers quel périphérique il doit être transféré. Cela garantit que les informations ne sont transmises qu'aux ordinateurs concernés plutôt qu'à tous les périphériques du réseau.
 - **Routeur:** Alors que les switches et les hubs transmettent des données au sein d'un seul réseau, les routeurs sont utilisés pour acheminer les données entre différents réseaux. Ces appareils sont positionnés au niveau des passerelles où deux réseaux se connectent. Par exemple, un routeur peut connecter le réseau local de votre maison au réseau de votre FAI (fournisseur de services Internet).
 - **Pare-feu:** Contrairement aux routeurs et aux Switchs, les pare-feu sont des appareils de sécurité réseau. Alors que les routeurs (sans capacités de pare-feu) transmettent aveuglément le trafic entre deux réseaux distincts, les pare-feu surveillent le trafic et aident à bloquer le trafic non autorisé venant de l'extérieur essayant d'entrer dans votre réseau.
- **Stockage:** Le règlement 2019/424/UE sur les serveurs et le stockage des données définit le groupe de produits comme suit :

«produit de stockage de données», 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. Les composants et les sous-systèmes intégrés à l'architecture du produit de stockage de données (par exemple pour assurer la communication interne entre les contrôleurs et les disques) sont considérés comme faisant partie du produit de stockage de données. En revanche, les composants qui sont normalement associés à un environnement de stockage au niveau du centre de données [par exemple les dispositifs nécessaires à l'exploitation d'un réseau SAN (Storage Area Network)] ne sont pas considérés comme faisant partie du produit de stockage de données. Un produit de stockage de données peut se composer de contrôleurs de stockage intégrés, de dispositifs de stockage de données, d'éléments réseau intégrés, de logiciels et d'autres dispositifs »

 - «disque dur HDD», un dispositif de stockage de données qui lit à partir de/écrit sur un ou plusieurs plateaux magnétiques rotatifs;
 - «disque dur SSD», un dispositif de stockage de données qui lit à partir de/écrit dans une mémoire non volatile à semi-conducteur en lieu et place de disques magnétiques rotatifs;

Le stock des équipements informatiques hébergé en datacenter est évalué sur la base des caractéristiques définies dans le modèle Borderstep 2020 : profil d'utilisation et puissance moyenne.

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

Les données utilisées sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Equipements IT	TOTAL
Serveurs rack (nb)	2 332
High range servers	57 337
Mid range servers	1 470 740
Volume servers	21 810
Application specific hardware	2 332
Disques durs 3.5	5 437 293
Disques durs 2.5	8 123 088
SSD	6 889 241

¹⁸² Définition : <https://rmonnetworks.com/whats-the-difference-between-a-switch-a-router-and-a-firewall/>

Storage controller	126 883
Port Réseau 1Gbit	407 944
Port réseau 10 Git	3 131 598
Port réseau 40/100 Gbit	1 863 184
Port de stockage	3 806 338

Tableau 59 - Inventaire des équipements informatiques hébergés en datacenter

4.7.5.4. Bâtiment et environnement technique

Les équipements et infrastructure du datacenter ont été modélisés selon 2 approches :

- Les inventaires des **principaux équipements** ont été évalués sur la base des caractéristiques des datacenter avec un niveau de résilience conservateur de type 2N.
- Les inventaires des autres éléments ont été évalués sur la base de l'extrapolation des données d'un datacenter conçu et réalisé par APL DATA CENTER et représentatif des datacenter sur ces parties.

Les hypothèses suivantes ont été intégrées dans la modélisation :

- 10 kg de fuite de fluide frigorigène par an par MW de puissance de groupe de groupe froid installée (fluide utilisée R134A)
- Autonomie des batteries des onduleurs de 10 minutes.

Les principaux équipements incluent : groupes électrogènes, groupes froid, onduleurs et batteries.

Les autres éléments incluent : Armoires de climatisation, centrales de traitement d'air, tableaux de transformation et distribution, poste de transformation, câbles électriques et câbles réseaux, éclairage, cuves de stockage de fioul, détection et extinction incendie, supervision et monitoring, équipements de sûreté.

Le datacenter modèle utilisé pour quantifier les « autres éléments » est le datacenter Advanced Mediomatrix conçu et réalisé par APL DATA CENTER en 2020, il dispose des caractéristiques suivantes :

- Durée de vie de 25 ans : nous considérons que dans 25 ans, le bâtiment sera toujours opérationnel mais qu'il ne sera plus adapté en l'état aux contraintes des équipements informatiques futurs (densité, place...).
- Data center de niveau de résilience TIER III, certifié par l'Uptime Institute en phase Design et Constructed Facilities.
- 600m² de salles informatiques.

L'inventaire des composants du bâtiment et des lots techniques sont issus des bilans quantitatifs des phases conception et réalisation, incluant la fabrication du bâtiment.

Les éléments suivants ont chacun une durée de vie propre identifiée et ont été ramenés à 1m² de salle informatique et extrapolées selon les superficies par typologie de datacenter :

- Voiries et ouvrages en béton
 - o Voiries (lourdes et légères + accès piéton) : couche isolement, forme, fondation et finition
 - o Colonnes ballastées diamètre 400 mm
 - o Matelas de répartition colonnes
 - o Béton pour murets soutènement, radiers et extérieurs, infrastructures et superstructures
 - o Murs de soubassements, prémurs
 - o Dalles bétons
 - o Bordures, seuils, relevés
 - o Escalier béton
 - o Enduit bitumeux
 - o Isolation enterrée
- Réseau électrique
 - o Gaine et buses
- Assainissement
 - o Canalisations enterrées (EU/EP)
 - o Réseau évacuation CVC et prélèvement DIEI EU/EV PVC
- o Caniveaux béton
- o Réservoir de rétention
- o Siphons
- o Drain
- Étanchéité
 - o Étanchéité + Isolation
- Menuiserie (intérieure et extérieure)
 - o Mur rideau grille
 - o Porte vitrée
 - o Porte pleine 1 vantail
 - o Portillon plein
 - o Châssis
 - o Cloison vitrée
 - o Nappe caillebotis
 - o Escalier acier galvanisé
 - o Porte bois
 - o Porte pleine acier
 - o Plinthes bois
 - o Revêtement bois mur, sol, plafond
 - o Poteaux en acier galvanisé
 - o Poutre en acier galvanisé

- Plâtrerie
 - o Cloison distribution 72/48
 - o Doublage simple
 - o Flocage acoustique
 - o Cloisons PLACOSTIL coupe-feu
- Plancher technique
 - o Plancher technique dalles amovibles
 - o Faux plancher creux non démontable
- Ascenseur Vitre
 - o Revêtement + vérins
 - o Tresse en cuivre (mise à la terre)
- Carrelage
 - o Protection sous carrelage SEL
 - o Protection sous carrelage SPEC
 - o Carrelage
 - o Revêtement souple
- Peinture

4.7.6. Synthèse des données – Datacenters

Le tableau suivant regroupe l'ensemble des données utilisées comme paramètres d'entrée de la modélisation.

Type de datacenter	Public Local	Public National	Entreprises	Colocation	HPC	TOTAL
Superficie de salles informatiques m2	81 390 m2	65 000m2	311 800 m2	414 174 m2	10 800 m2	883 165 m2
Densité kW/baie	3	4,5	4	5	15	
PUE	1,93	1,93	1,93	1,55	1,17	1,69
Consommations électriques IT TWh	0,32	0,36	2,19	3,63	0,34	6,85
Consommations électriques Environnement technique TWh	0,32	0,33	2,03	2,00	0,06	4,74
Consommations de fioul m3	66	69	421	562	40	1159
Consommations électriques totales TWh	0,66	0,69	4,22	5,62	0,40	11,59
Fuites de fluides frigorigènes kg	1 465	1755	8 979	12 425	972	25 597
Serveurs rack (nb)						2 332
High range servers						57 337
Mid range servers						1 470 740
Volume servers						21 810
Application specific hardware						2 332
Disques durs 3.5						5 437 293
Disques durs 2.5						8 123 088
SSD						6 889 241
Storage controller						126 883
Port Réseau 1Gbit						407 944
Port réseau 10 Git						3 131 598
Port réseau 40/100 Gbit						1 863 184
Port de stockage						3 806 338
Taux de charge électrique du datacenter	40%	35%	50%	50%	60%	
Puissance IT installée MW	98	117	499	828	65	1 606
Puissance DC installée MW	188	226	963	1284	76	2 737
Puissance Froid installée MWf (N+1)	117	140	599	994	78	1928
Puissance de Groupes électrogènes MW elec (N+1)	226	271	1 155	1 541	91	3 284
Onduleurs (nb) ref 200kW	586	702	2993	4970	389	9 640
Tonnes de batteries	1 333	1 597	6 810	11 306	884	21 930

Tableau 60 - Synthèse des données d'inventaire – Datacenter

4.8. Traitement des données manquantes

4.8.1. Approche générique

En cas de données manquantes ou de difficultés de choix entre certaines sources de données (une fois la pertinence de la source évaluée), l'approche méthodologique choisie est d'attribuer le pire des cas – données pénalisantes. En effet, du fait du caractère itératif de l'analyse de cycle de vie, une telle approche permet d'identifier si les données sont sensibles ou non et, si nécessaire, de réaliser une analyse d'incertitude.

4.8.2. Durée de vie

Actuellement, il n'existe pas de définition harmonisée de la notion de durée de vie¹⁸³. Cette notion est comprise et interprétée différemment selon les acteurs concernés (fabricants, utilisateurs, opérateurs de traitement de fin de vie). La durée de vie peut faire référence à la durée de vie commerciale, à la durée de vie d'exploitation (de détention et d'exploitation prolongée) ou à la durée d'amortissement. Quatre différents concepts peuvent donc être proposés :

- **Durée de vie normative** : Durée de vie moyenne en fonctionnement mesurée dans des conditions d'essais particulières, définies dans des normes établies par des organismes tels que l'AFNOR, le CENELEC ou la IEC, par exemple, ou, par défaut, par des essais non normalisés, mais dont la méthodologie est explicite, transparente et reconnue.
- **Durée d'usage (operating lifetime selon la norme ITU L.1410)** : la durée d'utilisation du produit, c'est-à-dire en état de marche et prêt à l'emploi, par un utilisateur donné. Spécifique à l'utilisateur/ au foyer. Elle est en partie déterminée par la durée de vie commerciale (commercial lifetime), qui est la durée pendant laquelle un bien est détenu avant qu'un nouveau ne soit acheté pour le remplacer. La durée d'utilisation totale est la somme des durées d'utilité.
- **Durée de détention** : délai entre la date d'entrée dans le ménage (pas nécessairement nouvelle) et la date de sortie du ménage (travaillant ou non). Cela inclut le temps de stockage. Il est spécifique à l'utilisateur/au foyer. Il comprend une éventuelle réparation. La durée totale de détention est la somme des périodes détention. Il comprend au délai entre l'achat d'un nouvel appareil et son passage au statut de déchet, quel que soit l'état de l'appareil (en état de marche ou non). Il comprend la réparation et la réutilisation possibles. La durée totale de possession est ainsi supérieure ou égale à la durée totale d'utilisation, du fait du stockage éventuel d'appareils dans les ménages.
- **Durée de vie prolongée (extended operating lifetime selon la norme ITU L.1410) ou durée de vie d'existence** : délai entre la fin de fabrication du produit et son élimination, sa valorisation ou son recyclage. Elle diffère de la durée totale de détention en ce qu'elle inclut la réutilisation éventuelle d'un produit après qu'il soit devenu un déchet, ainsi que le délai entre la fin de la fabrication et le nouvel achat.

Ainsi, idéalement, l'équipement devrait être caractérisé en fonction de sa durée de vie utile. Cependant, le manque de transparence des sources, quant à la méthodologie utilisée pour définir la durée de vie, ne permet pas d'identifier avec précision pour tous les équipements leur durée de vie. En effet, il est extrêmement complexe de connaître la proportion et la durée des secondes vies des équipements.

4.8.3. Déchets électroniques

Les données relatives à la fin de vie effective (incluant les déchets sortant des filières conventionnelles) des appareils sont extrêmement difficiles à trouver, voire impossible en raison du manque de suivi des déchets électroniques.

Bien que certains projets tels que l'« Urban Mine Platform »¹⁸⁴ existent et aient été financés par l'Union européenne afin de décrire plus précisément les flux effectifs de déchets électroniques, ces projets sont limités dans le temps et présentent de fortes incertitudes. En effet, ces projets souffrent beaucoup du manque de données harmonisées entre les États membres et ne représentent qu'une partie des flux réels, à un moment donné- le projet « Urban Mine Platform » ne donne pas de données plus récentes que 2015 pour les flux de déchets électroniques.

Le rapport Global E-Waste Monitor 2020 est également intéressant pour avoir un aperçu global des problèmes de déchets électroniques, mais ne peut pas apporter de réponses aux flux spécifiques de déchets électroniques par appareil en France.

Même si des données et des éléments existent sur la quantité de gisement de DEEE et les quantités de ces déchets par filière de fin de vie, aucune donnée n'a été trouvée concernant les taux de collecte et de recyclage des déchets électroniques en France par appareil, le seul scénario de fin de vie suffisamment précis pour être modélisé à notre niveau de connaissance est un scénario théorique où la directive européenne DEEE est pleinement respectée.

¹⁸³ Étude sur la durée de vie des équipements électriques et électroniques – Rapport final - ADEME

¹⁸⁴ Urban Mine Platform : <http://www.urbanmineplatform.eu/homepage>

Sur cette base, nous avons considéré tous les déchets comme s'ils étaient traités dans des filières conventionnelles. Si cela conduit à une probable sous-estimation des impacts de fin de vie, deux autres alternatives auraient pu être prises en compte, soit en ne considérant pas tous les flux sortants des voies régulées, soit en considérant les flux hors filières comme allant soit en incinération, soit en stockage.

5. Résultats

Dans les tableaux suivants, les nombres avec la notation E, tel que 2,53E-06 doivent être lus comme : 2,53x10⁻⁶ (notation scientifique), ou 0,00000253 (notation décimale).

Dans les tableaux présentant des pourcentages, le total peut ne pas être égal à 100% du fait de l'arrondi.

Les résultats de l'ACVI sont des expressions relatives et qu'elles ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, les marges de sécurité ou les risques.

Les tableaux exprimés en pourcentages le sont, hors indication contraire, en pourcentage des impacts globaux, et non des impacts du sujet couvert par chaque tableau. De ce fait, la somme des pourcentages n'est pas nécessairement égale à 100%

5.1. Évaluation globale

5.1.1. Évaluation globale pour les équipements et infrastructures numériques pendant 1 an en France

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

	Épuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Épuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Émissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
Résultats	9,48E+05	7,96E+11	9,82E+07	2,63E+11	1,69E+10	9,80E+10	1,14E+03	4,22E+07	6,25E+10	2,00E+10	8,17E+11	1,75E+11
Intervalle de variation - minimum	68,5%	63,4%	69,8%	70,4%	69,9%	63,4%	65,2%	69,8%	74,0%	72,1%	63,5%	60,2%

Intervalle de variation - maximum	133,7%	150,9%	133,9%	131,8%	134,9%	154,8%	146,2%	133,8%	139,2%	138,1%	153,6%	158,4%
--	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Tableau 61 - Évaluation globale pour les équipements et infrastructures numériques pendant 1 an en France

L'intervalle de variation inclut à la fois les analyses de sensibilité permettant la prise en compte de l'incertitude sur les paramètres d'entrée, et certaines exclusions d'équipements et de réseaux. Pour plus de détails, voir le chapitre 6 Analyses de sensibilité.

De manière spécifique, l'impact sur le changement climatique est de 16,9 Mt eq. CO₂ (entre 11,8 et 22,8).

Afin de fournir quelques éléments de comparaison avec des valeurs tangibles, certains impacts peuvent être exprimés en équivalences :

- Les impacts sur le changement climatique sont légèrement supérieurs au secteur des déchets en France (14 MT eq. CO₂)¹⁸⁵, et correspondent aux émissions de CO₂ directes d'un parc de 12 344 994 véhicules particuliers (considérant 12 223 km par véhicule¹⁸⁶, et des émissions moyennes de 112 g CO₂ eq./km¹⁸⁷).
- La consommation électrique est égale à la consommation de 8 282 000 foyers français (considérant 29 012 000 de foyers¹⁸⁸, et 170 TWh de consommation électrique pour le secteur résidentiel¹⁸⁹).

De plus, à l'échelle française :

- La consommation électrique pour les équipements et infrastructures numériques en France est de 48,7 TWh, ce qui peut être comparé aux 474,4 TWh totaux¹⁹⁰, ce qui signifie que les équipements et infrastructures numériques sont responsables de 10% de la consommation électrique française.
- Les émissions de gaz à effet de serre émis par les équipements et infrastructures numériques en France sont égales à 16,9 Mt CO₂ eq., ce qui peut être comparé au 663¹⁹¹ MT CO₂ eq. total, ce qui signifie que les équipements et infrastructures numériques sont responsables de 2,5% de l'empreinte carbone de la France (approche mix de consommation – empreinte carbone)

Note : les comparaisons à l'échelle française ont pour but de proposer un prisme de comparaison complémentaire, mais ne doivent pas être comprises comme des résultats absolus. Les périmètres sont différents (certaines émissions relatives aux services numériques ont lieu hors France).

¹⁸⁵ Stratégie nationale bas-carbone – La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone – Synthèse - 2020

¹⁸⁶ Bilan annuel des transports en 2019 : bilan de la circulation, 2020, Ministère de la transition écologique

¹⁸⁷ <https://carlabelling.ademe.fr/chiffrescles/r/evolutionTauxCo2>

¹⁸⁸ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3676599?sommaire=3696937#titre-bloc-3>

¹⁸⁹ Bilan électrique 2019, RTE

¹⁹⁰ Source : IEA <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=FRANCE&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=TotElecCons>

¹⁹¹ Année 2019. Source : Ministère de la transition écologique <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/estimation-de-lempreinte-carbone-de-1995-2019#:~:text=M%C3%A9thodologie-En%202019%2C%20l'empreinte%20carbone%20est%20estim%C3%A9e%20%C3%A0%20663%20millions.France%20a%20augment%C3%A9%20de%207%20%25.>

5.1.2. Résultats normalisés et pondérés

Afin de déterminer l'importance relative de chaque impact par rapport aux autres, les résultats ont été normalisés et pondérés, sur la base de la méthode EF 3.0.

Seuls les indicateurs d'impacts peuvent être traités. Les autres indicateurs (MIPS, Production de déchets, Consommation d'énergie primaire, Consommation d'énergie finale (usage)) ne sont donc pas présentés.

5.1.2.1. Normalisation

La première étape est la normalisation, qui a pour but de quantifier chaque impact comme un équivalent en habitant du monde. Autrement dit, les impacts sont calculés en considérant la quantité de personnes générant le même niveau d'impact, en considérant une répartition homogène des impacts sur l'ensemble des habitants de la Terre. Par exemple, une valeur de 50 pour le changement climatique signifie que les impacts sur le changement climatique sont équivalents aux émissions annuelles de 50 personnes.

Les résultats normés fournissent une compréhension de l'ordre de grandeur des impacts des équipements et infrastructures numériques pour chaque catégorie d'impact. Plus un nombre est élevé, plus les équipements et infrastructures numériques contribuent à la problématique environnementale concernée.

La méthode utilisée est celle développée dans le JRC dans le PEF guidance v.6.3.

Les résultats normalisés sont les suivants :

	Épuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Épuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Toxicité humaine - cancer	Toxicité humaine - non-cancer	Eutrophisation d'eau douce	Eutrophisation marine	Eutrophisation terrestre	Changement climatique	Radiations ionisantes	Destruction de la couche d'ozone	Émissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	Épuisement de la ressource en eau
Habitants du monde	14 902 946	12 252 844	1 767 363	6 170 042	353 333	728 675	-577 239	886 060	835 252	2 093 266	23 222 872	57 667	1 921 044	1 040 576	521 601

Tableau 62 - Résultats normalisés

L'indicateur d'épuisement de la ressource en eau donne des résultats non cohérents du fait d'une surreprésentation de la fin de vie liée aux données utilisées. Ce point a été identifié, mais n'a pas pu être corrigé dans le temps de l'étude. De ce fait, il a été choisi de ne pas prendre cet indicateur en considération.

5.1.2.2. Pondération

Enfin, les résultats normalisés sont pondérés, ce qui signifie que leurs importances relatives sont déterminées selon une méthodologie développée par le JRC¹⁹², se basant pour moitié sur un sondage du public et d'experts, et pour moitié sur un jugement d'experts fondé sur les limites planétaires. Dans cette partie, tous les impacts environnementaux ont été calculés, du fait que les résultats pondérés sont utilisés pour sélectionner les indicateurs retenus (voir chapitre 2.1.2.4.1 Sélection, classification et caractérisation des impacts).

Comme indiqué dans le chapitre 2.1.2.4.1 Sélection, classification et caractérisation des impacts, les impacts sur l'épuisement de la ressource en eau et sur le changement d'affectation des sols ne sont pas considérés du fait d'une mauvaise prise en compte de ces indicateurs dans les données. Ils ne sont donc pas pris en compte dans ce calcul.

Les résultats sont les suivants :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Toxicité humaine - cancer	Toxicité humaine - non cancer	Eutrophisation d'eau douce	Eutrophisation marine	Eutrophisation terrestre	Changement climatique	Radiations ionisantes	Destruction de la couche d'ozone	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique
Total	26,38%	23,91%	2,57%	2,78%	0,18%	0,31%	-0,38%	0,62%	0,73%	10,34%	27,28%	0,09%	4,04%	1,17%
Total hors catégories d'impact relatives à la toxicité	27,28%	24,71%	2,66%	2,87%	0,18%	0,33%	-0,39%	0,64%	0,75%	10,69%	28,20%	0,09%	4,17%	1,21%

Tableau 63 - Résultats normalisés et pondérés

Ces résultats doivent être lus comme suit : l'indicateur d'épuisement des ressources abiotiques naturelles – éléments contribue à hauteur de 27,28% aux impacts environnementaux globaux liés aux équipements et infrastructures numériques en France.

En conformité avec le PEFCR guidance v6.3¹⁹³ : "The most relevant impact categories shall be identified as all impact categories that cumulatively contribute to at least 80% of the total environmental impact (excluding toxicity related impact categories). This should start from the largest to the smallest contributions" (les catégories d'impact les plus pertinentes doivent être identifiées comme l'ensemble des catégories d'impact qui contribuent cumulativement à plus de 80% de l'ensemble des impacts environnementaux (hors impacts relatifs à la toxicité). Cette liste est constituée en commençant par la contribution la plus grande, vers la plus petite).

Les impacts les plus importants contribuant à plus de 80% sont, dans l'ordre :

- Radiations ionisantes ;
- Epuisement des ressources abiotiques naturelles – éléments ;

¹⁹² Joint Research Center <https://ec.europa.eu/jrc/en>

¹⁹³ https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf

- Epuisement des ressources abiotiques naturelles – fossiles ;
- Changement climatique.

Afin d'assurer une cohérence par rapport à une étude européenne (en cours de développement), les indicateurs suivants ont également été calculés :

- Acidification ;
- Emissions de particules fines ;
- Création d'ozone photochimique.

L'indicateur "Ecotoxicité" a été ajouté à la liste malgré l'incertitude associée afin de fournir une vision sur un aspect environnemental différent relative aux équipements et infrastructures numériques.

Les autres indicateurs n'ont pas été retenus.

Ce travail montre notamment l'importance d'avoir une approche multicritère : l'impact souvent utilisé sur le réchauffement climatique ne permet pas d'avoir une vision exhaustive des problématiques environnementales liées au numérique.

Note : la pondération est une étape de l'ACV qui permet de sélectionner les indicateurs les plus pertinents. En revanche, elle ne doit pas être comprise comme permettant le calcul d'une note unique, ou donnant une importance relative aux indicateurs. L'ensemble des indicateurs retenus doivent être pris en considération sans ordre de priorité.

5.1.3. Impacts environnementaux moyen pour un français

Ce chapitre a pour but de fournir une vision sur les impacts environnementaux relatifs à un habitant en France.

La population française a été définie à 67 063 703¹⁹⁴.

Les impacts pour un français sont donc :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
1,41E-02	1,19E+04	1,46E+00	3,93E+03	2,53E+02	1,46E+03	1,71E-05	6,30E-01	9,32E+02	2,99E+02	1,22E+04	2,61E+03

Tableau 64 - Impacts environnementaux moyen pour un français

¹⁹⁴ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1892086?sommaire=1912926>

De manière spécifique, l'impact sur le changement climatique est de 253 kg eq. CO₂/hab français.

Afin de fournir quelques éléments de comparaison avec des valeurs tangibles, certains impacts peuvent être exprimés en équivalents :

- Les impacts sur le changement climatique sont similaires à 2 259 km en voiture.
- La production de déchets est égale à 299 kg.
- La masse de matériaux déplacée est égale à 932 kg.
- La consommation électrique est égale à 1 radiateur électrique (1 000 W) alimentés sans interruption pendant 30 jours.

5.1.4. Comparaison avec la littérature

Les résultats peuvent être comparés avec la littérature existante pour déterminer les différences potentielles ainsi que les similarités. La plupart des études se focalisent sur les indicateurs de consommation d'énergie primaire, de consommation d'énergie finale et de changement climatique.

L'extrapolation pour la France s'est basée sur le PIB. Il est important de noter que l'année de référence n'est pas toujours 2020 : il y a une évolution rapide dans le domaine du numérique, ce qui peut amener à des différences d'impact. De plus, les mix électriques utilisés pour les différentes zones géographiques sont différents, considérant que le mix français est peu carboné. Enfin, le périmètre des équipements pris en compte peut varier.

Etude	Année	Périmètre	Impacts pour le périmètre considéré par l'étude			Impact pour le périmètre Français		
			Changement climatique - kg CO ₂ eq.	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ	Changement climatique - kg CO ₂ eq.	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
[1] Etude ADEME/ARCEP	2021	France				1,69E+10	8,17E+11	1,75E+11
[2] « Impacts environnementaux du numérique en France », 2020, greenIT.fr ¹⁹⁵	2020	France	2,4E+10	6,48E+11		2,4E+10 142,0%	6,48E+11 79,3%	
[3] « Empreinte carbone du numérique en France : des politiques publiques suffisantes pour faire face à l'accroissement des usages ? », Juin 2020, Sénat - CITIZING	2020	France	1,5E+10	5,33E+11	1,63E+11	1,5E+10 88,8%	5,33E+11 65,2%	1,63E+11 93,1%
[4] « Lean ICT – Pour une sobriété numérique », 2018, Shift Project ¹⁹⁶	2020	World	1.7E+12		1.04E+13	5,27E+10 311,8%		3,22E+11 184,0%

¹⁹⁵ <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2020/06/2020-06-iNum-etude-impacts-numerique-France-rapport.pdf>

¹⁹⁶ <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf>

[5] « The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015 », 2018, J. Malmudin, D. Lundén ¹⁹⁷	2015	World	1.37E+12		5E+12	4,25E+10 251,5%		1,55E+11 88,6%
[6] « Empreinte environnementale du numérique mondial », 2019, greenIT.fr ¹⁹⁸	2019	World	1.4E+12	2.45E+13	4.68E+12	4,34E+10 256,8%	7,59E+11 92,9%	1,45E+11 82,9%

Tableau 65 - Comparaison avec la littérature

Les pourcentages sont exprimés par rapport à l'étude ADEME/ARCEP.

Les résultats des études au niveau français sont dans un ordre de grandeur similaire (entre 65,2% et 142,0%).

Les études au niveau mondial, extrapolées au niveau français montrent un impact plus important sur l'indicateur de changement climatique (du fait de l'utilisation d'un mix mondial, plus carboné que le mix français), et à une exception près des impacts moins importants sur la consommation d'énergie (du fait à la fois d'un périmètre différent et du fait que la France dispose d'un taux d'équipement numérique important par rapport à la moyenne mondiale).

¹⁹⁷ <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3027/htm>

¹⁹⁸ https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/11/GREENIT_EENM_etude_EN_accessible.pdf

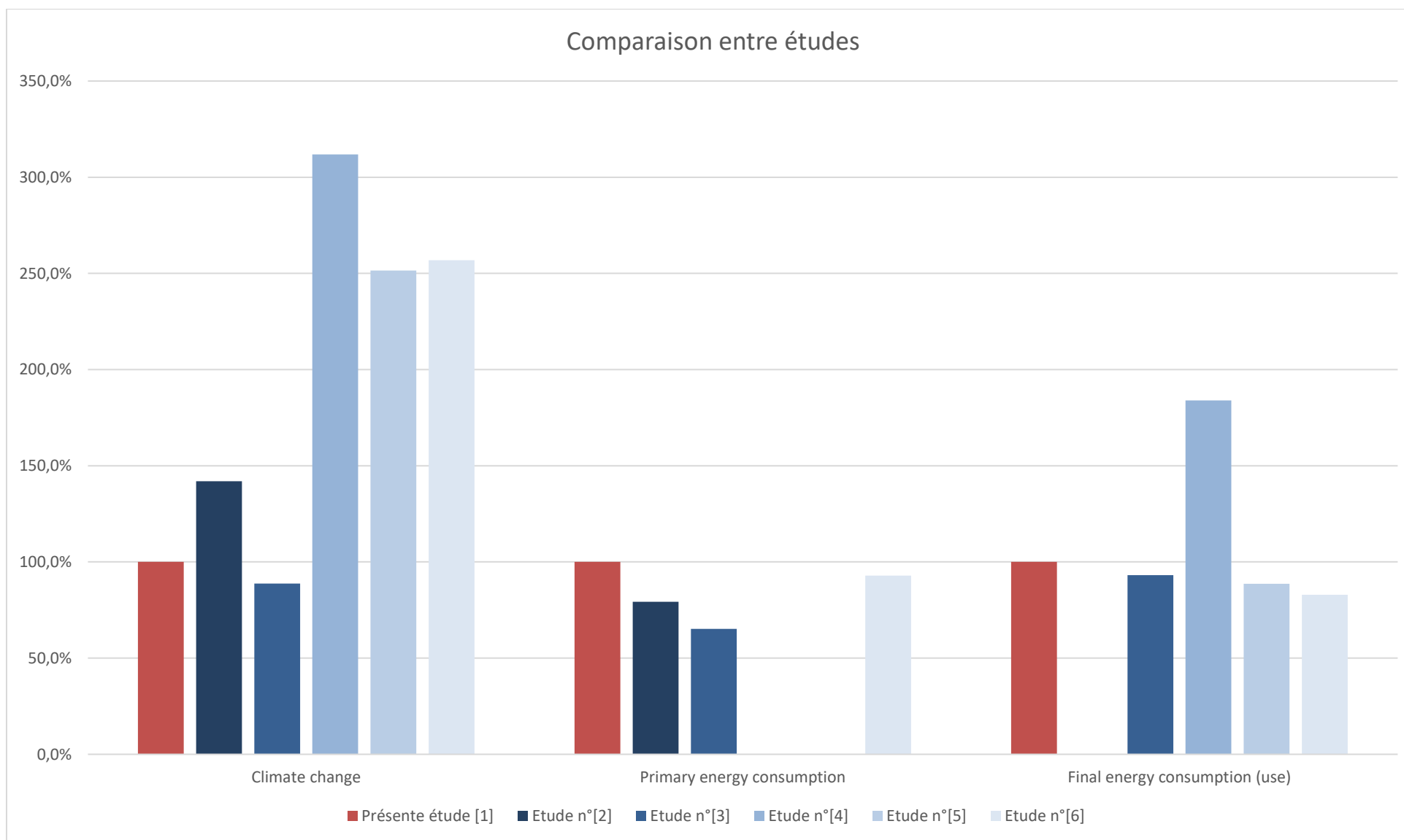


Figure 11 - Comparaison avec la littérature

5.2. Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques

Ce chapitre a pour but de proposer un premier niveau de distribution d'impact selon les trois tiers (terminaux utilisateurs, réseaux et datacenters).

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
TIER 1 – Terminaux utilisateur	91,8%	68,4%	79,9%	83,0%	78,7%	67,7%	71,5%	80,0%	78,0%	86,7%	66,3%	63,6%
TIER 2 - Réseaux	4,1%	11,6%	4,9%	1,9%	5,5%	13,0%	9,8%	5,2%	6,8%	5,5%	12,4%	14,1%
TIER 3 – Centres de données	4,1%	20,0%	15,2%	15,0%	15,9%	19,3%	18,7%	14,7%	15,2%	7,9%	21,2%	22,3%

Tableau 66 - Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques

Cela montre que les terminaux utilisateur sont responsables de la majorité des impacts pour chaque indicateur (entre 63,6% et 92% des impacts), suivi par les centres de données et les réseaux (respectivement entre 4% et 22,3%, et entre 2% et 14 %).

Ces résultats étaient attendus, en ligne avec les études existantes. Ils sont expliqués par le volume d'équipement qui est bien plus important pour les terminaux, même si leurs impacts individuels sont plus faibles (par exemple pour un ordinateur fixe par rapport à un serveur), et leur usage moins intensif.

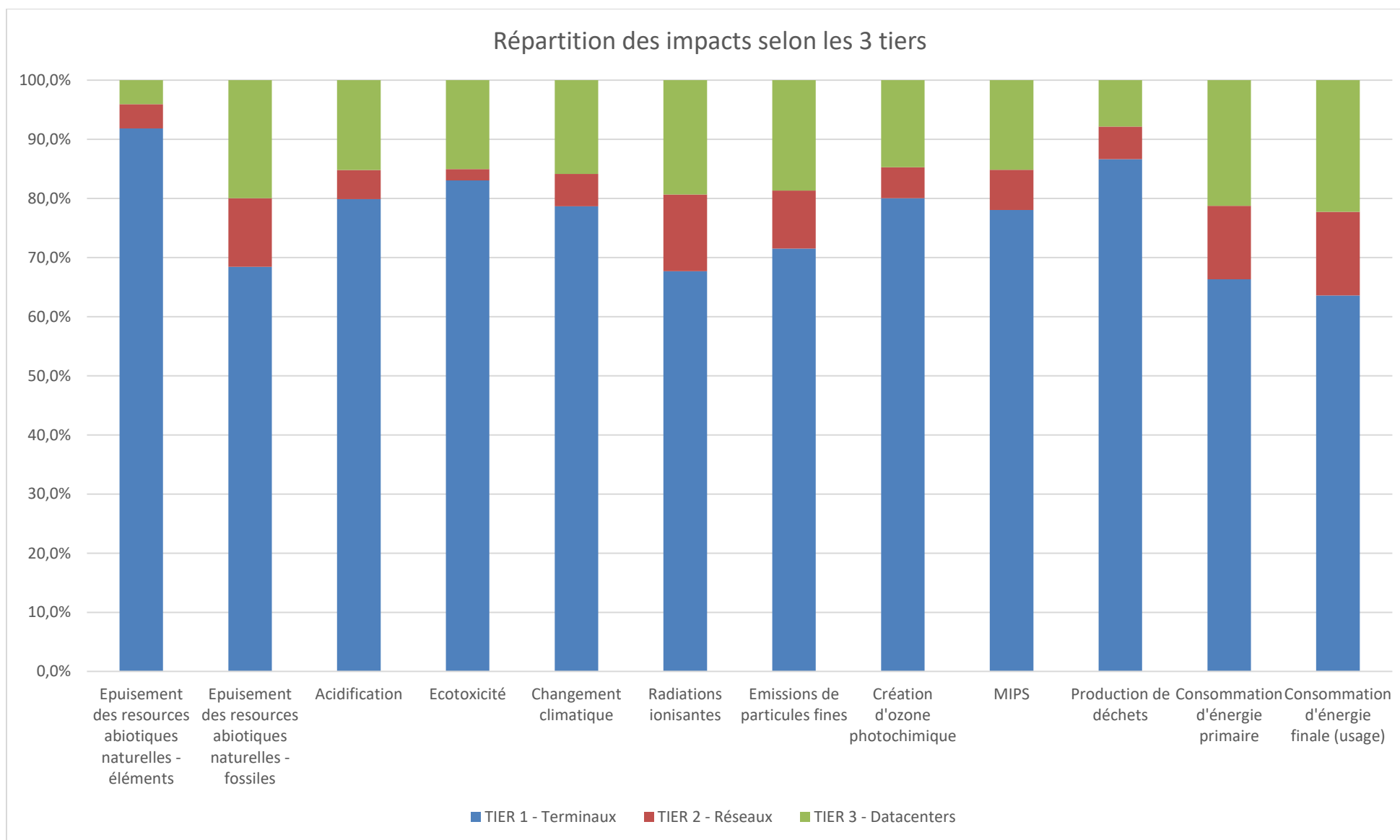


Figure 12 - Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques

5.3. Décomposition par phase du cycle de vie

Ce chapitre a pour but de proposer un second niveau de distribution d'impact selon les trois tiers (terminaux utilisateurs, réseaux et datacenters) et selon les phases du cycle de vie (fabrication, distribution, utilisation et fin de vie).

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
<i>TIER 1 - Fabrication</i>	110,2%	20,8%	70,0%	66,3%	64,7%	16,6%	34,4%	67,3%	77,9%	85,4%	15,1%	0,0%
<i>TIER 1 - Distribution</i>	0,2%	0,2%	2,2%	0,5%	0,9%	0,0%	0,5%	4,0%	0,2%	0,2%	0,2%	0,0%
<i>TIER 1 - Utilisation</i>	0,1%	47,4%	11,2%	4,8%	13,2%	51,2%	37,8%	11,2%	8,1%	1,2%	51,0%	63,6%
<i>TIER 1 - Fin de vie</i>	-18,7%	0,0%	-3,5%	11,4%	-0,1%	-0,1%	-1,1%	-2,4%	-8,2%	-0,1%	-0,1%	0,0%
<i>TIER 2 - Fabrication</i>	6,1%	1,1%	2,9%	2,2%	2,5%	1,6%	1,5%	2,7%	6,0%	5,1%	1,1%	0,0%
<i>TIER 2 - Distribution</i>	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>TIER 2 - Utilisation</i>	0,0%	10,5%	2,5%	1,1%	2,9%	11,3%	8,4%	2,5%	1,8%	0,3%	11,3%	14,1%
<i>TIER 2 - Fin de vie</i>	-2,0%	0,0%	-0,7%	-1,4%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,3%	-1,0%	0,1%	0,0%	0,0%
<i>TIER 3 - Fabrication</i>	5,2%	3,3%	11,4%	12,8%	10,8%	1,4%	5,4%	10,7%	12,8%	7,5%	3,4%	0,0%
<i>TIER 3 - Distribution</i>	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,0%	0,1%	0,3%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%
<i>TIER 3 - Utilisation</i>	0,0%	16,6%	3,9%	1,7%	4,9%	17,9%	13,2%	3,9%	2,8%	0,4%	17,9%	22,3%
<i>TIER 3 - Fin de vie</i>	-1,3%	0,0%	-0,3%	0,5%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,2%	-0,6%	0,0%	0,0%	0,0%

<i>Fabrication – Total</i>	121,5%	25,1%	84,3%	81,2%	78,0%	19,6%	41,3%	80,7%	96,7%	98,0%	19,6%	0,0%
<i>Distribution – Total</i>	0,3%	0,3%	2,6%	0,7%	1,1%	0,0%	0,6%	4,6%	0,3%	0,3%	0,3%	0,0%
<i>Utilisation – Total</i>	0,2%	74,6%	17,6%	7,6%	21,0%	80,4%	59,4%	17,6%	12,8%	1,8%	80,3%	100,0%
<i>Fin de vie – Total</i>	-22,0%	0,0%	-4,4%	10,5%	-0,1%	-0,1%	-1,4%	-2,9%	-9,7%	0,0%	-0,1%	0,0%

Tableau 67 - Décomposition par phase du cycle de vie

Ces résultats montrent que la phase de fabrication est la principale source d'impact pour les trois tiers, suivi de la phase d'utilisation.

Concernant la fabrication, les impacts sont importants pour deux raisons principales :

- Les équipements relatifs aux équipements et infrastructures numériques sont très demandeurs en énergie pour leur fabrication. Cette énergie est principalement produite dans les pays avec un mix fortement carboné (Asie, Etats-Unis). Cela entraîne de forts impacts pour la plupart des indicateurs.
- Ces équipements utilisent une quantité importante de matière rares (or, argent, cuivre, terres rares, etc.). Ces matériaux requièrent également beaucoup de ressources et d'énergie, et génère beaucoup de déchets (principalement des roches extraites). Cela explique les impacts élevés sur les ressources et la production de déchets.

Concernant l'utilisation, les impacts viennent majoritairement de la consommation d'électricité.

La fin de vie présente principalement des impacts négatifs sur l'épuisement des ressources abiotiques naturelles – élément, et sur le MIPS, du fait du bénéfice du recyclage qui évite la production de matière vierge.

La distribution a un impact moins important, mais non négligeable. Il faut noter que dans le cas de transport en avion (smartphones et tablettes principalement), les impacts de distribution sont plus élevés.

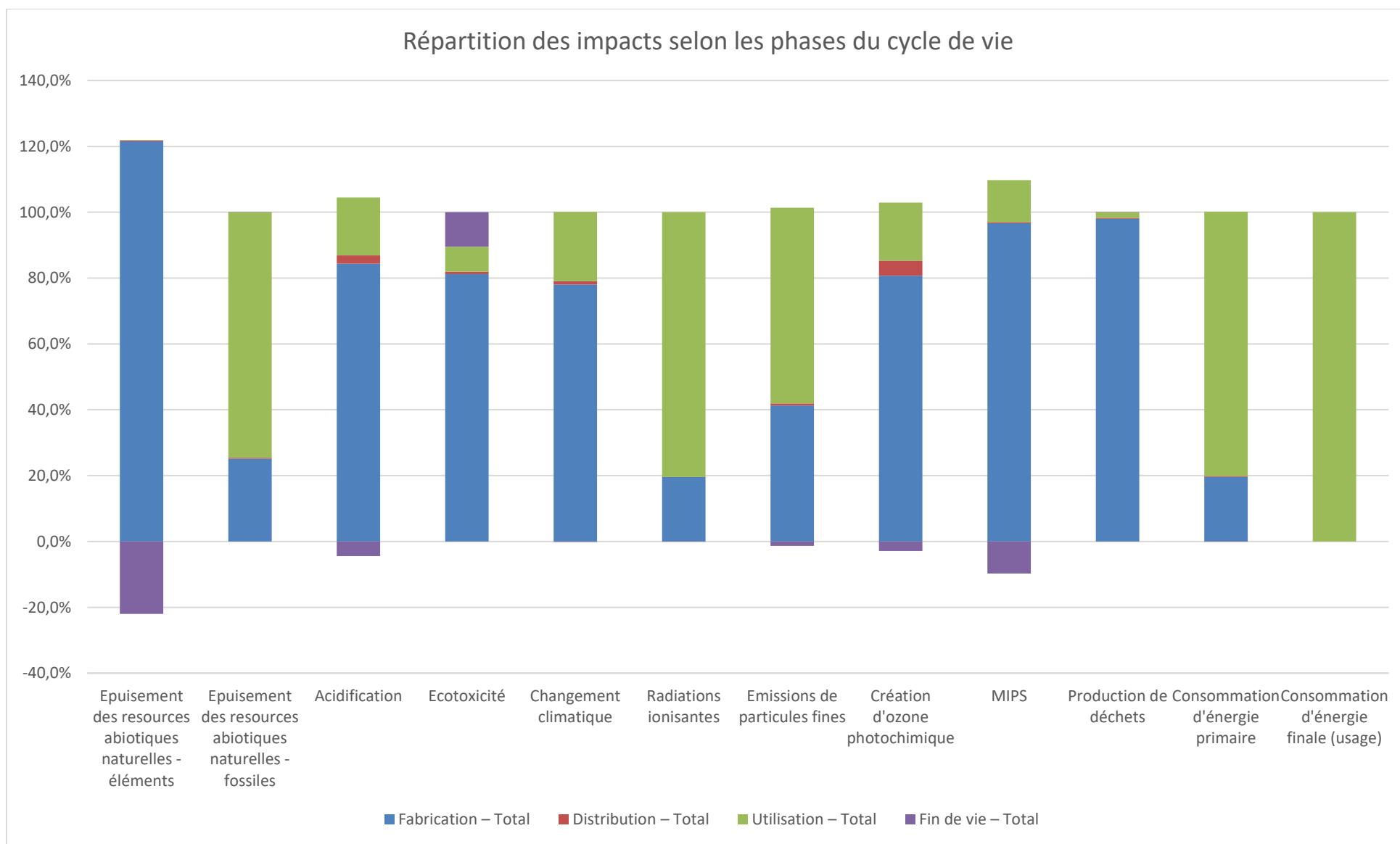


Figure 13 - Décomposition par phase du cycle de vie

5.4. Répartition des impacts personnel / professionnel

Ce chapitre présente la répartition entre les impacts reliés aux usages personnels et professionnels. Cette répartition est nécessairement imparfaite, du fait que de nombreux usages professionnels sont en réalité mis au service des particuliers. Par exemple, un serveur hébergé par une entreprise pourra fournir un service à un particulier. De la même façon, certains équipements peuvent avoir un double usage (par exemple un smartphone utilisé personnellement et professionnellement).

La définition de personnel et professionnel est donnée au chapitre 3.2.2 Fonction et unité fonctionnelle.

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
TIER 1 - Usage personnel	57,8%	39,9%	52,0%	53,7%	51,3%	39,0%	43,2%	52,1%	42,1%	46,3%	36,2%	34,9%
TIER 1 - Usage professionnel	34,1%	28,5%	27,8%	29,4%	27,4%	28,7%	28,3%	27,9%	36,0%	40,3%	30,1%	28,7%
TIER 2 - Usage personnel	3,8%	10,7%	4,5%	1,8%	5,0%	12,0%	9,0%	4,8%	6,3%	5,1%	11,5%	13,0%
TIER 2 - Usage professionnel	0,3%	0,9%	0,4%	0,1%	0,4%	1,0%	0,8%	0,4%	0,5%	0,4%	1,0%	1,1%
TIER 3 - Usage personnel	1,0%	4,6%	3,5%	3,6%	3,7%	4,5%	4,3%	3,4%	3,6%	1,9%	4,9%	5,2%
TIER 3 - Usage professionnel	3,1%	15,3%	11,7%	11,5%	12,2%	14,8%	14,4%	11,3%	11,5%	6,0%	16,3%	17,1%
TOTAL - Usage personnel	62,5%	55,3%	60,1%	59,0%	60,0%	55,4%	56,6%	60,4%	52,0%	53,3%	52,6%	53,1%
TOTAL - Usage professionnel	37,5%	44,7%	39,9%	41,0%	40,0%	44,6%	43,4%	39,6%	48,0%	46,7%	47,4%	46,9%

Tableau 68 - Répartition des impacts personnel / professionnel

Ces résultats montrent que les usages personnels et professionnels sont équivalents, avec une prévalence pour les usages personnels. La répartition est cependant différente en fonction des tiers :

- Concernant les terminaux et les réseaux, l'usage personnel est prédominant. En effet, il y a un plus grand nombre d'équipements, et l'utilisation du réseau est plus importante du fait en premier lieu de la vidéo.
- Concernant les centres de données, l'usage professionnel est prédominant. En effet, une partie importante des centres de données est directement utilisé par les entreprises.

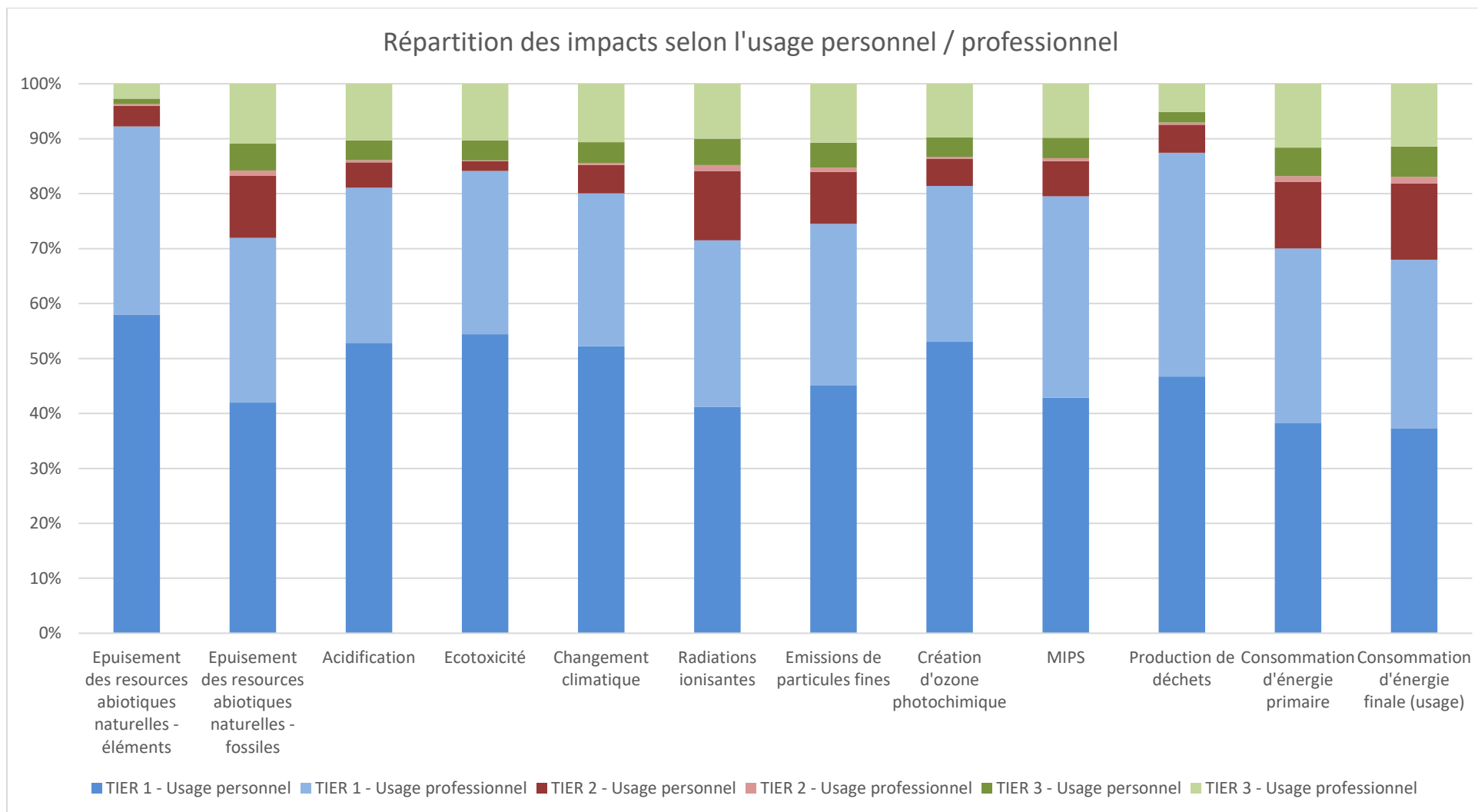


Figure 14 - Répartition des impacts personnel / professionnel

5.5. Focus spécifique sur chaque tier des équipements et infrastructures numériques

Les chapitres suivants ont pour but de fournir une analyse en profondeur des causes d'impact relatives aux équipements et infrastructures numériques en France. Chaque tier (terminaux utilisateur, réseau et centres de données) sont analysés individuellement.

Rappel : les tableaux exprimés en pourcentages le sont, hors indication contraire, en pourcentage des impacts globaux, et non des impacts du sujet couvert par chaque tableau. De ce fait, la somme des pourcentages n'est pas nécessairement égale à 100%

5.5.1. TIER 1 – Terminaux utilisateurs

5.5.1.1. Analyse de contribution

Les terminaux utilisateurs représentent une large variété d'équipement, avec des impacts environnementaux et des quantités variées. Ce chapitre détaille les résultats afin d'identifier les principaux contributeurs.

		Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Ordinateurs		25,70%	17,30%	28,10%	35,30%	27,10%	16,10%	20,10%	27,00%	25,40%	28,60%	16,30%	13,50%
	Ordinateurs portables	12,40%	6,20%	13,00%	15,50%	12,40%	4,40%	8,20%	12,20%	6,20%	7,80%	4,70%	4,10%
	Ordinateurs fixes	9,90%	9,50%	10,30%	14,40%	10,00%	11,00%	9,40%	9,50%	15,00%	14,00%	9,90%	8,80%
	Tablettes	3,40%	1,60%	4,80%	5,40%	4,70%	0,70%	2,50%	5,30%	4,20%	6,80%	1,70%	0,60%
Téléphones		9,50%	5,70%	15,90%	16,30%	15,50%	2,30%	8,40%	16,40%	3,10%	3,40%	2,40%	2,20%
	Smartphones	7,80%	4,20%	14,60%	15,40%	14,30%	0,80%	6,90%	15,20%	1,20%	1,40%	0,80%	0,50%
	Feature phones	1,40%	0,10%	0,60%	0,50%	0,50%	0,00%	0,30%	0,50%	0,70%	1,30%	0,10%	0,00%
	Téléphones (lignes fixes)	0,30%	1,40%	0,70%	0,40%	0,70%	1,50%	1,20%	0,70%	1,20%	0,70%	1,50%	1,70%
Ecrans et matériel audiovisuel		46,60%	32,30%	22,50%	17,60%	22,50%	35,10%	29,50%	23,20%	32,30%	41,20%	33,80%	35,10%
	Ecrans d'ordinateurs	7,40%	4,60%	3,40%	2,50%	3,40%	4,80%	4,20%	3,60%	2,80%	3,10%	4,40%	4,80%

	Téléviseurs	30,00%	19,30%	13,80%	11,00%	13,70%	20,10%	17,40%	14,20%	21,10%	28,60%	20,40%	20,70%
	Vidéo-projecteurs	0,40%	1,40%	0,60%	0,50%	0,70%	1,70%	1,50%	0,70%	0,70%	0,60%	1,50%	1,70%
	Box TV	3,20%	2,50%	2,00%	1,60%	2,00%	3,70%	2,40%	1,90%	3,70%	3,60%	2,70%	2,80%
	Autres écrans	5,60%	4,50%	2,70%	2,00%	2,70%	4,80%	4,00%	2,80%	4,00%	5,30%	4,80%	5,10%
Consoles		4,50%	1,60%	2,70%	2,80%	2,60%	2,80%	2,00%	2,60%	4,00%	4,30%	1,70%	1,30%
	Consoles de jeux vidéo de salon	4,20%	1,40%	2,00%	2,10%	1,90%	2,60%	1,60%	1,90%	3,40%	3,80%	1,50%	1,20%
	Consoles de jeux vidéo portables	0,30%	0,20%	0,70%	0,70%	0,70%	0,20%	0,40%	0,70%	0,60%	0,50%	0,20%	0,10%
Stockage		1,20%	0,70%	2,50%	2,60%	2,50%	0,10%	1,20%	2,20%	2,20%	1,80%	0,70%	0,00%
	HDD externes	0,90%	0,10%	0,30%	0,50%	0,30%	0,10%	0,20%	0,30%	0,60%	1,20%	0,10%	0,00%
	SSD externes	0,10%	0,40%	1,50%	1,40%	1,50%	0,00%	0,70%	1,30%	1,00%	0,30%	0,40%	0,00%
	Clés USB & Micro SD	0,20%	0,20%	0,70%	0,70%	0,70%	0,00%	0,30%	0,60%	0,60%	0,30%	0,20%	0,00%
Autres		4,30%	3,40%	4,40%	5,80%	4,30%	3,00%	3,60%	4,80%	6,40%	5,50%	3,50%	2,60%
	Imprimantes	0,10%	3,10%	3,60%	4,60%	3,50%	2,70%	3,20%	4,00%	3,80%	3,90%	3,20%	2,50%
	Stations d'accueil	4,20%	0,30%	0,80%	1,20%	0,80%	0,30%	0,40%	0,80%	2,60%	1,60%	0,30%	0,10%
IoT		0,30%	5,80%	3,40%	3,10%	3,90%	6,40%	5,20%	3,90%	5,10%	2,40%	6,10%	6,60%
	Enceintes connectées	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%
	IoT	0,20%	5,70%	3,30%	3,00%	3,80%	6,30%	5,10%	3,80%	5,00%	2,30%	6,00%	6,50%

Tableau 69 - Terminaux utilisateurs - Analyse de contribution

Sur la majorité des indicateurs, les téléviseurs sont les principaux responsables des impacts (entre 11% et 30%). Le nombre d'équipements associé aux impacts importants pour la fabrication ainsi qu'à la consommation d'énergie explique ce résultat.

Puis, avec des impacts entre 5% et 15%, les équipements suivants sont :

- Du fait du nombre élevé d'équipement et de leurs impacts individuels :
 - Ordinateurs portables
 - Tablettes
 - Smartphones
 - Ordinateurs fixes
 - Box TV

- Consoles de jeux vidéo de salon
- Imprimantes
- Autres écrans
- Du fait du nombre élevé d'équipements, bien que leurs impacts individuels soient faibles :
 - IoT

Les autres équipements causent des impacts moins importants du fait de leur nombre ou de leur impact individuel.

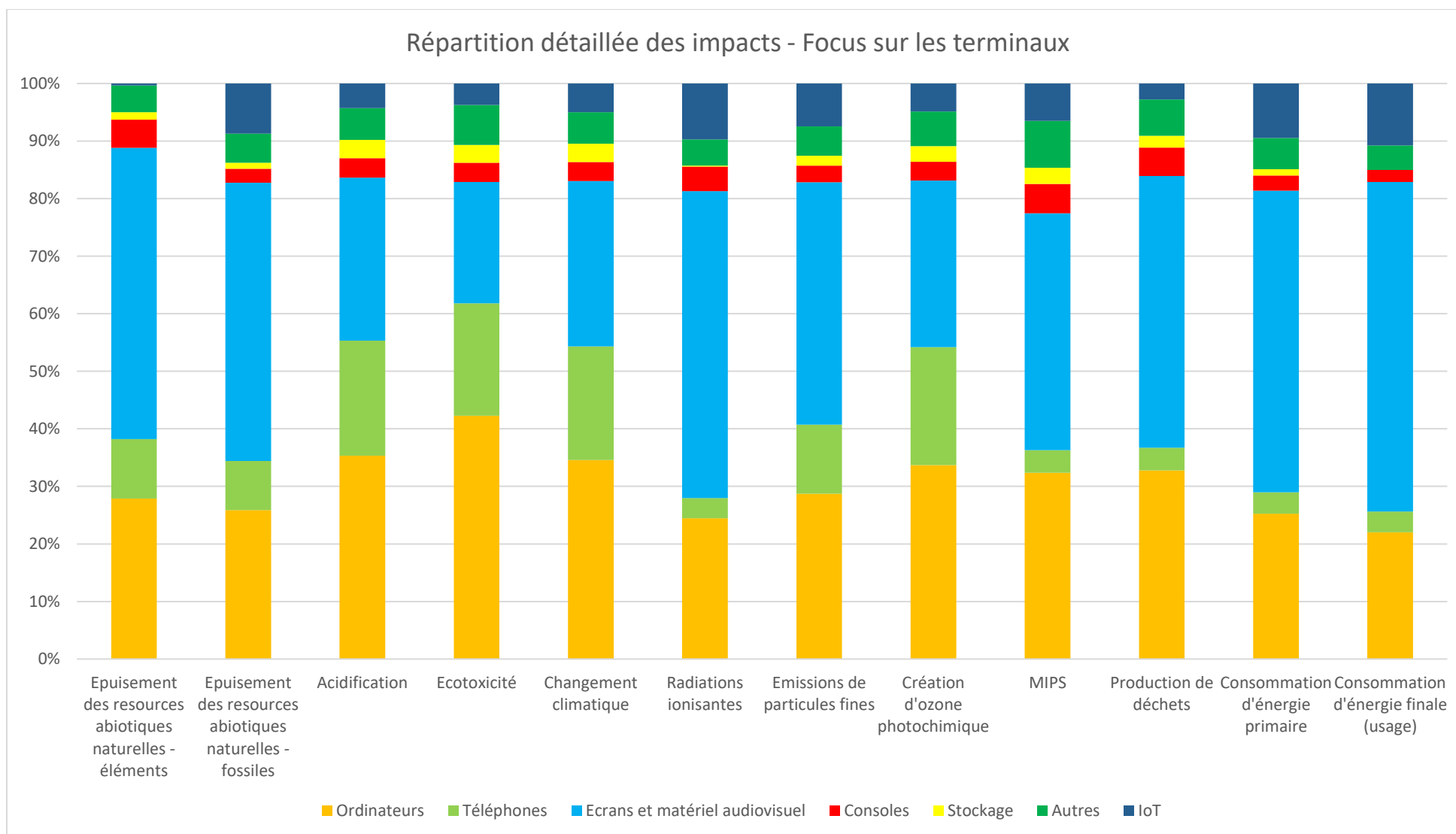


Figure 15 - Terminals utilisateurs - Analyse de contribution

5.5.1.1.1.Focus sur la fabrication, distribution et fin de vie des terminaux utilisateurs

Les phases de fabrication, distribution et fin de vie des équipements ont des impacts reliés à leurs acquisition et fin de vie (par opposition à la phase d'usage qui est reliée au comportement utilisateur pendant l'usage). Il est donc intéressant d'analyser les résultats de manière séparée.

		Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Ordinateurs		27,90%	35,00%	37,40%	43,50%	37,10%	32,70%	36,30%	35,70%	33,40%	32,90%	36,60%	0,00%
	Ordinateurs portables	13,50%	15,10%	17,80%	19,30%	17,60%	6,70%	17,20%	16,60%	8,00%	9,00%	9,30%	0,00%
	Ordinateurs fixes	10,70%	14,00%	12,70%	17,40%	12,50%	24,50%	12,50%	11,50%	19,60%	16,10%	19,10%	0,00%
	Tablettes	3,70%	5,90%	6,90%	6,80%	7,00%	1,50%	6,60%	7,60%	5,80%	7,80%	8,20%	0,00%
Téléphones		10,30%	19,80%	22,60%	20,60%	23,10%	3,30%	21,60%	23,30%	4,10%	3,90%	4,50%	0,00%
	Smartphones	8,40%	18,60%	21,20%	19,50%	21,80%	2,30%	20,20%	21,90%	1,70%	1,60%	2,90%	0,00%
	Feature phones	1,50%	0,60%	0,80%	0,70%	0,80%	0,10%	0,80%	0,80%	1,00%	1,50%	0,80%	0,00%
	Téléphones (lignes fixes)	0,40%	0,60%	0,60%	0,40%	0,50%	0,90%	0,60%	0,60%	1,40%	0,80%	0,80%	0,00%
Ecrans et matériel audiovisuel		50,70%	28,20%	23,60%	18,80%	22,90%	40,00%	25,00%	24,30%	39,30%	47,00%	35,70%	0,00%
	Ecrans d'ordinateurs	8,00%	4,60%	3,70%	2,70%	3,60%	5,20%	3,90%	3,90%	3,10%	3,50%	3,30%	0,00%
	Téléviseurs	32,60%	18,00%	14,70%	11,90%	14,20%	20,40%	14,90%	15,20%	26,10%	32,70%	24,70%	0,00%
	Vidéo- projecteurs	0,50%	0,50%	0,50%	0,40%	0,50%	2,00%	1,30%	0,50%	0,70%	0,60%	0,70%	0,00%

	Box TV	3,50%	2,00%	2,10%	1,80%	2,20%	8,60%	2,20%	2,00%	4,70%	4,10%	2,70%	0,00%
	Autres écrans	6,10%	3,10%	2,60%	2,00%	2,40%	3,80%	2,70%	2,70%	4,70%	6,10%	4,30%	0,00%
Consoles		4,90%	3,20%	3,60%	3,50%	3,70%	10,80%	3,60%	3,50%	5,50%	4,90%	4,50%	0,00%
	Consoles de jeux vidéo de salon	4,60%	2,30%	2,60%	2,60%	2,60%	9,80%	2,60%	2,50%	4,60%	4,40%	3,20%	0,00%
	Consoles de jeux vidéo portables	0,30%	0,90%	1,00%	0,90%	1,10%	1,00%	1,00%	1,00%	0,90%	0,50%	1,30%	0,00%
Stockage		1,30%	3,00%	3,60%	3,30%	3,70%	0,70%	3,40%	3,20%	3,10%	2,10%	4,30%	0,00%
	HDD externes	1,00%	0,30%	0,40%	0,70%	0,40%	0,40%	0,50%	0,40%	0,90%	1,40%	0,50%	0,00%
	SSD externes	0,10%	1,80%	2,20%	1,80%	2,30%	0,10%	2,00%	1,90%	1,40%	0,40%	2,60%	0,00%
	Clés USB & Micro SD	0,20%	0,90%	1,00%	0,80%	1,00%	0,20%	0,90%	0,90%	0,80%	0,30%	1,20%	0,00%
Autres		4,60%	7,00%	5,90%	7,10%	5,80%	5,80%	6,30%	6,30%	8,60%	6,20%	9,40%	0,00%
	Imprimantes	0,10%	5,90%	4,70%	5,60%	4,60%	4,50%	5,10%	5,20%	4,90%	4,40%	7,90%	0,00%
	Stations d'accueil	4,50%	1,10%	1,20%	1,50%	1,20%	1,30%	1,20%	1,10%	3,70%	1,80%	1,50%	0,00%
IoT		0,30%	3,90%	3,20%	3,20%	3,80%	6,70%	3,70%	3,90%	6,00%	2,70%	5,10%	0,00%
	Enceintes connectées	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,00%
	IoT	0,20%	3,80%	3,10%	3,10%	3,70%	6,60%	3,60%	3,80%	5,90%	2,60%	5,00%	0,00%

Tableau 70 - Terminaux utilisateurs - Analyse de contribution - Focus sur la fabrication, distribution et fin de vie des terminaux utilisateurs

Les résultats sont similaires au chapitre précédent. En effet, du fait du mix électrique français faiblement carboné, beaucoup d'indicateurs d'impacts dépendent peu de la phase d'utilisation. L'indicateur « Consommation d'énergie finale (usage) » est nul du fait qu'il n'intervient qu'en phase d'usage.

Répartition détaillée des impacts - Focus sur les terminaux - Phases de fabrication, distribution et fin de vie

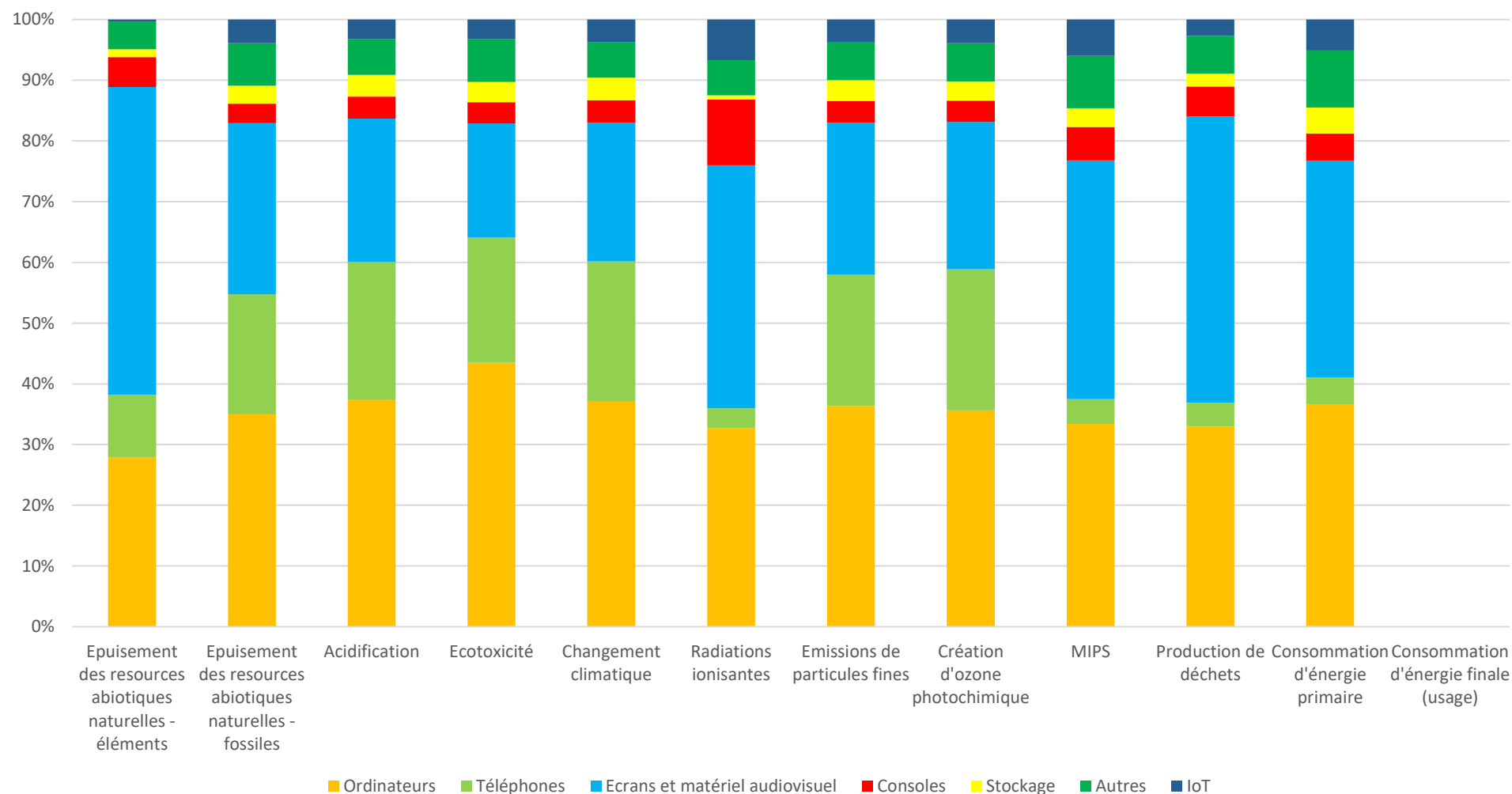


Figure 16 - Terminals utilisateurs - Analyse de contribution - Focus sur la fabrication, distribution et fin de vie des terminaux utilisateurs

5.5.1.1.2. Focus sur la phase d'utilisation des terminaux utilisateurs

La phase d'utilisation est seulement constituée de la consommation électrique, du fait que les potentiels upgrades et maintenances (par exemple remplacement des écrans de smartphone, changement de composants d'ordinateurs fixes, etc.) ne sont pas pris en compte.

La répartition des impacts selon chaque indicateur est donc la même.

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)	Energie consommée totale par an (MWh)
Ordinateurs	21,90%												7259
Ordinateurs portables	6,70%												2 220
Ordinateurs fixes	14,30%												4 740
Tablettes	0,90%												299
Téléphones	3,60%												1175,912
Smartphones	0,80%												257
Feature phones	0,00%												0,912
Téléphones (lignes fixes)	2,80%												918
Ecrans et matériel audiovisuel	57,50%												19014
Ecrans d'ordinateurs	7,90%												2 610
Téléviseurs	33,80%												11 200
Vidéo-projecteurs	2,80%												924
Box TV	4,60%												1 510
Autres écrans	8,40%												2 770
Consoles	2,10%												690,8
Consoles de jeux vidéo de salon	2,00%												656
Consoles de jeux vidéo portables	0,10%												34,8
Stockage	0,00%												26,27
HDD externes	0,00%												13,3
SSD externes	0,00%												2,87
Clés USB & Micro SD	0,00%												10,1
Autres	4,10%												1364,3
Imprimantes	4,00%												1 330
Stations d'accueil	0,10%												34,3

IoT		10,80%	3577,2
	Enceintes connectées	0,20%	57,2
	IoT	10,60%	3 520

Tableau 71 - Terminaux utilisateurs - Analyse de contribution - Focus sur la phase d'utilisation des terminaux utilisateurs

Les résultats sont une image directe de la consommation d'électricité reliée à chaque équipement. En effet, les consommables n'ont pas été pris en compte du fait du manque d'information à ce sujet. Cette consommation est indiquée dans la dernière colonne, pour information.

Les téléviseurs ont la consommation la plus importante, suivie des ordinateurs fixes et de l'IoT. Les autres équipements ont moins de 10% de contribution chacun.

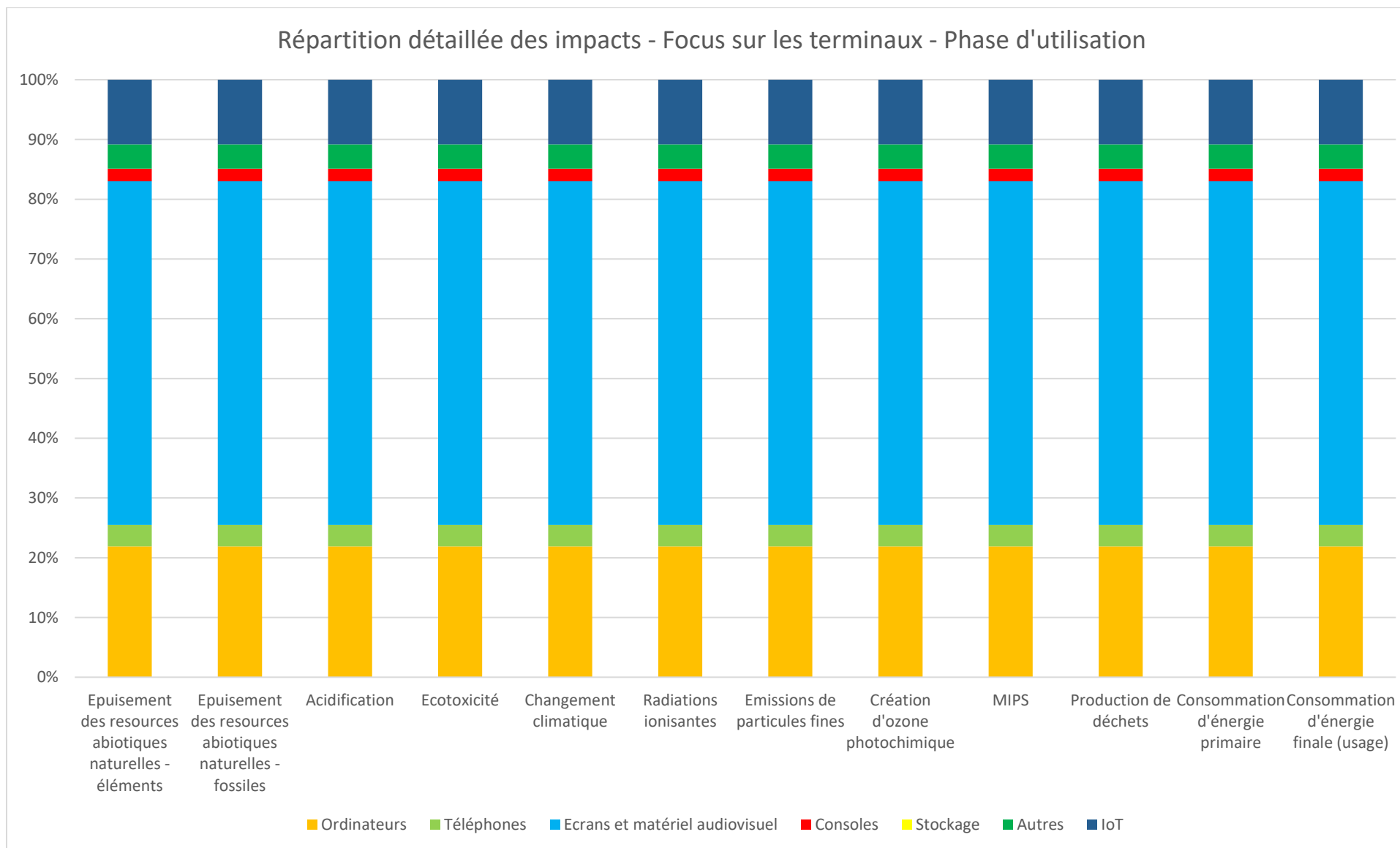


Figure 17 - Terminals utilisateurs - Analyse de contribution - Focus sur la phase d'utilisation des terminaux utilisateurs

5.5.2. TIER 2 - Réseaux

5.5.2.1. Analyse de contribution

Les réseaux peuvent être divisés entre réseaux fixes (xDSL, FTTx), et réseaux mobiles (2G, 3G, 4G, 5G). Bien que la séparation entre les deux types de réseaux ne soit pas totale (certains équipements sont communs), il est possible de distinguer les impacts des deux types de réseau individuellement.

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Réseaux fixes	76,2%	78,5%	82,8%	90,0%	81,8%	78,7%	79,0%	82,7%	82,8%	81,3%	78,5%	77,7%
Dont box	27,4%	28,3%	46,4%	73,8%	45,0%	48,0%	38,7%	39,7%	48,8%	40,6%	27,5%	38,9%
Réseaux mobiles	23,8%	21,5%	17,2%	10,0%	18,2%	21,3%	21,0%	17,3%	17,2%	18,7%	21,5%	22,3%

Tableau 72 - Réseaux - Analyse de contribution

Les réseaux fixes génèrent plus d’impact que les réseaux mobiles. En effet, les réseaux fixes consomment plus d’électricité en phase d’utilisation, et requièrent plus d’équipements, notamment du fait des box installés chez les utilisateurs.

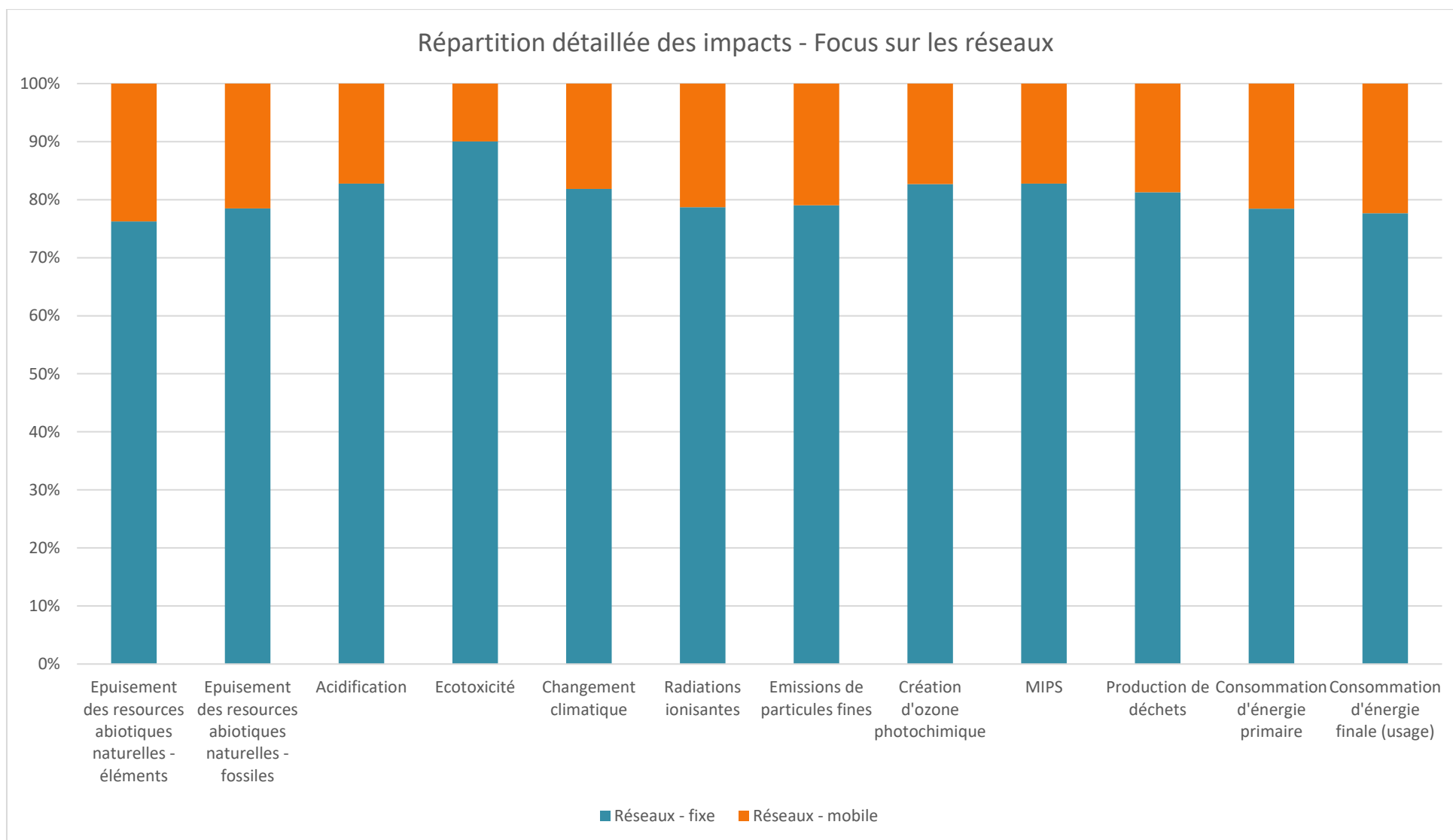


Figure 18 - Réseaux - Analyse de contribution

La quantité de données transférées n'est pas non plus identique. Les impacts peuvent être ramenés par rapport à :

- La quantité de Go transférée sur chaque réseau :
 - o 6,937 Eo (Exaoctet = 10^9 Gigaoctet) pour les réseaux mobiles ;
 - o 83 Eo pour les réseaux fixes.

Les résultats sont :

		Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
Par Go de données transférées	Réseaux fixes	3,56E-07	9,19E-01	4,88E-05	5,52E-02	9,27E-03	1,27E-01	1,11E-09	2,24E-05	4,31E-02	1,08E-02	1,01E+00	2,47E-01
	Réseaux mobiles	1,33E-06	3,02E+00	1,22E-04	7,35E-02	2,47E-02	4,13E-01	3,53E-09	5,62E-05	1,08E-01	2,99E-02	3,34E+00	8,51E-01

Tableau 73 - Réseaux – Impacts par Go

Note : les impacts des réseaux ne sont pas nécessairement proportionnels au nombre de Go transférés. Les résultats ci-dessus présentent seulement une allocation des impacts permettant de mieux appréhender l'échelle des impacts causés par les réseaux.

Cela montre que les réseaux fixes sont plus efficaces sur le plan environnemental que les réseaux mobiles quand les impacts sont ramenés à la quantité de données transférées.

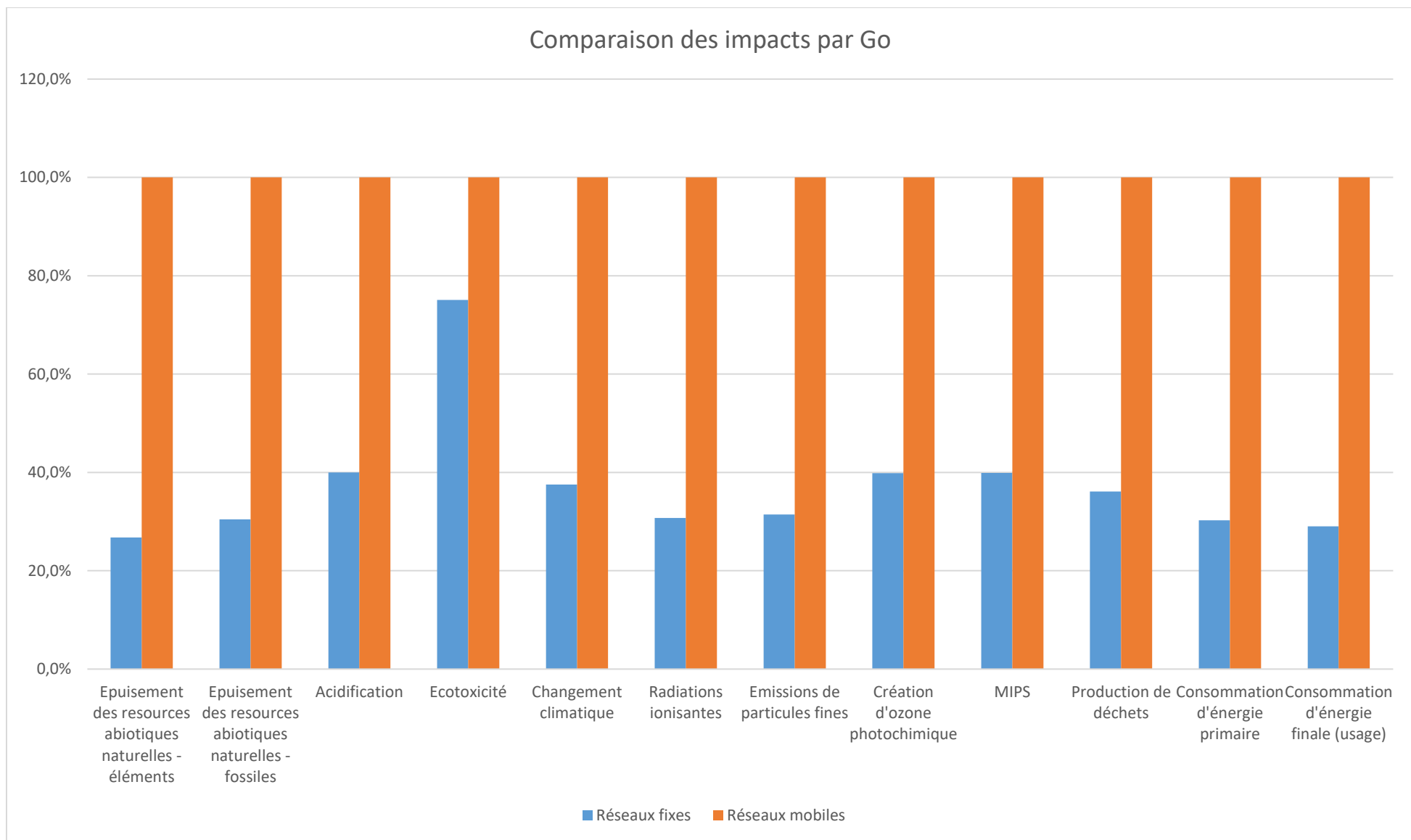


Figure 19 - Réseaux – Impacts par Go (considérant les impacts des réseaux mobiles ramenés à 100%)

5.5.2.1.1. Focus sur les réseaux mobiles

Les réseaux mobiles peuvent être décomposés selon 3 niveaux principaux :

- Niveau access : fait le lien entre les terminaux et le réseau.
- Niveau aggregation, ou distribution : relie les niveaux access et backbone.
- Niveau backbone, ou core : permet à une large quantité de données d'être transférées à haut débit sur de longues distances.

Dans cette distribution, seulement les phases de fabrication, distribution et fin de vie sont prises en compte. En effet, la donnée collectée concernant la consommation d'électricité ne peut pas être différenciée par niveau. A noter aussi que pour les équipements mutualisés entre réseaux fixes et mobiles, une allocation a été réalisée sur le trafic.

Les résultats sont les suivants :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire
Access	51,9%	65,7%	68,6%	100,0%	74,0%	61,1%	71,9%	74,3%	55,3%	50,7%	65,0%
Aggregation	44,8%	31,6%	26,8%	0,0%	22,1%	36,4%	24,8%	22,1%	41,1%	45,2%	32,3%
Backbone	3,4%	2,7%	4,6%	0,0%	3,8%	2,5%	3,4%	3,6%	3,6%	4,0%	2,8%

Tableau 74 - Réseaux – Focus sur les réseaux mobiles

Le niveau access cause la majorité des impacts, du fait du nombre d'impacts individuels des stations de base. En effet, comme les antennes couvrent l'essentiel du territoire, le nombre de stations de base est important. Cependant, les équipements de ce niveau sont déjà mutualisés entre de nombreux utilisateurs, de même que les niveaux d'agrégation et backbone. De ce fait, le niveau aggregation génère également des impacts importants relatifs aux réseaux mobiles.

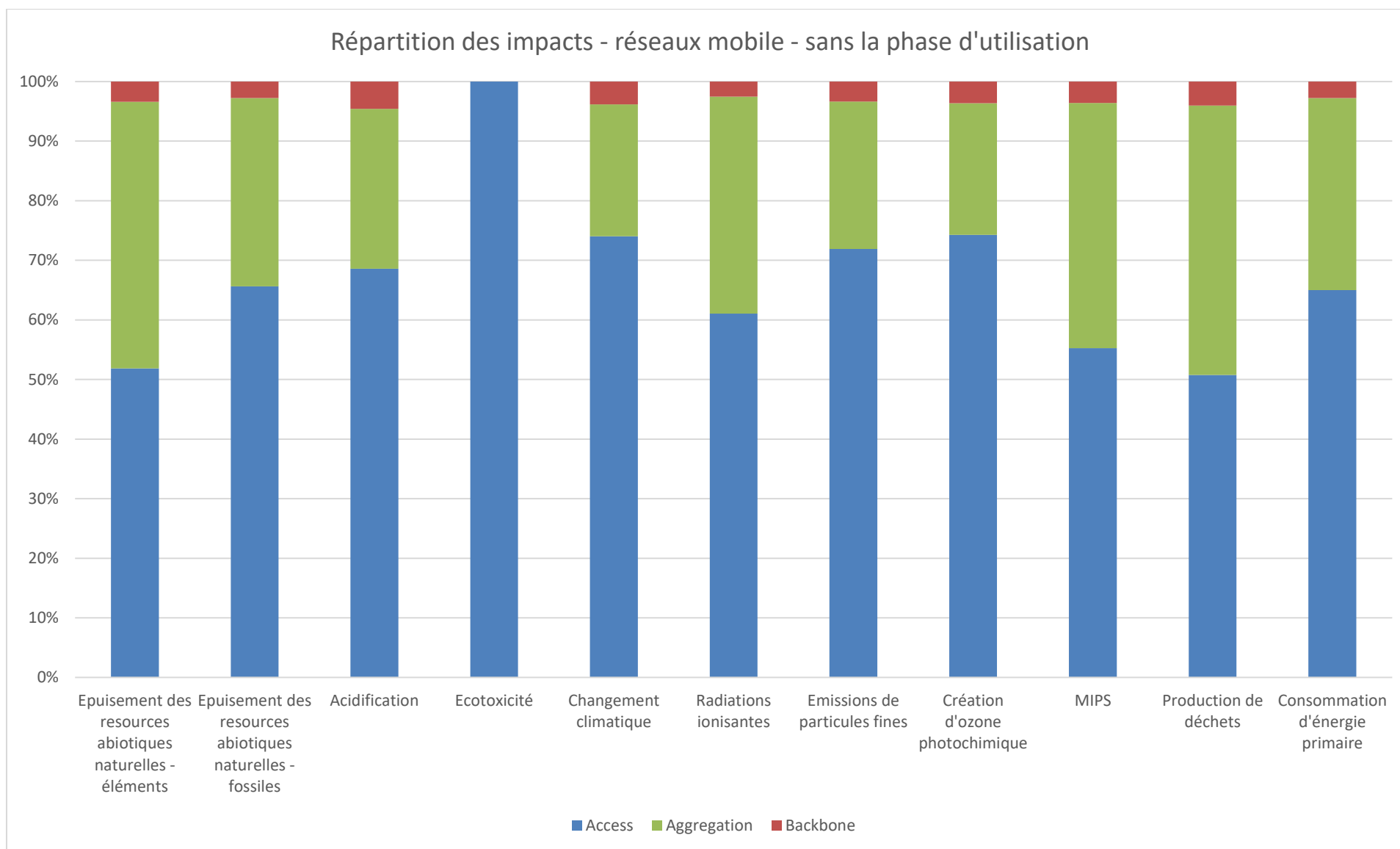


Figure 20 - Réseaux – Focus sur les réseaux mobiles

5.5.2.1.2. Focus sur les réseaux fixes

Les réseaux fixes peuvent être décomposés selon 3 niveaux principaux :

- Niveau access : fait le lien entre les terminaux et le réseau
- Niveau aggregation, ou distribution : relie les niveaux access et backbone
- Niveau backbone, ou core : permet à une large quantité de données d'être transférées à haut débit sur de longues distances

Dans cette distribution, seulement les phases de fabrication, distribution et fin de vie sont prises en compte. En effet, la donnée collectée concernant la consommation d'électricité ne peut pas être différenciée par niveau.

Les résultats sont comme suit :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire
Box	36%	36%	56%	50%	55%	61%	49%	48%	59%	50%	35%
Access hors box	40%	30%	24%	29%	25%	14%	24%	33%	25%	29%	29%
Aggregation	13%	30%	13%	14%	13%	20%	21%	13%	9%	12%	31%
Backbone	11%	5%	7%	7%	7%	4%	6%	6%	7%	9%	5%

Tableau 75 - Réseaux – Focus sur les réseaux fixes

Le niveau access cause la majorité des impacts, du fait du nombre de modems. En effet, comme chaque abonné dispose d'un modem, ce nombre est important.

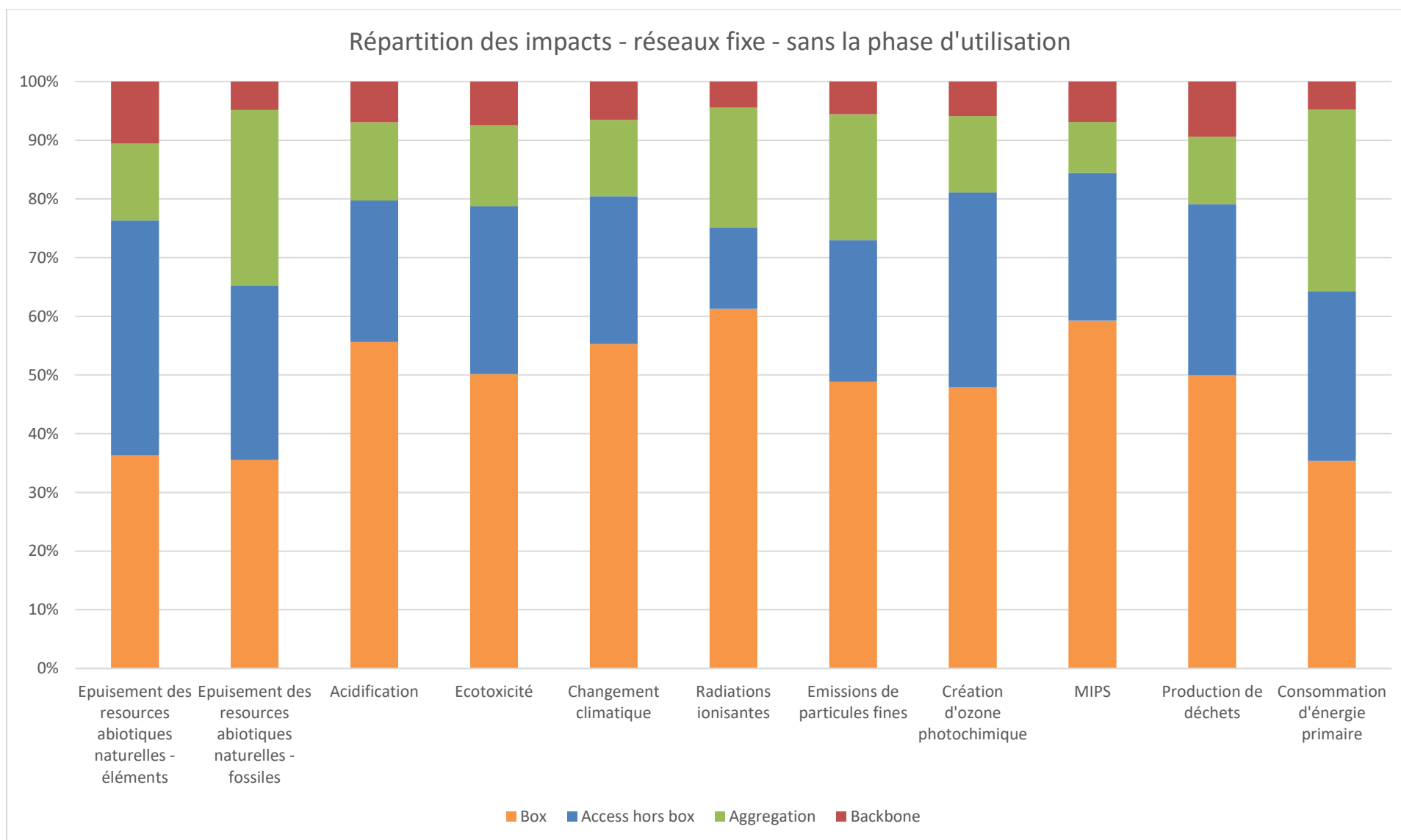


Figure 21 - Réseaux – Focus sur les réseaux fixes

5.5.3. TIER 3 - Datacenters

5.5.3.1. Analyse de contribution – Par type de datacenter

Les centres de données sont divisés en différents types : public local, public national, entreprises, colocation et HPC. Chaque type de centre de données a une quantité et des caractéristiques spécifiques.

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Public local	6,3%	7,4%	5,6%	6,0%	5,7%	7,9%	6,9%	5,9%	6,6%	6,8%	7,4%	7,9%
Public national	6,3%	7,8%	5,9%	6,0%	6,1%	8,3%	7,3%	6,2%	6,5%	6,5%	7,8%	8,4%
Entreprises	35,0%	47,1%	35,2%	34,5%	36,0%	49,9%	44,2%	36,0%	36,9%	36,1%	47,3%	51,2%
Colocation	48,7%	36,8%	49,9%	50,0%	49,1%	33,6%	40,1%	48,7%	47,0%	47,2%	36,6%	32,4%
HPC	3,8%	0,9%	3,4%	3,6%	3,2%	0,3%	1,5%	3,2%	3,0%	3,3%	0,8%	0,0%

Tableau 76 - Datacenters - Analyse de contribution

Dans l'ordre, les types de centres de données avec les impacts environnementaux les plus importants sont : colocation, entreprises, public national et local, et HPC.

Cet ordre est identique à celui concernant le nombre de m² de salle informatique, le nombre de serveurs, de stockage ou encore la consommation électrique.

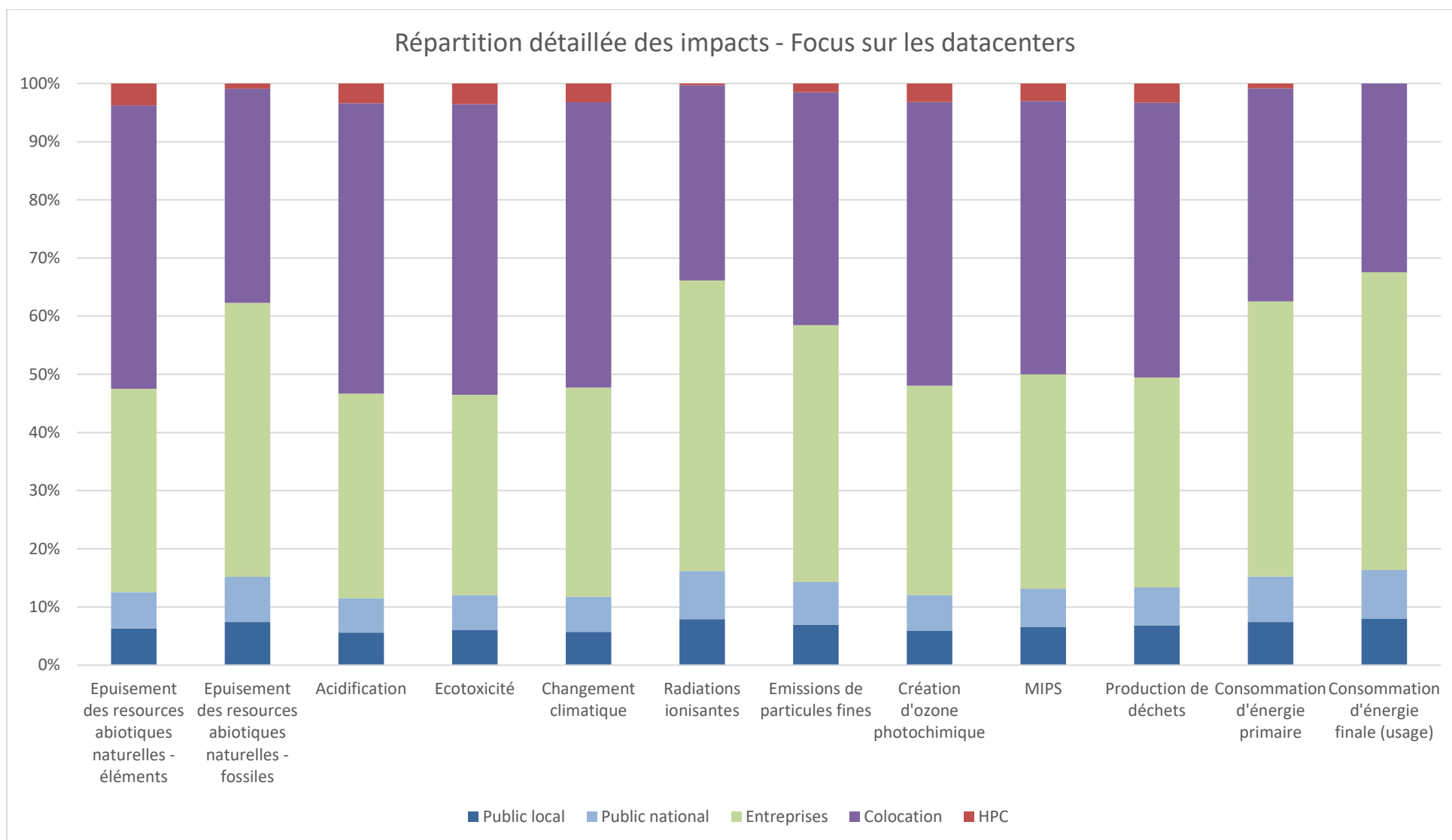


Figure 22 - Datacenters - Analyse de contribution

5.5.3.2. Analyse de contribution – Par type d'équipement et de consommation

Les centres de données sont constitués de différents types d'équipement :

- Serveurs : fourni la puissance de calcul.
- Stockage : composé de SSD et de HDD utilisés pour stocker les données.
- Equipement réseau : switchs et routeurs utilisés pour transférer les données.
- Architecture et lots techniques.

Ainsi que différents types de consommation :

- Consommations reliées au calcul et au stockage.
- Consommation des équipements supports (y compris le refroidissement).
- Fuites de réfrigérants.

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Serveurs (fabrication, distribution et fin de vie)	55,1%	13,1%	50,6%	53,8%	48,2%	5,0%	22,0%	47,5%	45,9%	49,1%	12,4%	0,0%
Stockage (fabrication, distribution et fin de vie)	19,4%	5,3%	21,8%	21,0%	20,7%	0,4%	9,6%	20,3%	17,2%	18,2%	5,0%	0,0%
Équipement réseau (fabrication, distribution et fin de vie)	6,8%	0,3%	0,9%	0,8%	0,9%	0,1%	0,4%	1,0%	2,0%	3,5%	0,3%	0,0%
Architecture et lots techniques (fabrication, distribution et fin de vie)	18,0%	2,5%	6,3%	15,7%	5,6%	3,3%	3,6%	9,7%	19,7%	25,1%	2,3%	0,0%
Consommation d'énergie - IT	0,4%	44,1%	11,4%	4,9%	13,1%	51,0%	36,0%	12,0%	8,5%	2,3%	44,7%	55,9%
Consommation d'énergie - Lots techniques	0,3%	34,7%	9,0%	3,9%	10,3%	40,2%	28,3%	9,5%	6,7%	1,8%	35,2%	44,1%
Fuites de fluides frigorigènes	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 77 - Datacenters - Analyse de contribution par type d'équipement et de consommation

Les sources d'impacts diffèrent en fonction des indicateurs considérés.

Pour les indicateurs épuisement des ressources abiotiques naturelles – fossiles, radiations ionisantes, émissions de particules fines, consommation d'énergie primaire et consommation d'énergie finale (usage), la consommation d'énergie est la principale source d'impact. Cette consommation est divisée entre la consommation serveur d'un côté, et la consommation des lots technique de l'autre. Ces deux consommations sont reliées par le PUE (Power Usage Effectiveness).

Pour les autres indicateurs, la fabrication, distribution et fin de vie des équipements (au premier lieu des serveurs et des équipements de stockage) constitue la majorité des impacts. Ceux-ci constituent les équipements les plus nombreux des centres de données, et ont des impacts individuels importants.

Viennent ensuite les éléments d'architecture et les lots techniques. Bien qu'ils représentent la grande majorité de la masse des centres de données, leurs impacts individuels sont bien moindres du fait qu'il s'agit d'équipements plus simples. Leur durée de vie est également plus longue que celle des équipements IT.

Les autres éléments ont des impacts négligeables.

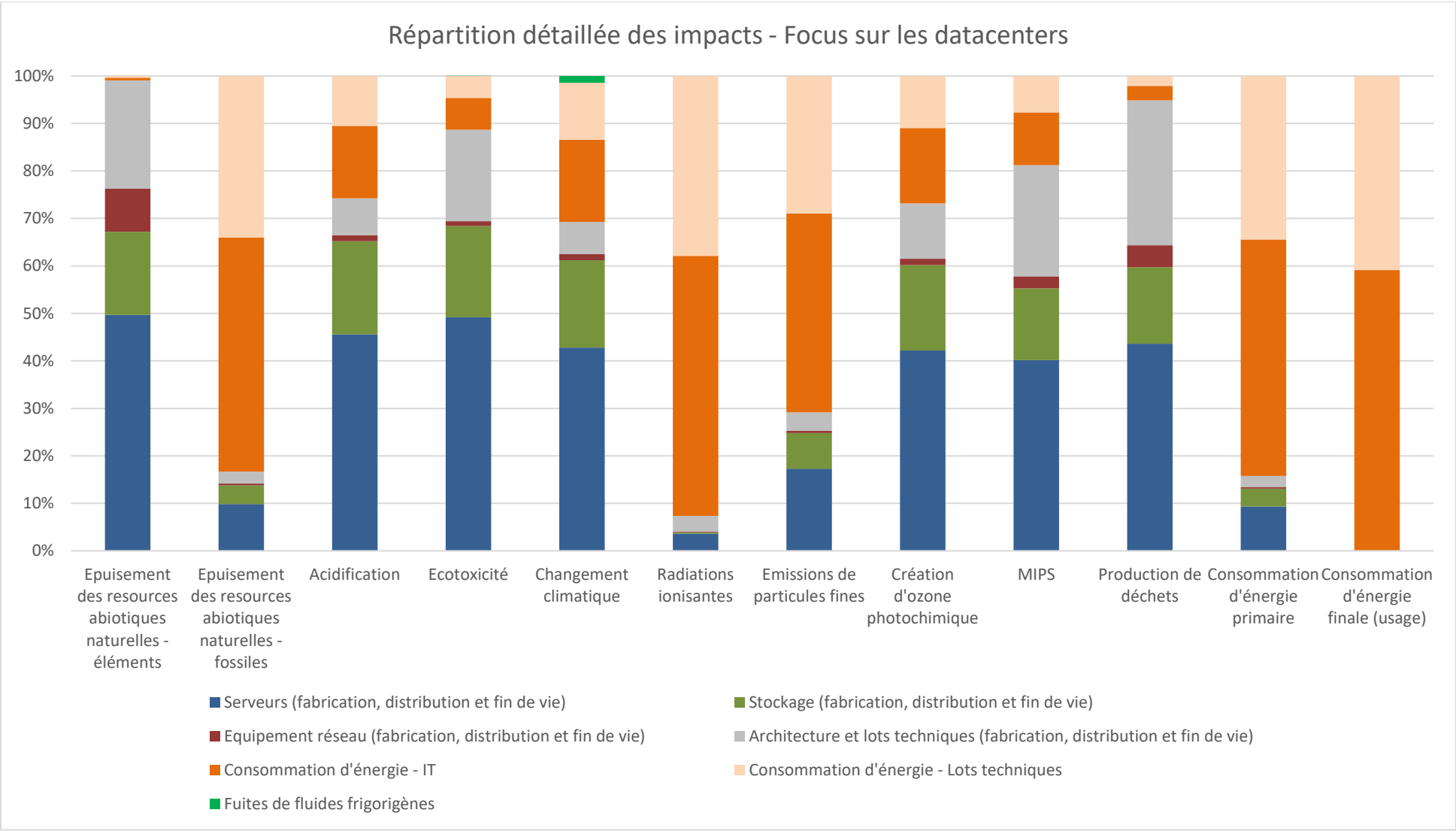


Figure 23 - Datacenters - Analyse de contribution par type d'équipement et de consommation

6. Analyses de sensibilité

6.1. Global

6.1.1. Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus

Comme indiqué dans le chapitre 3.2.3.3 Exclusion, certains équipements et réseaux n'ont pas pu être pris en compte du fait du manque de données. Ce chapitre a pour objectif de réaliser une analyse de sensibilité sur l'importance de ces exclusions.

Pour ces réseaux et équipements, les seules informations accessibles sont la consommation électrique en phase d'usage à l'échelle européenne (EU-28). Une extrapolation a été menée pour déterminer les impacts à l'échelle française, basée sur le nombre d'habitants (67 063 703 pour la France¹⁹⁹ et 513 500 000 pour l'UE-28²⁰⁰).

Les consommations électriques associées sont les suivantes :

Exclusion	Consommation électrique EU-28 (TWh)	Consommation électrique France (TWh)
TV satellite et terrestre	1,8 ²⁰¹	0,235
PSTN (Public Switched Telephone Network) – réseaux téléphonie fixe	6,5 ²⁰²	0,849
Réseaux d'entreprise	5 ²⁰³	0,653
Lecteurs DVD	0,7 ²⁰⁴	0,091
Tableaux blancs interactifs	0,25 ²⁰⁵	0,033
Lecteurs MP3	0,05 ²⁰⁶	0,007
Équipement audio personnel	11,6 ²⁰⁷	1,515
Distributeurs de billets	0,17 ²⁰⁸	0,022
Caisses et terminaux de paiement	2,35 ²⁰⁹	0,307

¹⁹⁹ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1892086?sommaire=1912926>

²⁰⁰ https://ec.europa.eu/eurostat/documents/portlet_file_entry/2995521/3-10072020-AP-FR.pdf/15ed8ebe-82de-05bc-36e9-fef0faae1e33

²⁰¹ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.VII

²⁰² Basé sur des échanges avec des experts

²⁰³ Basé sur des échanges avec des experts

²⁰⁴ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.85

²⁰⁵ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.95

²⁰⁶ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.98

²⁰⁷ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.101

²⁰⁸ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.153

²⁰⁹ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.153

Caisse automatique (tickets de parking)	0,04 ²¹⁰	0,005
Hotspot WLAN publique	4,79 ²¹¹	0,626
Péages	0,03 ²¹²	0,004
Caméras de sécurité	6,53 ²¹³	0,853
Total	48,01	6,270

Tableau 78 - Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus - Données

De plus, les impacts des phases de fabrication, distribution et fin de vie ont été extrapolées en considérant l'impact moyen des trois phases ramené à la consommation de 1 TWh d'électricité. Bien que cette approche entraîne une grande incertitude, cela permet une comptabilisation des impacts plus exhaustive, reconnue par la norme ITU L.1410.

Le calcul des impacts des phases de fabrication, distribution et fin de vie reliées à 1 TWh sont calculés de la façon suivante :

Par exemple, pour l'indicateur de réchauffement climatique, les impacts de la fabrication, la distribution et la fin de vie sont de 1,36E+10 kg CO₂ eq. pour une consommation d'énergie finale de 1,75E+11 MJ, soit 48,7 TWh. Ramené à 1 TWh, soit en divisant les impacts par 48,7, les impacts de la fabrication, la distribution et la fin de vie sont de 2,80E+08 kg CO₂ eq.

Pour les impacts de la fabrication, distribution et fin de vie :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO ₂ eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
9,51E+05	2,13E+11	8,22E+07	2,47E+11	1,36E+10	2,03E+10	4,84E+02	3,54E+07	5,56E+10	1,98E+10	1,70E+11	0,00E+00

Pour une consommation électrique de 1 TWh :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO ₂ eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
1,95E+04	4,38E+09	1,69E+06	5,06E+09	2,80E+08	4,16E+08	9,94E+00	7,27E+05	1,14E+09	4,07E+08	3,50E+09	0,00E+00

Tableau 79 - Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus - Données d'impact

Cela entraine les résultats suivants :

²¹⁰ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.153

²¹¹ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.153

²¹² ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.153

²¹³ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.153

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Cas de base	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Impacts additionnels - Fabrication, distribution, fin de vie	12,9%	3,4%	10,8%	12,0%	10,4%	2,7%	5,4%	10,8%	11,4%	12,7%	2,7%	0,0%
Impacts additionnels - Utilisation	0,0%	9,4%	2,1%	0,9%	2,6%	10,2%	7,5%	2,2%	1,6%	0,2%	10,2%	12,9%

Tableau 80 - Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus - Résultats

L'ajout des équipements et réseaux exclus ajoute un total de 12,9% d'impacts. Les impacts exacts doivent cependant être calculés plus précisément, car certains équipements ou réseaux pourraient avoir un impact plus élevé ou plus faible qu'anticipé. Par exemple, le réseau satellite a des impacts associés à la conception et au lancement des satellites.

De manière spécifique pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

	Changement climatique - total (kg CO2 eq.)	Changement climatique pour un habitant en France (kg CO2 eq.)
Cas de base	1,69E+10	2,52E+02
Impacts additionnels – phases de fabrication, distribution et fin de vie	1,76E+09	2,62E+01
Impacts additionnels – phase d'utilisation	4,31E+08	6,43E+00

Tableau 81 - Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus – Résultats – Focus sur le changement climatique

On constate que les impacts des équipements et réseaux exclus, s'ils ne sont pas négligeables, ne semblent pas modifier fortement l'ordre de grandeur des impacts du numérique en France. Cependant, il faut noter que l'incertitude relative à ces exclusions empêche une conclusion définitive, et qu'il serait nécessaire de compléter la présente étude par des analyses complémentaires.

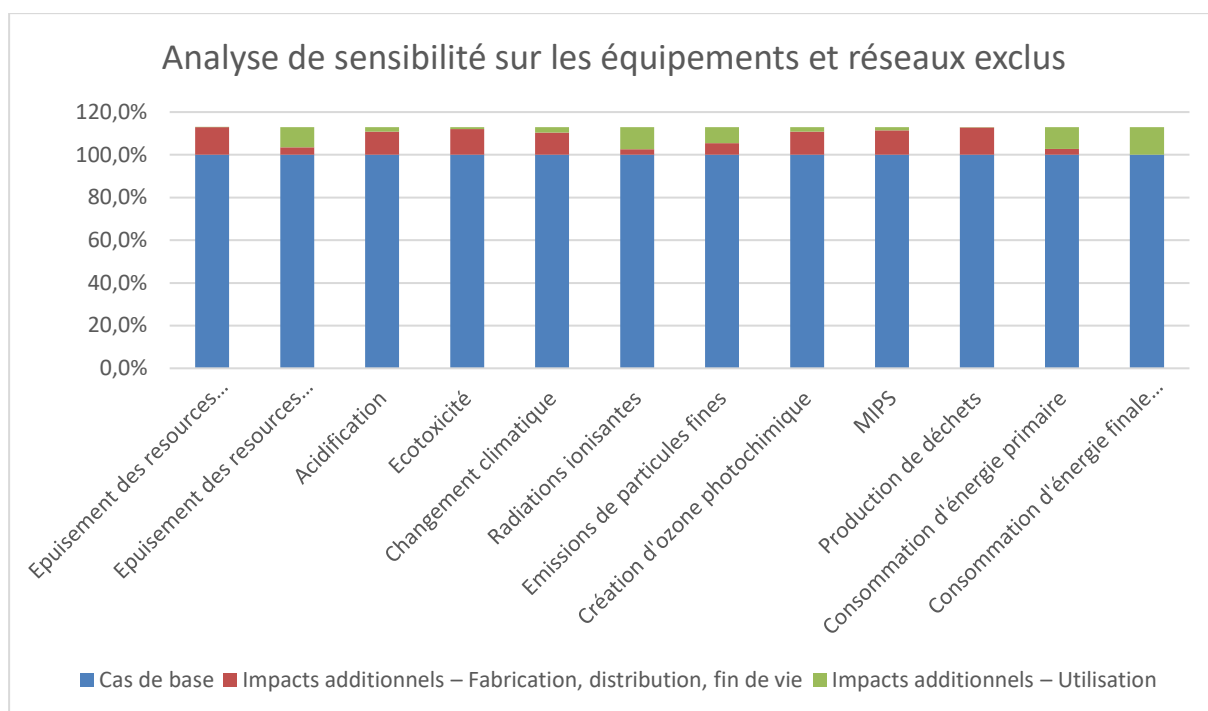


Figure 24 - Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus - Résultats

6.2. Analyse de sensibilité sur les équipements

6.2.1. Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements

Le nombre d'équipements varie dépendamment des sources sélectionnées. Par exemple, le nombre de smartphones varie de 43 737 000 à 69 600 000 en fonction des sources. Cette analyse de sensibilité présente les variations d'impacts résultats des choix minimisant et maximisant.

Equipements	Quantité de base	Quantité minimale	Quantité maximale	Comment
Ordinateurs portables	58 935 780	30 315 794	58 935 780	
Tablettes	24 074 512	17 729 658	24 074 512	
Smartphones	69 600 000	43 737 000	69 600 000	
Feature phones	9 665 043	7 732 034	11 598 052	Pas d'autre source. Une variation de +/- 20% a été appliquée par défaut
Ordinateurs fixes	37 276 596	26 434 115	49 715 028	
Ecrans d'ordinateurs	37 324 278	21 662 434	37 410 868	
Téléviseurs	62 571 429	45 511 064	87 473 850	
Vidéo-projecteurs	4 619 971	3 695 977	5 543 965	Pas d'autre source. Une variation de +/- 20% a été appliquée par défaut

Box TV	20 681 289	20 681 289	27 156 119	
Téléphones (lignes fixes)	37 313 804	37 313 804	51 669 034	
Consoles de jeux vidéo de salon	11 746 044	8 482 278	20 000 000	
Consoles de jeux vidéo portables	6 750 617	6 750 617	19 500 000	
Enceintes connectées	2 484 959	2 484 959	6 248 130	
HDD externes	36 350 222	29 080 178	43 620 266	Pas d'autre source. Une variation de +/- 20% a été appliquée par défaut
SSD externes	7 860 552	6 288 442	9 432 662	Pas d'autre source. Une variation de +/- 20% a été appliquée par défaut
Clés USB & Micro SD	66 138 165	52 910 532	79 365 798	Pas d'autre source. Une variation de +/- 20% a été appliquée par défaut
Imprimantes	22 981 575	16 219 291	36 149 875	
Autres écrans	6 590 897	1 025 000	6 590 897	
Stations d'accueil	26 815 780	21 452 624	32 178 936	Pas d'autre source. Une variation de +/- 20% a été appliquée par défaut
IoT	236 975 238	189 580 190	284 370 286	Pas d'autre source. Une variation de +/- 20% a été appliquée par défaut

Tableau 82 - Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements- Données

A noter que la consommation d'énergie varie également en fonction du nombre d'équipement.

Cela entraîne les résultats suivants :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Cas de base	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Min	68,6%	76,6%	72,8%	71,7%	73,5%	77,7%	75,6%	72,8%	76,2%	72,4%	77,8%	78,2%

Max	120,7%	118,4%	116,5%	116,9%	116,7%	120,6%	117,8%	116,4%	123,0%	124,7%	119,5%	118,8%
-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Tableau 83 - Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements- Résultats

La modification du nombre d'équipement fait varier les résultats entre 69% et 125% globalement. De manière spécifique pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

	Changement climatique - total (kg CO2 eq.)	Changement climatique pour un habitant en France (kg CO2 eq.)
Cas de base	1,69E+10	2,52E+02
Minimum	1,24E+10	1,85E+02
Maximum	1,97E+10	2,94E+02

Tableau 84 - Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements- Résultats - Focus sur le changement climatique

On constate une forte variation sur le nombre d'équipements en fonction des sources, qui se traduit par une forte variation des impacts environnementaux. Les différents chiffres disponibles sont en effet déterminés suivant des méthodes différentes (analyse statistique, approche comptable, analyse de flux, etc.). Il serait pertinent de travailler à une comptabilité à l'échelle nationale des équipements afin de réduire cette incertitude.

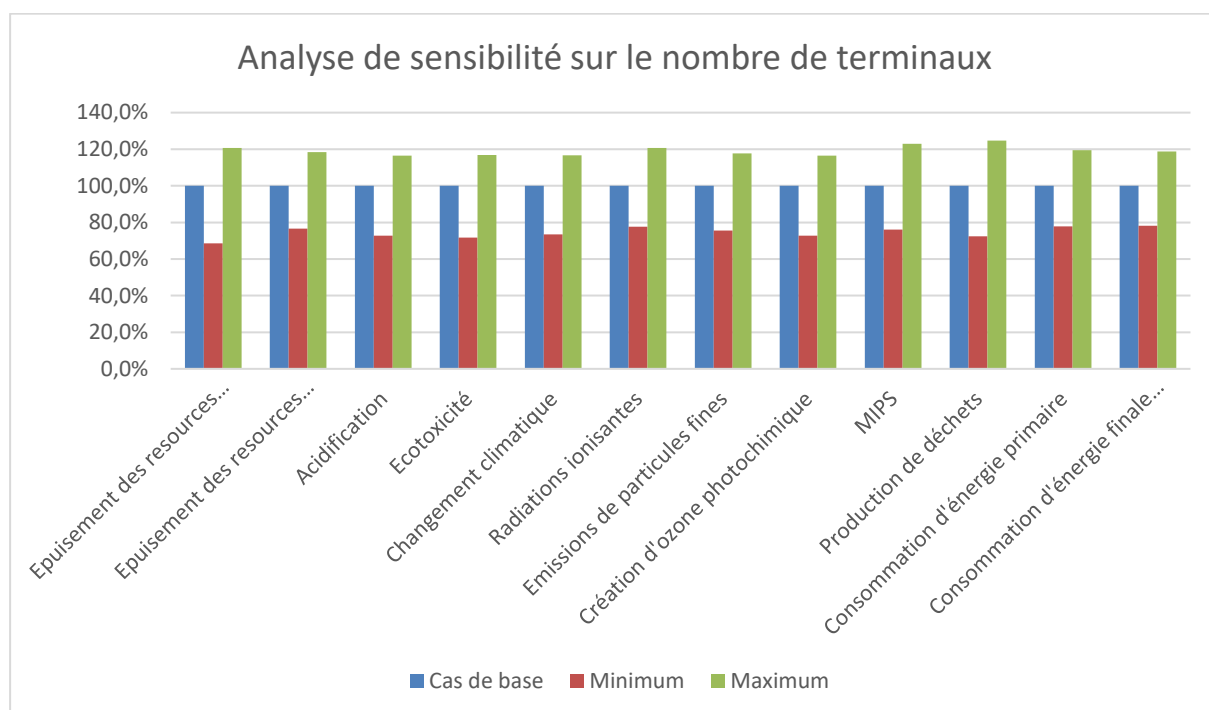


Figure 25 - Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements- Résultats

6.2.2. Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité des équipements

La consommation d'électricité de chaque équipement varie dépendamment des sources sélectionnées. Par exemple, la consommation d'électricité des ordinateurs fixes varie de 100 kWh/an à 150 kWh/an. Cette analyse de sensibilité présente les variations d'impacts résultats des choix minimisant et maximisant.

Equipements utilisateur	Consommation de base (kWh/an)	Consommation minimale (kWh/an)	Consommation maximale (kWh/an)	Comment
Ordinateurs portables – usage particulier	29,1	29,1	56	
Ordinateurs portables – usage professionnel	48	38,4	57,6	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Tablettes – usage particulier	18,6	10	18,6	
Tablettes – usage professionnel	5	4	6	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Smartphones – usage particulier	3,9	3,12	4,68	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Smartphones – usage professionnel	2	1,6	2,4	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Feature phones	0,09	0,072	0,108	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Ordinateurs fixes – usage particulier	100	100	150	
Ordinateurs fixes – usage professionnel	151	120,8	181,2	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Ecrans d'ordinateurs	70	56	84	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Téléviseurs	179	143,2	214,8	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Vidéo-projecteurs	200	160	240	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Box TV	73	58,4	87,6	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Téléphones (lignes fixes) – usage particulier	18	14,4	21,6	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Téléphones (lignes fixes) – usage professionnel	40	32	48	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Consoles de jeux vidéo de salon	55,88	44,7	67,06	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut

Consoles de jeux vidéo portables	5,15	4,12	6,18	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Enceintes connectées	23	23	43,8	
HDD externes	2,37	1,896	2,844	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
SSD externes	2,19	1,752	2,628	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Clés USB & Micro SD	0,91	0,728	1,092	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Imprimantes – usage particulier	23,05	18,44	27,66	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Imprimantes – usage professionnel	71	56,8	85,2	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Autres écrans	Dépend de l'équipement, voir chapitre 4.5.8.3	Dépend de l'équipement, voir chapitre 4.5.8.3	Dépend de l'équipement, voir chapitre 4.5.8.3	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Stations d'accueil	1,28	1,28	2	
IoT	Dépend de l'équipement, voir chapitre 4.5.14	Dépend de l'équipement, voir chapitre 4.5.14	Dépend de l'équipement, voir chapitre 4.5.14	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut

Tableau 85 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité des équipements - Données

Cela entraîne les résultats suivants :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Cas de base	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Min	100,0%	90,8%	97,9%	99,1%	97,8%	90,0%	92,7%	97,9%	98,5%	99,8%	90,0%	87,4%
Max	100,0%	110,5%	102,4%	101,0%	103,1%	111,4%	108,3%	102,4%	101,7%	100,2%	111,3%	114,3%

Tableau 86 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité des équipements - Résultats

La modification de la consommation électrique des équipements fait varier globalement les résultats entre 87% et 114%.

De manière spécifique pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

	Changement climatique - total (kg CO2 eq.)	Changement climatique pour un habitant en France (kg CO2 eq.)
Cas de base	1,69E+10	2,52E+02
Minimum	1,65E+10	2,46E+02
Maximum	1,74E+10	2,60E+02

Tableau 87 - Analyse de sensibilité sur la consommation d’électricité des équipements – Résultats – Focus sur le changement climatique

On constate une forte variation de la valeur de la consommation d’électricité lorsque celle-ci est disponible, et que dans de nombreux cas il n’existe que peu, voire pas de source disponible. Cela se traduit par une variation significative des résultats d’impacts sur certains indicateurs. Le suivi de la consommation électrique est difficile, car multifactoriel : évolutions technologiques, comportement des utilisateurs, chiffres de ventes, durées de vie, etc. Cependant, il apparaît intéressant de mener une étude au niveau national permettant de disposer d’une source homogène sur la consommation d’électricité des équipements.

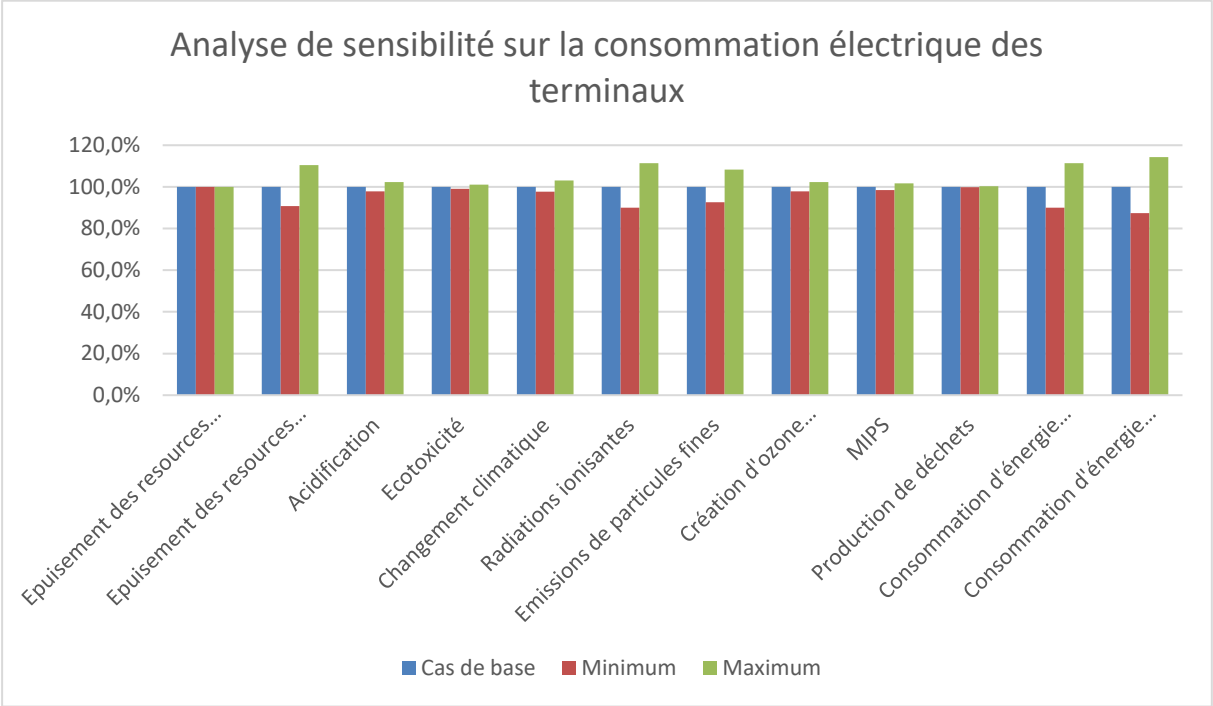


Figure 26 - Analyse de sensibilité sur la consommation d’électricité des équipements – Résultats

6.2.3. Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements

La durée des équipements varie dépendamment des sources sélectionnées. Par exemple, la durée de vie des ordinateurs portables varie entre 4 et 6 ans en fonction des sources. Cette analyse de sensibilité présente les variations d’impacts résultats des choix minimisant et maximisant.

Equipements	Durée de vie de base	Durée de vie minimale	Durée de vie maximale	Comment
Ordinateurs portables	5	4	6	

Tablettes	3	2,4	3,5	Pas d'autre source. Une variation de - 20% a été appliquée par défaut
Smartphones	2,5	1,9	3	
Feature phones	2,5	1,9	3	
Ordinateurs fixes	6	5	7,2	Pas d'autre source. Une variation de + 20% a été appliquée par défaut
Ecrans d'ordinateurs	6	5,7	6,6	
Téléviseurs	8	6,5	9,6	Pas d'autre source. Une variation de + 20% a été appliquée par défaut
Vidéo-projecteurs	5	4	8	Pas d'autre source. Une variation de - 20% a été appliquée par défaut
Box TV	5	3,5	6	Pas d'autre source. Une variation de + 20% a été appliquée par défaut
Téléphones (lignes fixes)	8	6,4	9,6	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Consoles de jeux vidéo de salon	6,5	5	7,8	Pas d'autre source. Une variation de + 20% a été appliquée par défaut
Consoles de jeux vidéo portables	6,5	4	7,8	Pas d'autre source. Une variation de + 20% a été appliquée par défaut
Enceintes connectées	5	4	6	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
HDD externes	5	4	6	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
SSD externes	5	4	6	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Clés USB & Micro SD	5	4	6	Pas d'autre source. Une variation de +- 20% a été appliquée par défaut
Imprimantes	5	4	5,4	Pas d'autre source. Une variation de - 20% a

				été appliquée par défaut
Autres écrans	6	4,8	7,2	Pas d'autre source. Une variation de +/- 20% a été appliquée par défaut
Stations d'accueil	5	4	7	Pas d'autre source. Une variation de - 20% a été appliquée par défaut
IoT	Dépend de l'équipement, voir chapitre 4.5.14			Pas d'autre source. Une variation de +/- 20% a été appliquée par défaut

Tableau 88 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements- Données

Cela entraîne les résultats suivants :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Cas de base	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Min	85,1%	92,9%	90,4%	88,6%	91,3%	94,6%	98,5%	90,5%	90,2%	86,9%	96,9%	100,0%
Max	122,4%	110,8%	119,5%	121,5%	119,3%	110,0%	113,2%	119,7%	119,4%	121,8%	109,5%	100,0%

Tableau 89 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements - Résultats

La modification de la durée de vie des équipements fait varier les résultats entre 85% et 122% globalement.

De manière spécifique pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

	Changement climatique - total (kg CO2 eq.)	Changement climatique pour un habitant en France (kg CO2 eq.)
Cas de base	1,69E+10	2,52E+02
Minimum	1,54E+10	2,30E+02
Maximum	2,02E+10	3,01E+02

Tableau 90 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements – Résultats – Focus sur le changement climatique

On constate une forte variation sur la durée de vie des équipements en fonction des sources, qui se traduit par une forte variation des impacts environnementaux. Les différents chiffres disponibles sont en effet déterminés suivant des définitions différentes de la durée de vie (durée d'usage, de possession, etc.), et selon des méthodes différentes. Il serait pertinent de travailler à une détermination à l'échelle nationale des durées de vie des équipements afin de réduire cette incertitude.

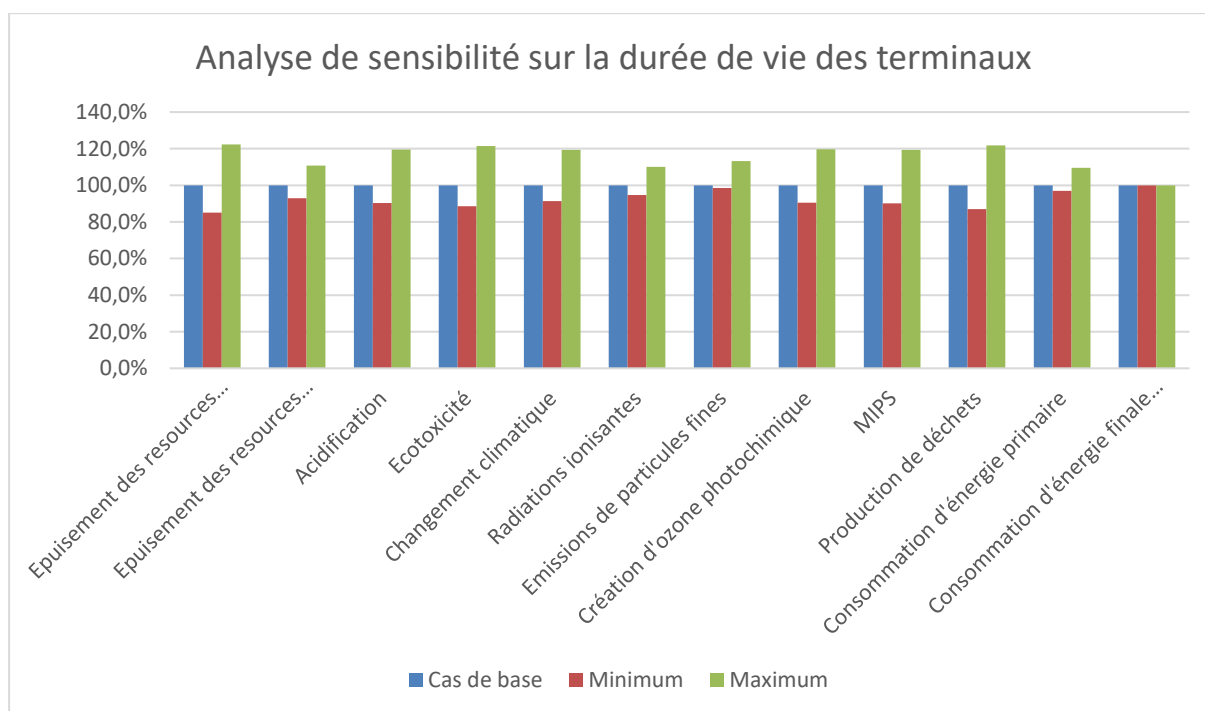


Figure 27 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements - Résultats

6.3. Analyse de sensibilité sur les réseaux

6.3.1. Analyse de sensibilité sur la consommation électrique

La consommation d'électricité des réseaux est basée sur une extrapolation à partir des données de l'UE-28, et présente donc une incertitude inhérente. Cette analyse de sensibilité permet de comprendre les effets d'une variation de la consommation d'électricité sur les impacts globaux. Les trois valeurs de consommation d'électricité sont :

- La consommation électrique du réseau mobile : la valeur de base est de 1,64 TWh. Par hypothèse, des valeurs de plus et moins 40% ont été retenues, soit respectivement 0,984 TWh et 2,296 TWh.
- La consommation électrique du réseau fixe, backbone et agrégation : la valeur de base est de 2,85 TWh. Par hypothèse, des valeurs de plus et moins 40% ont été retenues, soit respectivement 1,71 TWh et 3,99 TWh.
- La consommation électrique des box : la valeur de base est de 2,854 TWh. Par hypothèse, des valeurs de plus et moins 40% ont été retenues, soit respectivement 1,7124 TWh et 3,9956 TWh.

Note : ce chiffre de 40% (et non 20%) a été déterminé du fait de la double extrapolation réalisée pour déterminer cette valeur : une première du fait de l'extrapolation monde vers Europe, et une seconde de Europe vers France.

Cela entraîne les résultats suivants :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Cas de base	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Min	100,0%	95,6%	99,0%	99,6%	99,1%	95,2%	96,5%	99,0%	99,3%	99,9%	95,2%	94,0%
Max	100,0%	104,4%	101,0%	100,4%	101,5%	104,8%	103,5%	101,0%	100,7%	100,1%	104,8%	106,0%

Tableau 91 - Analyse de sensibilité sur la consommation électrique - Résultats

La modification de la consommation électrique des réseaux fait varier les résultats entre 94% et 105% globalement. De manière spécifique pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

	Changement climatique - total (kg CO2 eq.)	Changement climatique pour un habitant en France (kg CO2 eq.)
Cas de base	1,69E+10	2,52E+02
Minimum	1,67E+10	2,50E+02
Maximum	1,71E+10	2,56E+02

Tableau 92 - Analyse de sensibilité sur la consommation électrique – Résultats – Focus sur le changement climatique

Si la consommation électrique des réseaux fait l'objet d'une forte incertitude, l'influence sur les résultats d'impact reste limitée. En effet, la consommation électrique des réseaux est faible en rapport à la consommation des terminaux utilisateurs et des datacenters. Cependant, l'évolution technologique rapide (développement de la fibre, 5G) pourrait entraîner une évolution de la consommation qu'il conviendrait de suivre.

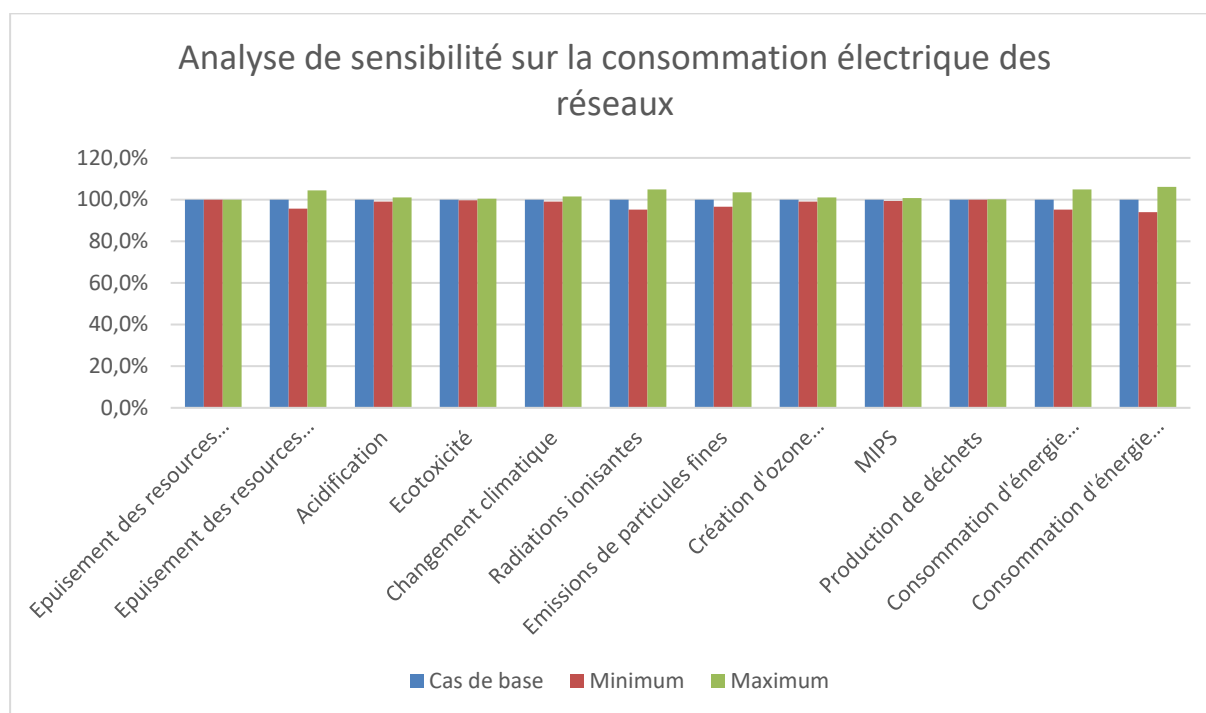


Figure 28 - Analyse de sensibilité sur la consommation électrique - Résultats

6.4. Analyse de sensibilité sur les datacenters

6.4.1. Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité

La consommation d'électricité des centres de données présente une incertitude de par la multitude de type et le nombre de centres de données. Cette analyse de sensibilité permet de comprendre les effets d'une variation de la consommation d'électricité sur les impacts globaux. La consommation d'électricité totale de base est de 11,602 TWh. Par hypothèse, des valeurs de plus et moins 20% ont été retenues, soit respectivement 9,282 TWh et 13,922 TWh.

Cela entraîne les résultats suivants :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Cas de base	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Min	100,0%	97,5%	99,4%	99,8%	99,6%	97,3%	98,0%	99,4%	99,6%	99,9%	97,3%	96,6%
Max	100,0%	102,5%	100,6%	100,2%	100,9%	102,7%	102,0%	100,6%	100,4%	100,1%	102,7%	103,4%

Tableau 93 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité - Résultats

La modification de la consommation d'électricité des centres de données fait varier les résultats entre 97% et 103% globalement.

De manière spécifique pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

	Changement climatique - total (kg CO2 eq.)	Changement climatique pour un habitant en France (kg CO2 eq.)
Cas de base	1,69E+10	2,52E+02
Minimum	1,68E+10	2,51E+02
Maximum	1,71E+10	2,54E+02

Tableau 94 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité – Résultats – Focus sur le changement climatique

La consommation d'électricité des datacenters en France implique une faible variation des impacts environnementaux globaux. Cependant, l'évolution rapide de cette consommation du fait des évolutions technologiques et des usages (hyperscale, edge computing) pourrait modifier cette consommation. Il conviendrait donc de la suivre.

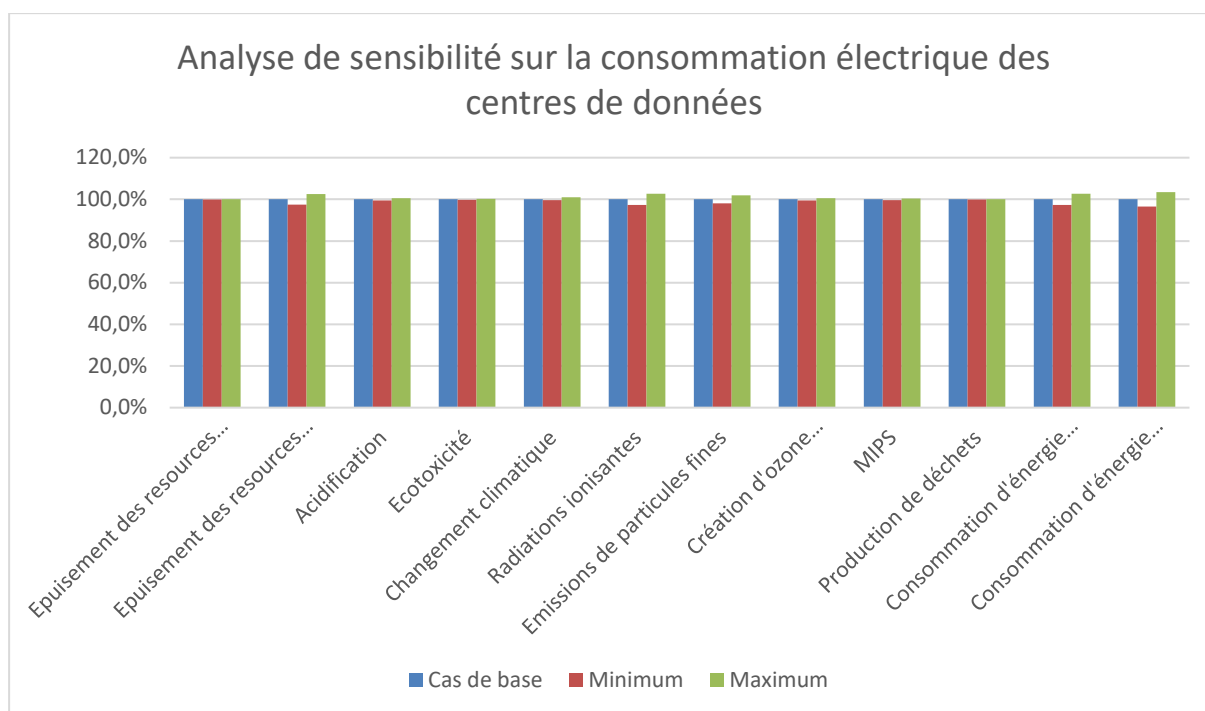


Figure 29 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité - Résultats

6.5. Analyse de sensibilité cumulée

Ce chapitre réalise l'agrégation des différentes analyses de sensibilité afin de fournir une plage d'impact. Cela permet d'envisager les impacts potentiels minimum et maximum.

Cela entraine les résultats suivants :

	Epuisement des ressources abiotiques - éléments naturels	Epuisement des ressources abiotiques - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (usage)
Cas de base	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Min	58,4%	61,1%	62,4%	62,0%	62,8%	61,3%	61,4%	62,3%	65,7%	62,5%	61,7%	60,2%
Max	161,0%	157,8%	155,6%	156,2%	155,8%	160,7%	157,1%	155,6%	162,2%	165,3%	158,8%	158,4%

Tableau 95 - Analyse de sensibilité cumulée - Résultats

Globalement, l'ensemble des analyses de sensibilité cumulées fait varier les résultats entre 60% et 165%. Cela montre l'étendu des impacts potentiels des équipements et infrastructures numériques en France.

De manière spécifique pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

	Changement climatique - total (kg CO2 eq.)	Changement climatique pour un habitant en France (kg CO2 eq.)
Cas de base	1,69E+10	2,52E+02
Minimum	1,06E+10	1,58E+02
Maximum	2,63E+10	3,93E+02

Tableau 96 - Analyse de sensibilité cumulée – Résultats – Focus sur le changement climatique

L'ensemble des analyses de sensibilité cumulées entraîne une variation importante des impacts. En effet, beaucoup de paramètres disposent d'une incertitude allant de faible à fort qui se cumulent. Cela montre que l'analyse des impacts environnementaux du numérique en France doit se comprendre en terme d'ordre de grandeur ou d'intervalle, mais pas de valeur précise.

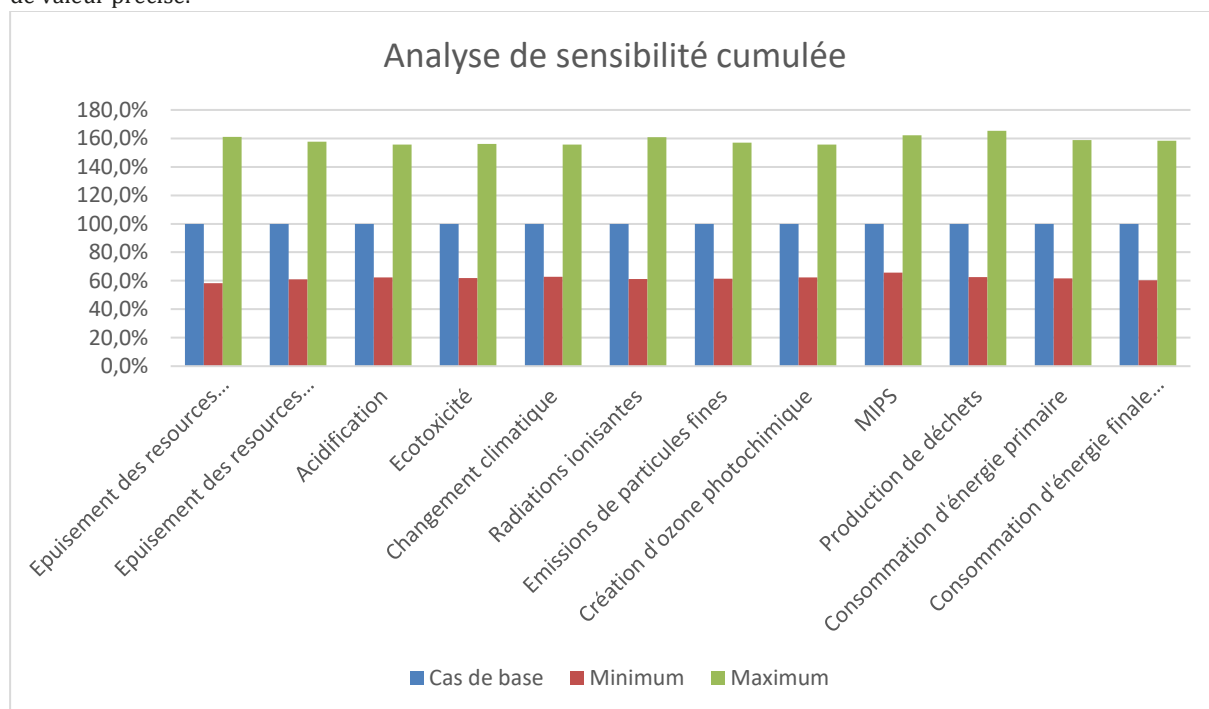


Figure 30 - Analyse de sensibilité cumulée – Résultats

7. Impact par foyer et par entreprise type

Ce chapitre a pour objectif la réalisation et l'analyse de cas d'usage typiques permettant de déterminer les impacts environnementaux du numérique par habitant et par entreprise, en moyenne et pour différents scénarios types.

7.1. Par foyer

7.1.1. Méthodologie

7.1.1.1. Foyer moyen

Les impacts du foyer moyen sont définis comme étant les impacts globaux pour les particuliers (définis au 5.4 Répartition des impacts personnel / professionnel), divisés par le nombre de foyers en France.

7.1.1.2. Foyers types

La détermination des typologies de foyers s'est basée sur les catégories établies dans le baromètre ARCEP 2021²¹⁴ qui sont :

- L'âge : retenu, mais avec une simple distinction adulte / enfant
- Le nombre de personnes du foyer : retenu
- Le niveau de vie : retenu
- Le diplôme : non retenu
- La profession catégorie sociale : non retenu
- La taille de l'agglomération : non retenu (les données, de réseau notamment, ne permettant pas de différenciation par géotype)

Les causes influençant le taux d'équipement sont en réalité multifactorielles, et dépendent également de la sensibilité des personnes au numérique, ainsi qu'aux choix de vie. Pour cette raison, il a été décidé de rajouter une catégorie complémentaire couvrant cette réalité :

- Le taux d'usage du numérique

Par rapport à ces catégorisations, trois foyers types ont été élaborés :

- Type « couple déconnecté » : 2 adultes, classe moyenne inférieure
- Type « famille hyperconnectée » : 2 adultes et 2 enfants, classe moyenne supérieure
- Type « Etudiant connecté » : 1 adulte, bas revenu

7.1.2. Données

7.1.2.1. Foyer moyen

La donnée nécessaire pour la détermination des impacts d'un foyer moyen est le nombre de foyers en France. La source utilisée est celle de l'INSEE, datant de 2015²¹⁵, indiquant un nombre de foyers total de 29 012 000.

7.1.2.2. Foyers types

La source utilisée est la suivante :

- Baromètre ARCEP 2021²¹⁶

Cette source permet d'établir des tendances à travers les taux d'accès des personnes aux équipements selon les principaux descripteurs sociodémographiques. Cela permet d'appréhender les comportements numériques des foyers types retenus, mais ne permet pas d'en dresser une cartographie précise et exhaustive. Ces types de foyers étant

²¹⁴ BAROMÈTRE DU NUMÉRIQUE Edition 2021 - Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française, ARCEP

²¹⁵ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3676599?sommaire=3696937#titre-bloc-3>

²¹⁶ BAROMÈTRE DU NUMÉRIQUE Edition 2021 - Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française, ARCEP

présentés à visée d'illustration et non présentés comme des moyennes, une latitude dans la détermination des quantitatifs a été prise afin de représenter des profils complets.

A noter que l'année 2020, marquée par une période de confinement et de restrictions liée à l'épidémie de COVID a entraîné des modifications sur les usages du numérique avec notamment un usage plus important.

Les données relatives aux durées de vie et aux consommations des équipements sont celles collectées dans la présente étude.

Les données collectées et adaptées à la nomenclature sont récapitulées dans les tableaux ci-dessous :

Foyer type couple déconnecté

Terminaux				
Equipements	Nombre d'équipements	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Ordinateurs portables	1	5	29	Considéré comme le seul équipement permettant un accès à internet
Tablettes		3	19	
Smartphones		3	4	Un téléphone mobile considéré pour les 2 membres du foyer, mais un feature phone
Feature phones	1	3	0,0900	Un feature phone considéré pour les 2 membres du foyer
Ordinateurs fixes		6	100	
Ecrans d'ordinateur		6	70	
Téléviseurs	1	8	179	
Vidéo-projecteurs		5	200	
Box TV	1	5	73	
Téléphone (ligne fixe via box)	2	8	18	1 dans le salon, 1 dans la chambre
Consoles de jeux vidéo de salon		7	56	
Consoles de jeux vidéo portables		7	5	
Enceintes connectées		5	23	
HDD externe		5	0,37	
SSD externe		5	0,37	
Clés USB & Micro SD		5	0,15	
Imprimantes		5	23	
Autres écrans		6	-	
Stations d'accueil		5	-	
IoT - Sécurité - Vidéo		5	18	
IoT - Sécurité - Contrôle		5	0,01	
IoT - Automatisation - Chauffage de l'eau		12	18	
IoT - Automatisation - Lampadaires		10	13	
IoT - Automatisation - Climatisation		12	16	
IoT - Automatisation - Lumières		7	18	
IoT - Automatisation - Cuisson		15	22	
IoT - Automatisation - Audio		4	25	
IoT - Automatisation - Appareils électroménagers		12	22	
IoT - Compteurs intelligents		12	18	

IoT – Capteurs : Res - Wi-Fi		5	11	
IoT – Capteurs : Res - LE		5	0,0088	
IoT – Capteurs : Industrie - LE		5	0,0088	
IoT – Capteurs : Santé - LE		5	0,0088	
IoT – Passerelle : Bus		7	61	
IoT – Passerelle : LE to Wi-Fi		7	12	
IoT - Communication de Contrôle bâtiment		12	13	
IoT - Stores + Fenêtres		5	0,0009	

Réseaux				
Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Nombre de box	1	5,4	98	Durée de vie : basée sur le nombre de nouvelles box en 2020 divisé par le nombre d'abonnés total
Volume de données transférées par box par mois (Go)	5			Correspond à quelques mails / photos échangés
Nombre de cartes SIM	1			
Volume de données transférées par carte SIM par mois (Go)	0,05			Correspond à quelques SMS / MMS

Centre de données				
Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Ratio de la consommation de données par rapport au total particulier	7,35E-10 ²¹⁷			

Tableau 97 – Données foyer type – Couple déconnecté

Foyer type famille hyperconnectée

Terminaux				
Equipements	Nombre d'équipements	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Ordinateurs portables	2	5	29	
Tablettes	2	3	19	1 par adulte
Smartphones	4	3	4	1 par personne
Feature phones		3	0,0900	
Ordinateurs fixes	1	6	100	
Ecrans d'ordinateur	2	6	70	1 pour le PC fixe, 1 pour un des PC portables
Téléviseurs	2	8	179	1 dans le salon, 1 dans la chambre des parents
Vidéo-projecteurs	1	5	200	
Box TV	1	5	73	
Téléphone (ligne fixe via box)	2	8	18	1 dans le salon, 1 dans la chambre des parents

²¹⁷ Cette donnée a été calculée sur la base de la consommation annuelle de données internet par le foyer (61 Go), divisée par la consommation de donnée totale annuelle des particuliers (82,4 Eo), sur les réseaux fixes et mobiles

Consoles de jeux vidéo de salon	2	7	56	1 par enfant
Consoles de jeux vidéo portables	2	7	5	1 par enfant
Enceintes connectées	1	5	23	Les enceintes connectées sont encore un équipement de niche (20% de taux d'équipement en 2020), mais correspond à la typologie d'un foyer hyperconnecté
HDD externe	2	5	0,37	
SSD externe	2	5	0,37	
Clés USB & Micro SD	8	5	0,15	
Imprimantes	1	5	23	
Autres écrans		6	-	
Stations d'accueil		5	-	
IoT - Sécurité - Vidéo	2	5	18	Considérant 2 caméras de vidéosurveillance
IoT - Sécurité - Contrôle	1	5	0,01	Considérant 1 alarme connectée
IoT - Automatisation - Chauffage de l'eau		12	18	
IoT - Automatisation - Lampadaires		10	13	
IoT - Automatisation - Climatisation	1	12	16	Considérant un chauffage central connecté
IoT - Automatisation - Lumières	5	7	18	Considérant 5 ampoules connectées
IoT - Automatisation - Cuisson		15	22	
IoT - Automatisation - Audio	3	4	25	
IoT - Automatisation - Appareils électroménagers	6	12	22	Considérant robot + aspirateur + frigo + lave-linge + four
IoT - Compteurs intelligents		12	18	
IoT - Capteurs : Res - Wi-Fi		5	11	
IoT - Capteurs : Res - LE		5	0,0088	
IoT - Capteurs : Industrie - LE		5	0,0088	
IoT - Capteurs : Santé - LE		5	0,0088	
IoT - Passerelle : Bus		7	61	
IoT - Passerelle : LE to Wi-Fi		7	12	
IoT - Communication de Contrôle bâtiment		12	13	
IoT - Stores + Fenêtres	10	5	0,0009	Considérant 10 stores connectés

Réseaux				
Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Nombre de box	1	5,4	98	
Volume de données transférées par box par mois (Go)	3 000			Beaucoup de film + jeux + fichiers + caméras de vidéosurveillance + IoT
Nombre de cartes SIM	4			
Volume de données transférées par carte SIM par mois (Go)	6			

Centre de données

Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Ratio de la consommation de données par rapport au total particulier	4,40E-07 ²¹⁸			

Tableau 98 – Données foyer type – Famille hyperconnectée

Foyer type étudiant connecté				
Terminaux				
Equipements	Nombre d'équipements	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Ordinateurs portables	1	5	29	Ordinateur considéré pour les études et pour l'usage personnel
Tablettes		3	19	
Smartphones	1	3	4	
Feature phones		3	0,0900	
Ordinateurs fixes		6	100	
Ecrans d'ordinateur		6	70	
Téléviseurs	1	8	179	
Vidéo-projecteurs		5	200	
Box TV	1	5	73	
Téléphone (ligne fixe via box)		8	18	Pas de téléphone fixe
Consoles de jeux vidéo de salon		7	56	
Consoles de jeux vidéo portables		7	5	
Enceintes connectées		5	23	
HDD externe	1	5	0,37	
SSD externe		5	0,37	
Clés USB & Micro SD	2	5	0,15	1 pour les études, 1 pour usage personnel
Imprimantes		5	23	
Autres écrans		6	-	
Stations d'accueil		5	-	
IoT - Sécurité - Vidéo		5	18	
IoT - Sécurité - Contrôle		5	0,01	
IoT - Automatisation - Chauffage de l'eau		12	18	
IoT - Automatisation - Lampadaires		10	13	
IoT - Automatisation - Climatisation		12	16	
IoT - Automatisation - Lumières		7	18	
IoT - Automatisation - Cuisson		15	22	
IoT - Automatisation - Audio		4	25	
IoT - Automatisation - Appareils électroménagers		12	22	
IoT - Compteurs intelligents		12	18	

²¹⁸ Cette donnée a été calculée sur la base de la consommation annuelle de données internet par le foyer (36 283 Go), divisée par la consommation de donnée totale annuelle des particuliers (82,4 Eo), sur les réseaux fixes et mobiles

IoT – Capteurs : Res - Wi-Fi		5	11	
IoT – Capteurs : Res - LE		5	0,0088	
IoT – Capteurs : Industrie - LE		5	0,0088	
IoT – Capteurs : Santé - LE		5	0,0088	
IoT – Passerelle : Bus		7	61	
IoT – Passerelle : LE to Wi-Fi		7	12	
IoT - Communication de Contrôle bâtiment		12	13	
IoT - Stores + Fenêtres		5	0,0009	

Réseaux				
Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Nombre de box	1	5,4	98	
Volume de données transférées par box par mois (Go)	500			Pas mal de visionnage de film, jeux, réseaux sociaux
Nombre de cartes SIM	1			
Volume de données transférées par carte SIM par mois (Go)	15			Pas mal de réseaux sociaux, mails

Centre de données				
Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Ratio de la consommation de données par rapport au total particulier	7,50E-08 ²¹⁹			

Tableau 99 – Données foyer type – Etudiant connecté

²¹⁹ Cette donnée a été calculée sur la base de la consommation annuelle de données internet par le foyer (6 180 Go), divisée par la consommation de donnée totale annuelle des particuliers (82,4 Eo), sur les réseaux fixes et mobiles

7.1.3. Résultats

7.1.3.1. Foyer moyen

Les impacts d'un foyer moyen sont les suivants :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
1,90E-02	1,15E+04	1,79E+00	4,94E+03	3,05E+02	1,39E+03	1,78E-05	7,72E-01	9,23E+02	3,23E+02	1,08E+04	2,26E+03

Tableau 100 – Résultats foyer moyen – Résultats globaux

De manière spécifique, l'impact sur le changement climatique est de 305 kg eq. CO₂/foyer.

La répartition des impacts est similaire à celle présentée au 5.4 Répartition des impacts personnel / professionnel et n'est pas rappelée ici.

7.1.3.2. Foyers types

Pour information, l'année 2020, représentée ici, présente des particularités due à l'épidémie de COVID. En effet, les usages des particuliers ont fortement évolué, et augmentés, lors de cette année qui n'est pas nécessairement représentative d'une année classique.

7.1.3.2.1. Couple déconnecté

Les impacts d'un foyer type couple déconnecté sont les suivants :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
1,05E-02	6,48E+03	7,24E-01	1,74E+03	1,24E+02	8,71E+02	9,08E-06	3,04E-01	6,64E+02	2,46E+02	7,07E+03	1,50E+03

Tableau 101 – Résultats foyer type couple déconnecté – Résultats globaux

De manière spécifique, l'impact sur le changement climatique est de 124 kg eq. CO₂/foyer.

La répartition des impacts, par tier et par phase du cycle de vie, est la suivante :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Tier 1	95,6%	79,6%	89,8%	94,6%	88,1%	77,3%	82,2%	89,3%	88,7%	93,7%	79,4%	76,0%
Tier 1 - Fabrication	106,6%	20,6%	76,2%	75,9%	69,3%	19,1%	35,0%	71,8%	86,7%	92,7%	19,5%	0,0%
Tier 1 - Distribution	0,1%	0,3%	2,4%	0,7%	1,0%	0,0%	0,5%	4,5%	0,2%	0,1%	0,3%	0,0%
Tier 1 - Utilisation	0,1%	58,7%	14,7%	7,1%	17,5%	58,3%	47,5%	15,1%	7,5%	0,9%	59,7%	76,0%
Tier 1 - Fin de vie	-11,2%	0,1%	-3,6%	10,9%	0,2%	0,0%	-0,9%	-2,1%	-5,7%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 2	4,3%	19,9%	9,8%	5,0%	11,5%	22,3%	17,4%	10,3%	11,1%	6,2%	20,1%	23,5%
Tier 2 - Fabrication	8,1%	1,8%	6,7%	6,5%	6,0%	4,3%	2,9%	6,0%	10,4%	5,9%	1,7%	0,0%
Tier 2 - Distribution	0,0%	0,0%	0,3%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 2 - Utilisation	0,0%	18,2%	4,6%	2,2%	5,4%	18,0%	14,7%	4,7%	2,3%	0,3%	18,5%	23,5%
Tier 2 - Fin de vie	-3,8%	0,0%	-1,6%	-3,7%	0,0%	0,0%	-0,3%	-0,8%	-1,7%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 3	0,1%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,3%	0,1%	0,4%	0,5%
Tier 3 - Fabrication	0,1%	0,1%	0,3%	0,3%	0,3%	0,0%	0,1%	0,3%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%
Tier 3 - Distribution	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 3 - Utilisation	0,0%	0,4%	0,1%	0,0%	0,1%	0,4%	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,4%	0,5%
Tier 3 - Fin de vie	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Fabrication	114,8%	22,4%	83,2%	82,7%	75,6%	23,4%	38,1%	78,1%	97,3%	98,7%	21,3%	0,0%
Distribution	0,1%	0,3%	2,7%	0,8%	1,1%	0,0%	0,5%	5,0%	0,2%	0,1%	0,3%	0,0%
Utilisation	0,1%	77,3%	19,4%	9,3%	23,1%	76,6%	62,5%	19,9%	9,8%	1,2%	78,5%	100,0%

Fin de vie	-15,0%	0,0%	-5,2%	7,2%	0,2%	0,0%	-1,2%	-2,9%	-7,4%	0,0%	0,0%	0,0%
------------	--------	------	-------	------	------	------	-------	-------	-------	------	------	------

Tableau 102 – Résultats foyer type couple déconnecté – Résultats détaillés

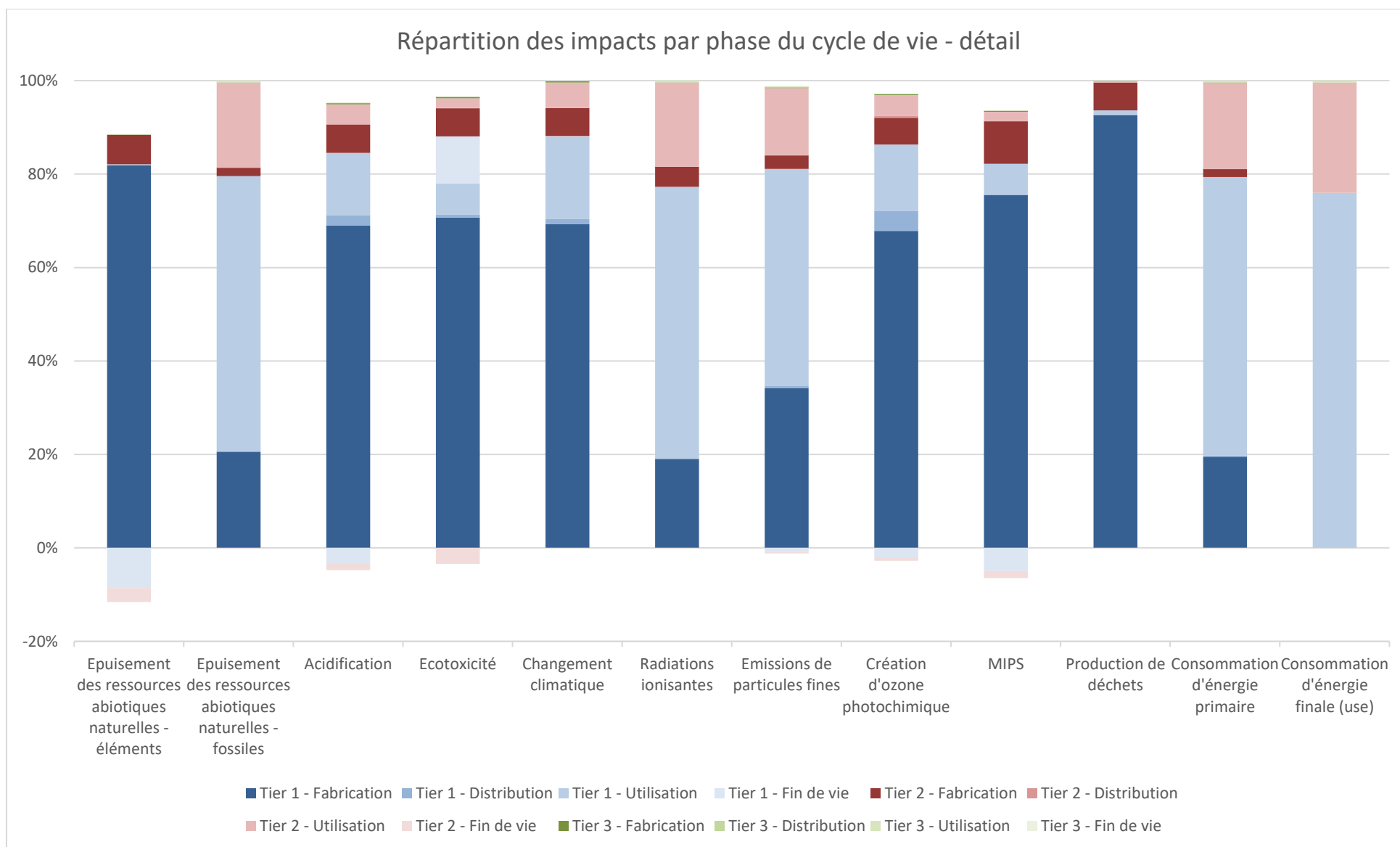


Figure 31 – Résultats foyer type couple déconnecté – Résultats détaillés

On constate avant tout une prédominance du tier 1 concernant les terminaux utilisateurs. En effet, l’usage du réseau et des centres de données est quasiment nul (au total 5,05 Go par mois). Le réseau ressort cependant via la prise en compte de la box internet qui, même si elle est peu sollicitée, reste mobilisée et branchée en permanence. Les phases de fabrication et d’utilisation sont, comme de manière globale, les phases les plus impactantes. Les impacts étant fortement liés aux terminaux, une analyse plus fine de cette partie est présentée ci-dessous :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire
Ordinateurs	21,3%	15,9%	34,7%	44,9%	34,0%	10,3%	21,6%	33,6%	27,2%	26,6%	15,6%
Téléphones	14,9%	11,5%	14,5%	12,1%	14,0%	10,2%	12,7%	13,9%	14,4%	15,0%	11,5%
Ecrans et matériel audiovisuel	63,8%	72,5%	50,8%	43,0%	52,0%	79,5%	65,7%	52,5%	58,3%	58,4%	72,9%
Consoles	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Stockage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Autres	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
IoT	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 103 – Résultats foyer type couple déconnecté – Résultats détaillés – tier 1

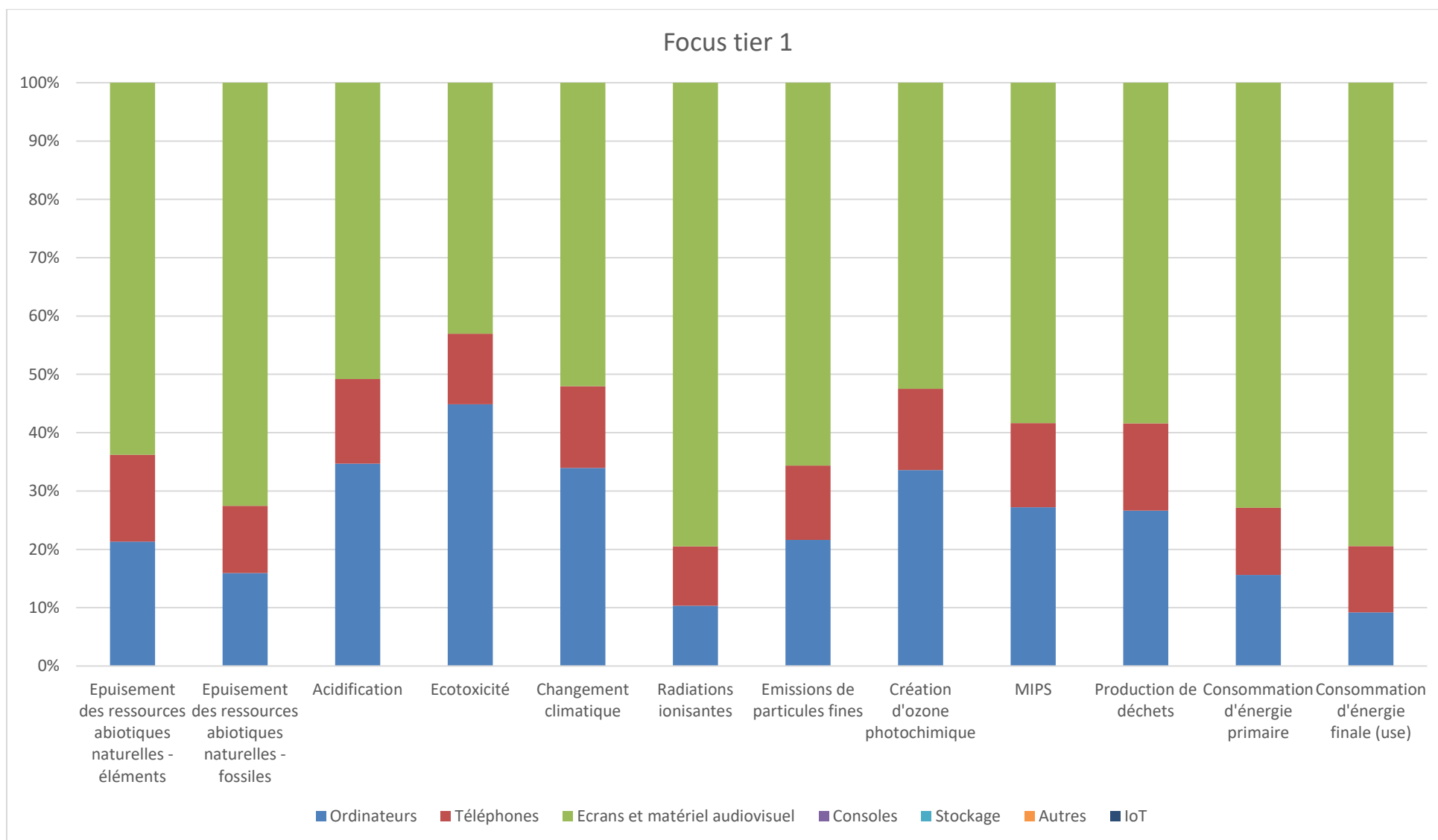


Figure 32 – Résultats foyer type couple déconnecté – Résultats détaillés – tier 1

En premier lieu, l'ensemble audiovisuel (téléviseur et box TV) constitue la majorité des impacts. En effet, ces équipements, et le téléviseur en premier lieu, génèrent des impacts importants à la fabrication comme lors de leur utilisation.

Vient ensuite l'ordinateur portable, et enfin les téléphones (2 téléphones fixes et un feature phone).

7.1.3.2.2.Famille hyperconnectée

Les impacts d'un foyer type famille hyperconnectée sont les suivants :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
4,53E-02	4,83E+04	6,27E+00	1,70E+04	1,09E+03	5,90E+03	7,21E-05	2,68E+00	4,56E+03	1,30E+03	5,25E+04	1,05E+04

Tableau 104 – Résultats foyer type famille hyperconnectée – Résultats globaux

De manière spécifique, l'impact sur le changement climatique est de 1 090 kg eq. CO₂/foyer.

La répartition des impacts, par tier et par phase du cycle de vie, est la suivante :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Tier 1	88,4%	58,8%	73,0%	74,5%	71,7%	58,5%	63,8%	73,2%	74,8%	84,4%	58,4%	52,4%
Tier 1 - Fabrication	108,7%	20,6%	66,2%	61,8%	61,6%	17,0%	35,5%	64,0%	75,5%	83,5%	19,5%	0,0%
Tier 1 - Distribution	0,2%	0,2%	1,7%	0,4%	0,6%	0,0%	0,4%	3,1%	0,2%	0,1%	0,2%	0,0%
Tier 1 - Utilisation	0,1%	38,1%	8,2%	3,5%	9,7%	41,6%	28,9%	8,3%	5,2%	0,8%	38,9%	52,4%
Tier 1 - Fin de vie	-20,6%	-0,1%	-3,2%	8,7%	-0,3%	-0,1%	-1,0%	-2,1%	-6,1%	-0,1%	-0,1%	0,0%
Tier 2	2,6%	5,8%	2,3%	0,9%	2,6%	6,6%	4,7%	2,5%	2,9%	2,5%	5,9%	7,1%
Tier 2 - Fabrication	3,8%	0,6%	1,4%	1,1%	1,2%	1,0%	0,8%	1,4%	2,6%	2,3%	0,6%	0,0%
Tier 2 - Distribution	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 2 - Utilisation	0,0%	5,2%	1,1%	0,5%	1,3%	5,6%	3,9%	1,1%	0,7%	0,1%	5,3%	7,1%

Tier 2 - Fin de vie	-1,3%	0,0%	-0,4%	-0,8%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,2%	-0,4%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 3	9,0%	35,4%	24,7%	24,7%	25,7%	34,8%	31,6%	24,2%	22,3%	13,1%	35,7%	40,5%
Tier 3 - Fabrication	11,5%	5,8%	18,5%	21,0%	17,5%	2,7%	9,1%	17,6%	19,0%	12,3%	5,6%	0,0%
Tier 3 - Distribution	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,0%	0,2%	0,6%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
Tier 3 - Utilisation	0,1%	29,4%	6,4%	2,7%	7,9%	32,1%	22,3%	6,5%	4,1%	0,6%	30,0%	40,5%
Tier 3 - Fin de vie	-2,7%	0,0%	-0,4%	0,7%	0,0%	0,0%	-0,2%	-0,3%	-0,8%	0,0%	0,0%	0,0%
Fabrication	124,0%	27,0%	86,1%	84,0%	80,3%	20,7%	45,4%	82,9%	97,1%	98,1%	25,7%	0,0%
Distribution	0,3%	0,3%	2,1%	0,6%	1,0%	0,0%	0,7%	3,8%	0,2%	0,3%	0,3%	0,0%
Utilisation	0,2%	72,7%	15,7%	6,7%	19,0%	79,4%	55,2%	15,9%	10,0%	1,6%	74,1%	100,0%
Fin de vie	-24,5%	-0,1%	-3,9%	8,6%	-0,3%	-0,1%	-1,3%	-2,6%	-7,4%	0,0%	-0,1%	0,0%

Tableau 105 – Résultats foyer type famille hyperconnectée – Résultats détaillés

On constate avant tout une prédominance du tier 1 concernant les terminaux utilisateurs, malgré un usage du réseau et des centres de données importants. En effet, ce profil de foyer type est fortement consommateur d'équipements et de équipements et infrastructures numériques, pour tous les tiers considérés (terminaux, réseaux et centres de données)

Les phases de fabrication et d'utilisation sont, comme de manière globale, les phases les plus impactantes.

Les impacts étant fortement liés aux terminaux, une analyse plus fine de cette partie est présentée ci-dessous :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Ordinateurs	24,3%	17,4%	25,3%	30,4%	24,9%	15,0%	19,2%	25,3%	24,3%	29,1%	17,2%	12,7%
Téléphones	11,0%	9,0%	19,1%	19,0%	19,1%	3,3%	11,9%	19,8%	13,9%	14,2%	8,8%	3,4%
Ecrans et matériel audiovisuel	40,1%	39,2%	19,4%	14,4%	19,8%	43,0%	34,3%	19,9%	25,0%	29,5%	39,7%	50,3%
Consoles	18,9%	9,3%	12,1%	12,0%	12,0%	15,4%	10,1%	11,5%	14,3%	14,4%	9,2%	8,0%
Stockage	2,3%	3,8%	10,6%	9,8%	10,5%	0,4%	5,8%	9,1%	6,7%	3,3%	3,7%	0,2%
Autres	0,1%	2,5%	3,1%	3,9%	3,0%	2,0%	2,6%	3,5%	2,7%	3,0%	2,4%	1,5%
IoT	3,4%	18,8%	10,4%	10,4%	10,8%	20,9%	16,1%	10,9%	13,1%	6,4%	19,0%	24,0%

Tableau 106 – Résultats foyer type famille hyperconnectée – Résultats détaillés – tier 1

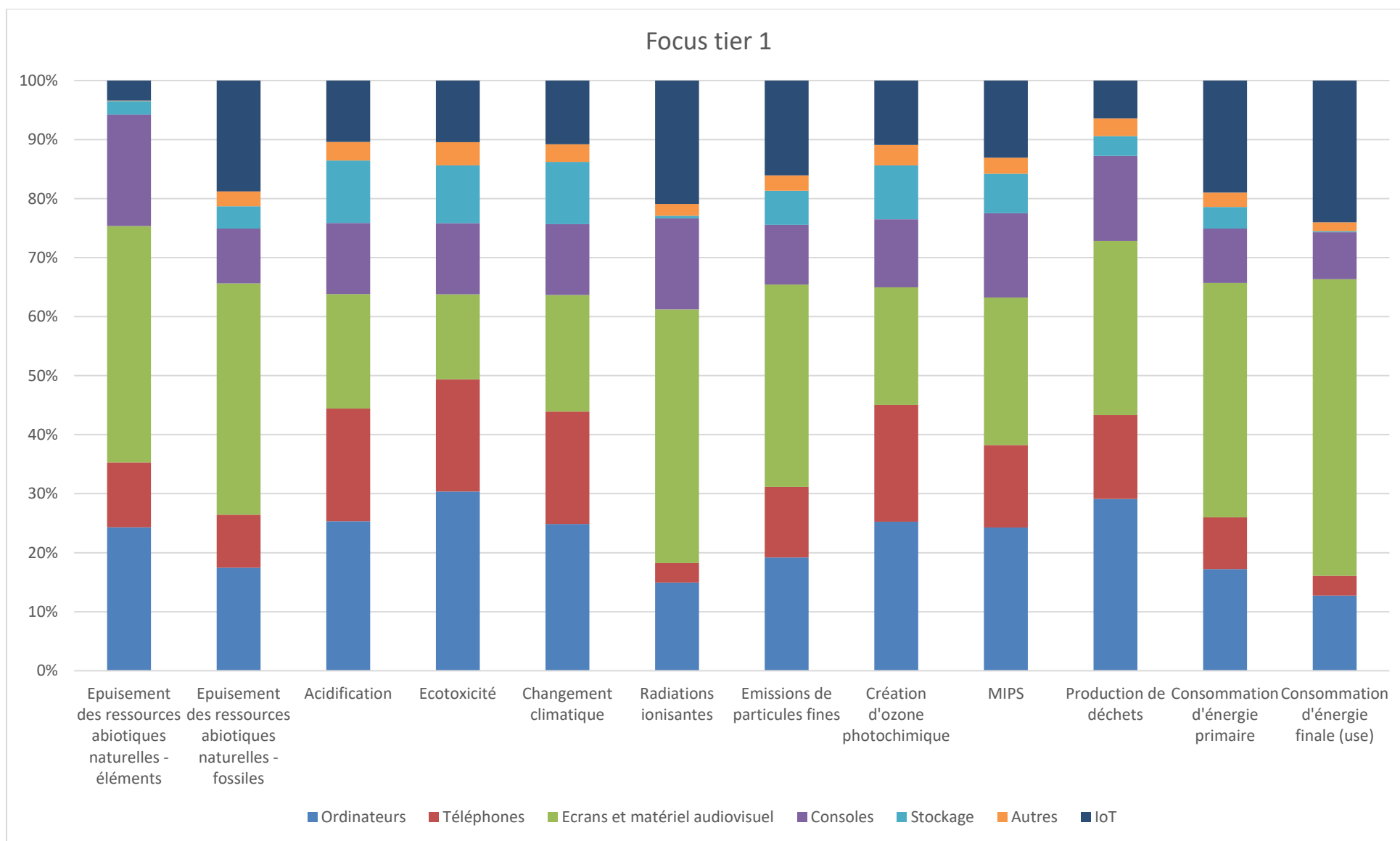


Figure 34 – Résultats foyer type famille hyperconnectée – Résultats détaillés – tier 1

Les impacts sont assez répartis entre différents types de terminaux ;

- Les écrans et matériels audiovisuels génèrent le plus d'impact, lié au nombre de téléviseurs utilisés principalement
- Les ordinateurs, fixes et portables, génèrent également des impacts importants
- Les téléphones, les consoles et l'IoT ont également des impacts non négligeables

7.1.3.2.3. Etudiant connecté

Les impacts d'un foyer type étudiant connecté sont les suivants :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
1,12E-02	9,65E+03	1,14E+00	2,94E+03	1,99E+02	1,20E+03	1,37E-05	4,87E-01	8,92E+02	2,89E+02	1,05E+04	2,19E+03

Tableau 107 – Résultats foyer type étudiant connecté – Résultats globaux

De manière spécifique, l'impact sur le changement climatique est de 199 kg eq. CO₂/foyer.

La répartition des impacts, par tier et par phase du cycle de vie, est la suivante :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Tier 1	88,5%	53,4%	69,5%	72,4%	67,6%	51,6%	57,7%	69,4%	71,1%	83,6%	53,1%	47,1%
Tier 1 - Fabrication	98,2%	17,6%	61,6%	58,0%	57,0%	13,6%	29,6%	59,3%	69,9%	82,8%	16,8%	0,0%
Tier 1 - Distribution	0,1%	0,2%	1,5%	0,4%	0,7%	0,0%	0,3%	2,8%	0,2%	0,1%	0,2%	0,0%
Tier 1 - Utilisation	0,1%	35,5%	8,4%	3,8%	9,9%	38,0%	28,3%	8,5%	5,0%	0,7%	36,1%	47,1%
Tier 1 - Fin de vie	-9,9%	0,0%	-2,0%	10,2%	0,1%	0,0%	-0,6%	-1,2%	-4,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 2	5,3%	16,4%	7,4%	3,3%	8,5%	19,3%	14,0%	7,8%	9,5%	6,4%	16,6%	19,7%
Tier 2 - Fabrication	9,1%	1,5%	4,9%	4,3%	4,3%	3,4%	2,3%	4,4%	8,8%	6,1%	1,5%	0,0%
Tier 2 - Distribution	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tier 2 - Utilisation	0,0%	14,9%	3,5%	1,6%	4,1%	15,9%	11,9%	3,6%	2,1%	0,3%	15,1%	19,7%
Tier 2 - Fin de vie	-3,9%	0,0%	-1,2%	-2,6%	0,0%	0,0%	-0,2%	-0,6%	-1,4%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 3	6,2%	30,2%	23,1%	24,3%	23,9%	29,1%	28,3%	22,7%	19,4%	10,0%	30,3%	33,2%
Tier 3 - Fabrication	7,9%	5,0%	17,3%	20,7%	16,3%	2,3%	8,2%	16,5%	16,6%	9,4%	4,7%	0,0%
Tier 3 - Distribution	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,0%	0,2%	0,5%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
Tier 3 - Utilisation	0,1%	25,1%	5,9%	2,7%	7,4%	26,8%	20,0%	6,1%	3,5%	0,5%	25,5%	33,2%
Tier 3 - Fin de vie	-1,8%	0,0%	-0,4%	0,7%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,3%	-0,7%	0,0%	0,0%	0,0%
Fabrication	115,2%	24,2%	83,8%	83,0%	77,5%	19,3%	40,1%	80,3%	95,3%	98,3%	23,0%	0,0%
Distribution	0,2%	0,3%	2,0%	0,7%	1,0%	0,0%	0,6%	3,7%	0,3%	0,2%	0,3%	0,0%
Utilisation	0,2%	75,5%	17,9%	8,0%	21,4%	80,7%	60,2%	18,1%	10,6%	1,5%	76,8%	100,0%
Fin de vie	-15,6%	0,0%	-3,6%	8,2%	0,1%	0,0%	-0,9%	-2,1%	-6,2%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 108 – Résultats foyer type étudiant connecté – Résultats détaillés

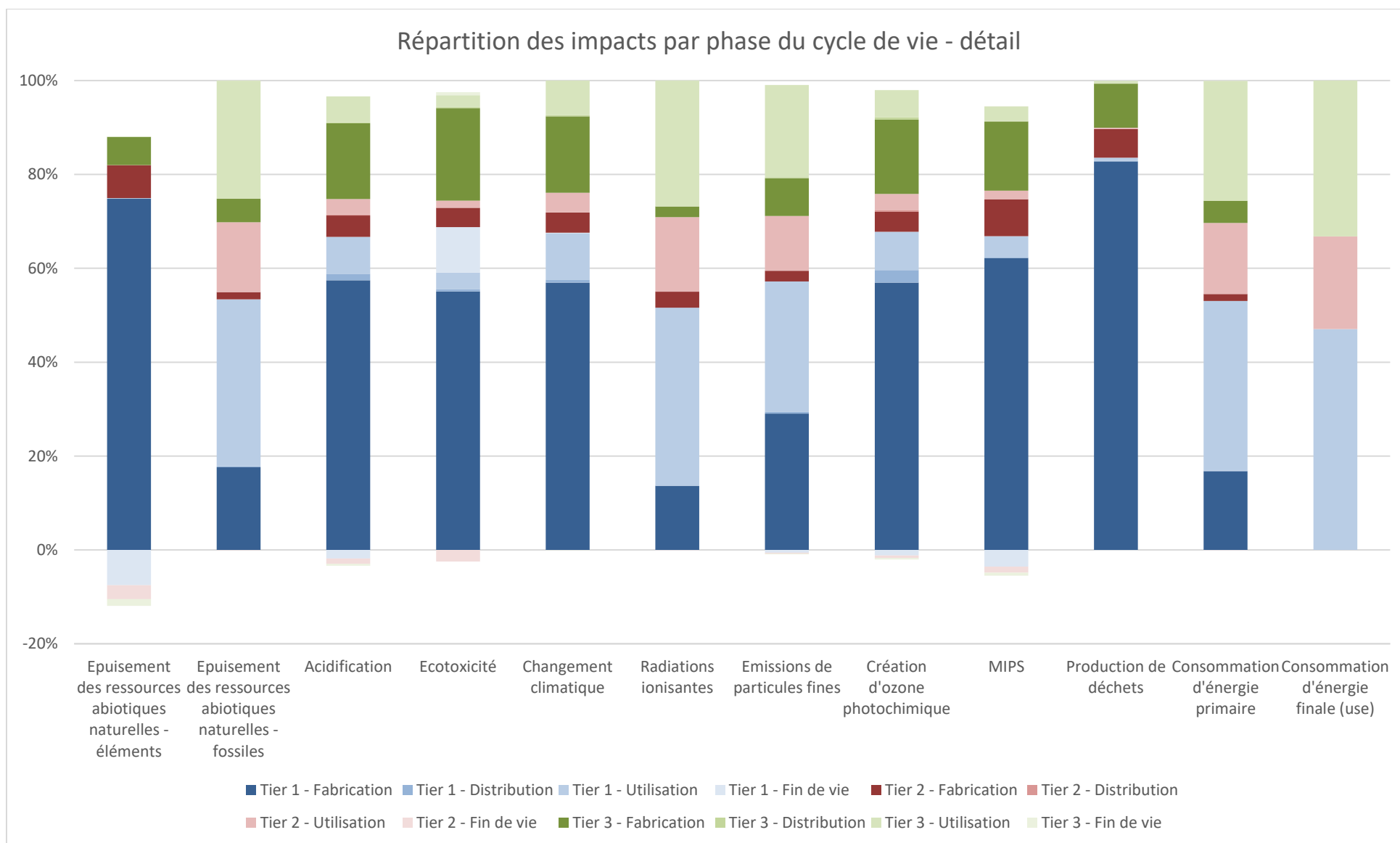


Figure 35 – Résultats foyer type étudiant connecté – Résultats détaillés

On constate avant tout une prédominance du tier 1 concernant les terminaux utilisateurs, malgré un usage du réseau et des centres de données importants. En effet, ce profil de foyer type est modérément consommateur d'équipements et de équipements et infrastructures numériques, pour tous les tiers considérés (terminaux, réseaux et centres de données), avec un usage des ressources datacenter et réseau important (visionnage de vidéos en streaming, mails, réseaux sociaux, sites internet, partage de fichiers, etc.)

Les phases de fabrication et d'utilisation sont, comme de manière globale, les phases les plus impactantes.

Les impacts étant fortement liés aux terminaux, une analyse plus fine de cette partie est présentée ci-dessous :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Ordinateurs	21,7%	16,0%	28,4%	34,8%	27,6%	11,2%	20,4%	27,0%	25,3%	25,4%	15,7%	10,2%
Téléphones	10,6%	10,0%	26,4%	27,6%	26,5%	1,9%	15,4%	27,7%	17,2%	15,4%	9,7%	1,4%
Ecrans et matériel audiovisuel	64,7%	72,7%	41,6%	33,3%	42,3%	86,2%	61,9%	42,1%	54,1%	55,7%	73,3%	88,2%
Consoles	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Stockage	3,0%	1,4%	3,7%	4,3%	3,6%	0,6%	2,3%	3,2%	3,4%	3,5%	1,3%	0,2%
Autres	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
IoT	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 109 – Résultats foyer type étudiant connecté – Résultats détaillés – tier 1

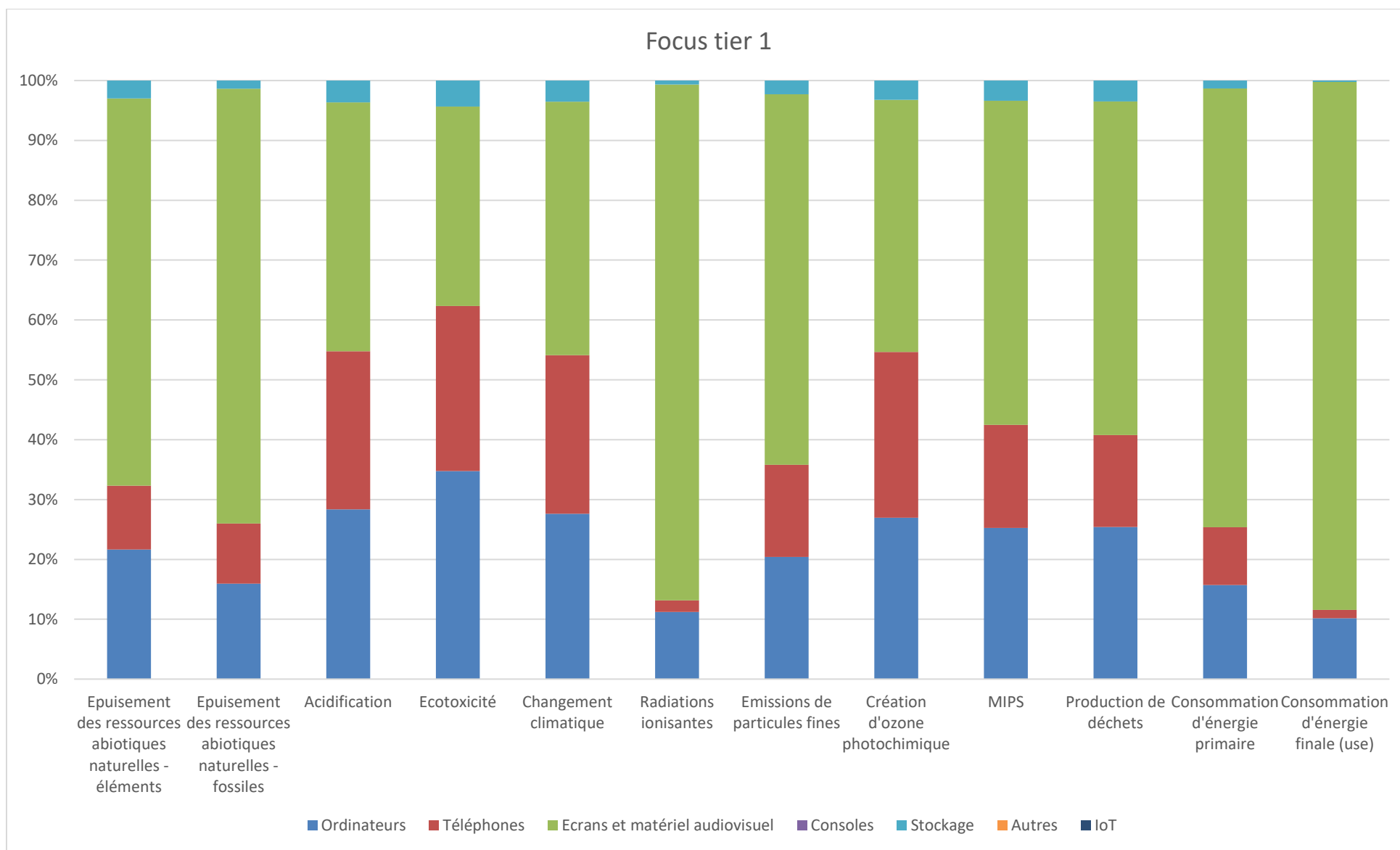


Figure 36 – Résultats foyer type étudiant connecté – Résultats détaillés – tier 1

Trois catégories se distinguent nettement :

- Les écrans et matériels audiovisuels : l'ensemble téléviseur génère l'essentiel de cet impact
- Les ordinateurs : constitués uniquement par l'ordinateur portable
- Les téléphones : constitués uniquement par le smartphone

7.1.4. Comparaison

Cette partie permet la comparaison entre les différents foyers afin d'évaluer les impacts relatifs entre les différents usages du numérique par les particuliers.

La comparaison s'effectue au niveau foyer, ramené par habitant. Cela permet de prendre en compte le fait que les foyers type étudiés comprennent entre 1 et 4 habitants, et donc pour un usage nécessairement différent.

Les résultats de la comparaison sont les suivants :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Foyer moyen	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Foyer type couple déconnecté	60,9%	61,6%	44,3%	38,6%	44,7%	68,6%	55,9%	43,1%	78,7%	83,4%	72,0%	72,9%
Foyer type famille hyperconnectée	130,8%	229,4%	191,9%	188,5%	195,0%	232,2%	222,3%	190,3%	270,6%	220,7%	267,2%	255,7%
Foyer type étudiant connecté	129,7%	183,4%	140,0%	130,5%	143,1%	189,5%	169,1%	138,3%	211,7%	196,0%	214,1%	212,2%

Tableau 110 - Comparaison des impacts des foyers par habitant

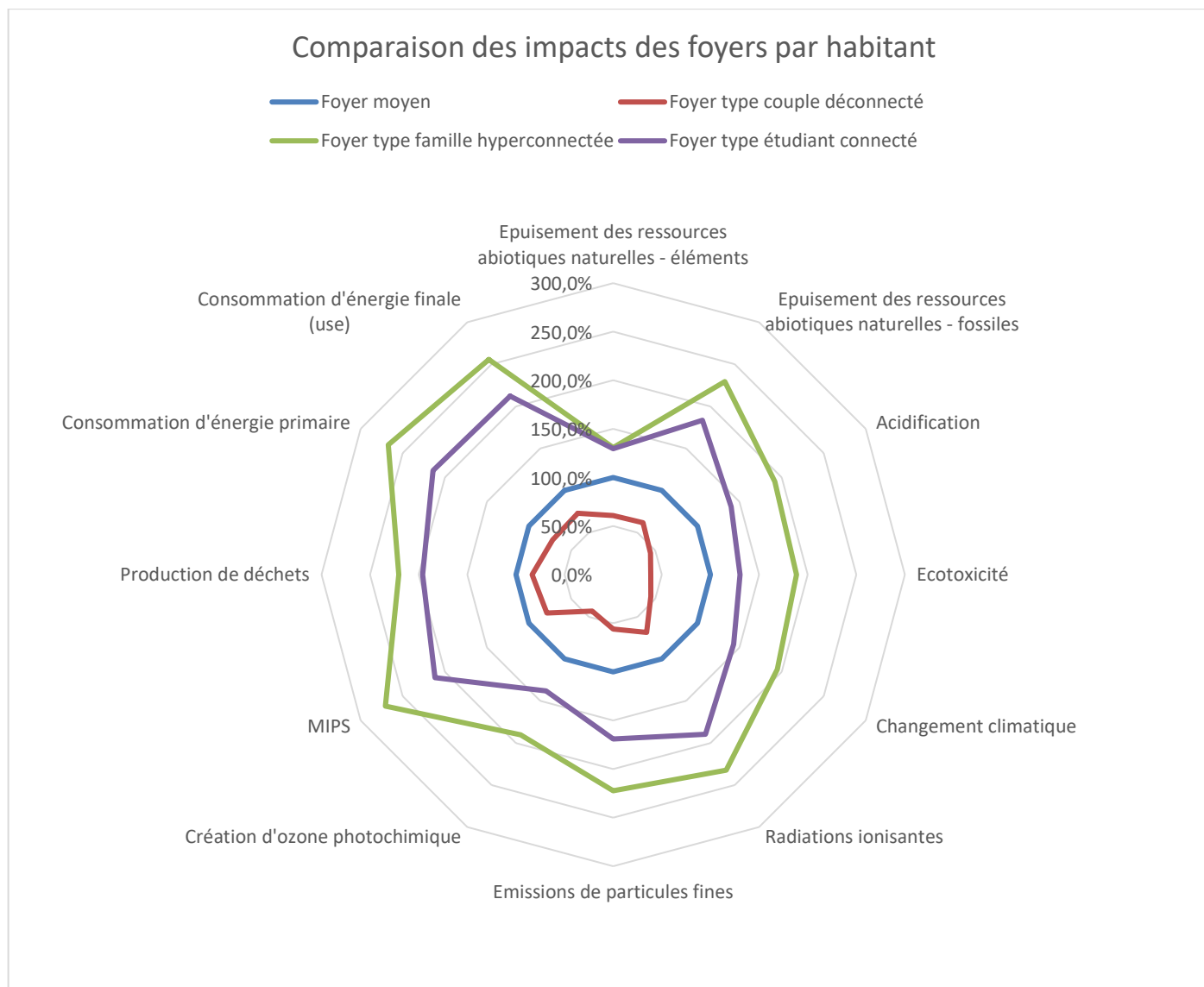


Figure 37 - Comparaison des impacts des foyers par habitant

Cette comparaison montre que les différents usages du numérique au sein d'un foyer peuvent mener à des impacts environnementaux associés ayant une grande plage d'amplitude, dans ces cas types d'un facteur de 2 à 5 en fonction des indicateurs.

Comme le numérique ne couvre pas les mêmes usages pour tous les foyers étudiés (certains usages étant couverts par des solutions non numériques, par exemple les démarches administratives, ou le visionnage ou l'écoute de contenus vidéo ou audio, d'autres usages sont différents, comme le besoin de suivre des cours via internet), la comparaison directe des résultats doit être prise avec du recul, et devrait idéalement prendre en compte un périmètre fonctionnel constant entre les foyers.

Cela montre tout de même une possibilité de réduction des impacts du numérique importante.

7.1.5. Conclusions et limites

Ce travail a permis de mettre en avant les résultats d'impacts environnementaux de différents types de foyer, à des fins d'illustration.

Tout comme les foyers ont une composition, des besoins, et une sensibilité au numérique variés, les résultats d'impacts sont aussi très diversifiés. Il n'existe pas un foyer type global, mais différentes typologies, dont le nombre et la nature exacts pourraient être précisés afin de disposer d'une analyse plus fine des besoins de chacun, et des leviers d'action de réduction des impacts environnementaux du numérique associés.

Ce travail a également permis de mettre en avant un certain nombre de limites complémentaires propres à l'élaboration des foyers types :

- La détermination de la consommation de données réseau fixe ou mobile n'est pas évidente. S'il est possible de le mesurer pour un foyer spécifique, en tirer des conclusions par typologie de foyer est délicat, et nécessiterait des travaux complémentaires à ce sujet.
- Les impacts de la partie centre de données ne peuvent être évalués qu'à partir de la consommation de données. L'usage exact qui est fait des centres de données, ainsi que les impacts associés, ne peuvent pas être définis spécifiquement, ni reliés à des fonctionnalités précises. A ce sujet, il serait intéressant que les fournisseurs de services affichent les impacts environnementaux liés vers leurs utilisateurs.

7.2. Par entreprise

7.2.1. Méthodologie

7.2.1.1. Entreprise moyenne

Les impacts de l'entreprise moyenne sont définis comme étant les impacts globaux pour les professionnels (définis au 5.4 Répartition des impacts personnel / professionnel), divisés par le nombre d'entreprise en France, retransché des entreprises sans salariés (indépendants). En effet, pour ce type d'entreprise, les équipements sont très généralement faibles, et partagés entre usage personnel et professionnel. De plus, cette catégorie représente 73% des entreprises en France, ce qui présenterait une disproportion de leur représentation dans les entreprises moyennes.

7.2.1.2. Entreprises types

La détermination des typologies d'entreprise s'est basée sur les données disponibles intégrant des inventaires les plus exhaustifs possible des équipements numériques utilisés.

Les sources identifiées²²⁰ ont pointé vers le choix d'entreprises types suivant :

- Secteur bancaire, grande entreprise (10 000 employés)
- Secteur du commerce, répartition de la masse salariale comme suit :
 - o 0% - 0 à 9 salariés
 - o 45,8% - 10 à 49 salariés
 - o 20,1% - 50 à 99 salariés
 - o 20,0% - 100 à 249 salariés
 - o 8,3% - 250 à 499 salariés
 - o 5,3% - 500 à 999 salariés
 - o 0% - 1000 salariés et plus
 - o Considéré à 134 employés (moyenne de la répartition)
- Secteur des services, répartition de la masse salariale comme suit :
 - o 0% - 0 à 9 salariés
 - o 62,5% - 10 à 49 salariés
 - o 14,5% - 50 à 99 salariés
 - o 11,9% - 100 à 249 salariés
 - o 5,1% - 250 à 499 salariés
 - o 1,2% - 500 à 999 salariés
 - o 4,7% - 1000 salariés et plus
 - o Considéré à 149 employés (moyenne de la répartition, considérant 1500 employés pour la dernière catégorie)

Pour les deux dernières typologies d'entreprise, les données disponibles ne permettaient pas de faire une distinction par taille d'entreprise ou nombre de salariés. Il a donc été décidé de garder la répartition de la source²²¹ afin de ne pas réaliser d'extrapolation qui entraînerait une incertitude complémentaire.

7.2.2. Données

7.2.2.1. Entreprise moyenne

La donnée nécessaire pour la détermination des impacts d'une entreprise moyenne est le nombre d'entreprises en France. La source utilisée est celle de la CCI, datant de 2016, indiquant un nombre d'entreprises total de 1 207 700 (une fois retransché les entreprises individuelles (3 200 000 entreprises)).

7.2.2.2. Entreprises types

Les sources utilisées sont les suivantes :

- Secteur bancaire : collecte de données GreenIT.fr, période 2018-2021

²²⁰ Collecte de données GreenIT.fr, période 2018-2021 et Baromètre GreenIT 2019 de l'AGIT

²²¹ Baromètre GreenIT 2019 de l'AGIT

- La collecte est ramenée à un nombre d'équipement par employé. Elle a été adaptée à un nombre d'employé déterminé à 10 000.
- Secteurs du commerce et des services : Baromètre GreenIT 2019 de l'AGIT
 - La collecte est basée sur un sondage auprès de respectivement 40 et 66 entreprises de tailles variées. La collecte n'a pas été adaptée à un nombre d'employé spécifique pour éviter l'intégration d'incertitude.

Un travail a été mené pour adapter la nomenclature et la granularité des informations par rapport à celle de la présente étude. En effet, les catégories d'équipement n'étaient pas identiques, et notamment beaucoup de catégories n'étaient pas couvertes par les sources. Ces points ont été précisés dans le tableau ci-dessous.

Les données relatives aux durées de vie et aux consommations des équipements sont celles collectées dans la présente étude.

Les données collectées et adaptées à la nomenclature sont récapitulées dans les tableaux ci-dessous :

Secteur bancaire				
Terminaux				
Equipements	Nombre d'équipements	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Ordinateurs portables	7 978	5	48	
Tablettes	563	3	5	
Smartphones	3 660	3	2	
Feature phones	563	3	0,0900	
Ordinateurs fixes	9 725	6	151	
Ecrans d'ordinateur	25 441	6	70	
Téléviseurs		8	179	Pas d'information
Vidéo-projecteurs	214	5	200	
Box TV		5	73	Pas d'information
Téléphone (ligne fixe via box)	12 283	8	40	
Consoles de jeux vidéo de salon		7	-	
Consoles de jeux vidéo portables		7	-	
Enceintes connectées		5	-	
HDD externe		5	0,3700	Pas d'information
SSD externe		5	0,3700	Pas d'information
Clés USB & Micro SD		5	0,1500	Pas d'information
Imprimantes	4 499	5	71	
Autres écrans		6	420	
Stations d'accueil	7 681	5	1	
IoT - Sécurité - Vidéo		10	70	Pas d'information
IoT - Sécurité - Contrôle		5	0,0088	Pas d'information
IoT - Automatisation - Chauffage de l'eau		12	18	Pas d'information
IoT - Automatisation - Lampadaires		10	13	Pas d'information
IoT - Automatisation - Climatisation		12	16	Pas d'information
IoT - Automatisation - Lumières		7	18	Pas d'information
IoT - Automatisation - Cuisson		15	22	Pas d'information
IoT - Automatisation - Audio		4	25	Pas d'information
IoT - Automatisation - Appareils électroménagers		12	22	Pas d'information
IoT - Compteurs intelligents		12	18	Pas d'information

IoT – Capteurs : Res - Wi-Fi		5	11	Pas d'information
IoT – Capteurs : Res - LE		5	0,0088	Pas d'information
IoT – Capteurs : Industrie - LE		5	0,0088	Pas d'information
IoT – Capteurs : Santé - LE		5	0,0088	Pas d'information
IoT – Passerelle : Bus		7	61	Pas d'information
IoT – Passerelle : LE to Wi-Fi		7	12	Pas d'information
IoT - Communication de Contrôle bâtiment		12	13	Pas d'information
IoT - Stores + Fenêtres		5	0,0009	Pas d'information

Réseaux				
Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Nombre de box	764	5,4	98	
Volume de données transférées par box par mois (Go)	220			Le volume de données transféré par box n'était pas renseigné. La moyenne nationale a été retenue
Nombre de cartes SIM	4 223			Le nombre de carte SIM est déterminé comme la somme du nombre de smartphones et de feature phones
Volume de données transférées par carte SIM par mois (Go)	6			Le volume de données transféré par carte SIM n'était pas renseigné. La moyenne nationale a été retenue

Centre de données				
Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Switch réseau	818	5	307	
Autres éléments actifs réseau (pare-feu, WaaS, VPN appliance, etc.)	219	5	307	
Baies	2 705	20	-	
Disque de stockage (To)	573	5	140	
Serveurs physiques x86 - rack / pizza	1 166	5	3 504	
Serveurs physiques x86 - blade, par lame	1 326	5	3 504	
Serveurs virtuels fournis par un tiers (Cloud)	7,53E-04 ²²²			Est déterminé comme la fraction des impacts des datacenters professionnels de colocation allouée à cette entreprise, selon la clé d'allocation suivante : Transfert de données pour l'entreprise par mois / transfert de données professionnels total par mois

Tableau 111 – Données entreprise type – Secteur bancaire

²²² Cette donnée a été calculée sur la base de la consommation annuelle de données internet par l'entreprise (2 315 948 Go), divisée par la consommation de donnée totale annuelle des entreprises (6,15 Eo), sur les réseaux fixes et mobiles, multiplié par un facteur de 2 pour illustrer la redondance liée aux besoins de sécurités liées aux activités bancaires. Ce facteur est déterminé par hypothèse, en l'absence de données précises.

Secteur du commerce

Terminaux				
Equipements	Nombre d'équipements	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Ordinateurs portables	32	5	48	
Tablettes		3	5	Pas d'information
Smartphones	33	3	2	
Feature phones	16	3	0,0900	
Ordinateurs fixes	46	6	151	
Ecrans d'ordinateur	79	6	70	
Téléviseurs		8	179	Pas d'information
Vidéo-projecteurs		5	200	Pas d'information
Box TV		5	73	Pas d'information
Téléphone (ligne fixe via box)		8	40	Pas d'information
Consoles de jeux vidéo de salon		7	-	
Consoles de jeux vidéo portables		7	-	
Enceintes connectées		5	-	
HDD externe		5	0,3700	Pas d'information
SSD externe		5	0,3700	Pas d'information
Clés USB & Micro SD		5	0,1500	Pas d'information
Imprimantes	13	5	71	
Autres écrans		6	420	Pas d'information
Stations d'accueil		5	1	Pas d'information
IoT - Sécurité - Vidéo		10	70	Pas d'information
IoT - Sécurité - Contrôle		5	0,0088	Pas d'information
IoT - Automatisation - Chauffage de l'eau		12	18	Pas d'information
IoT - Automatisation - Lampadaires		10	13	Pas d'information
IoT - Automatisation - Climatisation		12	16	Pas d'information
IoT - Automatisation - Lumières		7	18	Pas d'information
IoT - Automatisation - Cuisson		15	22	Pas d'information
IoT - Automatisation - Audio		4	25	Pas d'information
IoT - Automatisation - Appareils électroménagers		12	22	Pas d'information
IoT - Compteurs intelligents		12	18	Pas d'information
IoT - Capteurs : Res - Wi-Fi		5	11	Pas d'information
IoT - Capteurs : Res - LE		5	0,0088	Pas d'information
IoT - Capteurs : Industrie - LE		5	0,0088	Pas d'information
IoT - Capteurs : Santé - LE		5	0,0088	Pas d'information
IoT - Passerelle : Bus		7	61	Pas d'information
IoT - Passerelle : LE to Wi-Fi		7	12	Pas d'information
IoT - Communication de Contrôle bâtiment		12	13	Pas d'information
IoT - Stores + Fenêtres		5	0,0009	Pas d'information

Réseaux

Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Nombre de box	8	5,4	98	Considérant 10 postes par box
Volume de données transférées par box par mois (Go)	220			Le volume de données transféré par box n'était pas renseigné. La moyenne nationale a été retenue
Nombre de cartes SIM	49			Le nombre de carte SIM est déterminé comme la somme du nombre de smartphones et de feature phones
Volume de données transférées par carte SIM par mois (Go)	6			Le volume de données transféré par carte SIM n'était pas renseigné. La moyenne nationale a été retenue

Centre de données				
Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Switch réseau	6	5	307	
Autres éléments actifs réseau (pare-feu, WaaS, VPN appliance, etc.)		5	307	Pas d'information
Baies		20	-	Pas d'information
Disque de stockage (To)	186	5	140	
Serveurs physiques x86 - rack / pizza	3,3	5	3 504	
Serveurs physiques x86 - blade, par lame	1,1	5	3 504	
Serveurs virtuels fournis par un tiers (Cloud)	3,90E-06 ²²³			Est déterminé comme la fraction des impacts des datacenters professionnels de colocation allouée à cette entreprise, selon la clé d'allocation suivante : Transfert de données pour l'entreprise par mois / transfert de données professionnels total par mois

Tableau 112 – Données entreprise type – Secteur du commerce

Secteur des services

Terminaux				
Equipements	Nombre d'équipements	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Ordinateurs portables	38	5	48	
Tablettes		3	5	Pas d'information
Smartphones	70	3	2	
Feature phones	42	3	0,0900	
Ordinateurs fixes	53	6	151	

²²³ Cette donnée a été calculée sur la base de la consommation annuelle de données internet par l'entreprise (23 977 Go), divisée par la consommation de donnée totale annuelle des entreprises (6,15 Eo), sur les réseaux fixes et mobiles

Ecrans d'ordinateur	41	6	70	
Téléviseurs		8	179	Pas d'information
Vidéo-projecteurs		5	200	Pas d'information
Box TV		5	73	Pas d'information
Téléphone (ligne fixe via box)		8	40	Pas d'information
Consoles de jeux vidéo de salon		7	-	
Consoles de jeux vidéo portables		7	-	
Enceintes connectées		5	-	
HDD externe		5	0,3700	Pas d'information
SSD externe		5	0,3700	Pas d'information
Clés USB & Micro SD		5	0,1500	Pas d'information
Imprimantes	12	5	71	
Autres écrans		6	420	Pas d'information
Stations d'accueil		5	1	Pas d'information
IoT - Sécurité - Vidéo		10	70	Pas d'information
IoT - Sécurité - Contrôle		5	0,0088	Pas d'information
IoT - Automatisation - Chauffage de l'eau		12	18	Pas d'information
IoT - Automatisation - Lampadaires		10	13	Pas d'information
IoT - Automatisation - Climatisation		12	16	Pas d'information
IoT - Automatisation - Lumières		7	18	Pas d'information
IoT - Automatisation - Cuisson		15	22	Pas d'information
IoT - Automatisation - Audio		4	25	Pas d'information
IoT - Automatisation - Appareils électroménagers		12	22	Pas d'information
IoT - Compteurs intelligents		12	18	Pas d'information
IoT - Capteurs : Res - Wi-Fi		5	11	Pas d'information
IoT - Capteurs : Res - LE		5	0,0088	Pas d'information
IoT - Capteurs : Industrie - LE		5	0,0088	Pas d'information
IoT - Capteurs : Santé - LE		5	0,0088	Pas d'information
IoT - Passerelle : Bus		7	61	Pas d'information
IoT - Passerelle : LE to Wi-Fi		7	12	Pas d'information
IoT - Communication de Contrôle bâtiment		12	13	Pas d'information
IoT - Stores + Fenêtres		5	0,0009	Pas d'information

Réseaux				
Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Nombre de box	9	5,4	98	Considérant 10 postes par box
Volume de données transférées par box par mois (Go)	220			Le volume de données transféré par box n'était pas renseigné. La moyenne nationale a été retenue
Nombre de cartes SIM	112			Le nombre de carte SIM est déterminé comme la somme du nombre de smartphones et de feature phones
Volume de données transférées par carte SIM par mois (Go)	6			Le volume de données transféré par carte SIM n'était

			pas renseigné. La moyenne nationale a été retenue
--	--	--	---

Centre de données				
Donnée	Valeur de la donnée	Durée de vie	Consommation d'électricité (kWh)	Commentaires
Switch réseau	7	5	307	
Autres éléments actifs réseau (pare-feu, WaaS, VPN appliance, etc.)		5	307	
Baies		20	-	
Disque de stockage (To)	281	5	140	
Serveurs physiques x86 - rack / pizza	2,4	5	3 504	
Serveurs physiques x86 - blade, par lame	0,7	5	3 504	
Serveurs virtuels fournis par un tiers (Cloud)	5,17E-06 ²²⁴			Est déterminé comme la fraction des impacts des datacenters professionnels de colocation allouée à cette entreprise, selon la clé d'allocation suivante : Transfert de données pour l'entreprise par mois / transfert de données professionnels total par mois

Tableau 113 – Données entreprise type – Secteur des services

²²⁴ Cette donnée a été calculée sur la base de la consommation annuelle de données internet par l'entreprise (31 790 Go), divisée par la consommation de donnée totale annuelle des entreprises (6,15 Eo), sur les réseaux fixes et mobiles

7.2.3. Résultats

7.2.3.1. Entreprise moyenne

Les impacts d'une entreprise moyenne sont les suivants :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
2,96E-01	3,10E+05	3,29E+01	9,05E+04	5,71E+03	3,82E+04	4,28E-04	1,41E+01	2,53E+04	7,82E+03	3,39E+05	7,28E+04

Tableau 114 – Résultats entreprise moyenne – Résultats globaux

De manière spécifique, l'impact sur le changement climatique est de 5 710 kg eq. CO₂/entreprise.

La répartition des impacts est similaire à celle présentée au 5.4 Répartition des impacts personnel / professionnel et n'est pas rappelée ici.

7.2.3.1. Entreprises types

7.2.3.1.1.Secteur bancaire

Les impacts d'une entreprise type secteur bancaire sont les suivants :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
1,46E+02	2,59E+08	2,71E+04	6,86E+07	4,80E+06	3,04E+07	3,51E-01	1,11E+04	1,81E+07	4,04E+06	2,82E+08	6,10E+07

Tableau 115 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats globaux

De manière spécifique, l'impact sur le changement climatique est de 124 kg eq. CO₂/foyer.

La répartition des impacts, par tier et par phase du cycle de vie, est la suivante :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Tier 1	70,7%	28,3%	32,1%	36,2%	30,7%	30,1%	29,5%	33,3%	40,8%	60,0%	28,2%	26,6%
Tier 1 - Fabrication	88,5%	7,3%	27,1%	28,0%	23,9%	6,4%	12,4%	26,6%	40,7%	59,1%	6,9%	0,0%
Tier 1 - Distribution	0,2%	0,1%	1,1%	0,3%	0,4%	0,0%	0,2%	2,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
Tier 1 - Utilisation	0,1%	20,9%	5,6%	2,6%	6,5%	23,7%	17,4%	5,9%	3,9%	0,8%	21,2%	26,6%
Tier 1 - Fin de vie	-18,0%	0,0%	-1,7%	5,4%	-0,1%	0,0%	-0,5%	-1,3%	-3,9%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 2	0,3%	0,4%	0,2%	0,1%	0,3%	0,6%	0,4%	0,2%	0,3%	0,3%	0,5%	0,5%
Tier 2 - Fabrication	0,5%	0,0%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,3%	0,0%	0,0%
Tier 2 - Distribution	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 2 - Utilisation	0,0%	0,4%	0,1%	0,1%	0,1%	0,5%	0,3%	0,1%	0,1%	0,0%	0,4%	0,5%
Tier 2 - Fin de vie	-0,2%	0,0%	0,0%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 3	29,0%	71,3%	67,7%	63,7%	69,0%	69,3%	70,1%	66,4%	58,8%	39,7%	71,4%	72,9%
Tier 3 - Fabrication	40,9%	13,7%	53,0%	54,6%	50,7%	4,2%	22,7%	50,7%	51,2%	37,2%	13,0%	0,0%
Tier 3 - Distribution	0,2%	0,2%	0,5%	0,4%	0,6%	0,0%	0,3%	1,3%	0,2%	0,2%	0,1%	0,0%
Tier 3 - Utilisation	0,3%	57,4%	15,3%	7,0%	18,0%	65,1%	47,8%	16,2%	10,7%	2,2%	58,2%	72,9%
Tier 3 - Fin de vie	-12,4%	0,0%	-1,2%	1,6%	-0,2%	0,0%	-0,8%	-1,8%	-3,2%	0,0%	0,0%	0,0%
Fabrication	129,9%	21,0%	80,2%	82,8%	74,8%	10,7%	35,1%	77,5%	92,2%	96,7%	19,9%	0,0%
Distribution	0,4%	0,3%	1,7%	0,7%	1,0%	0,0%	0,6%	3,4%	0,3%	0,4%	0,2%	0,0%
Utilisation	0,4%	78,7%	21,0%	9,6%	24,6%	89,3%	65,6%	22,2%	14,6%	3,0%	79,9%	100,0%
Fin de vie	-30,7%	0,0%	-2,9%	6,8%	-0,3%	0,0%	-1,3%	-3,1%	-7,2%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 116 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillés

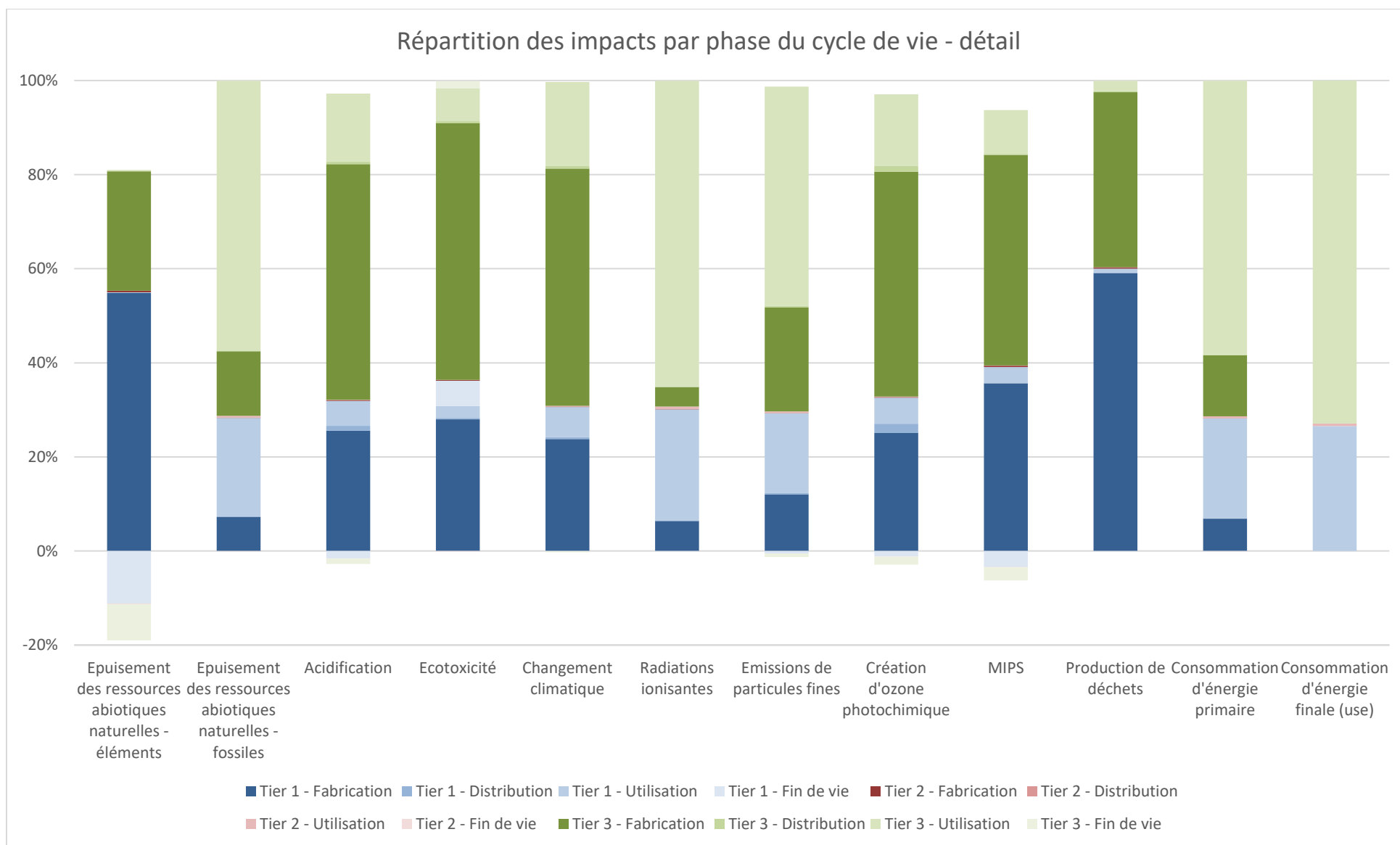


Figure 38 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillés

Les impacts sont répartis entre le tier 1 (terminaux) et le tier 3 (centres de données). Le réseau présente un impact négligeable.

En effet, cette entreprise type a de forts équipements côté terminaux et centre de données, mais a une consommation de données assez faible au rapport d’autres types d’activités.

Les phases de fabrication et d’utilisation sont, comme de manière globale, les phases les plus impactantes.

Les impacts étant fortement liés aux terminaux d’une part, et aux centres de données de l’autre, une analyse plus fine de cette partie est présentée ci-dessous :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Ordinateurs	36,7%	42,5%	48,9%	57,1%	48,6%	43,5%	44,6%	46,2%	46,4%	47,7%	42,4%	41,2%
Téléphones	5,5%	11,1%	12,6%	10,8%	12,8%	9,5%	11,6%	13,0%	9,6%	8,3%	11,1%	11,1%
Ecrans et matériel audiovisuel	46,6%	37,5%	27,3%	18,6%	27,5%	38,9%	34,2%	28,8%	31,2%	33,9%	37,7%	40,5%
Consoles	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Stockage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Autres	11,2%	9,0%	11,2%	13,5%	11,0%	8,1%	9,6%	12,0%	12,9%	10,1%	8,8%	7,3%
IoT	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 117 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 1

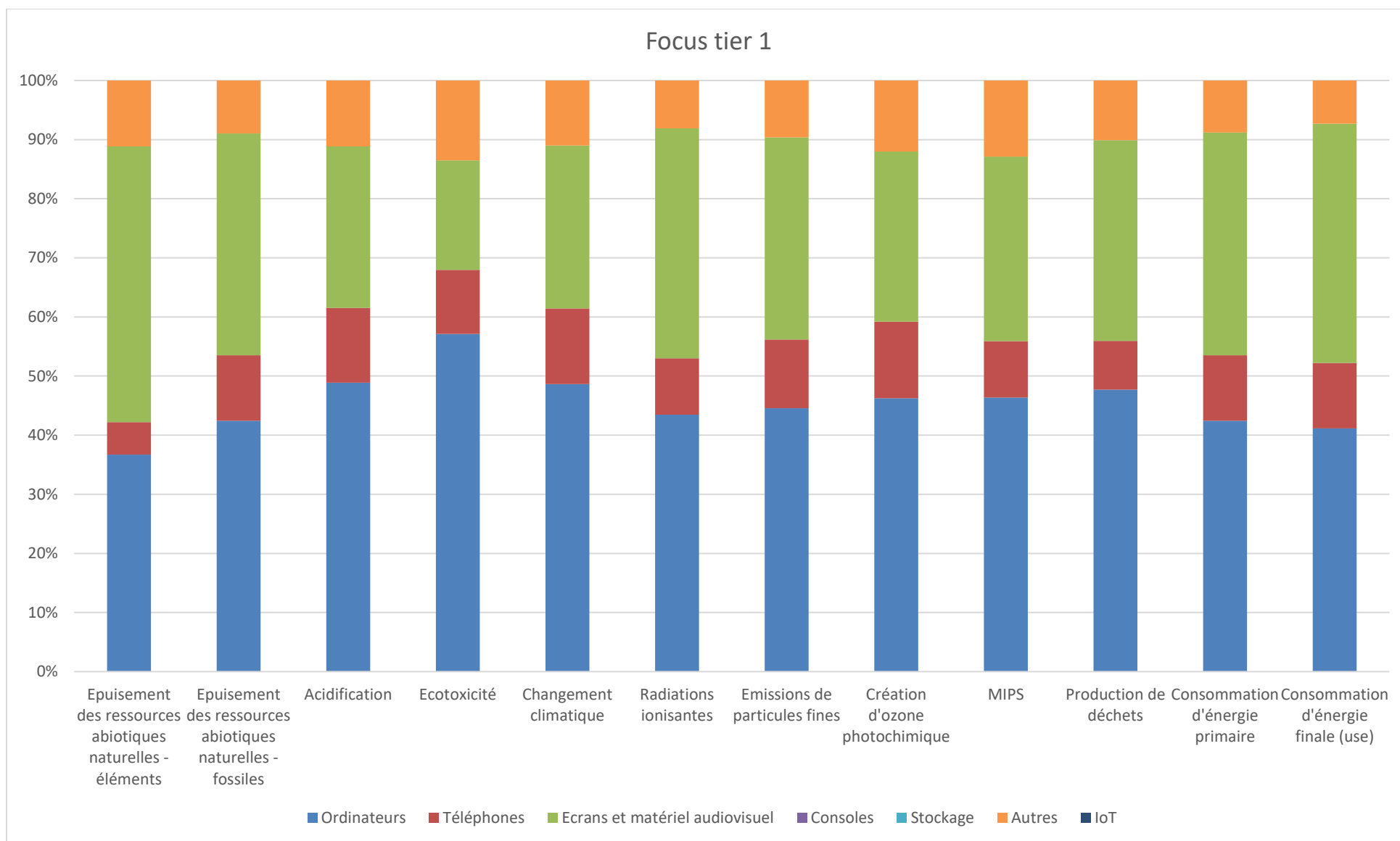


Figure 39 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 1

Les ordinateurs fixes et portables utilisés par les employés représentent la majorité des impacts du tier 1. En effet, pour 10 000 employés sont considérés 7 978 ordinateurs portables et 9 725 ordinateurs fixes, soit 1,7 ordinateur par employé.

Les écrans et matériels audiovisuel, constitué principalement des écrans d’ordinateur, sont la seconde source d’impact. Là aussi, le nombre important d’écran (2,5 par employé) implique ces impacts.

Enfin, les téléphones et la catégorie autre (principalement les stations d’accueil) constituent des impacts moins importants.

A noter que l’IoT n’a pas été caractérisé pour ce type d’entreprise.

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Equipements physiques	72,3%	74,2%	74,5%	71,8%	74,6%	73,4%	73,8%	73,7%	72,7%	70,3%	74,2%	73,9%
Services cloud et colocation	27,7%	25,8%	25,5%	28,2%	25,4%	26,6%	26,2%	26,3%	27,3%	29,7%	25,8%	26,1%

Tableau 118 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3

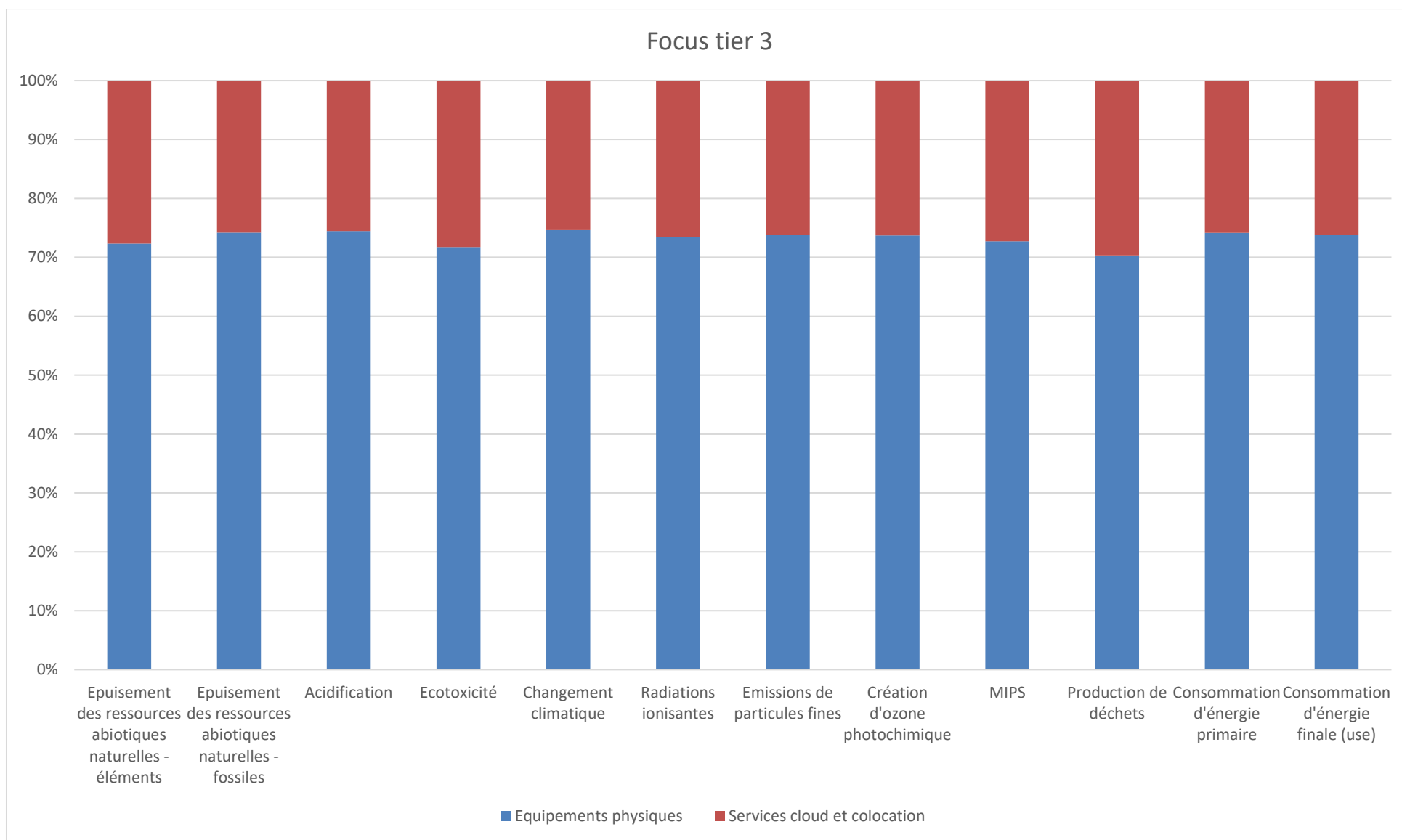


Figure 40 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3

Ce type d’entreprise dispose principalement de serveurs physiques, plutôt que de serveurs virtuels (cloud). Les équipements physiques, en premier lieu les serveurs rack et blade, sont la première source d’impact. Cette entreprise type dispose en effet de 2 492 serveurs physiques, soit 0,25 par employé, ainsi que des équipements support associés (stockage, switch, etc.).

7.2.3.1.2.Secteur du commerce

Les impacts d’une entreprise type secteur du commerce sont les suivants :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
5,34E-01	1,09E+06	9,82E+01	2,49E+05	1,74E+04	1,34E+05	1,45E-03	4,07E+01	6,49E+04	1,56E+04	1,20E+06	2,74E+05

Tableau 119 – Résultats entreprise type secteur du commerce – Résultats globaux

De manière spécifique, l’impact sur le changement climatique est de 1 090 kg eq. CO₂/foyer.

La répartition des impacts, par tier et par phase du cycle de vie, est la suivante :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Tier 1	69,2%	23,5%	36,2%	41,9%	34,5%	23,2%	26,3%	36,9%	42,8%	61,7%	23,2%	19,6%
Tier 1 - Fabrication	85,6%	7,1%	31,6%	32,5%	28,3%	5,4%	12,6%	31,0%	42,8%	60,9%	6,7%	0,0%
Tier 1 - Distribution	0,1%	0,1%	1,0%	0,3%	0,4%	0,0%	0,2%	1,8%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
Tier 1 - Utilisation	0,1%	16,4%	5,1%	2,3%	5,9%	17,8%	14,0%	5,3%	3,6%	0,7%	16,5%	19,6%
Tier 1 - Fin de vie	-16,7%	0,0%	-1,5%	6,8%	-0,1%	0,0%	-0,5%	-1,2%	-3,7%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 2	0,8%	1,1%	0,6%	0,3%	0,7%	1,3%	1,0%	0,7%	1,0%	0,9%	1,1%	1,2%
Tier 2 - Fabrication	1,4%	0,1%	0,4%	0,4%	0,4%	0,2%	0,2%	0,4%	0,9%	0,8%	0,1%	0,0%
Tier 2 - Distribution	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 2 - Utilisation	0,0%	1,0%	0,3%	0,1%	0,4%	1,1%	0,9%	0,3%	0,2%	0,0%	1,0%	1,2%
Tier 2 - Fin de vie	-0,6%	0,0%	-0,1%	-0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,2%	0,0%	0,0%	0,0%

Tier 3	30,0%	75,4%	63,1%	57,8%	64,8%	75,5%	72,7%	62,4%	56,2%	37,4%	75,7%	79,2%
Tier 3 - Fabrication	41,3%	9,3%	43,0%	45,4%	40,1%	3,5%	16,3%	40,5%	43,8%	34,5%	8,8%	0,0%
Tier 3 - Distribution	0,2%	0,1%	0,5%	0,4%	0,5%	0,0%	0,3%	1,3%	0,3%	0,2%	0,1%	0,0%
Tier 3 - Utilisation	0,4%	66,0%	20,6%	9,4%	24,1%	72,0%	56,5%	21,5%	14,5%	2,7%	66,7%	79,2%
Tier 3 - Fin de vie	-11,9%	0,0%	-1,0%	2,6%	0,0%	0,0%	-0,3%	-0,9%	-2,3%	0,1%	0,0%	0,0%
Fabrication	128,4%	16,4%	75,0%	78,3%	68,8%	9,1%	29,0%	71,9%	87,5%	96,2%	15,5%	0,0%
Distribution	0,3%	0,2%	1,5%	0,7%	0,9%	0,0%	0,4%	3,2%	0,4%	0,3%	0,2%	0,0%
Utilisation	0,5%	83,3%	26,0%	11,9%	30,4%	90,9%	71,3%	27,1%	18,3%	3,4%	84,3%	100,0%
Fin de vie	-29,2%	0,0%	-2,6%	9,2%	-0,1%	0,0%	-0,8%	-2,2%	-6,2%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 120 – Résultats entreprise type secteur du commerce – Résultats détaillés

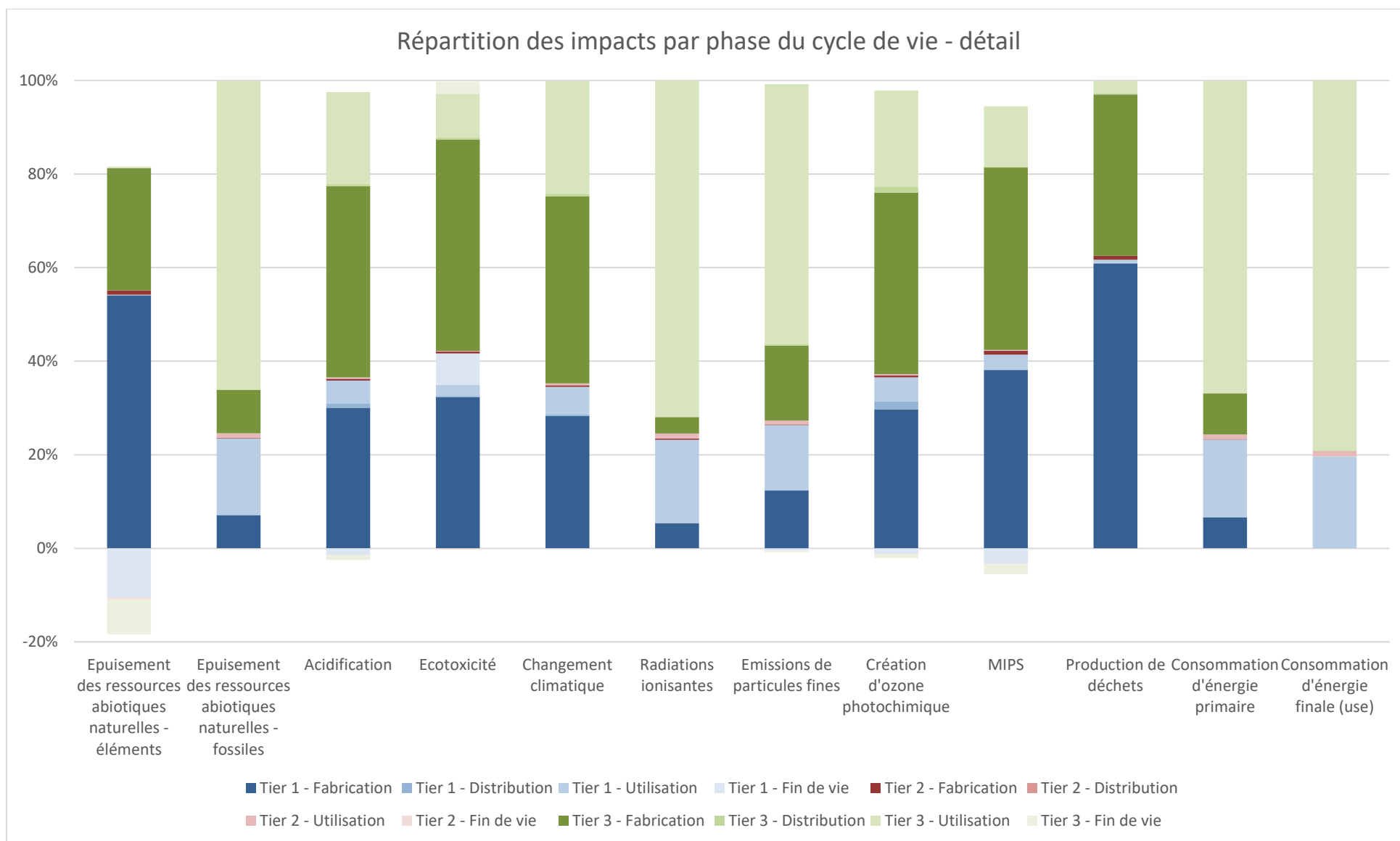


Figure 41 – Résultats entreprise type secteur du commerce – Résultats détaillés

Les impacts sont répartis entre le tier 1 (terminaux) et le tier 3 (centres de données). Le réseau présente un impact négligeable.

En effet, cette entreprise type a de forts équipements côté terminaux et centre de données, mais a une consommation de données assez faible au rapport d’autres types d’activités.

Les phases de fabrication et d’utilisation sont, comme de manière globale, les phases les plus impactantes.

Les impacts étant fortement liés aux terminaux d’une part, et aux centres de données de l’autre, une analyse plus fine de cette partie est présentée ci-dessous :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Ordinateurs	44,5%	54,1%	51,4%	59,0%	51,3%	58,4%	53,7%	48,5%	53,9%	51,8%	54,2%	56,6%
Téléphones	15,3%	7,1%	22,4%	20,9%	22,3%	1,1%	11,8%	23,3%	15,7%	17,3%	6,8%	0,5%
Ecrans et matériel audiovisuel	40,1%	32,3%	20,4%	13,5%	20,6%	34,4%	28,2%	21,6%	25,4%	26,3%	32,5%	36,9%
Consoles	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Stockage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Autres	0,2%	6,5%	5,9%	6,7%	5,8%	6,1%	6,3%	6,6%	4,9%	4,6%	6,4%	6,1%
IoT	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 121 – Résultats entreprise type secteur du commerce – Résultats détaillés – tier 1

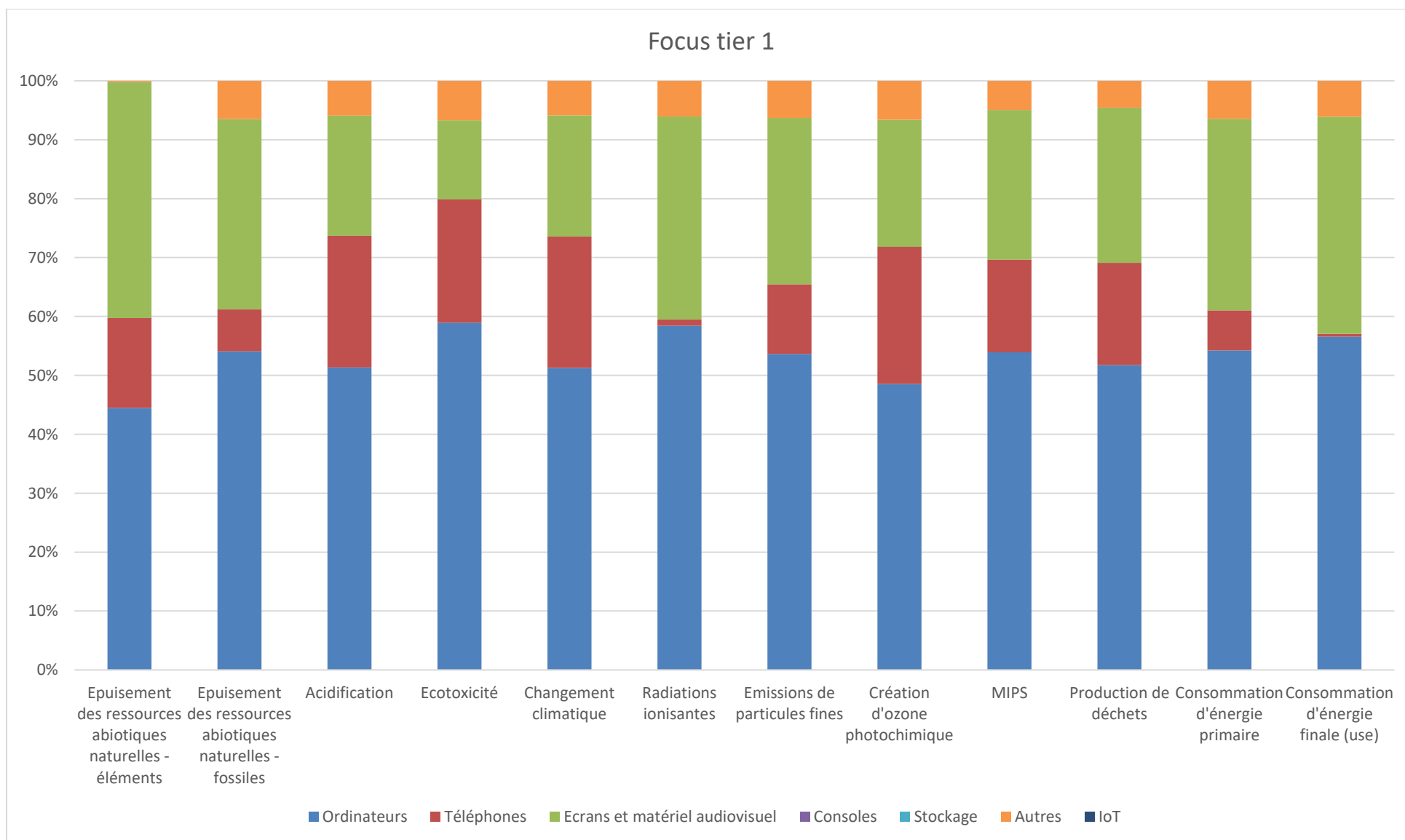


Figure 42 – Résultats entreprise type secteur du commerce – Résultats détaillés – tier 1

Les ordinateurs fixes et utilisés par les employés représentent la majorité des impacts du tier 1. Pour 134 employés sont considérés 32 ordinateurs portables et 46 ordinateurs fixes, soit 0,6 ordinateur par employé.

Les écrans et matériels audiovisuel, constitué principalement des écrans d’ordinateur, sont la seconde source d’impact. Là aussi, le nombre d’écran (0,6 par employé) implique ces impacts.

Les téléphones, principalement les smartphones, génèrent une partie non négligeable des impacts, avec un nombre de 0,37 téléphones par employé.

La catégorie autre (principalement les imprimantes) constitue des impacts moins importants.

A noter que l’IoT n’a pas été caractérisé pour ce type d’entreprise.

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d’ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d’énergie primaire	Consommation d’énergie finale (use)
Equipements physiques	62,1%	70,2%	60,9%	55,7%	61,5%	71,3%	68,3%	60,5%	58,7%	57,7%	70,3%	72,2%
Services cloud et colocation	37,9%	29,8%	39,1%	44,3%	38,5%	28,7%	31,7%	39,5%	41,3%	42,3%	29,7%	27,8%

Tableau 122 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3

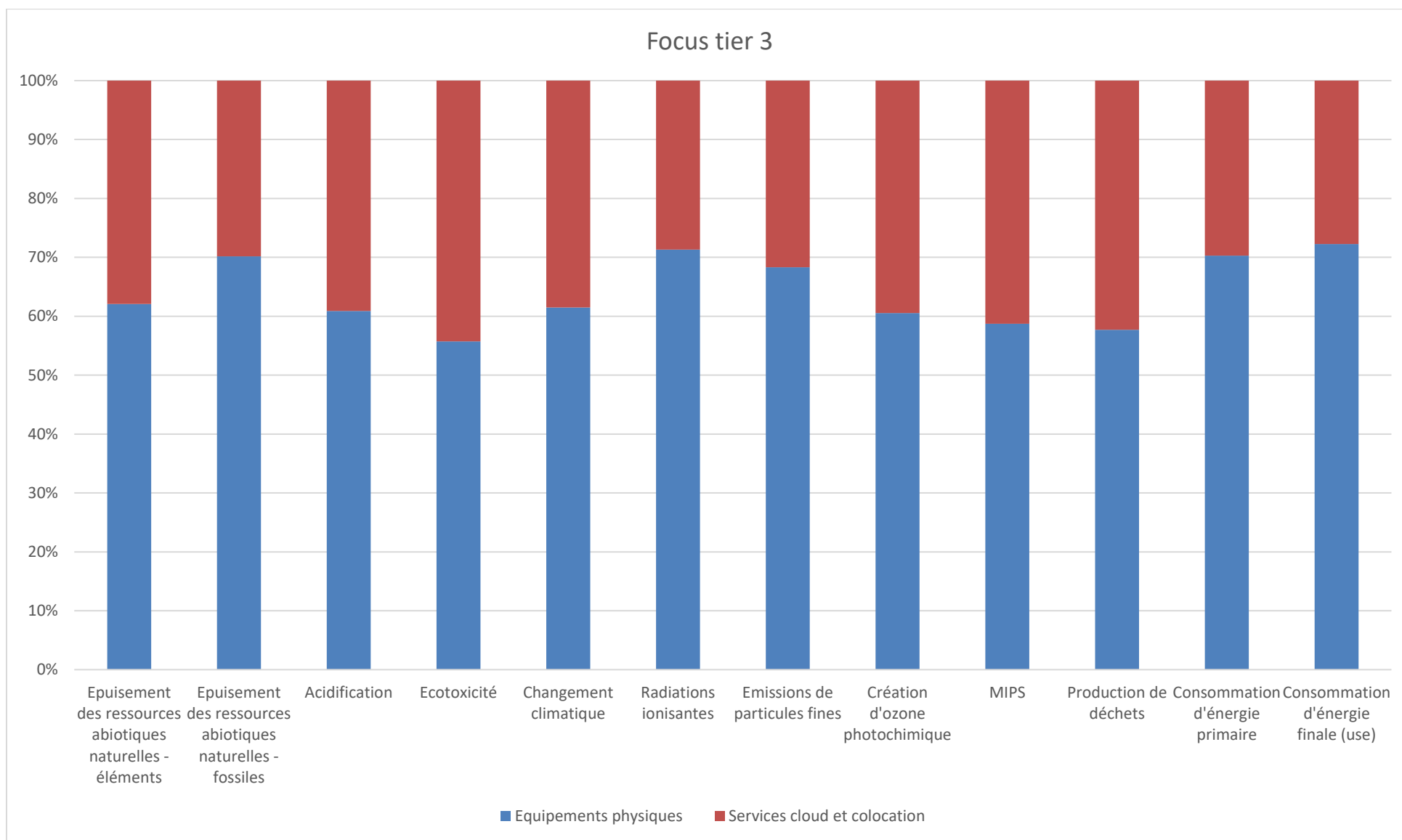


Figure 43 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3

Les équipements physiques, en premier lieu les serveurs rack et blade, sont la première source d’impact. Cette entreprise type dispose en effet de 4,4 serveurs physiques, soit 0,033 par employé, ainsi que des équipements support associés (stockage, switch, etc.)
Les serveurs virtuels (cloud) représentent cependant un impact non négligeable, à environ un tiers des impacts totaux du tier 3.

7.2.3.1.3.Secteur des services

Les impacts d’une entreprise type secteur des services sont les suivants :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
5,75E-01	1,28E+06	1,13E+02	2,87E+05	2,01E+04	1,56E+05	1,69E-03	4,71E+01	7,29E+04	1,77E+04	1,40E+06	3,22E+05

Tableau 123 – Résultats entreprise type secteur des services – Résultats globaux

De manière spécifique, l’impact sur le changement climatique est de 199 kg eq. CO2/foyer.

La répartition des impacts, par tier et par phase du cycle de vie, est la suivante :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Tier 1	69,5%	20,4%	39,2%	46,2%	37,2%	18,7%	24,5%	39,7%	43,9%	63,6%	20,1%	15,3%
Tier 1 - Fabrication	86,7%	7,5%	35,7%	35,6%	32,3%	4,7%	13,8%	35,2%	44,3%	63,0%	7,1%	0,0%
Tier 1 - Distribution	0,1%	0,1%	0,8%	0,2%	0,3%	0,0%	0,1%	1,4%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
Tier 1 - Utilisation	0,1%	12,8%	4,1%	1,9%	4,7%	14,1%	11,0%	4,2%	2,9%	0,5%	13,0%	15,3%
Tier 1 - Fin de vie	-17,4%	0,0%	-1,3%	8,5%	-0,2%	0,0%	-0,5%	-1,1%	-3,4%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 2	1,0%	1,2%	0,7%	0,3%	0,8%	1,4%	1,1%	0,8%	1,1%	1,0%	1,2%	1,3%
Tier 2 - Fabrication	1,7%	0,1%	0,5%	0,4%	0,4%	0,2%	0,2%	0,4%	1,0%	0,9%	0,1%	0,0%
Tier 2 - Distribution	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 2 - Utilisation	0,0%	1,1%	0,3%	0,2%	0,4%	1,2%	0,9%	0,4%	0,2%	0,0%	1,1%	1,3%

Tier 2 - Fin de vie	-0,7%	0,0%	-0,1%	-0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
Tier 3	29,5%	78,4%	60,1%	53,5%	62,0%	79,9%	74,4%	59,5%	55,0%	35,4%	78,7%	83,4%
Tier 3 - Fabrication	40,1%	8,2%	38,3%	41,0%	35,6%	3,1%	14,3%	36,1%	40,9%	32,2%	7,7%	0,0%
Tier 3 - Distribution	0,2%	0,1%	0,5%	0,4%	0,5%	0,0%	0,3%	1,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,0%
Tier 3 - Utilisation	0,4%	70,1%	22,2%	10,1%	26,0%	76,7%	60,1%	23,0%	16,0%	3,0%	70,9%	83,4%
Tier 3 - Fin de vie	-11,2%	0,0%	-0,9%	2,0%	0,0%	0,0%	-0,3%	-0,9%	-2,2%	0,1%	0,0%	0,0%
Fabrication	128,5%	15,7%	74,4%	77,1%	68,3%	8,1%	28,3%	71,7%	86,2%	96,1%	14,9%	0,0%
Distribution	0,3%	0,2%	1,3%	0,6%	0,9%	0,0%	0,4%	2,7%	0,4%	0,3%	0,2%	0,0%
Utilisation	0,5%	84,1%	26,6%	12,1%	31,0%	91,9%	72,0%	27,6%	19,2%	3,6%	85,0%	100,0%
Fin de vie	-29,3%	0,0%	-2,4%	10,2%	-0,2%	0,0%	-0,7%	-2,1%	-5,7%	0,1%	0,0%	0,0%

Tableau 124 – Résultats entreprise type secteur des services – Résultats détaillés

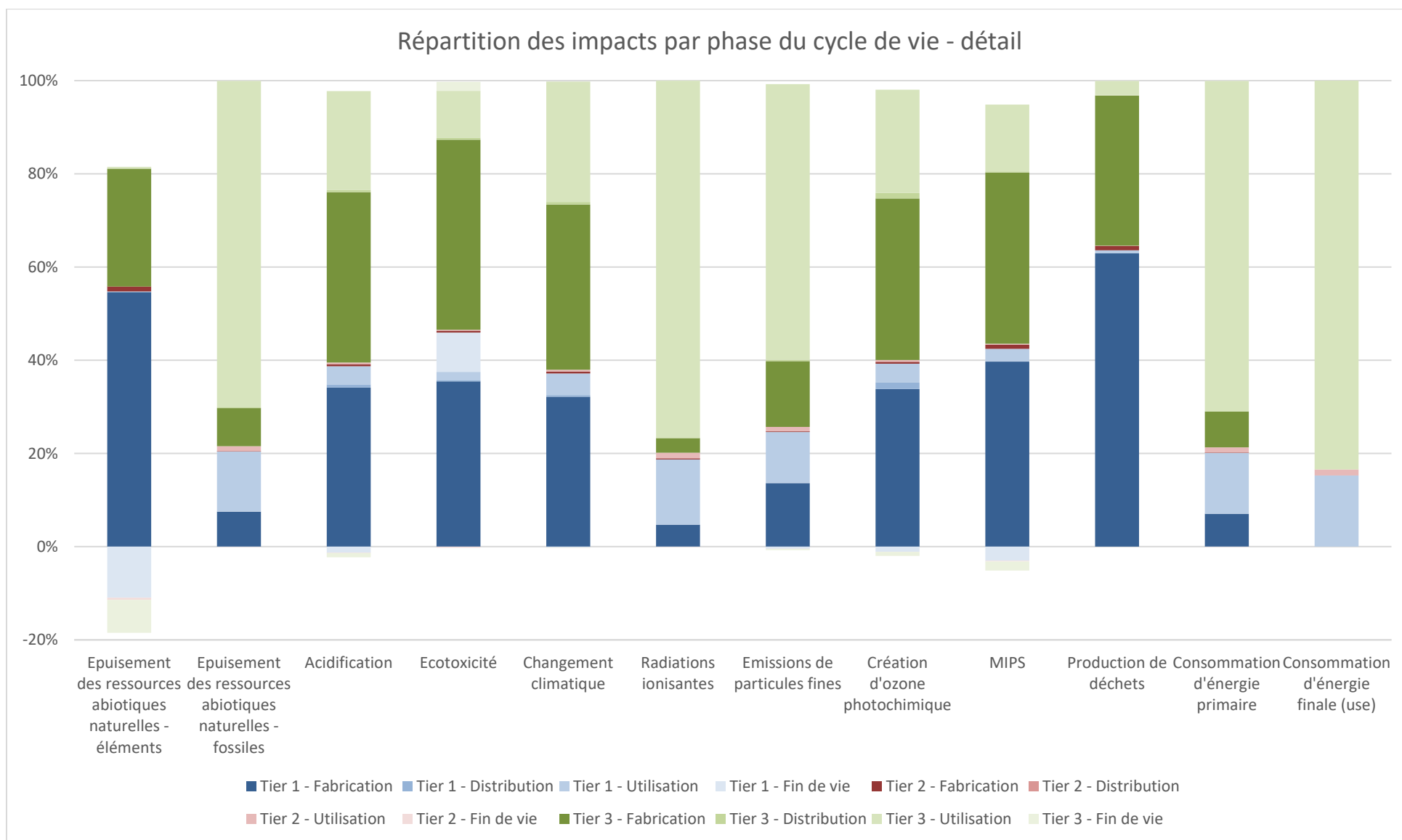


Figure 44 – Résultats entreprise type secteur des services – Résultats détaillés

Les impacts sont répartis entre le tier 1 (terminaux) et le tier 3 (centres de données). Le réseau présente un impact négligeable.

En effet, cette entreprise type a de forts équipements côté terminaux et centre de données, mais a une consommation de données assez faible au rapport d’autres types d’activités.

Les phases de fabrication et d’utilisation sont, comme de manière globale, les phases les plus impactantes.

Les impacts étant fortement liés aux terminaux d’une part, et aux centres de données de l’autre, une analyse plus fine de cette partie est présentée ci-dessous :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consom mation d'énergi e finale (use)
Ordinateurs	47,8%	62,0%	47,9%	53,9%	48,0%	72,0%	57,3%	45,4%	54,4%	51,3%	62,4%	71,5%
Téléphones	32,6%	15,1%	38,9%	35,5%	38,8%	2,5%	23,6%	40,4%	29,9%	33,2%	14,6%	1,1%
Ecrans et matériel audiovisuel	19,4%	16,7%	8,6%	5,5%	8,7%	19,2%	13,6%	9,1%	11,5%	11,8%	16,9%	21,0%
Consoles	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Stockage	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Autres	0,2%	6,2%	4,6%	5,1%	4,6%	6,3%	5,6%	5,1%	4,2%	3,8%	6,2%	6,4%
IoT	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tableau 125 – Résultats entreprise type secteur des services – Résultats détaillés – tier 1

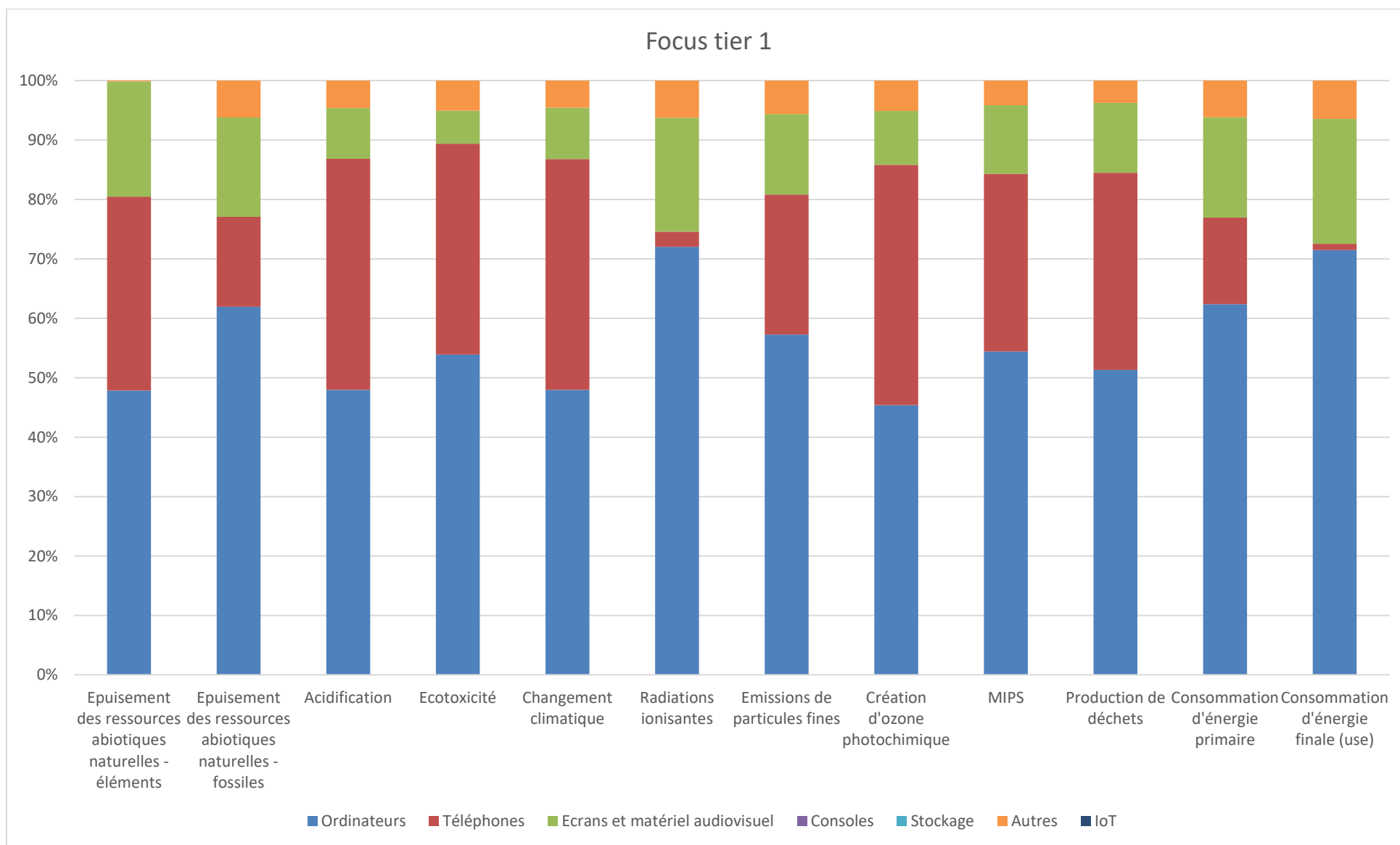


Figure 45 – Résultats entreprise type secteur des services – Résultats détaillés – tier 1

Les ordinateurs fixes et utilisés par les employés représentent la majorité des impacts du tier 1. Pour 149 employés sont considérés 38 ordinateurs portables et 53 ordinateurs fixes, soit 0,6 ordinateur par employé.

Les téléphones, principalement les smartphones, sont la seconde source d'impact génèrent une partie non négligeable des impacts, avec un nombre de 0,47 téléphones par employé.

Viennent ensuite les écrans et matériels audiovisuel, constitué principalement des écrans d'ordinateur. Le nombre d'écran (0,27 par employé) reste assez faible comparativement aux autres types d'entreprise.

La catégorie autre (principalement les imprimantes) constitue des impacts moins importants.

A noter que l'IoT n'a pas été caractérisé pour ce type d'entreprise.

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Equipements physiques	52,6%	67,4%	52,6%	44,9%	53,8%	69,1%	64,8%	52,6%	50,2%	47,9%	67,6%	70,3%
Services cloud et colocation	47,4%	32,6%	47,4%	55,1%	46,2%	30,9%	35,2%	47,4%	49,8%	52,1%	32,4%	29,7%

Tableau 126 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3

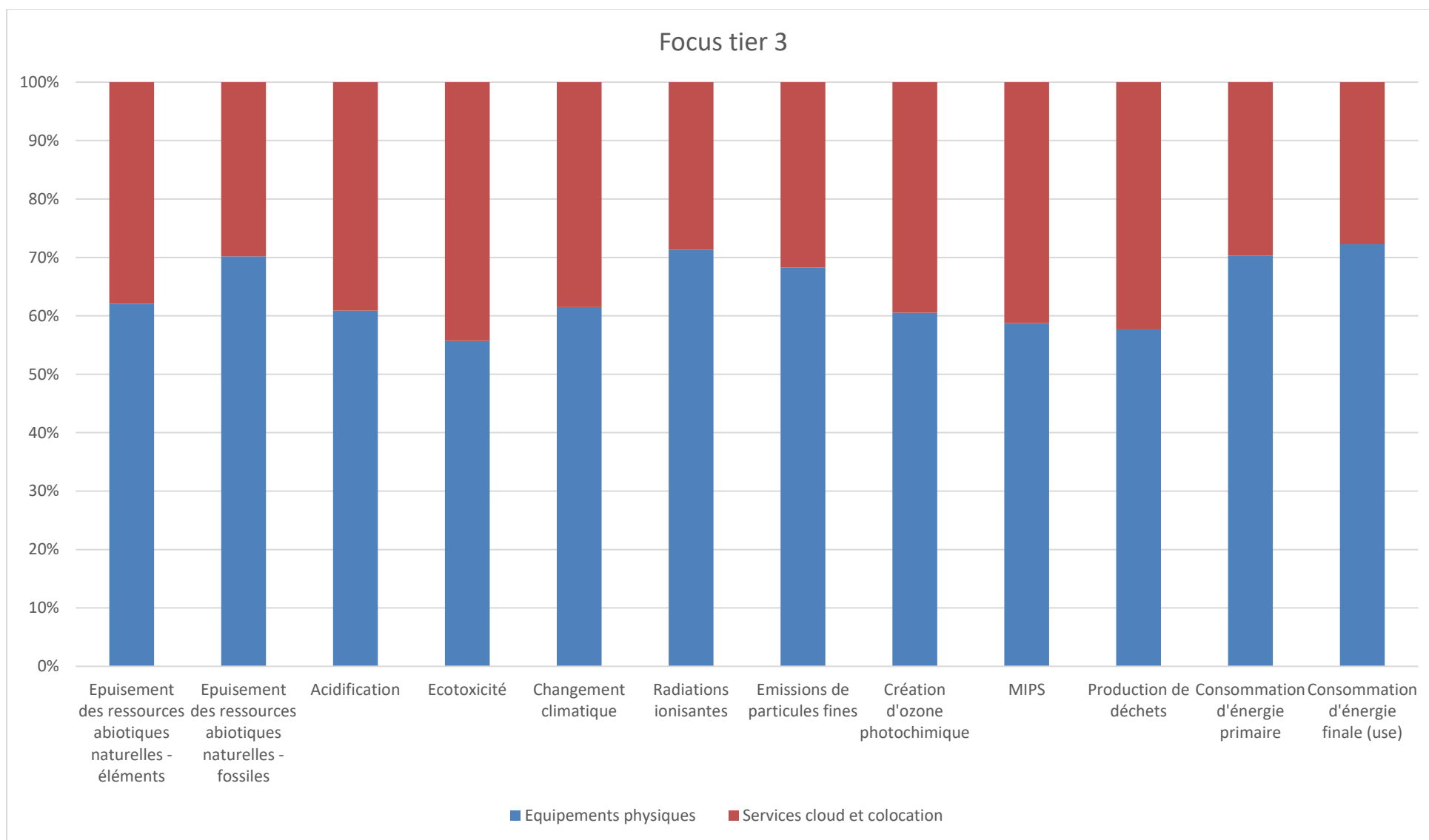


Figure 46 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3

Les équipements physiques, en premier lieu les serveurs rack et blade, sont la première source d’impact. Cette entreprise type dispose en effet de 3,1 serveurs physiques, soit 0,021 par employé, ainsi que des équipements support associés (stockage, switch, etc.)
Les serveurs virtuels (cloud) représentent cependant un impact non négligeable, à environ un tiers des impacts totaux du tier 3.

7.2.4. Comparaison

Cette partie permet la comparaison entre les différentes entreprises afin d’évaluer les impacts relatifs entre les différents usages du numérique.
La comparaison s’effectue au niveau entreprise, ramené par employé. Cela permet de prendre en compte le fait que les entreprise type étudiées ont un nombre très variable d’employé, et donc nécessairement un emploi du numérique global très différent.
Les résultats de la comparaison sont les suivants :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (use)
Entreprise moyenne	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Entreprise type - Banque	39,2%	66,1%	65,4%	60,2%	66,7%	63,1%	65,2%	62,6%	56,8%	41,1%	66,2%	66,6%
Entreprise type - Commerce	10,7%	20,9%	17,7%	16,3%	18,1%	20,8%	20,1%	17,1%	15,2%	11,8%	21,0%	22,3%
Entreprise type - Services	10,4%	21,9%	18,3%	16,9%	18,8%	21,7%	21,0%	17,8%	15,3%	12,1%	22,0%	23,6%

Tableau 127 - Comparaison des impacts des entreprises par employé

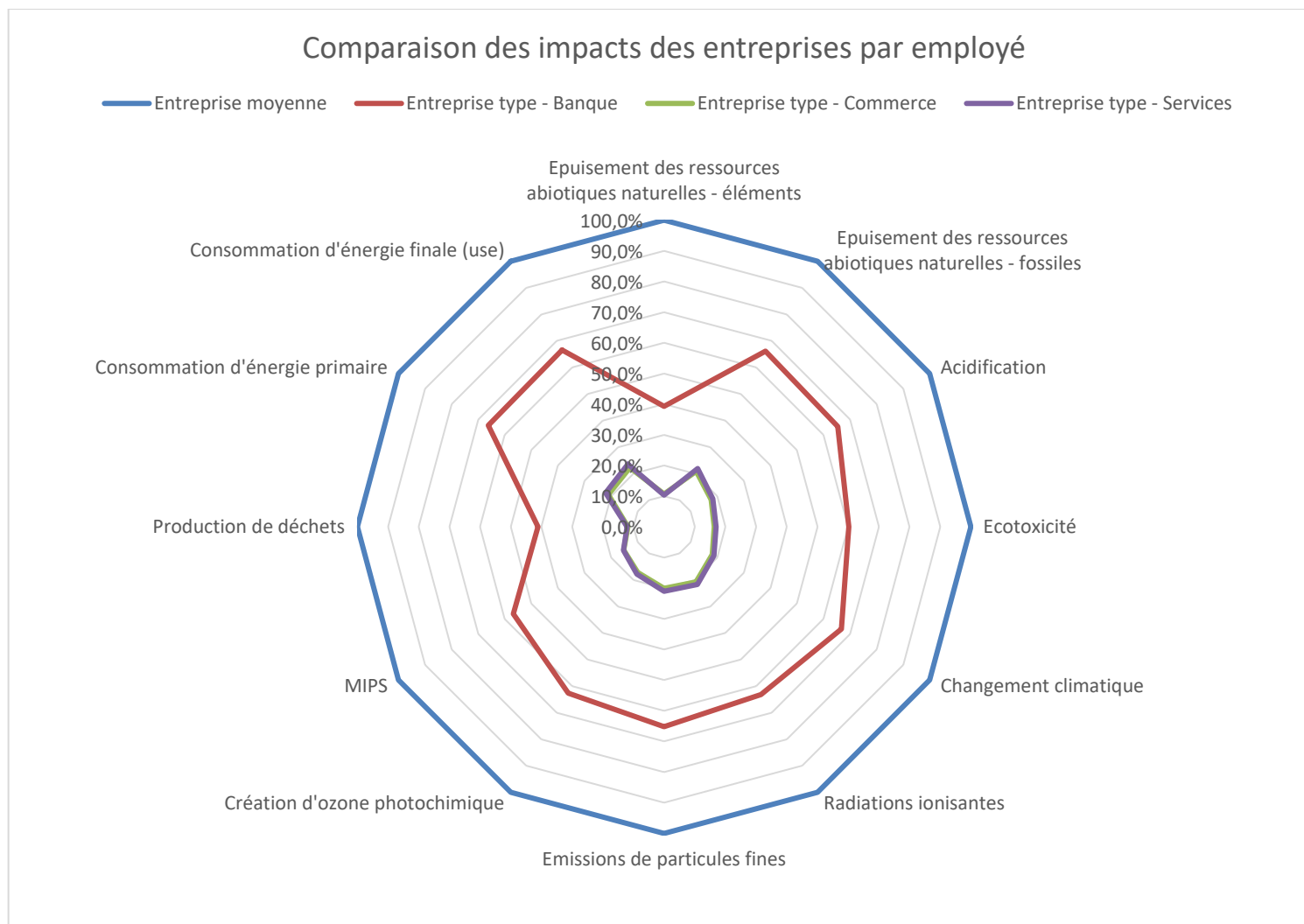


Figure 47 - Comparaison des impacts des entreprises par employé

Cette comparaison montre que les différents usages du numérique au sein d'une entreprise peuvent mener à des impacts environnementaux associés ayant une grande plage d'amplitude, dans ces cas types jusqu'à un facteur de 10, en fonction des indicateurs.

Comme le numérique ne couvre pas les mêmes usages pour toutes les entreprises étudiées (toutes les entreprises, de par leur activité, n'ont pas un même besoin en équipements et infrastructures numériques, ni les mêmes contraintes associées), la comparaison directe des résultats doit être prise avec du recul.

7.2.5. Conclusions et limites

Ce travail a permis de mettre en avant les résultats d'impacts environnementaux de différents types d'entreprises, à des fins d'illustration.

Tout comme les entreprises ont une composition, des besoins, et une sensibilité au numérique variés, les résultats d'impacts sont aussi très diversifiés. Il n'existe pas une entreprise type globale, mais différentes typologies, dont le nombre et la nature exacts pourraient être précisés afin de disposer d'une analyse plus fine des besoins de chacun, et des leviers d'action de réduction des impacts environnementaux du numérique associés.

Ce travail a également permis de mettre en avant un certain nombre de limites complémentaires propres à l'élaboration des foyers types :

- La détermination de la consommation de données réseau fixe ou mobile n'est pas évidente. S'il est possible de le mesurer pour une entreprise spécifique, en tirer des conclusions par typologie d'entreprise est délicat, et nécessiterait des travaux complémentaires à ce sujet.
- Les impacts de la partie serveurs virtuels (cloud) du tier 3 centre de données ne peuvent être évalués qu'à partir de la consommation de données. L'usage exact qui est fait des centres de données, ainsi que les impacts associés, ne peuvent pas être définis spécifiquement, ni reliés à des fonctionnalités précises. A ce sujet, il serait intéressant que les fournisseurs de services affichent les impacts environnementaux liés vers leurs utilisateurs.
- Les sources utilisées pour cartographier les équipements utilisés par les entreprises types sont incomplètes : le périmètre des équipements considérés est restreint par rapport au périmètre de la présente étude. Notamment, l'IoT n'était pas pris en compte, alors même que son développement s'étend largement dans les entreprises.

8. Conclusions

Cette étude a permis de quantifier les impacts environnementaux des équipements et infrastructures 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** déployés ;
- 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).

Les impacts environnementaux globaux des équipements et infrastructures numériques en France pendant 1 an sont présentés dans le tableau suivant :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
Résultats	9,48E+05	7,96E+11	9,82E+07	2,63E+11	1,69E+10	9,80E+10	1,14E+03	4,22E+07	6,25E+10	2,00E+10	8,17E+11	1,75E+11
Intervalle de variation - minimum	58,4%	61,1 %	62,4 %	62,0 %	62,8 %	61,3 %	61,4 %	62,3 %	65,7 %	62,5 %	61,7 %	60,2 %
Intervalle de variation - maximum	161,0 %	157,8 %	155,6 %	156,2 %	155,8 %	160,7 %	157,1 %	155,6 %	162,2 %	165,3 %	158,8 %	158,4 %

Tableau 128 - Impacts environnementaux globaux des équipements et infrastructures numériques en France pendant 1 an

L'intervalle de variation inclus à la fois les analyses de sensibilité permettant la prise en compte de l'incertitude sur les paramètres d'entrée, et certaines exclusions d'équipements et de réseaux. Pour plus de détails, voir le chapitre 6 Analyses de sensibilité.

De manière spécifique, l'impact sur le changement climatique est estimé à 16,9 Mt eq. CO₂ (entre 10,6 et 26,3). Afin de fournir quelques éléments de comparaison avec des valeurs tangibles, certains impacts peuvent être exprimés en équivalents :

- Les impacts sur le changement climatique sont légèrement supérieurs au secteur des déchets en France (14 MT eq. CO₂)²²⁵, et correspondent aux émissions de CO₂ directes d'un parc de 12 344 994 véhicules particuliers (considérant 12 223 km par véhicule²²⁶, et des émissions moyennes de 112 g CO₂ eq./km²²⁷).

²²⁵ Stratégie nationale bas-carbone – La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone – Synthèse - 2020

²²⁶ Bilan annuel des transports en 2019 : bilan de la circulation, 2020, Ministère de la transition écologique

²²⁷ <https://carlabelling.ademe.fr/chiffrescles/r/evolutionTauxCo2>

- La consommation électrique est estimée à la consommation de 8 282 000 foyers français (considérant 29 012 000 de foyers²²⁸, et 170 TWh de consommation électrique pour le secteur résidentiel²²⁹).

De plus, à l'échelle française :

- La consommation électrique pour les équipements et infrastructures numériques en France est de 48,7 TWh, ce qui peut être comparé au 474,4 TWh total²³⁰, ce qui signifie que les équipements et infrastructures numériques sont responsables de 10,3% de la consommation électrique française.
- Les émissions de gaz à effet de serre émises par les équipements et infrastructures numériques en France sont estimées à 16,9 Mt CO₂ eq., ce qui peut être comparé au 663²³¹ MT CO₂ eq. total, ce qui signifie que les équipements et infrastructures numériques sont responsables de 2,5% de l'empreinte carbone de la France (approche mix de consommation – empreinte carbone).

Note : les comparaisons à l'échelle française ont pour but de proposer un prisme de comparaison complémentaire, mais ne doivent pas être compris comme des résultats absolus. Les périmètres sont différents (certaines émissions relatives aux équipements et infrastructures numériques ont lieu hors France).

Les impacts relatifs à un habitant en France sont :

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO ₂ eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
1,41E-02	1,19E+04	1,46E+00	3,93E+03	2,53E+02	1,46E+03	1,71E-05	6,30E-01	9,32E+02	2,99E+02	1,22E+04	2,61E+03

Tableau 129 - Impacts environnementaux globaux des équipements et infrastructures numériques en France pendant 1 an - Par habitant

De manière spécifique, l'impact sur le changement climatique est de 253 kg eq. CO₂/hab/an.

Afin de fournir quelques éléments de comparaison avec des valeurs tangibles, certains impacts peuvent être exprimés en équivalents :

- Les impacts sur le changement climatique sont similaires à 2 259 km en voiture.
- La production de déchets est égale à 299 kg.
- La masse de matériaux déplacée est égale à 932 kg.
- La consommation électrique est égale à 1 radiateur électrique (1 000 W) alimentés sans interruption pendant 30 jours.

Les résultats de cette étude montrent l'importance d'utiliser une approche multicritère pour étudier les impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques. En effet, bien que les impacts sur le changement climatique soient importants (16,9 Mt CO₂ eq.), d'autres indicateurs, en particulier l'utilisation de ressources abiotiques (minérales et fossiles) ainsi que les radiations ionisantes montrent des valeurs importantes qui, après normalisation et pondération, demeurent prépondérantes et doivent donc être prises en compte en priorité lors de stratégies de réduction des impacts environnementaux, afin d'éviter les transferts de pollution.

Les résultats normalisés et pondérés selon la méthode développée par la Commission Européenne²³² sont présentés dans le tableau suivant :

²²⁸ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3676599?sommaire=3696937#titre-bloc-3>

²²⁹ Bilan électrique 2019, RTE

²³⁰ Source: IEA <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=FRANCE&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=TotElecCons>

²³¹ Année 2019. Source: Ministère de la transition écologique <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/estimation-de-lempreinte-carbone-de-1995-2019#:~:text=M%C3%A9thodologie-.En%202019%2C%20l'empreinte%20carbone%20est%20estim%C3%A9e%20%C3%A0%20663%20millions.Franc e%20a%20augment%C3%A9%20de%207%20%25.>

²³² Indicators and assessment of the environmental impact of European consumption, 2019, JRC

Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
26,38%	23,91%	2,57%	2,78%	10,34%	27,28%	4,04%	1,17%	Pas de facteurs de normation / pondération			

Tableau 130 - Impacts environnementaux globaux des équipements et infrastructures numériques en France pendant 1 an - Résultats normalisés et pondérés

Note : les pourcentages du tableau ci-dessus représentent l'importance relative de chaque impact par rapport à l'ensemble des impacts de l'étude. Le total de tous les indicateurs calculés est de 100%, et plus un indicateur a un pourcentage élevé, plus il est considéré comme important.

Note 2 : ici le total n'est pas égal à 100%, l'indicateur de consommation d'eau ayant été écarté (voir chapitre 3.2.5.1).

8.1. Limites de l'étude

La détermination précise et exhaustive des impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques en France est une tâche complexe qui fait face à de nombreuses limites du fait de l'accès des données et des incertitudes associées. Ce chapitre a pour but d'identifier les limites connues afin d'en prendre conscience et d'anticiper de futures mises à jour.

8.1.1. Réseaux et équipements exclus

Certains équipements et réseaux n'ont pas pu être inclus du fait d'un manque de données. Ces exclusions sont les suivantes :

Exclusions
TV satellite et terrestre
PSTN (Public Switched Telephone Network) – réseaux téléphonique fixe
Réseaux d'entreprise
Lecteurs DVD
Tableaux blancs interactifs
Lecteurs MP3
Équipement audio personnel
Distributeurs de billets
Caisses et terminaux de paiement
Caisse automatique (tickets de parking)
Hotspot WLAN publique
Péages
Caméras de sécurité

Tableau 131 - Liste des équipements et réseaux exclus

L'impact de ces équipements et réseaux n'est pas négligeable, comme présenté dans l'analyse de sensibilité. De plus, certains ont été sous-estimés, comme pour le réseau satellite, du fait de la conception et du lancement des fusées qui génèrent des impacts importants.

Cette limite peut entraîner une sous-estimation des résultats.

8.1.2. Incertitudes sur le nombre d'équipements, leur durée de vie et leur consommation d'énergie

Les données collectées concernant le nombre d'équipements, leurs durées de vie et leur consommation électrique est porteur d'incertitude. Ces aspects sont couverts dans les analyses de sensibilité.

Cette limite peut entraîner une sous ou surestimation des résultats.

8.1.3. Maintenance et upgrade

Lors de la phase d'utilisation, certains équipements requièrent une maintenance (changement de composants, nettoyage, etc.), et certains peuvent être upgradés (par exemple les ordinateurs fixes). Cela n'a pas été pris en compte dans l'étude. C'est le cas notamment des consommables d'impression (papier, cartouches d'encre, toners), même si leur inclusion dans les équipements du numérique est sujet à discussion.

Ce point constitue une marge de progression importante pour les études futures, et devra être renforcé.

Cette limite peut entraîner une sous-estimation des résultats.

8.1.4. Marché de seconde-main, réutilisation de composant, économie circulaire

Dans cette étude, les produits sont considérés comme suivant une économie linéaire (fabrication, utilisation, fin de vie) qui est prédominante dans le secteur IT. Une approche circulaire incluant le marché de seconde-main et la réutilisation n'a pas été prise en compte. L'effet serait principalement d'augmenter la durée de vie.

Cette limite peut entraîner une surestimation des résultats.

8.1.5. Services numériques hors France et services numériques associés à l'usage hors France

Cette étude prend en compte les équipements basés sur le sol français : terminaux utilisateur, réseaux et centres de données.

Concernant les réseaux et les centres de données, il ne prend pas en compte les équipements basés à l'étranger et utilisés pour les services numériques utilisés en France, en revanche ça prend en compte tous les équipements installés en France, même s'ils sont utilisés pour des services à l'étranger.

Selon, les données ARCEP²³³ le trafic de données entrant et sortant de France est asymétrique d'un facteur 10, le trafic de données entrant en France est évalué à 27,7 Tbit/s tandis que le trafic sortant de France est évalué à 2,6 Tbit/s. Cette asymétrie ne permet pas de caractériser de manière précise les infrastructures sollicitées, le trafic étant principalement dû aux flux liés aux consultations de contenu multimédia qui représentent une partie seulement des services hébergés en datacenter (15% du trafic total selon CISCO²³⁴).

Cette limite peut entraîner une sous-estimation des résultats.

8.1.6. Énergie verte, obligations vertes, autoconsommation, compensation carbone, neutralité carbone

Certaines entreprises valorisent des actions de réduction d'impact liée à l'utilisation d'électricité verte ou via des mécanismes financiers.

²³³ Baromètre de l'interconnexion de données en France 2021

²³⁴ Cisco Global Cloud Index 2016-2021

Certaines de ces actions n'ont pas été prises en compte du fait de l'approche méthodologique retenue (comme les obligations vertes ou la compensation carbone), et d'autres n'ont pas été prises en compte du fait du manque de données, notamment concernant l'autoconsommation d'électricité.

La neutralité carbone n'est pas une approche valide en dehors du niveau international et n'a pas été pris en compte.

8.1.7. Détermination des quantitatifs d'équipement des réseaux

La méthode de détermination des quantitatifs des équipements des réseaux (tier 2) se base sur le flux des équipements sur l'année 2020, c'est-à-dire sur la quantité d'équipements achetés en 2020. Cette approche diffère des deux autres tiers qui considèrent l'ensemble des équipements utilisés et leur durée de vie.

Ces différences d'approche peuvent entraîner des écarts de résultats du fait de ce biais méthodologique.

8.1.8. Calcul de la consommation électrique des réseaux

Les données du rapport ICT²³⁵, utilisant comme source un rapport de l'IEA²³⁶ ont été utilisées pour déterminer la consommation électrique des réseaux fixes et mobiles.

Il s'agit ici d'une approche top-down, partant d'une zone géographique plus large que la France, ramenée au périmètre souhaité dans la présente étude.

Ce choix entraîne nécessairement une incertitude sur la valeur. Il serait pertinent de compléter cette approche par une vision bottom-up basée sur les consommations électriques des opérateurs français. Cela permettrait d'avoir une approche hybride plus précise et de déterminer la consommation électrique avec moins d'incertitude. Ce point est en cours d'adressage par les travaux au niveau des règles sectorielles de l'affichage environnemental français.

8.1.9. Différentiation métropole / outremer

Les régions et territoires d'outremer ont des particularités en matière :

- De mix électrique.
- De quantitatif et d'efficacité des systèmes et infrastructures numériques.

Dans cette étude, il n'a pas été possible de différencier les quantitatifs d'équipement entre la métropole et les territoires et régions d'outremer, ce qui n'a pas rendu possible une analyse plus fine des impacts associés.

8.1.10. Objets connectés

La méthode de détermination des impacts environnementaux des objets connectés est issue d'une modélisation à un niveau large. Cette approche nécessiterait d'être renforcée par une analyse plus fine des équipements concernés afin de réduire l'incertitude associée. De plus, la définition du périmètre des équipements considérés comme de l'IoT ne fait pas encore l'objet de consensus. Cela est d'autant plus important que les objets connectés sont amenés à se développer fortement dans les années à venir.

8.1.11. Approche top-down

L'approche retenue pour beaucoup de déterminations des données, et notamment des consommations électriques, est une approche top-down : la consommation est déterminée de manière globale, et non calculée à partir du nombre d'équipements et des puissances individuelles.

Cette approche, bien que permettant le calcul de consommations de manière pertinente, est handicapante pour proposer une analyse prospective, et ainsi limite l'analyse qui peut en être faite.

²³⁵ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.73

²³⁶ IEA-4E, *Intelligent Efficiency For Data Centres & Wide Area Networks*, Report Prepared for IEA-4E EDNA, May 2019

8.2. Travaux complémentaires à mener

Cette partie établit des recommandations permettant d'identifier les sujets pouvant faire l'objet d'améliorations lors d'une mise à jour de l'étude, ainsi que les actions pouvant être menées par ailleurs pour améliorer la connaissance des impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques.

Cette partie est notamment à mettre en relation avec le point précédent sur les limites de l'étude.

8.2.1. Réseaux et équipements exclus

Les réseaux et équipements exclus représentent un impact qu'il s'agirait de mieux appréhender. Pour cela, il convient de mener une identification et une quantification des équipements concernés et de leur consommation d'énergie, et de déterminer les impacts associés.

8.2.2. Incertitudes sur le nombre d'équipements, leur durée de vie et leur consommation d'énergie

Certaines données collectées sur le nombre d'équipements, leur durée de vie et la consommation d'énergie font l'objet d'incertitude, voire d'hypothèses afin de déterminer leurs valeurs.

Il s'agirait de déterminer plus précisément ces données, notamment sur les objets connectés qui sont amenés à se développer fortement.

Un travail de réflexion méthodologique devrait être mené en amont pour identifier les sources d'écart entre les sources existantes, et chercher à réduire ces écarts. L'objectif est de disposer de données officielles, homogènes et exhaustives sur :

- Le nombre d'équipements de chaque catégorie, et leur nature
- Leur durée de vie
- Leur consommation électrique

8.2.3. Maintenance et upgrade

Les parties de maintenance et d'upgrade des équipements génère également des impacts environnementaux. Il s'agirait d'avoir une meilleure vision des flux d'équipements et de composants concernés pour analyser les impacts associés.

8.2.4. Marché de seconde-main, réutilisation de composant, économie circulaire

Le marché de seconde main est amené à se développer dans les années qui viennent. La prise en compte des impacts associés, positifs comme négatifs (allongement de la durée de vie d'un côté, impact des opérations de reconditionnement et différentiel de consommation d'électricité de l'autre).

Des études ont déjà été engagées et sont en cours sur ces sujets, notamment l'étude « Evaluation de l'impact environnemental multicritère d'un ensemble de produits reconditionnés » menée par l'ADEME, ainsi que des recommandations ITU, notamment la norme ITU L.1024²³⁷. Il serait intéressant d'évaluer la possibilité d'intégrer ces points dans la présente étude.

8.2.5. Calcul de la consommation électrique des réseaux

Il n'existe pas, actuellement, de relevé de la consommation électrique des réseaux en France, au niveau national. Cette donnée pourrait être collectée par l'ADEME auprès des opérateurs.

²³⁷ ITU L.1024 The potential impact of selling services instead of equipment on waste creation and the environment – Effects on global information and communication technology

8.2.6. Différentiation métropole / outremer

Si les inventaires d'équipements sont bien connus à l'échelle de la France, il n'est pas fait mention de la distinction entre la métropole et les territoires et régions d'outremer. Les particularités de ces territoires pourraient être analysées afin de différencier les impacts environnementaux du numérique plus finement.

8.2.7. Objets connectés

Une étude permettant de mieux appréhender la diversité et la complexité des objets connectés permettrait d'avoir une analyse plus fine sur ce sujet. Il s'agit notamment de connaître avec plus de précision les flux et les stocks d'objets connectés, leurs consommations d'électricité, et leurs impacts environnementaux.

9. Annexes

9.1. Impact des équipements

Cette annexe détaille les impacts environnementaux individuels des équipements et des systèmes considérés pour les 3 tiers.

9.1.1. Tier 1 – Terminaux utilisateurs

Les résultats d'impact sont indiqués par équipement individuel, en ne considérant que la fabrication, la distribution et la fin de vie (la phase d'utilisation est calculée à un niveau global). Quand un équipement dispose de plusieurs configurations, les valeurs présentées sont les valeurs moyennes. Ces valeurs sont les données d'entrée de la modélisation pour chaque équipement.

Par équipement	Usage	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
Ordinateurs portables	Particulier	1,08E-02	2,36E+03	1,08E+00	3,64E+03	1,76E+02	1,16E+02	6,08E-06	4,35E-01	-3,14E+01	8,60E-01	7,38E+01	0,00E+00
	Professionnel	9,13E-03	2,11E+03	9,88E-01	3,14E+03	1,60E+02	7,39E+01	5,60E-06	3,97E-01	7,04E+02	2,89E+02	2,18E+03	0,00E+00
Tablettes	Particulier	4,06E-03	1,30E+03	5,89E-01	1,77E+03	9,83E+01	3,21E+01	3,30E-06	2,81E-01	3,22E+02	1,69E+02	1,34E+03	0,00E+00
	Professionnel	4,06E-03	1,30E+03	5,89E-01	1,77E+03	9,83E+01	3,21E+01	3,30E-06	2,81E-01	3,22E+02	1,69E+02	1,34E+03	0,00E+00
Smartphones	Particulier	2,65E-03	1,18E+03	5,22E-01	1,46E+03	8,85E+01	1,44E+01	2,91E-06	2,33E-01	-2,61E+00	1,74E-01	9,85E+00	0,00E+00
	Professionnel	2,65E-03	1,18E+03	5,22E-01	1,46E+03	8,85E+01	1,44E+01	2,91E-06	2,33E-01	2,71E+02	9,27E+01	1,22E+03	0,00E+00
Feature phones	Particulier	3,33E-03	2,76E+02	1,51E-01	3,51E+02	2,42E+01	5,69E+00	8,21E-07	5,97E-02	1,14E+02	6,68E+01	2,86E+02	0,00E+00
	Professionnel	3,33E-03	2,76E+02	1,51E-01	3,51E+02	2,42E+01	5,69E+00	8,21E-07	5,97E-02	1,14E+02	6,68E+01	2,86E+02	0,00E+00
Ordinateurs fixes	Particulier	1,63E-02	4,80E+03	1,62E+00	6,81E+03	2,65E+02	8,16E+02	9,29E-06	6,41E-01	1,63E+03	5,01E+02	4,90E+03	0,00E+00

	Professionnel	1,39E-02	3,21E+03	1,20E+00	5,02E+03	1,95E+02	5,46E+02	7,05E-06	4,66E-01	1,20E+03	4,02E+02	3,29E+03	0,00E+00
Ecrans d'ordinateurs	Particulier	1,13E-02	1,30E+03	4,12E-01	9,10E+02	6,55E+01	1,44E+02	2,49E-06	1,87E-01	-3,57E+01	8,40E-01	5,31E+01	0,00E+00
	Professionnel	1,13E-02	1,30E+03	4,12E-01	9,10E+02	6,55E+01	1,44E+02	2,49E-06	1,87E-01	4,73E+02	1,90E+02	1,33E+03	0,00E+00
TVs	Particulier	3,95E-02	4,41E+03	1,40E+00	3,44E+03	2,22E+02	4,86E+02	8,35E-06	6,20E-01	1,62E+03	7,86E+02	4,52E+03	0,00E+00
	Professionnel	2,90E-02	3,22E+03	1,04E+00	2,58E+03	1,63E+02	3,51E+02	6,07E-06	4,68E-01	1,17E+03	5,74E+02	3,30E+03	0,00E+00
Projecteurs	Particulier	4,46E-03	8,97E+02	3,53E-01	8,95E+02	5,72E+01	5,14E+01	9,80E-06	1,68E-01	3,44E+02	1,21E+02	9,15E+02	0,00E+00
	Professionnel	4,44E-03	1,04E+03	3,69E-01	9,17E+02	6,19E+01	6,68E+02	2,04E-06	1,55E-01	3,32E+02	1,19E+02	1,04E+03	0,00E+00
Box TV	Particulier	7,40E-03	8,41E+02	3,54E-01	9,06E+02	5,97E+01	3,57E+02	2,12E-06	1,42E-01	5,09E+02	1,72E+02	8,73E+02	0,00E+00
	Professionnel	7,40E-03	8,41E+02	3,54E-01	9,06E+02	5,97E+01	3,57E+02	2,12E-06	1,42E-01	5,09E+02	1,72E+02	8,73E+02	0,00E+00
Téléphone fixe	Particulier	6,79E-04	2,09E+02	8,77E-02	1,78E+02	1,28E+01	3,35E+01	5,17E-07	3,50E-02	1,34E+02	3,00E+01	2,14E+02	0,00E+00
	Professionnel	6,79E-04	2,09E+02	8,77E-02	1,78E+02	1,28E+01	3,35E+01	5,17E-07	3,50E-02	1,34E+02	3,00E+01	2,14E+02	0,00E+00
Consoles fixes	Particulier	2,22E-02	2,29E+03	9,79E-01	2,98E+03	1,61E+02	9,29E+02	5,87E-06	4,06E-01	1,13E+03	4,22E+02	2,35E+03	0,00E+00
	Professionnel	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Consoles portables	Particulier	2,47E-03	1,53E+03	6,83E-01	1,82E+03	1,15E+02	1,66E+02	3,82E-06	2,73E-01	3,90E+02	8,96E+01	1,59E+03	0,00E+00
	Professionnel	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Enceintes connectées	Particulier	1,84E-03	2,91E+02	1,13E-01	2,40E+02	1,90E+01	3,68E+01	6,50E-07	4,70E-02	1,27E+02	4,61E+01	2,95E+02	0,00E+00
	Professionnel	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HDD externes	Particulier	1,24E-03	8,29E+01	3,79E-02	1,99E+02	5,87E+00	1,05E+01	2,94E-07	1,49E-02	5,25E+01	3,33E+01	8,47E+01	0,00E+00
	Professionnel	1,24E-03	8,29E+01	3,79E-02	1,99E+02	5,87E+00	1,05E+01	2,94E-07	1,49E-02	5,25E+01	3,33E+01	8,47E+01	0,00E+00
SSD externes	Particulier	5,25E-04	2,06E+03	9,58E-01	2,38E+03	1,63E+02	6,68E+00	5,14E-06	3,55E-01	4,07E+02	4,02E+01	2,15E+03	0,00E+00
	Professionnel	5,25E-04	2,06E+03	9,58E-01	2,38E+03	1,63E+02	6,68E+00	5,14E-06	3,55E-01	4,07E+02	4,02E+01	2,15E+03	0,00E+00
Clefs USB et cartes SD	Particulier	1,24E-04	1,13E+02	5,30E-02	1,31E+02	8,91E+00	2,09E+00	2,85E-07	1,96E-02	2,69E+01	4,46E+00	1,19E+02	0,00E+00
	Professionnel	1,24E-04	1,13E+02	5,30E-02	1,31E+02	8,91E+00	2,09E+00	2,85E-07	1,96E-02	2,69E+01	4,46E+00	1,19E+02	0,00E+00

Imprimantes	Particulier	1,90E-04	2,19E+03	6,78E-01	2,44E+03	1,09E+02	1,64E+02	4,39E-06	3,24E-01	4,48E+02	1,63E+02	2,20E+03	0,00E+00
	Professionnel	2,52E-04	2,28E+03	7,02E-01	2,58E+03	1,13E+02	1,69E+02	4,54E-06	3,36E-01	4,81E+02	1,68E+02	2,29E+03	0,00E+00
Autres écrans	Particulier	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Professionnel	4,83E-02	4,98E+03	1,63E+00	3,78E+03	2,51E+02	5,85E+02	9,76E-06	7,17E-01	1,92E+03	9,54E+02	5,11E+03	0,00E+00
Stations d'accueil pour portables	Particulier	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Professionnel	7,35E-03	3,55E+02	1,49E-01	5,87E+02	2,46E+01	4,06E+01	9,22E-07	6,13E-02	3,04E+02	5,93E+01	3,63E+02	0,00E+00
IoT - Sécurité - Vidéo	Particulier	-2,02E-05	3,37E+02	8,12E-02	-5,94E+00	2,29E+01	3,82E+01	7,16E-07	5,07E-02	7,90E+01	1,23E+01	3,50E+02	0,00E+00
	Professionnel	-2,02E-05	3,37E+02	8,12E-02	-5,94E+00	2,29E+01	3,82E+01	7,16E-07	5,07E-02	7,90E+01	1,23E+01	3,50E+02	0,00E+00
IoT - Sécurité - Contrôle	Particulier	2,59E-05	2,93E+01	1,15E-02	4,48E+01	1,64E+00	1,08E+01	6,71E-08	5,16E-03	2,58E+01	9,67E-01	2,96E+01	0,00E+00
	Professionnel	2,59E-05	2,93E+01	1,15E-02	4,48E+01	1,64E+00	1,08E+01	6,71E-08	5,16E-03	2,58E+01	9,67E-01	2,96E+01	0,00E+00
IoT - Automatisation - Chauffage de l'eau	Particulier	2,19E-04	9,81E+01	4,69E-02	1,43E+02	7,00E+00	1,84E+01	2,66E-07	1,83E-02	4,92E+01	6,18E+00	1,01E+02	0,00E+00
	Professionnel	2,19E-04	9,81E+01	4,69E-02	1,43E+02	7,00E+00	1,84E+01	2,66E-07	1,83E-02	4,92E+01	6,18E+00	1,01E+02	0,00E+00
IoT - Automatisation - Lampadaires	Particulier	-1,36E-04	3,18E+02	5,60E-02	1,17E+01	1,77E+01	5,70E+01	5,98E-07	4,68E-02	1,09E+02	1,64E+01	3,11E+02	0,00E+00
	Professionnel	-1,36E-04	3,18E+02	5,60E-02	1,17E+01	1,77E+01	5,70E+01	5,98E-07	4,68E-02	1,09E+02	1,64E+01	3,11E+02	0,00E+00
IoT - Automatisation - Climatisation	Particulier	1,64E-04	1,78E+02	7,25E-02	2,81E+02	1,09E+01	3,44E+01	4,24E-07	3,30E-02	8,66E+01	8,80E+00	1,86E+02	0,00E+00
	Professionnel	1,64E-04	1,78E+02	7,25E-02	2,81E+02	1,09E+01	3,44E+01	4,24E-07	3,30E-02	8,66E+01	8,80E+00	1,86E+02	0,00E+00
IoT - Automatisation - Lumières	Particulier	2,28E-04	9,09E+01	4,44E-02	1,35E+02	6,63E+00	1,47E+01	2,51E-07	1,72E-02	3,49E+01	5,97E+00	9,38E+01	0,00E+00
	Professionnel	2,28E-04	9,09E+01	4,44E-02	1,35E+02	6,63E+00	1,47E+01	2,51E-07	1,72E-02	3,49E+01	5,97E+00	9,38E+01	0,00E+00

IoT - Automatisation - Cuisson	Particulier	1,95E-04	1,07E+02	5,22E-02	1,44E+02	8,00E+00	1,47E+01	2,92E-07	1,97E-02	4,18E+01	5,96E+00	1,11E+02	0,00E+00
	Professionnel	1,95E-04	1,07E+02	5,22E-02	1,44E+02	8,00E+00	1,47E+01	2,92E-07	1,97E-02	4,18E+01	5,96E+00	1,11E+02	0,00E+00
IoT - Automatisation - Audio	Particulier	1,49E-04	2,59E+02	1,04E-01	3,66E+02	1,63E+01	5,64E+01	6,00E-07	4,57E-02	1,28E+02	1,22E+01	2,55E+02	0,00E+00
	Professionnel	1,49E-04	2,59E+02	1,04E-01	3,66E+02	1,63E+01	5,64E+01	6,00E-07	4,57E-02	1,28E+02	1,22E+01	2,55E+02	0,00E+00
IoT - Automatisation - Appareils électroménagers	Particulier	1,96E-04	1,16E+02	5,50E-02	1,61E+02	8,43E+00	1,47E+01	3,10E-07	2,14E-02	4,37E+01	6,30E+00	1,20E+02	0,00E+00
	Professionnel	1,96E-04	1,16E+02	5,50E-02	1,61E+02	8,43E+00	1,47E+01	3,10E-07	2,14E-02	4,37E+01	6,30E+00	1,20E+02	0,00E+00
IoT – Compteurs intelligents	Particulier	1,83E-04	3,24E+02	1,20E-01	4,86E+02	1,81E+01	6,17E+01	7,06E-07	5,71E-02	1,66E+02	1,69E+01	3,18E+02	0,00E+00
	Professionnel	1,83E-04	3,24E+02	1,20E-01	4,86E+02	1,81E+01	6,17E+01	7,06E-07	5,71E-02	1,66E+02	1,69E+01	3,18E+02	0,00E+00
IoT - Capteurs: Res - Wi-Fi	Particulier	7,08E-05	7,62E+01	3,72E-02	2,71E+02	6,20E+00	1,25E+01	2,18E-07	1,65E-02	3,81E+01	2,37E+01	7,87E+01	0,00E+00
	Professionnel	7,08E-05	7,62E+01	3,72E-02	2,71E+02	6,20E+00	1,25E+01	2,18E-07	1,65E-02	3,81E+01	2,37E+01	7,87E+01	0,00E+00
IoT – Capteurs : Res - LE	Particulier	7,08E-05	7,62E+01	3,72E-02	2,71E+02	6,20E+00	1,25E+01	2,18E-07	1,65E-02	3,81E+01	2,37E+01	7,87E+01	0,00E+00
	Professionnel	7,08E-05	7,62E+01	3,72E-02	2,71E+02	6,20E+00	1,25E+01	2,18E-07	1,65E-02	3,81E+01	2,37E+01	7,87E+01	0,00E+00
IoT – Capteurs : Industrie - LE	Particulier	7,08E-05	7,62E+01	3,72E-02	2,71E+02	6,20E+00	1,25E+01	2,18E-07	1,65E-02	3,81E+01	2,37E+01	7,87E+01	0,00E+00
	Professionnel	7,08E-05	7,62E+01	3,72E-02	2,71E+02	6,20E+00	1,25E+01	2,18E-07	1,65E-02	3,81E+01	2,37E+01	7,87E+01	0,00E+00
IoT – Capteurs : Santé - LE	Particulier	7,08E-05	7,68E+01	3,75E-02	2,71E+02	6,24E+00	1,25E+01	2,19E-07	1,66E-02	3,82E+01	2,37E+01	7,93E+01	0,00E+00
	Professionnel	7,08E-05	7,68E+01	3,75E-02	2,71E+02	6,24E+00	1,25E+01	2,19E-07	1,66E-02	3,82E+01	2,37E+01	7,93E+01	0,00E+00
IoT – Passerelle : Bus	Particulier	-1,56E-04	4,01E+02	1,04E-01	5,12E+01	2,66E+01	5,65E+01	8,47E-07	6,01E-02	1,23E+02	1,56E+01	4,01E+02	0,00E+00

	Professionnel	-1,56E-04	4,01E+02	1,04E-01	5,12E+01	2,66E+01	5,65E+01	8,47E-07	6,01E-02	1,23E+02	1,56E+01	4,01E+02	0,00E+00
IoT – Passerelle : LE to Wi-Fi	Particulier	-1,56E-04	4,01E+02	1,04E-01	5,12E+01	2,66E+01	5,65E+01	8,47E-07	6,01E-02	1,23E+02	1,56E+01	4,01E+02	0,00E+00
	Professionnel	-1,56E-04	4,01E+02	1,04E-01	5,12E+01	2,66E+01	5,65E+01	8,47E-07	6,01E-02	1,23E+02	1,56E+01	4,01E+02	0,00E+00
IoT – Communication de Contrôle bâtiment	Particulier	-1,70E-04	3,76E+02	8,15E-02	7,38E+01	2,22E+01	5,33E+01	7,36E-07	5,67E-02	1,10E+02	1,68E+01	3,72E+02	0,00E+00
	Professionnel	-1,70E-04	3,76E+02	8,15E-02	7,38E+01	2,22E+01	5,33E+01	7,36E-07	5,67E-02	1,10E+02	1,68E+01	3,72E+02	0,00E+00
IoT – Volets et fenêtres	Particulier	2,96E-04	1,92E+02	7,57E-02	3,24E+02	1,16E+01	2,25E+01	5,68E-07	3,51E-02	8,80E+01	1,82E+01	1,94E+02	0,00E+00
	Professionnel	2,96E-04	1,92E+02	7,57E-02	3,24E+02	1,16E+01	2,25E+01	5,68E-07	3,51E-02	8,80E+01	1,82E+01	1,94E+02	0,00E+00

Tableau 132 - Impacts unitaires - Terminaux utilisateurs

9.1.2. Tier 2 – Réseaux

Les données sont par Go de données transmises sur le réseau. Elles sont la moyenne de toutes les technologies (2G, 3G et 4G pour le réseau mobile, FFTx et xDSL pour le réseau fixe).

Par Go	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
Réseau mobile	1,33E-06	3,02E+00	1,22E-04	7,35E-02	2,47E-02	4,13E-01	3,53E-09	5,62E-05	1,08E-01	2,99E-02	3,34E+00	8,51E-01
Réseau fixe	3,56E-07	9,19E-01	4,88E-05	5,52E-02	9,27E-03	1,27E-01	1,11E-09	2,24E-05	4,31E-02	1,08E-02	1,01E+00	2,47E-01

Tableau 133 - Impacts unitaires - Réseaux

9.1.3. Tier 3 – Datacentres

Les données sont par m² de salle IT dans les datacenters, par an.

m ² de salle IT dans les datacenters, par an	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg Sb eq.	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles - MJ	Acidification - mol H+ eq.	Ecotoxicité - CTUe	Changement climatique - kg CO2 eq.	Radiations ionisantes - kBq U235 eq.	Emissions de particules fines - Disease occurrence	Création d'ozone photochimique - kg NMVOC eq.	MIPS - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
Datacenters public local	2,70E-02	1,14E+05	9,37E+00	2,72E+04	1,71E+03	1,41E+04	1,49E-04	4,06E+00	6,86E+03	1,18E+03	1,25E+05	2,90E+04
Datacenters public national	3,38E-02	1,51E+05	1,25E+01	3,39E+04	2,27E+03	1,85E+04	1,97E-04	5,31E+00	8,47E+03	1,42E+03	1,66E+05	3,85E+04
Datacenters entreprises	3,93E-02	1,90E+05	1,54E+01	4,06E+04	2,81E+03	2,32E+04	2,47E-04	6,49E+00	1,00E+04	1,63E+03	2,09E+05	4,88E+04
Datacenters de colocation	4,94E-02	2,00E+05	1,97E+01	5,19E+04	3,54E+03	2,36E+04	2,72E-04	8,15E+00	1,22E+04	2,00E+03	2,19E+05	4,89E+04
Datacenters HPC	1,62E-01	5,51E+05	5,81E+01	1,45E+05	1,04E+04	6,41E+04	7,61E-04	2,35E+01	3,34E+04	5,72E+03	6,03E+05	1,33E+05

Tableau 134 - Impacts unitaires - Datacenters

9.2. Evaluation de la qualité des données

L'évaluation de la qualité se base sur la méthode développée dans le PEFCR guidance version 6.3²³⁸.

Les critères de qualités sont les suivants et évalués sur une échelle de 1 à 5 (1 étant le meilleur, 5 le moins bon) :

- TiR (Time representativeness) : précise le degré auquel la donnée représente avec justesse la période couverte par l'étude
- GR (Geographical representativeness) : précise le degré auquel la donnée représente avec justesse la géographie du système étudié
- TeR (Technology representativeness) : précise le degré auquel la donnée représente avec justesse la/les technologie(s) du système étudié
- P (Precision) : précise le degré d'incertitude de la donnée

A noter que la notation de la qualité se fait par tier. Chaque tier regroupant plusieurs données, il peut y avoir des variations au sein de chaque tier. Pour cette raison, a été retenue la notation de la qualité correspondant au cas le plus défavorable à chaque fois. Par exemple, si les données ont été développées sur la période 2018-2021, l'année 2018 a été retenue pour le calcul de la qualité.

238

	Source	TiR	GR	TeR	P
Terminaux utilisateur					
Equipements – Fabrication, distribution, fin de vie	NégaOctet (plus étude UC Louvain pour l'IoT)	2	2	3	1 (tout sauf IoT)
					3 (IoT)
Equipements – Utilisation	Différentes sources bibliographiques	2	1	1	3
Réseaux					
Mobile - équipements	NégaOctet	1	1	1	3
Fixe - équipements	NégaOctet	1	1	1	3
Mobile et fixe – consommation d'énergie	ICT Impact study, utilisant IEA-4E, Intelligent Efficiency For Data Centres & Wide Area Networks, Report Prepared for IEA-4E EDNA, May 2019.	4	5	3	3

Centres de données									
Bâtiment	Déclarations environnementales	3	Les données sont basées sur des données utilisées pour des EPD dans leur durée de validité (5 ans).	3	Chaque EPD a sa propre aire géographique en fonction de la localisation de la fabrication des produits. Toutes les données utilisées proviennent de l’Union Européenne.	5	Basées sur au moins un fabricant représentatif	3	Mesurées / calculées / issues de la littérature et plausibilité non vérifiée par un reviewer
Equipment non IT	Déclarations environnementales	3	Les données sont basées sur des données utilisées pour des EPD dans leur durée de validité (5 ans).	3	Chaque EPD a sa propre aire géographique en fonction de la localisation de la fabrication des produits. Toutes les données utilisées proviennent de l’Union Européenne.	5	Basées sur au moins un fabricant représentatif	3	Mesurées / calculées / issues de la littérature et plausibilité non vérifiée par un reviewer
	Approche matière	1	Les compositions ont été déterminées en 2020	3	Les matériaux considérés sont généralement produits en Europe.	5	Les données ne comprennent que la production des matériaux	5	Validité non évaluée
Equipment IT	NégaOctet	2	Toutes les données ont été développées sur la période 2018-2021	2	Les modèles sont adaptés à la zone géographique à travers le mix électrique et le scénario de transport. Le mix utilise est soit chinois, soit taiwanais en fonction des cas.	3	Les configurations par défauts sont basées soit sur une analyse du marché, soit comme une moyenne non pondérée.	1	Mesurées / calculées et vérifiées en externe
Consommation énergétique	RTE + ecoinvent 3.6	1	Les données sont représentatives de 2019	1	Le mix électrique est le mix de consommation français.	1	Le mix électrique est le mix de consommation basée sur l’inventaire de RTE	3	Mesurées / calculées / issues de la littérature et plausibilité non vérifiée par un reviewer
Distribution	ecoinvent 3.6	5	Suivant les données, la collecte a été faite sur des sources entre 2007 et 2011	1	Les données de transport sont valides pour le monde (avion, bateau) ou l’Europe (camion, train)	2	Les modes de distribution sont en ligne avec les moyens de transport	1	Mesurées / calculées et vérifiées en externe
Fin de vie	ESR	2	Les données ont été collectée en 2016 et sont valables jusqu’à 2013	1	La base de données de fin de vie est représentative pour la France	3	Les données sont représentatives des 2 principaux éco-organismes de DEEE en France, mais n’incluent pas les filières non réglementaires.	1	Mesurées / calculées et vérifiées en externe

Tableau 135 - Evaluation de la qualité des données

9.3. Analyse de conformité à la norme ITU L.1450

La norme ITU L.1450 intitulée « Méthodologies d'évaluation de l'impact environnemental du secteur des technologies de l'information et de la communication »²³⁹ est considérée comme une référence dans le secteur. Elle vise à établir une méthodologie permettant la détermination des impacts au niveau sectoriel.

L'objectif de la présente étude intègre une conformité aux normes ISO 14040 et ISO 14044. Cependant, une analyse de conformité à la norme ITU L.1450 a été menée. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. Lorsque des actions de mise en conformité étaient possibles, celles-ci ont été réalisées, et ces points ont été précisés dans le tableau (colonne « Action »).

A noter que la "Part II : The methodology for defining a GHG emissions budget for the ICT sector considering a 2°C or lower trajectory" ne s'applique pas à cette étude.

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
8.1	General principle					
8.1	General principle	The ICT sector footprint covers only first order effects, as second order effects shall not form part of the footprint.	Partiellement conforme	chapitre 3.2.5. p24 à 27	Concernant les émissions de Gaz à effet de serre, les impacts directs sont caractérisés et quantifiés en kilogramme équivalent CO2. En complément de cette approche, l'étude présente les impacts environnementaux au travers d'indicateurs issus du projet "Product Environmental Footprint PEF 3.0 ainsi que des indicateurs additionnels plus faciles à interpréter dans le cadre de vulgarisations (MIPS, énergie primaire). Le choix des indicateurs ainsi que les méthodes (et versions) sont documentés dans ce chapitre.	
8.2	Assessment procedure					
8.2	Assessment procedure	The assessment procedure for estimating the ICT sector footprint involves a number of different step which are summarized in Figure 1 and the subsequent list.			Ces exigences sont détaillées dans les chapitres 8.3 à 8.9.	
8.3	Goal and scope					
8.3.1	Study goal.	The study goal shall specify the time horizon, geographical coverage and ICT sector coverage.	Conforme	Chapitre 1.2 Chapitre 3.2	Le périmètre est défini dans le chapitre 1.2, il concerne la quantification des impacts environnementaux du secteur numérique en France en 2020 sur les 3 briques : terminaux, réseaux de télécommunications et datacenters. Le chapitre 3.2 détaille le système étudié.	

²³⁹ <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1450/fr>

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
		The assessment of the footprint of the ICT sector considered in this Recommendation shall at least cover absolute GHG emissions, which means total GHG emissions of the ICT sector expressed in amount of the CO ₂ e, but may additionally also present the results in relation to overall global GHG emissions.	Conforme	Chapitre 3.2.3.1 Chapitre 5	Le périmètre intègre les impacts environnementaux incluant les émissions de GES associées à toutes les étapes du cycle de vie des équipements et infrastructures opérés en France : Fabrication, distribution, utilisation et fin de vie. Les résultats sont présentés en valeur absolue avec un intervalle d'incertitude, en % des émissions de GES nationales et sont également détaillés par contributeur et par étapes du cycle de vie.	
8.3.2	Reference Unit	The reference unit shall be defined as the overall life cycle emissions generated by the ICT sector as specified by the boundaries and for the specified geographical coverage over 1 year.	Partiellement conforme	Chapitre 5	Les résultats sont présentés comme les impacts environnementaux globaux pour 1 an de numérique en France	Dans le résumé préciser : "les impacts environnementaux générés par le secteur numérique intégrant toutes les étapes du cycle de vie, en France sur une période d'une année sont de XX"
		For the interpretation of the results, it is also advisable to specify complementary reference flow in terms of GHG emissions in accordance with the reference unit: per subscription, per data traffic.	Conforme	Chapitre 5.5.2.1	Concernant la partie réseaux de télécommunication, les impacts environnementaux sont exprimés par Go de données transférées et par ligne abonnée.	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
8.3. 3.1	Boundaries ICT sector	The ICT sector boundaries shall be based on the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) classification as specified in [b-ISIC] and shall include all categories of ICT goods listed in Annex A in the estimated ICT sector footprint for full compliance with this Recommendation	Partiellement conforme	Chapitre 4 et 3.2.3.3	<p>Le chapitre 4 détaille les équipements et infrastructures inclus dans le périmètre de l'étude.</p> <p>Par rapport à l'Annexe A de ITU 1450, ne sont pas inclus :</p> <p>Computer peripherals (détails des équipements à prendre en compte n'est pas listé dans l'ITU 1450).</p> <p>La classification des objets connectés IOT utilisée n'est pas celle de l'annexe A de l'ITU 1450 mais celle du rapport AIE 2019.</p> <p>La classification des équipements réseaux n'est pas celle identifiée dans ITU 1450 mais classe les équipements par réseau (fixe ou mobile) et par collecte, agrégation cœur de réseau.</p> <p>Le réseau PSTN n'est pas inclus dans le périmètre.</p> <p>Les réseaux d'entreprises ne sont pas inclus dans le périmètre.</p> <p>Les réseaux de télécommunication satellites ne sont pas inclus dans le périmètre.</p> <p>Les équipements supports des réseaux (facilités liées à la climatisation et alimentation électrique) ne sont pas inclus dans l'étude.</p> <p>Les activités de maintenance des réseaux ne sont pas incluses dans le périmètre de l'étude.</p> <p>Les activités liées aux équipements et infrastructures numériques ne sont pas incluses dans le périmètre hormis les équipements et infrastructures nécessaires pour les concevoir et les délivrer, autrement dit, l'impact des collaborateurs des entreprises numériques (déplacements, bureaux,...) sont limités aux équipements et</p>	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
					<p>infrastructures (réseaux et datacenters) utilisés et classés dans l'usage professionnels.</p> <p>L'étude inclut une partie des équipements qui sont identifiés dans ITU 1450 comme Entertainment & media: TV et écrans, imprimantes, consoles de jeux et équipements associés pour un usage media et loisir (enceintes connectées, box TV).</p>	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
		Any derivation from this rule means that compliance can only be partial and the deviations shall be handled according to the transparency principle	Partiellement conforme	Chapitre 3.2 et chapitre 4	Les exclusions et frontières du périmètre sont détaillées dans le rapport mais par selon les catégories et classification de l'ITU 1450.	
8.3.3.2	Geographical boundaries	The Recommendation may be applied to estimate an ICT sector footprint that represents emissions that are related to a country, a group of countries or the global situation. The option applied shall be clearly specified	Conforme	Chapitre 3.2.1.3	Le périmètre géographique de l'étude couvre les équipements et infrastructures opérés en France. Les équipements et infrastructures opérés à l'étranger pour un usage en France sont exclus.	
8.3.3.3	Time boundaries	Whether the assessment refers to a past, present or future footprint shall be specified. For a present footprint, data shall model the most recent year for which data are available. In all cases, the targeted year and time period covered by the assessment shall be transparently stated. The recommended time period is one calendar year.	Conforme	Chapitre 3.2.1.2	L'étude évalue les impacts environnementaux du secteur numérique sur l'année 2020. Un critère sur la qualité temporelle des données a été fixé et les données utilisées doivent être représentatives de l'année 2020 et les données extrapolées doivent l'être sur la base de données postérieures à 2015.	
8.3.4	Absolute and relative footprints	The absolute ICT sector footprint shall be estimated. Additionally, the ICT sector's share of overall global GHG emissions may also be estimated.	Conforme	Chapitre 5	Les résultats sont présentés en valeur absolue pour chaque indicateur environnemental ainsi qu'en % des impacts nationaux. Les résultats sont également présentés selon une approche de normalisation et pondération, les méthodes utilisées sont documentées dans le rapport.	
8.4	Data collection					
8.4	Data collection	Praticitioner shall evaluate different data sources to create the best possible estimate, while respecting the principles of this recommendation. Referring to this recommendation, the practitioner shall use the most recognized, representative, high quality available. The practitioner shall validate the data by using different independent data set, such as top down data together with bottom up data.	Conforme	Chapitre 3.2.6	Les données utilisées dans l'étude sont issues d'une analyse bibliographique couvrant plus de 175 études d'impact environnemental publiées par 67 éditeurs différents. Une analyse de la qualité des données a été réalisée.	
8.4.1	Data quality	<u>Timeliness</u> : The date at which the data are generated shall be compatible with the objective of the study or represent the best available proxy if such data are missing. All scenarios and models used should be compatible with the assessed time period	Conforme	Chapitre 3.2.7	Les critères sur la qualité des données utilisées sont détaillés dans le chapitre 3.2.7: données de 2019 2020, ne pas considérer de données de plus de 5 ans, si les données datent de plus de 5 ans,	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
					elles seront mises à jour et les hypothèses seront justifiées.	
		<u>Accuracy</u> : Data shall reflect the real state of the source information and should not create any ambiguities. When several data sources are combined to model one data point, each data set used needs to be analysed with respect to quality, boundaries, assumptions, etc., and combined in a way that reflects the quality of the data set and avoids double counting and data gaps.	Conforme	Chapitre 4	Toutes les données sont sourcées et les hypothèses documentées. Lorsque des hypothèses ont été formulées, elles sont présentées au regard d'autres études pour s'assurer de la pertinence et cohérence.	
		<u>Accessibility</u> : The data used should be publicly available and should not require any authorization to be obtained. However, to get hold of accurate data and avoid substantial data gaps, studies may for some data-points need to rely on private or confidential data. Also, when such data are used, the principle of transparency applies to the maximum extent possible.	Conforme	Chapitre 4	Lorsque c'est possible, les liens internet vers les sources publiques sont intégrés en bas de page. Les données confidentielles sont identifiées comme telles.	
		A data source may become confidential when a company is not willing to share data unless they are guaranteed confidentiality. If such data are used to avoid substantial data gaps, their importance for overall results shall be addressed in the sensitivity analysis and validation with published data should be performed if available.	Conforme	Chapitre 4	Les données confidentielles ainsi que celles issues d'hypothèses sont documentées comme telles et lorsqu'elles représentent un impact significatif sur les résultats, elles ont fait l'objet d'une analyse de sensibilité et sont mis en regard d'autres études publiées.	
8.4.2	Data sources	To reduce the risks of flaws in the data collection process, the following preferred sources of data shall be used when available: 1) National Statistics Agencies; 2) International organizations publishing statistics e.g., United Nations (UN), Eurostat, IEA or OECD; 3) Statistics from the United Nations Framework Convention on Climate Change	Partiellement conforme	Chapitre 3.2.6	Les données sont sourcées, les données disponibles publiées par des Agences nationales ou internationales ont été utilisées. Par contre, il y a très peu de données publiques publiées par ce type d'Agence, d'autres sources ont été utilisées. La priorité en termes de qualité des données considère la cohérence méthodologique.	
		When such data are not available or if the data sources are updated too seldom to keep up-to-date with the fast development of the ICT sector, other published sources can be used. The choice of these alternative sources is left to the discretion of the practitioner, but the study must respect the following principles. 1) The practitioner shall make sure that the necessary data are neither accessible from the sources listed in the first paragraph, nor can they be recalculated from them. 2) If the data are extracted from the literature, source articles must have	Partiellement conforme	Chapitre 3.2.6 Chapitre 4	Les données utilisées dans le modèle ACV sont toutes sourcées et documentées dans le rapport (à l'exception des données confidentielles). Les facteurs d'impacts utilisés sont ceux de la base de données Négaoctet qui n'est pas publique mais a fait l'objet d'une revue critique. La base de données Négaoctet a été	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
		undergone a scientific peer review process prior to their publication NOTE – The procedure described in this Recommendation is based on process-sum LCA approaches. However, the environmental extended input output assessment (EE-IOA) data may be used to fill data gaps in line with [ITU-T L.1410]			présentée pour information au Comité de Peer review.	
8.4.3	Cut-off	Cut-offs shall be avoided as far as possible. An alternative to a cut-off is often to model unavailable data based on known data. However, if cut-offs are performed, careful considerations are required The cut-off criteria specified in [ISO 14040] and [ISO 14044], i.e., mass, energy and environmental significance, are to be considered before a cut-off of a certain process and the process shall be included if significant to at least one criterion, if data are available. Due to the complexity of a sector footprint, it is considered too challenging to define a strict quantitative exclusion threshold, but the completeness principle shall be respected as far as possible. Irrespective of the cut-off method applied, the accumulated effects shall be carefully considered, to ensure that the sum of cut-offs remains acceptable. Activities, processes and flows that have been cut-off shall be included in the sensitivity analysis	Partiellement conforme	Chapitre 3.2.3.4	Les règles de coupure sont précisées dans le chapitre 3.2.3.4. Tous les flux, activités, et process ayant fait l'objet d'une règle de coupure ne font pas l'objet d'une analyse de sensibilité.	
8.5	Data collection & modelling					
8.5	Data collection & modelling	To model the sector, the first step is to model each category of goods within the system boundaries. Thus, for each category of ICT goods, the following data will need to be collected: 1) sales volumes and installed base; 2) operating lifetime; 3) GHG emission per category of goods: - use stage GHG emissions, - embodied GHG emissions.	Partiellement conforme	Chapitre 4	Pour chaque équipement ou infrastructure considérée dans le périmètre, une évaluation du gisement a été réalisée. En complément, les durées de vie ont également été identifiées sur la base de données sourcées par famille d'équipement. Exception sur les équipements des réseaux de télécommunications pour lesquels l'évaluation ne s'est pas basée sur des données de gisement en opération mais sur les quantités d'équipements installés sur une année. Ces données sont néanmoins de meilleure qualité car fournies par les principaux opérateurs de réseaux en France.	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
		<p>Additionally, the following data for the overall ICT sector footprint need to be collected:</p> <p>1) GHG emission factors;</p> <p>2) Contextual data that are useful for the interpretation of results, such as the number of subscribers and data traffic;</p> <p>3) If the study aims to estimate results in relation to overall global GHG emissions, these data must also be collected.</p> <p>For each data point, the available data sets need to be analysed with respect to quality, boundaries, assumptions, etc.</p>	Conforme	chapitre 4	<p>Les données d'impact utilisées sont celles disponibles dans le logiciel EIME: bases de données CODDE, NégaOctet, Ecosystem et ecoinvent.</p> <p>Le choix des données utilisées s'est basé sur des critères de qualité.</p> <p>Lorsque cela est possible, des données contextuelles ont été intégrées.</p> <p>Les données sur les émissions globales de GES ont été précisées et sourcées.</p>	
8.5.1	Volumes	<p>The sales volumes of each category of goods shall be collected for the assessed year, as well as estimates for the already installed base</p> <p>NOTE – Such data may be available from the national statistics agencies of some countries. For a global ICT sector footprint estimate, data are more likely to be available from analysts and industry organizations.</p>	Partiellement conforme	chapitre 4	<p>Les inventaires par catégorie d'équipements en opération ont été identifiés soit sur la base de données de vente publiées, soit sur la base de publications soit sur la base d'estimations documentées. Pour évaluer les impacts environnementaux ramenés à une année, les inventaires en opération ont été "amortis" sur la durée de vie des équipements.</p> <p>A l'exception des équipements réseaux où les données prises en compte concernent les équipements installés sur une année qui ont été pris en compte à 100% (pas d'amortissement).</p>	
8.3.4	Absolute and relative footprints	The absolute ICT sector footprint shall be estimated. Additionally, the ICT sector's share of overall global GHG emissions may also be estimated.	Conforme	Chapitre 5	<p>Les résultats sont présentés en valeur absolue pour chaque indicateur environnemental ainsi qu'en % des impacts nationaux. Les résultats sont également présentés selon une approche de normalisation et pondération, les méthodes utilisées sont documentées dans le rapport.</p>	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
8.5.2	Operating lifetime The operating lifetime shall be derived in two cases as follows.	<p>The operating lifetime shall be derived in two cases as follows.</p> <ul style="list-style-type: none"> - If the embodied footprints of the different categories of ICT goods are depreciated - If data regarding the installed base is not available, the operating lifetime together with the sales volume could be used to derive this. In this case, the operating lifetime is used to estimate the number of years the sales of the different ICT goods categories year 20xx should remain within the footprint of the category of the ICT good, and the data could be derived from sales volumes for several consecutive years. <p>If any of these cases apply, the operating lifetime per category of ICT goods shall be based on the available information on actual use (e.g., statistics for similar goods, networks and services or information on commercial lifetime) and shall model a real operating lifetime as closely as possible. If information on actual use of goods, networks and services cannot be found, economic statistics may be used to estimate the operating lifetime, e.g., economic depreciation time. However, such estimates are considered to be less accurate.</p> <p>(NOTE – If the study targets a past year, actual use time may be available and can then be used. In most cases, actual operating lifetime is not available and estimates are needed)</p>	Conforme	Chapitre 4	<p>La durée de vie est identifiée pour chaque catégorie d'équipement pour "amortir" les impacts des phases de fabrication, distribution et fin de vie du parc en opération.</p> <p>A l'exception des équipements réseaux où les données considérées ne sont pas les inventaires d'équipements en opérations mais les équipements installés pendant une année et non amortis (prise en compte de 100% des impacts de fabrication et distribution).</p>	
		If data are available for sale of reused products, their operating time should be included in the ICT sector footprint as accurately as possible. Extended operating lifetime is estimated according to the same principles as the (first) operating lifetime.		Chapitre 8.1.6		
8.5.3	ICT end-user goods	<p>Embodied GHG emissions</p> <p>The embodied emissions for end-user goods shall be based on published LCA studies for the category of ICT goods. Recommendation [ITU-T L.1410] states that results shall only be compared if conditions and data sets are the same, which means that results from different studies are not comparable without consideration of the different conditions. Thus, in this step, the published literature on the ICT good shall be thoroughly investigated to create the most accurate model of the targeted category of ICT goods. Results shall be analysed taking into consideration assessment boundaries, age, geographical coverage, representativeness of the assessed goods to the overall category for the assessed year, etc. Figure 2 (Annex) illustrates a typical situation with data from different sources that needs to be analysed to derive a trend and a best estimate. This step analysis requires an experienced LCA practitioner.</p>	Conforme	Chapitre 3.2.6	<p>Les données sur les impacts de la fabrication des terminaux utilisateurs sont toutes issues de la base de données NegaOcéan. Cette base de données à la particularité d'être homogène, actualisée, conforme ISO 14040 et d'être soumise à revue critique.</p>	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
		<p>Use stage GHG emissions</p> <p>The use stage of end-user goods shall be modelled based on :</p> <ul style="list-style-type: none"> - actual energy consumption measurements during usage for a wide range of users (preferred); - research studies based on actual usage patterns and energy consumption profiles - manufacturer data sheets combined with estimated user profiles; - targeted levels from regulation (mainly for future estimates) <p>If data are available for volumes for each usage segment and usage profile, end-user goods for private and office usage should be modelled separately. As for the embodied emissions, the collected data shall be analysed and compared taking into consideration boundaries, age, representativeness, etc., to create the most accurate model of the targeted category of goods. Figure 3 illustrates a typical situation with data from different sources that need to be analysed to derive a trend and a best estimate. The analysis shall be performed by an experienced LCA practitioner or someone who has a good knowledge of the energy performance of the product category</p>	Conforme	Chapitre 4.3	<p>Les données d'impact sur la phase d'utilisation des terminaux sont issues des données nationales produites par RTE sur le mix électrique français croisées avec les données d'impact issues de la base des données ecoinvent</p> <p>Les consommations en phase d'utilisation sont identifiées par catégorie d'équipements soit sur la base des données sourcées soit sur la base des hypothèses documentées sur des scénarios d'utilisation.</p>	
8.5.4	ICT network goods	<p>Embodied GHG emissions</p> <p>The embodied emissions for network goods shall be based on LCA studies for the different categories of ICT network goods or on network level LCAs. [ITU-T L.1410] states that results shall only be compared if conditions and data sets are the same which means that results from different studies are not comparable without consideration of their different conditions. Thus, in this step, the published literature on the category of ICT network goods or on the ICT network shall be thoroughly investigated and results shall be analysed taking into consideration assessment boundaries, age, geographical coverage, representativeness of the good, data quality requirements, etc., to create the most accurate model of the targeted category of goods. This analysis requires an experienced LCA practitioner with good knowledge of ICT networks</p>	Conforme	Chapitre 3.2.6	<p>Les données sur les impacts de la fabrication des équipements réseaux sont toutes issues de la base de données NegaOctet. Cette base de données à la particularité d'être homogène, actualisé, conforme ISO 14040 et d'être soumise à revue critique.</p>	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
		Use stage GHG emissions The use-stage energy consumption of networks together with the ICT network operator's support activities according to [ITU-T L.1410] shall be modelled based on data measured during network operation. The data set shall cover a substantial share of the assessed geographic area and of the subscriptions within that area. Furthermore, the energy consumption of the use stage per subscription, shall be derived to model the use stage per user.	Partiellement conforme	Chapitre 4.6.1.6.2	Faute de données plus précises disponibles, les données de consommations des réseaux de communication sont basées sur le rapport ICT (périmètre Europe) qui reprend lui-même des données de l'IAE. Ces données ont été extrapolées sur la base des volumes de données transportées. Les limites liées à l'utilisation de ces données sont détaillées dans le rapport et ces valeurs ont fait l'objet d'une analyse de sensibilité.	
		To derive a representative sample of measured actual energy consumption, in particular, of networks demands the consideration of some important parameters: _ Grid and non-grid electricity supply: The selected networks shall be representative for the assessed geographical area in this respect. If a balanced sample is not within reach it is necessary to collect data for diesel usage separately and consider these in the overall GHG emissions related to the use stage of networks.	Partiellement conforme	Chapitre 4.6.1.6.2	Il est considéré dans l'étude que 100% de l'électricité consommée par les réseaux de télécommunication provient du réseau électrique national. Le réseau électrique français est considéré comme très fiable et les coupures rares.	
		_ Primary and published data: If primary data are not sufficient to achieve representativeness, such data should be complemented by published secondary data from sources such as the environmental reporting of companies.	Conforme	Chapitre 3.2.6 Annexe 9	Le type de donnée et la qualité des données utilisées sont détaillés en annexe 9. Les déclarations environnementales d'entreprises ont rarement été utilisées.	
		_ Reporting bias: Sustainability-profiled companies may be more willing to share their data than other companies, which may bias the results with regard to the use of green certificates, energy performance, etc. Reporting bias needs to be taken into consideration when forming the overall data set to avoid "green bias" in the data.	Conforme	Annexe 9	Les données liées aux déclarations environnementales d'entreprises ont rarement été utilisées et les green bonds n'ont pas été pris en compte.	
		_ Extrapolation of sites or facilities: It is important to understand whether a data set represents the total network equipment or only a fraction of it and whether such a fraction is representative of the data to be extrapolated to represent all sites. These could apply to specific situations, such as meters covering several sites. If the electricity consumption of all sites or facilities within a network is not measured, extrapolation shall be applied while considering the representativeness of the sample.	Conforme	Chapitre 4.6.1.6.2 Chapitre 9.2	Les consommations d'énergie du réseau sont extrapolées sur la base des données du ICT Report. L'extrapolation et ses limites sont détaillées.	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
8.5.4	ICT network goods	Typically, the practitioner may also encounter a number of allocation situations throughout the assessment. In particular, the sharing of sites or facilities demands attention. For example, consider the following : a) Site-sharing of access networks: Different categories of network goods may share the same location and the same energy meter. In these situations, it is necessary to allocate the overall energy usage to the different categories. To do so, detailed measurements of the power distribution within a number of sites may be used to provide a fair basis for the allocation. b) Site-sharing of core networks: If mobile and fixed core network goods are co-located, the energy consumption may be allocated fully to the core network, if no detailed grounds for allocation are readily available.	non concerné	Chapitre 4.6.1.6.2 Chapitre 9.2	La consommation électrique a été déterminée au niveau global via les données du rapport ICT, et non par site, que ça soit au niveau access ou au niveau core. Ce commentaire n'est donc pas applicable à notre cas.	
		In the case of country-based studies or studies performed for a group of countries, the allocation of the international carrier backbone needs consideration. In this case, it is advisable to allocate the backbone goods to the country or group of countries where the backbone is located. A more detailed option would be to consider the use of the backbone, both for the backbone goods located in the country and those used by the country. However, as the backbone usually only represents a small part of overall emissions, this would add to much complexity without considerably adding to the accuracy of the results.	Conforme	Chapitre 4.6.1.6.2 Chapitre 9.2	Le périmètre considéré pour le backbone ne prend pas en compte les réseaux situés à l'étranger liés à des usages en France. Mais considère le backbone situé en France.	
		Recent and measured data are preferred due to the dynamics of network energy consumption and the fast development of data traffic. It is acknowledged that such data sets have a closer connection to actual conditions and that they are therefore expected to be more representative of reality.		Chapitre 4.6.1.6.2 Chapitre 9.2	Les représentativités temporelles et géographiques de la donnée de consommation électrique des réseaux a fait l'objet de discussions. En effet, il n'existe pas de donnée récente et précise pour le périmètre français	
		The collected data shall be analysed taking into consideration boundaries, age, representativeness, etc., to create the most accurate sample of the use stage of networks. This step shall be performed by an experienced LCA practitioner and someone who has a good knowledge of the energy performance of ICT networks.	Conforme	Chapitre 4.6.1.6.2 Chapitre 9.2	Une analyse de la qualité des données utilisées est détaillée au chapitre 9.2.	
		Practitioners should carefully consider the applicability and consequences of different modes of scaling (e.g., by data or by subscription) while considering the historical and expected future conditions of the sector.	Conforme	Chapitre 4.6.1.6.2 Chapitre 9.2	Les règles utilisées pour l'extrapolation ont été détaillées ainsi que les limites associées.	
		Within the sampled energy consumption, green certificates may be included according to their usage. However, for extrapolation from the sample to the assessed geographical area, such certificates shall not be used.	Conforme	Chapitre 8.1.7	Les certificats "vert" n'ont pas été pris en considération dans l'étude.	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
8.5.5	Data centres	Embodied GHG emissions The embodied emissions for data centres shall be based on LCAs. [ITU-T L.1410] states that results shall only be compared if conditions and data sets are the same, which means that results from different studies are not comparable without consideration of their different conditions	Conforme	Chapitre 4.7	Les données sur les impacts de la fabrication des équipements datacenter sont toutes issues de la base de données NégaOctet. Cette base de données à la particularité d'être homogène, actualisée, conforme ISO 14040 et d'être soumise à revue critique.	
		Thus, in this step, the published literature on the category of data centres shall be thoroughly investigated and results shall be analysed taking into consideration assessment boundaries, age, geographical coverage, representativeness of the data centre, etc., to create the most accurate models of the targeted category of data centres. This step demands an experienced LCA practitioner with good knowledge of data centres Note 1 : Data availability at the time of publication typically only allows for a rough estimate where broad categories of data may be modelled separately. However, it does not allow modelling for each data centre type or configuration individually. Note 2 : Data developed in alignment with [ITU-T L.1410] take precedence over other data, unless limitations in data applicability exists due to data age, representativeness of assessment target, etc. Note 3 : Typically, this kind of data is not available for the specific year of assessment.	Conforme	Chapitre 4.7.4	Un panorama des études existantes relatives à la caractérisation du parc datacenter en Europe est détaillé dans ce chapitre.	
		Use stage GHG emissions The use-stage energy consumption of data centres together with the data centre operator's support activities according to [ITU-T L.1410] shall be modelled based on data measured during network operation. The data set shall cover a substantial share of the assessed geographic area and of the data centres within that area. Furthermore, the energy consumption of the use stage per physical server shall be derived to model the use stage of data centres.	Conforme	Chapitre 4.7.5.2	La modalisation des consommations d'énergie des datacenters intègre les consommations de la partie utilities (support non IT), ces données sont basées sur des hypothèses documentées et sur les valeurs publiées dans l'étude Borderstep (consommations par type de serveur).	
		To find a representative sample of measured actual energy consumption of data centres demands the consideration of some important parameters, in particular the following : _ Primary and published data: If primary data are not sufficient to guarantee representativeness of the emissions of data centres, such data should be complemented with published secondary data from sources such as the environmental reporting of companies	Conforme	Chapitre 4.7.5.2	Les données sur les consommations d'énergie sont basées sur des retours d'expérience terrain associés à des données publiées (Borderstep). Une analyse de cohérence a été réalisée et cette donnée a fait l'objet d'une analyse de sensibilité.	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
		_ Reporting bias: Sustainability-profiled companies may be more willing to share their data than other companies, which may bias the results with regard to the use of green certificates, energy performance, etc. This requires consideration when compiling the overall data set to avoid "green bias" in the data	Conforme	Chapitre 8.1.7	Les certificats "vert" n'ont pas été pris en considération dans l'étude.	
		_ Extrapolation of data centres: As not all data centres have separate electricity meters for the data centre as such, it is important to understand whether a data set represents all data centres of a data centre operator or only a fraction of them, and whether such a fraction is representative (with regard to server types) for the data to be extrapolated to represent the totality. If the electricity consumption of all data centres of a data centre operator is not measured, extrapolation shall be applied while considering the representativeness of the sample.	Conforme	Chapitre 4.7.5.2	Les consommations d'énergie des datacenters ne sont pas issues de relevés mais extrapolées sur la base de scénarios d'usage détaillés croisés avec des données issues de publications. Des contrôles de cohérence ont été réalisés.	
		_ Site-sharing of data centres: Different categories of data centre may share the same location and the same energy meter. In these situations, it is necessary to allocate the overall energy usage to the different categories. To do so, detailed measurements of the power distribution within a number of data centres may be used to provide a fair basis for the allocation.	Partiellement conforme	Chapitre 4.7.5.2	Aucune règle d'allocation n'a été utilisée sur la consommation d'énergie des datacenters attendu que les consommations ne sont pas issues de relevés.	
8.5.5	Data centres	In the case of country-based studies or studies performed for a group of countries, the allocation of the internationally used data centres needs consideration. In this case, it is advisable to allocate the data centres according to traffic, both for the data centre located in the country and those used by the country. The city scale principles outlined for this in [ITU-T L.1440] provide a good basis for this allocation, and the balance between data in and out of the area provides a good basis for estimating the applicable share. Recent and measured data are preferred due to the dynamics of data centre and the fast development of data traffic. It is acknowledged that such data sets have a closer connection to actual conditions and that they are therefore expected to be more representative of reality. The collected data shall be analysed and compared taking into consideration boundaries, age, representativeness, data quality, etc., to create the most accurate sample of the use stage of networks. This step shall be performed by an experienced LCA practitioner and someone who has a good knowledge of the energy performance of ICT data centres.	Partiellement conforme	Chapitre 8.1.6	L'étude prend en compte les équipements et infrastructures opérés sur le sol national. Les datacenters situés à l'étranger pour un usage français ne sont pas pris en compte. Les données de trafic indiquent un déséquilibre entrant/sortant mais ces données ne peuvent pas être généralisées sur l'ensemble des usages datacenters (sont principalement représentatives des usages vidéo hébergés dans le datacenters).	
8.5.6	ICT service development and operation support	The use stage of ICT services in terms of ICT goods energy consumption is included in the footprint of the use stage of these goods. The remaining part of the footprint is related to embodied footprint in terms of offices, transport and travel performed by the developer of the services as well as operation maintenance. There are currently limited data available for the global ICT	Partiellement conforme	Chapitre 1.4 Chapitre 4	Les consommations d'énergie des équipements et infrastructures numériques sont prises en compte. Le nombre d'employés du secteur	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
		<p>service sector and estimates of the services might be less specific than for the hardware.</p> <p>If ICT services are included within the boundaries, data per representative ICT service employee shall be collected or modelled, as well as the number of employees in the sector within the accessed geographical boundaries.</p>			<p>numérique est présenté dans le rapport.</p> <p>Les impacts environnementaux liés aux employés ne sont pas intégrés dans le périmètre (transport, bureaux...) ni la maintenance (déplacements, bureaux...).</p>	
8.5.7	GHG emission factors	<p><u>GHG emission factors</u></p> <p>GHG emission factors for energy usage shall be collected and used if these do not already form an integrated part of the collected data set. According to the ITU-T L.1400 series of Recommendations, such emission factors shall be as recent as possible, shall be derived from recognized public sources, and shall include the electricity supply chain and distribution losses. Where emission factors are sourced from non-public sources or are not the most up to date, a justification for their use shall be provided.</p> <p>Different emission factor data sources for electricity may or may not take energy supply and distribution into account. Emission factors that are as complete as possible shall be used and their comprehensiveness shall be transparently reported. Consequently, the most recent emission factors available may not be the preferred choice or may need to be complemented. The specific global warming potential (GWP) values used shall be those taken from the latest UN intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report and the time frame shall be 100 years.</p>	Conforme	Chapitre 3.2.6	<p>Les bases de données utilisées pour évaluer les impacts environnementaux sont détaillées dans le chapitre 3.2.6. La base de données NegaOctet est actualisée, homogène et conforme ISO 14040.</p> <p>Les données sur l'électricité sont issues des publications de RTE sur le mix électrique français associées aux données d'impact ecoinvent.</p> <p>La méthode utilisée pour évaluer les émissions de gaz à effet de serre est celle définie dans le référentiel IPPC 2013 avec un PRG de 100 ans.</p>	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
8.5.8	The ICT sector's share of overall GHG emissions	The global GHG emissions reference If the ICT sector footprint is also assessed in relation to the overall global GHG emissions, data on these global emissions also need to be collected. On the global scale, data shall be collected from the IEA, IPCC or UNFCCC. The ICT sector footprint may be related to either the overall global GHG emissions related to energy supply or to the overall GHG emissions, including land use, etc. Description of the global reference used shall in both cases respect the transparency rule.	non concerné			
		The non-global GHG emissions reference For non-global geographical boundaries, the ICT sector footprint may be compared to national statistics in line with the public Kyoto reporting, representing the emissions within the territory boundaries. Alternatively, the reference may be established as a consumption-based footprint of the assessed geographical area, also including GHG emissions due to goods consumed within the area, but produced elsewhere. In both cases, the practitioner shall consider whether the reference includes land use. In either case, the principle of transparency shall be respected.	Conforme	Chapitre 5.1.1	Les résultats des émissions de GES du secteur numérique sont mis en regard des émissions nationales (approche mix de consommation - empreinte carbone).	
8.5.9	Contextual data	The most important contextual data to be used are the number of subscriptions and the amount of data provided by the ICT sector each year. Separate estimates shall be collected for fixed and mobile subscriptions and data traffic shall be collected at the interface between access and core networks and include both inflows and outflows. As impact per subscription type varies, it may also be advisable to use a model to derive equivalent subscriptions. In any case, double accounting risks shall be considered. Note 1 : ITU is the main global data source for subscriptions, data volumes are typically collected from the ICT sector itself	Partiellement conforme	Chapitre 4.6.1.3 Chapitre 4.6.1.5	Le nombre d'abonné aux réseaux de télécommunications fixes et mobiles sont identifiés ainsi que les volumes de données transportées. Le nombre de données produites à l'échelle nationale n'est pas détaillé dans le rapport.	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
		Note 2 : Internal data traffic in enterprise networks may be omitted from the data traffic estimates.				
8.6	Calculation of footprint per category of goods					
8.6.1	Depreciation method	<p>When calculating the overall footprint of the ICT sector two options exist:</p> <p>1) the embodied GHG emissions are related to the year of sale and the operational lifetime is not considered;</p> <p>2) the embodied GHG emissions are divided per operating year to create the yearly GHG emissions that are then considered for each year of operation throughout the assumed operating lifetime.</p> <p>Due to the complexity of method 2 and the difficulty in acquiring data, the method 1 is recommended, although the second might be considered more accurate. However, if depreciation of embodied emissions is applied, the yearly impact from the embodied GHG emissions should be derived. To do that, the estimated embodied emissions according to clauses 8.5.3.1, 8.5.4.1 and 8.5.5.1 need to be divided by the operating lifetime (see clause 8.5.2) to produce an estimate of the embodied GHG emissions per year.</p>	Conforme	chapitre 4	Les 2 approches sont utilisées dans l'étude : amortissement pour les terminaux et datacenter et équipements installés sur une année pour la partie réseaux.	
8.6.2	Calculation of the footprint per category of end-user ICT goods	The footprint of a specific category of ICT end-user goods shall be calculated as: $FPCx = [Vs \times (FPe + Ey \times EF) + Vi \times Ey \times EF] / 1\ 000$	Partiellement conforme	chapitre 4	<p>Les données disponibles ne permettent pas d'utiliser la formule de l'ITU 1450. Le calcul prend en compte l'inventaire des équipements en opération sans différencier ceux qui sont vendus dans l'année du parc déjà en opération. L'impact de la fabrication est amorti sur la durée de vie de la catégorie d'équipement.</p> <p>L'étude prend complètement en considération les impacts environnementaux liés aux phases de distribution et fin de vie.</p>	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
8.6.3	Calculation of the footprint per category of ICT network goods	The footprint of a specific category of ICT network goods shall be calculated as: $FP_{cx} = [V_s \times FPe + \#s \times (ENy/\#ss) \times EF]]/1\,000$	Partiellement conforme	chapitre 4	Les données disponibles ne permettent pas d'utiliser la formule de l'ITU 1450. Le calcul prend en compte l'inventaire des équipements installés sur une année croisé avec les impacts environnementaux de la fabrication des équipements. Les consommations d'énergie sont extrapolées sur la base du volume de données. L'étude prend complètement en considération les impacts environnementaux liés aux phases de distribution et fin de vie.	
8.6.4	Calculation of the footprint of the data centre	The footprint of a specific category of data centre shall be calculated as: $FP_{cx} = [V_s \times FPe + \#c \times (ENy/\#cs) \times EF]]/1\,000$	Partiellement conforme	chapitre 4	Les données disponibles ne permettent pas d'utiliser la formule de l'ITU 1450. Les impacts sont évalués sur la caractérisation des datacenters (en termes de superficies, types et performances énergétique), le volume d'équipements informatiques en opération (serveurs, stockage et réseaux), des profils d'utilisation et des niveaux de performance énergétiques. L'impact de la fabrication est amorti sur la durée de vie des équipements. L'impact de l'infrastructure (bâtiment) et des équipements liés aux utilités sont également pris en compte.	
8.6.5	Calculation of the footprint of ICT service development and operation support	The footprint of ICT services shall be calculated as: $FP_s = \#e \times (FPs/\#es)/1\,000$	non conforme	chapitre 4	Les impacts environnementaux liés aux employés du secteur numérique ne sont pas intégrés dans le périmètre.	
8.7	Aggregation of results: ICT sector footprint calculation					

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
8.7.1	General	<p>Once the overall footprints of the various categories of ICT goods have been calculated for the assessed geographical area, the overall ICT footprint for this area is calculated as their sum. If the relative footprint of the ICT sector in relation to the overall GHG emissions is targeted, this shall also be calculated. It can also be beneficial to calculate the footprint per subscription and per data traffic, in particular when the study is trying to model the development of the footprint over time.</p> <p>In this step, the practitioner shall also ensure, as far as possible, that double accounting is avoided and that gaps are filled to avoid cut-offs to the greatest possible extent.</p> <p>Both embodied and use stage emissions shall be included. However, for a non-global footprint, if a comparison with a territorial overall GHG emissions footprint is targeted, non-territorial emissions of the ICT sector should be left out of the comparison. If this is the case, the absolute footprint shall in any case include the embodied emissions, but these contributions should also be logged separately to support transparency in reporting. In any case, the transparency principle shall apply regarding the reference value when linking the ICT sector footprint to overall emissions.</p>	Partiellement conforme	<p>Chapitre 4.6.1.3</p> <p>Chapitre 4.6.1.5</p> <p>Chapitre 5.1.1</p> <p>Chapitre 5.3</p>	<p>Le nombre d'abonné aux réseaux de télécommunications fixes et mobiles sont identifiés ainsi que les volumes de données transportées.</p> <p>Le nombre de données produites à l'échelle nationale n'est pas détaillé dans le rapport.</p> <p>Les impacts environnementaux générés par les étapes de fabrication et utilisation sont présentés mais également ceux liés aux étapes de distribution et fin de vie.</p> <p>Les résultats sont également exprimés en pourcentage des émissions nationales.</p>	
8.7.2	Extrapolating to the future	<p>ICT Data</p> <p>Future scenarios are either exploratory (examining how the future might unfold) or normative (prescribing how the future should evolve based on certain normative assumptions). In both cases, known processes of change or extrapolations of past trends should be considered. Thus, if an estimate of the future ICT sector footprint is targeted, the estimate shall identify, and extrapolate from, current trends in the different data sets. In particular, the future estimate shall consider current and expected trends in terms of improved energy performance among goods, more extensive use of energy management solutions, expectations on data centre virtualization and modernization, improvements in production processes and growth in data traffic and number of subscriptions. Additionally, it shall also consider sales trends, future market projections and population growth. Finally, the impact on energy consumption from targets set by regulators or the sector itself on future trends shall be understood.</p>	Conforme		Le rapport de la tâche 2 ne présente pas d'extrapolation sur des scénarios futurs.	
		<p>Overall GHG emissions</p> <p>For a future forecast, recognized sources like the IPCC, IEA and UNFCCC use scenarios to outline possible future situations. Thus, any ICT sector footprint expressed as a share of overall emissions shall respect the transparency rule regarding the scenario used. Furthermore, the practitioner shall evaluate the chosen scenario for overall global GHG emissions with regard to technology</p>	Non concerné		Le rapport de la tâche 2 ne présente pas d'extrapolation sur des scénarios futurs.	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
		development assumptions to avoid double counting or inconsistencies regarding future effects. Also, assumptions about economic growth may be important to understand.				
8.8	Interpretation					
8.8.1	General	<p>The preliminary results of the assessments of the ICT sector need to be analysed and interpreted based on contextual factors. Interpretation of results and data is usually an iterative process that starts during data collection.</p> <p>In this phase, which corresponds to the interpretation phase of [ITU-T L.1410], the calculated footprint is analysed with respect to completeness, quality, importance of assumptions, etc., and it is also beneficial to compare the results to other studies and analyse differences and similarities in results. As the results may be presented in different ways, such comparisons may demand recalculation of its own or previous estimates to a common reference unit and parameters such as CO2 vs CO2e need consideration.</p> <p>Considerations regarding remaining biases, double accounting and gaps in the data sets (e.g., electricity with lower GHG emissions than generally in the assessed area), and impact from that need to be identified and their impacts need to be considered.</p> <p>The different uncertainty sources shall be identified and their impacts shall be qualitatively considered. Examples of uncertainty sources include, but are not limited to: user behaviour; regional representation, number of employees in the service sector; embodied, local electricity mixes; data centre infrastructure; one product to represent a product group; and reuse of earlier studies</p> <p>To judge the quality of data of sources, the representativeness of data shall be considered with a critical eye and any limitations or problems encountered shall be handled transparently</p>	Conforme	<p>Chapitre 2.1.2.5.1</p> <p>Chapitre 3.2.3</p> <p>Chapitre 5.1.4</p> <p>Chapitre 9.2</p> <p>Chapitre 9.3</p>	<p>Les données utilisées ont fait l'objet d'une analyse de la qualité.</p> <p>Les données ayant fait l'objet d'hypothèses et ayant un impact sur les résultats ont fait l'objet d'une analyse de sensibilité.</p> <p>Les résultats ont été comparés à d'autres études publiées.</p> <p>Les limites de l'étude sont détaillées (notamment celles liées au manque de données).</p> <p>L'étude fait l'objet d'une revue critique externe.</p>	
8.8.2	Sensitivity analysis	<p>Sensitivity analysis shall be performed for all scenarios and assumptions used during the study to judge the stability of the results and conclusions.</p> <p>Additionally, if confidential data are used, sensitivity analysis shall be performed to analyse their impact on overall results.</p> <p>For future estimates, a qualitative analysis of the drivers and barriers that could impact the outcome may also prove useful and may be performed</p>	Conforme	Chapitre 2.1.2.5.1	<p>Les données ayant fait l'objet d'hypothèses ainsi que celles liées à des sources présentant des valeurs différentes et ayant un impact sur les résultats ont fait l'objet d'une analyse de sensibilité.</p>	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
8.8.3	Analysing the trends	<p>Comparison with earlier estimates include understanding of similarities in assumptions, boundaries and data, as well as an understanding of how the conditions have changed since any previous study was performed, e.g., with regards to disruptive changes. If GHG emissions per subscriber or amount of data are used as a basis for comparison, it is also important to understand how these reference flows were derived.</p> <p>The impact of the emission factors used demands special attention within and between studies. The emission factor used may change from one year to the next. If so, the practitioner must ascertain to what extent changes in GHG emission level are due to change in emission factor (reflecting mainly the changes in impacts of the energy supply system or new data) and to what extent it actually reflects a change in the adoption or energy consumption of ICT goods and networks</p>	non concerné		Il s'agit d'une première édition de l'étude, donc, pas de données de comparaison pour analyser la tendance.	
8.9	Reporting					
8.9.1	Goal and scope	<p>The report shall clearly outline the goal and scope of the study. It must also clearly describe the rationale of the study, the assumptions made and the definition of key concepts (the reference unit in particular) and the ICT sector boundaries applied, any deviations from Annex A, and any cut-offs made within these boundaries together with their motivation. A clear description of geographical and time boundaries including the targeted year and time period covered by the assessment, as well as any limitations or deviations in relation to those shall also be included</p>	Conforme	chapitre 1 & 3	L'objectif et le périmètre de l'étude sont identifiés dans le chapitre 1. La raison d'être de l'étude est expliquée "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". Les hypothèses sont formulées, l'unité fonctionnelle est citée. Les limites du systèmes sont aussi déterminées	
		A statement regarding compliance with this Recommendation shall be provided. If the practitioner claims only partial compliance with this Recommendation, the deviation(s) shall be clearly documented. Thus, the compliance statement contained in the report shall disclose and explain any deviations from the requirements in this Recommendation and the use of non-compliant data.	Partiellement conforme	Chapitre 3.1.1 & ce document de conformité	Le chapitre 3.1.1 site les normes et les méthodologies suivies dont l'ITU L1450. Ce fichier "Analyse de conformité au standard ITU 1450 (09/2018)"	
8.9.2	Description of the data sets used in the study	1) Data set reference. This name can be the official name of the data set if it exists or an identifier chosen by the author of the study. In both cases, this reference shall be used when describing how the study was performed.	Conforme	chapitre 2.1.2.3	Il a été spécifié dans le rapport que la base de données utilisée est la bdd NegaOctet.	
	The data	2) Data source (typically an organization or one or more researchers or scientific publication) and details on how these data can be accessed according to state-of-the-art academic reference methods.	Conforme	chapitre 4	Les sources des données sont citées avec leur lien hypertexte ou avec leur nom et l'auteur.	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
	sets used in the study shall be clearly listed. State the following details.	3) Dates associated with the data, including date of creation and potential end date that restricts the validity of the data.	Partiellement conforme	chapitre 4	Les données sont datées mais les dates de fins ne sont pas rattachées à toutes les données.	
		4) Data set description – keywords or phrases describing the content of the data.	Conforme	chapitre 4	Les données sont décrites et expliquées pour les trois tiers.	
		5) If the data have been extracted from scientific articles or other reviewed sources, a description of the type of review process	Conforme	chapitre 9.2	La description des données extraites d'articles scientifiques ou de sources vérifiées est disponible dans l'évaluation de la qualité des données	
		6) Rights or access – any known confidentiality, intellectual property rights, statutory rights, licenses or restrictions on reuse of the data.	Conforme	Chapitre 3.2.6 Chapitre 4	Les données utilisées dans le modèle ACV sont toutes sourcées et documentées dans le rapport (à l'exception des données confidentielles). Les facteurs d'impacts utilisés sont ceux de la base de données NegaOctet qui n'est pas publique mais a fait l'objet d'une revue critique. La base de données NegaOctet a été présentée pour information au Comité de Peer review.	
		In addition to these details, if the data are extracted or calculated from a source other than those outlined in clause 8.4.2, the following information must be given :	non concerné			
		In particular, the choice of emission factors shall be transparently described to the maximum extent possible and the motivation for using such factors explained.	Conforme	chapitre 3.2.5.1	Explication du choix des indicateurs d'impact (contexte) et listing des catégories d'impact avec le modèle cité et les unités.	
8.9.3	Methods and calculations	The method and calculations applied when deriving the ICT sector footprint shall be described as transparently as possible and any ambiguities shall be avoided. In particular, any deviation from the principles and requirements specified in this Recommendation or any remaining biases in the data sets shall be transparently described and the motivation for using such data explained.	Partiellement conforme	chapitre 3.2.5	La méthode d'évaluation est définie pour chaque catégorie d'impact. Les écarts par rapport aux principes et exigences ne sont pas décrits car il s'agit d'une étude multicritères alors que ITU 1450 est une recommandation monocritère. Les méthodes ne sont donc pas les mêmes.	
		It is important to describe how different data sources are selected, compiled, allocated, combined and extrapolated, and whether the data quality is considered insufficient in some data points. Validations performed on the results shall also be described.	Conforme	chapitre 3.2.7 chapitre	Chaque donnée, par tiers étudiés, est définie et les allocations et extrapolation sont décrites. Explication des exigences de qualité des données.	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
				3.2.4 chapitre 4		
8.9. 4.1	Main results	The following results shall be presented. – Total ICT sector life cycle GHG emissions Due to increased uncertainty in modelling and data, the ICT services included in the footprint shall be stated separately, as well as the overall results	Conforme	chapitre 5.1.1 chapitre 5.2	L'impact sur le changement climatique est présenté et est aussi exprimé en équivalences. La décomposition des impacts par tiers des équipements et infrastructures numériques est affichée.	
		If included in the goal and scope, the following result shall also be presented. – ICT sector share of overall GHG emissions	Conforme	chapitre 5.1.1	Part des émissions de GES des équipements et infrastructures numériques par rapport aux émissions de GES France	
		If the ICT sector's share of overall emissions is stated, the reference scenario for overall GHG emissions needs to be stated, together with the results. For a non-global GHG emissions footprint, the inclusion or exclusion of embodied emissions in this comparison needs also to be declared, for both the overall GHG emissions and for the ICT sector GHG emissions.	Partiellement conforme	chapitre 5.1.1	Le scénario de référence n'est pas indiqué (source)	Mise à jour avec des données plus récente (663) : https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/estimation-de-lempreinte-carbone-de-1995-2019#:~:text=M%C3%A9thodologie-,En%202019%2C%20l'empreinte%20carbone%20est%20estim%C3%A9e%20%C3%A0%20663%20millions,France%20a%20augment%C3%A9%20de%207%20%25.
		As the choice of emission factors is critical to the results, the emission factor applied shall be transparently stated together with the results. In the case of depreciation of embodied emissions, the operating lifetime shall also be stated.	Partiellement conforme		Les facteurs d'émissions sont liés à la base de données NégaOctet, ils ne sont pas communiqués dans le rapport car la BDD n'est pas publique mais a fait l'objet d'une revue critique. La base de données NégaOctet a été présentée pour information au Comité de Peer review.	
8.9. 4.2	Complementary results	Results and trends may also be presented per subscription and per data traffic. If such information is presented, the report also needs to indicate the limitations in extrapolation of such numbers, and the complexity of the subscription concept with regard to the IoT.	non concerné		Les résultats ne sont pas présentés par abonnement et par trafic.	

Ref.	Chapitre	Exigence ou recommandation	Conformité	Ref	Détails commentaires	Action
		The results may further present the GHG emissions per category of goods.	Conforme	chapitre 5.5.1.1	Identification des principaux contributeurs sur les terminaux	
		Finally, the results may present the footprint in relation to earlier estimates while explaining how the comparison was done and respecting the principles applicable for such comparison	Conforme	chapitre 5.1.4	Comparaison avec la littérature	
8.10	Critical review					
8.10	Critical review	It remains the sole responsibility of the organization(s) performing the study to demonstrate compliance with this Recommendation. However, two possibilities are recommended as follows : - This verification can be made by an independent third party. In this case, the name and coordinates of this third party must be given. Moreover, this third party verification must be managed in accordance with [ISO 14064-3], which specifies the requirements for the selection of GHG validators or verifiers, the establishment of the assurance level, objectives, criteria and scope, the determination of the validation or verification method, evaluation of data, information, information systems and GHG controls, assessment of GHG declarations and development of validation or verification opinions. Furthermore, a review statement shall be provided.	Partiellement conforme	chapitre 9.3	Une revue critique est réalisée par un tiers indépendant (EVEA) pour la conformité aux normes ISO 14040 et ISO 14044.	
		- This verification can also be made through a scientific peer review process organized according to the state-of-the-art.	Partiellement conforme	Annexe	Le présent document vérifie la conformité avec les recommandations de l'ITU 1450 et a été réalisé par l'équipe en charge de la réalisation de l'étude.	
		In either case, if compliance with this Recommendation is claimed, a copy of the study shall be sent to the ITU-T for information				Envoyer une copie de l'étude l'ITU pour information

Tableau 136 – Analyse de conformité à la norme ITU L.1450

9.4. Rapport de revue critique

Rapport de revue critique

Date

14 janvier 2022

Experts de la revue critique

- Stéphane Le Pochat – Evea
- Thierry Leboucq – Greenspector
- Martin Dargent – Easyvirt

Processus de revue critique et limitations

Périmètre de la revue critique

La revue critique s'est basée uniquement sur le document du rapport de la tâche 2 (rapport 2/3). Pour des raisons de confidentialités propres au consortium NegaOctet ayant réalisé l'étude, les reviewers n'ont eu accès ni aux bases de données (ni la base NegaOctet, ni la base EIME), ni au calculateur et au modèle de l'ACV (une présentation du modèle a été réalisée mais sans possibilité de revue de ce modèle). La déclaration de validité de la base de données NegaOctet repose donc entièrement sur la revue critique de cette base (réalisée par Ecoinfo) qui est juste mentionnée dans le rapport sans plus de précision. Les inventaires (ICV) et données sont donc exclus de la revue critique qui se fonde, de fait, uniquement sur les informations et données disponibles dans le rapport. En conséquence, la revue critique ne porte que sur les aspects méthodologiques généraux et sur la question de la conformité du rapport aux exigences des normes ISO 14040 et 14044. Ce périmètre limité au rapport constitue une limitation dans l'exercice de la revue critique et dans la transparence de l'étude.

Processus de revue critique

La revue critique a suivi le processus itératif suivant :

1. Revue critique du rapport v0.1 envoyé le 08/09/2021 :
 - Rapport Ademe – Arcep. Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Tâche 2 – Evaluation environnementale des services numériques en France – Rapport final, Août 2021. 136 pages.
2. Présentation de la modélisation (fichier XLS) le 20/10/2021 en réunion dans les locaux de APL-Datacenter à Montrouge en présence de Caroline Vateau, Etienne Lees Perasso, Romain Mahasenga, Stéphane Le Pochat. La consultation n'a pas permis de vérifier les ICV et données d'inventaire.
3. Envoi des commentaires au consortium le 22/10/2021
4. Réponse aux commentaires par le consortium, et intégration des modifications dans le rapport
5. Revue critique du rapport v0.8 (envoi du 21/12/2021) intégrant les modifications :
 - Rapport Ademe – Arcep. Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Tâche 2 – Evaluation environnementale des services numériques en France – Rapport final, Août 2021. 245 pages.
6. Envoi d'une seconde série de commentaires (07/01/2022)
7. Publication du rapport final :
 - Rapport Ademe – Arcep. Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Rapport 2/3. Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France – Rapport final, Janvier 2022. 250 pages.

AVIS SUR L'ETUDE ET LE RAPPORT

L'ACV « Evaluation environnementale des équipements et infrastructures en France » publiée en janvier 2022 constitue d'ores et déjà une référence sur le sujet en France, en raison de son ambition et de son ampleur, mais aussi de sa qualité et de sa robustesse (toutes deux évaluées au vu du rapport). La revue critique a permis de juger de cette robustesse de l'étude. De plus, considérant que l'étude semble être une extension autant qu'une spécification au cas français de l'étude analogue réalisée à l'échelle européenne²⁴⁰, elle-même l'objet d'une revue critique, cela en renforce a priori la robustesse. Notons, à ce sujet de l'étude analogue européenne, qu'il aurait été utile et intéressant, puisque l'étude française est publiée postérieurement, de l'inclure dans la comparaison des résultats avec la littérature (chap.5.1.4).

L'étude suit la démarche classique de l'ACV telle que préconisée par la norme ISO 14040, et repose, au vu de ce qui est déclaré dans le rapport, sur des méthodes de calcul des impacts reconnues et recommandées (indicateurs PEF 3.0). L'exposé des résultats à un niveau de détail assez avancé, les analyses de sensibilité, le travail de définition d'un intervalle global de variabilité des résultats, ainsi que la phase d'interprétation sont tout à fait conformes aux exigences méthodologiques de la norme.

La qualité certaine de cette étude est donc à affirmer, nonobstant les trois remarques notables listées ci-dessous et développées par la suite :

- Un problème de définition du périmètre de l'étude, certes dû à la difficulté objective de l'exhaustivité
- Un biais méthodologique sur les inventaires du tiers 2, dont l'impact sur les résultats n'est pas discuté
- Un manque de transparence sur les inventaires et les données (données NegaOctet et EIME)

S'agissant du périmètre

S'agissant du périmètre de l'étude (les équipements et infrastructures du numérique en France), nous reconnaissons d'une part la difficulté objective qu'il y a à définir, ex nihilo (puisque'il n'existe pas a priori de nomenclature sur laquelle l'étude aurait pu se baser), l'ensemble des équipements et infrastructures liés au numérique, et nous notons d'autre part l'effort fait par le consortium pour définir précisément ce périmètre (notamment avec la définition normative de l'ITU et la liste d'exclusion). Toutefois, nous constatons qu'il reste difficile à la lecture du rapport de se représenter ce périmètre (ce qui est un problème car la définition du périmètre est la base de toute ACV) et surtout de se faire une idée de ce que le périmètre inclus dans l'étude représente (en % massique par exemple) par rapport au total (ou a minima par rapport à ce qui est exclu).

S'agissant des inventaires

Au vu du rapport, et même si l'on doit constater que la plupart des inventaires semblent extrapolés de l'étude européenne, le travail d'inventaire semble tout à fait conséquent, notamment pour ce qui concerne les équipements et les centres de données. Toutefois, il n'est pas possible de se prononcer sur cet inventaire car l'inventaire du cycle de vie du système (ICV) n'est pas disponible. De même, il n'est pas possible de statuer sur les données qui ne sont pas présentées dans le rapport et n'ont pas été soumises à la présente revue critique (les données de la base NegaOctet ont fait l'objet d'une revue critique spécifique par ailleurs).

Par ailleurs, une remarque doit être faite sur un biais méthodologique dans l'inventaire du cycle de vie, et plus précisément dans l'inventaire du tiers 2 (réseaux). En effet, le mode de constitution de l'inventaire du tiers 2 (réalisé sur un flux annuel, en l'occurrence pour l'année 2020) diffère de la méthode d'inventaire pour les tiers 1 et 3 (réalisés sur la base de stocks « historiques » et alloués en fonction de la durée de vie de chacun des équipements). Ce choix méthodologique, qui constitue, selon nous, un biais de l'étude est justifié par la difficulté qu'il y aurait eu à attribuer une durée de vie aux équipements et infrastructures des réseaux. Nous constatons néanmoins que, d'une part cette difficulté aurait sans doute pu être levée par la formulation d'hypothèses réalistes basées sur l'état de l'art métier, permettant ainsi la mise en concordance des méthodes d'inventaire pour les trois tiers, et d'autre part cette limitation aurait dû être mieux discutée quant à son impact sur les résultats, au-delà de l'affirmation trop rapide

²⁴⁰ . Benqassem et al. Digital technologies in Europe : an environmental life cycle approach. Report for the European Parliamentary group of the Greens/EFA, Dedember 2021.

que le tiers 2 (les réseaux) n'ont finalement qu'un impact marginal sur le cycle de vie des équipements et infrastructures du numérique.

S'agissant de la transparence

Un point notable du rapport de cette étude publique est son manque de transparence (par rapport aux exigences des normes ISO 14040 et 14044 en matière de rapport ACV et de communication) expliquée par des enjeux de confidentialité autour de la base de données NegaOctet. Si ces enjeux de confidentialité peuvent être légitimés, il conviendrait sans doute d'en exposer la teneur dès le début du rapport pour clarifier ce point auprès des lecteurs et parties prenantes.

D'une manière générale, l'étude et le rapport souffrent d'un gros manque de transparence sur les inventaires et données. De ce point de vue, le rapport ne peut être considéré conforme aux exigences de la norme ISO 14040 relatives à la communication. S'agissant d'une étude publique on peut largement le regretter, d'autant qu'une publication plus transparente aurait permis une revue en continu par les pairs et probablement une amélioration et enrichissement de la base de données au fil du temps. Une plus grande transparence aurait permis d'asseoir un peu plus la robustesse et la crédibilité de l'étude.

SYNTHESE

La synthèse de l'avis de revue critique est donnée ci-dessous via les deux tableaux qui reprennent les questions auxquelles doit répondre la revue critique.

Réponses aux questions posées par la revue critique d'après la norme ISO 14044 :2006.

Question	Avis du comité de revue critique	Commentaire
Les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV sont cohérentes avec les normes ISO 14040 :2006 et ISO 14044 :2006 ?	Oui	RAS
Les méthodes utilisées pour réaliser l'ACV sont valables d'un point de vue scientifique et technique ?	Oui	RAS
Les données utilisées sont appropriées et raisonnables par rapport aux objectifs de l'étude ?	Oui majoritairement mais pas totalement	Problème du biais méthodologique de l'inventaire du tiers 2 par rapport aux tiers 1 et 3
Le rapport d'étude est transparent et cohérent ?	Cohérent : Oui Transparent : Non	Pas de transparence sur les inventaires et données de modélisation

Réponses aux questions posées par la revue critique d'après la norme ISO 14040 :2006.

Question	Avis du comité de revue critique	Commentaire
L'ACV satisfait aux exigences de méthodologie ?	Oui	RAS
L'ACV satisfait aux exigences de données ?	Globalement oui	Problème du biais méthodologique pour tiers 2
L'ACV satisfait aux exigences d'interprétation ?	Oui	RAS
L'ACV satisfait aux exigences de communication (rapport) ?	Non	Pas de transparence sur inventaires et données

Pour les reviewers, le 16/01/2022

Stéphane Le Pochat Dir. R&D, EVEA	Thierry Leboucq Président, GREENSPECTOR	Martin Dargent PDG, EASYVIRT
		

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEME, J.Lhotellier, E.Lees, E.Bossanne, S.Pesnel. Mars 2018. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport.

AEA with Intertek, Lot 3 – Sound and imaging equipment, Ecodesign preparatory study for EC DG Grow, November 2010

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

Base Impacts, base de données et documents associés au 08/2021

Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2016-2021: White Paper, 2018

CITIZING, Empreinte carbone du numérique en France, Juin 2020

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

End-of-life management LCI of constituent materials of Electrical and Electronic Equipment (EEE) within the framework of the French WEEE take-back scheme, Bleu Safran pour Eco-système et Récyllum, 2018

Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market, Umweltbundesamt & Borderstep, pour la Commission Européenne, 2018

Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland, Borderstep, 2015

ETSI ES 203 199 - Environmental Engineering (EE); Methodology for environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Information and Communication Technology (ICT) goods, networks and services, 2014

Étude relative à l'évaluation des politiques publiques menées pour réduire l'empreinte carbone du numérique, Sénat, 2021

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

Feuille de route « Numérique et environnement – faisons converger les transitions », 23 février 2021

GSMA, The Mobile Economy 2020, 2020

IEA, Total Energy Model for Connected Devices, IEA 4E EDNA, 2019

ILCD handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance, JRC, 2010

Impacts environnementaux des objets connectés et des services basés sur leur utilisation : Ordres de grandeurs et recommandations méthodologiques, 2021, Négaoctet, pour ScoreLCA (Etude 2019-03)

Impacts environnementaux du numérique en France, 2021, GreenIT.fr

iNUM : impacts environnementaux du numérique en France, GreenIT.fr, 2021

ISO 14040:2006 – Management Environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et Cadres

ISO 14044:2006 - Management Environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices

ITU-T L. 1410 - Methodology for environmental life cycle assessments of information and communication technology goods, networks and services, 2014

ITU-T L. 1450 - Methodologies for the assessment of the environmental impact of the information and communication technology sector, 2018

Lean ICT - Pour une sobriété numérique, The Shift Project, 2018

Les services de communication électronique : le marché entreprise – Résultats définitifs – Année 2019, 10 décembre 2020, ARCEP

Les services de communication électronique en France – Résultats provisoire/année 2020, 26 mai 2021, ARCEP

Livre blanc - Consommation énergétique des équipements informatiques en milieu professionnel - SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE « Conso IT », 2015, ADEME

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., and J.G. Koomey (2020) "Recalibrating global data center energy use estimates." Science, vol 367, ISS 6481.

Percentage of collected EEE from waste generated in 2015 for All collection categories, Urban Mine Platform

Product Environmental Footprint Category 2 Rules Guidance, Version 6.3, Mai 2018

Product Environmental Footprint Category Rule - IT equipment (storage), version 1.2, février 2020

RTE, Bilan Electrique 2019

Services fixes haut et très haut débit : abonnements et déploiements - 1er trimestre 2021 – résultats provisoires, 3 juin 2021, ARCEP

Services mobiles – 2ème trimestre 2021, 5 août 2021, ARCEP

Shehabi, A., Smith, S.J., Horner, N., Azevedo, I., Brown, R., Koomey, J., Masanet, E., Sartor, D., Herrlin, M., Lintner, W. 2016. United States Data Center Energy Usage Report. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California. LBNL-1005775

The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015, J. Malmmodin, D. Lundén, 2018

The environmental footprint of the digital world, GreenIT.fr, 2019

The European market potential for (Industrial) Internet of Things, CBI, 2021

The World Bank, GDP, consulté en juillet 2021

Thibault Pirson, David Bol, Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach, UC Louvain, 2021, p.3

United States Data Center Energy Usage Report, Berkeley Lab, 2016

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 - Liste des équipements numériques inclus	22
Tableau 2 - Ensemble complet d'indicateurs d'impact recommandés dans la méthodologie PEF	25
Tableau 3 - Sélection d'indicateurs pertinents sur la base de normalisation et de pondération	27
Tableau 4 - Ajout de quatre indicateurs	27
Tableau 5 - Détail des indicateurs d'impact	29
Tableau 6 - Facteurs de normalisation proposés par le JRC	29
Tableau 7 - Facteurs de pondération proposés par le JRC	30
Tableau 8 - Scénarios logistiques des équipements	34
Tableau 9 - Liste des terminaux utilisateurs	36
Tableau 10 - Détail des configurations des smartphones	38
Tableau 11 - Détail des configurations des feature phones	39
Tableau 12 - Détail des configurations des téléphones (ligne fixe)	40
Tableau 13 - Détail des configurations des tablettes	41
Tableau 14 - Détail des configurations des ordinateurs portables – usage personnel	42
Tableau 15 - Détail des configurations des ordinateurs portables – usage professionnel	42
Tableau 16 - Détail des configurations des ordinateurs fixes – usage personnel	44
Tableau 17 - Détail des configurations des ordinateurs fixes – usage professionnel	44
Tableau 18 - Détail des configurations des stations d'accueil	45
Tableau 19 - Détail des configurations des projecteurs	46
Tableau 20 – Définitions des catégories d'écran	46
Tableau 21 - Détail des configurations des écrans d'ordinateur	47
Tableau 22 – Nombre d'équipements pour les écrans spécifiques	48
Tableau 23 – Exemples de consommation d'énergie en fonction de la taille d'écran	49
Tableau 24 – Consommation des écrans	50
Tableau 25 - Détail des configurations des écrans spécifiques	50
Tableau 26 - Détail des configurations des télévisions – usage personnel	51
Tableau 27 - Détail des configurations des télévisions – usage professionnel	51
Tableau 28 – Résumé pour les écrans	52
Tableau 29 - Détail des configurations des Box TV	52
Tableau 30 – Nombre de consoles	53
Tableau 31 – Consommation des consoles	54
Tableau 32 - Détail des configurations des consoles de bureau	54
Tableau 33 - Détail des configurations des consoles mobiles	55
Tableau 34 – Définition des imprimantes	55
Tableau 35 – Consommation des imprimantes	56
Tableau 36 – Livraison des HDD et SSD	58
Tableau 37 - Détail des configurations des HDD	58
Tableau 38 - Détail des configurations des SSD	59
Tableau 39 - Détail des configurations des clés USB	59
Tableau 40 - Détail des configurations des enceintes connectées	59
Tableau 41 – Liste des catégories d'IoT	61
Tableau 42 – Nombre d'objets connectés en Europe	61
Tableau 43 – Nombre d'objets connectés	62
Tableau 44 – Consommation et durée de vie des objets connectés	63
Tableau 45 – Profil matériel des objets connectés	66
Tableau 46 - Récapitulatif terminaux - nombre d'unités	67
Tableau 47 - Récapitulatif terminaux – consommation d'électricité	68
Tableau 48 - Récapitulatif terminaux – durées de vie	68
Tableau 49 – Types de réseaux	68
Tableau 50 – Liste des équipements – réseaux fixes	73
Tableau 51 – Liste des équipements – réseaux mobiles	75
Tableau 52 – Principales données dans l'étude « Recalibrating global data center energy use estimates »	79
Tableau 53 – Principales données dans l'étude « Development of the EU Green Public Procurement (GPP) Criteria for Data Centres Server Rooms and Cloud Services »	81
Tableau 54 – Principales données dans l'étude « Borderstep Institute Model, Hintemann et al. 2020 »	82

Tableau 55 – Principales données dans l'étude « Evaluation des politiques publiques pour réduire l'empreinte carbone du numérique, 2020 Citzing »	83
Tableau 56 – Principales données dans l'étude « Evaluation des politiques publiques pour réduire l'empreinte carbone du numérique, 2020 Citzing »	83
Tableau 57 - Evaluation des superficies de salles informatiques en France	85
Tableau 58 - Evaluation des consommations annuelles d'énergie des datacenters par type	87
Tableau 59 - Inventaire des équipements informatiques hébergés en datacenter	89
Tableau 60 - Synthèse des données d'inventaire - Datacenter	91
Tableau 61 - Évaluation globale pour les équipements et infrastructures numériques pendant 1 an en France.....	95
Tableau 62 - Résultats normalisés	96
Tableau 63 - Résultats normalisés et pondérés	97
Tableau 64 - Impacts environnementaux moyen pour un français	98
Tableau 65 - Comparaison avec la littérature	100
Tableau 66 - Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques ..	102
Tableau 67 - Décomposition par phase du cycle de vie	105
Tableau 68 - Répartition des impacts personnel / professionnel	107
Tableau 69 - Terminaux utilisateurs - Analyse de contribution	110
Tableau 70 - Terminaux utilisateurs - Analyse de contribution - Focus sur la fabrication, distribution et fin de vie des terminaux utilisateurs	114
Tableau 71 - Terminaux utilisateurs - Analyse de contribution - Focus sur la phase d'utilisation des terminaux utilisateurs.....	117
Tableau 72 - Réseaux - Analyse de contribution	119
Tableau 73 - Réseaux – Impacts par Go	121
Tableau 74 - Réseaux – Focus sur les réseaux mobiles	123
Tableau 75 - Réseaux – Focus sur les réseaux fixes	125
Tableau 76 - Datacenters - Analyse de contribution	127
Tableau 77 - Datacenters - Analyse de contribution par type d'équipement et de consommation.....	130
Tableau 78 - Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus - Données	133
Tableau 79 - Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus – Données d'impact.....	133
Tableau 80 - Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus - Résultats.....	134
Tableau 81 - Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus – Résultats – Focus sur le changement climatique.....	134
Tableau 82 - Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements- Données	136
Tableau 83 - Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements- Résultats.....	137
Tableau 84 - Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements– Résultats – Focus sur le changement climatique.....	138
Tableau 85 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité des équipements - Données.	140
Tableau 86 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité des équipements - Résultats	140
Tableau 87 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité des équipements – Résultats – Focus sur le changement climatique	141
Tableau 88 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements- Données	143
Tableau 89 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements - Résultats.....	143
Tableau 90 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements – Résultats – Focus sur le changement climatique.....	143
Tableau 91 - Analyse de sensibilité sur la consommation électrique - Résultats	145
Tableau 92 - Analyse de sensibilité sur la consommation électrique – Résultats – Focus sur le changement climatique.....	145
Tableau 93 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité - Résultats.....	146
Tableau 94 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité – Résultats – Focus sur le changement climatique.....	146
Tableau 95 - Analyse de sensibilité cumulée - Résultats.....	147
Tableau 96 - Analyse de sensibilité cumulée – Résultats – Focus sur le changement climatique.....	147
Tableau 97 – Données foyer type – Couple déconnecté	151
Tableau 98 – Données foyer type – Famille hyperconnectée.....	153
Tableau 99 – Données foyer type – Etudiant connecté	154
Tableau 100 – Résultats foyer moyen – Résultats globaux.....	155
Tableau 101 – Résultats foyer type couple déconnecté – Résultats globaux	155
Tableau 102 – Résultats foyer type couple déconnecté – Résultats détaillés	157
Tableau 103 – Résultats foyer type couple déconnecté – Résultats détaillés – tier 1	159
Tableau 104 – Résultats foyer type famille hyperconnectée – Résultats globaux.....	161
Tableau 105 – Résultats foyer type famille hyperconnectée – Résultats détaillés	162
Tableau 106 – Résultats foyer type famille hyperconnectée – Résultats détaillés – tier 1	164
Tableau 107 – Résultats foyer type étudiant connecté – Résultats globaux	166

Tableau 108 – Résultats foyer type étudiant connecté – Résultats détaillés.....	167
Tableau 109 – Résultats foyer type étudiant connecté – Résultats détaillés – tier 1.....	169
Tableau 110 - Comparaison des impacts des foyers par habitant.....	171
Tableau 111 – Données entreprise type – Secteur bancaire.....	176
Tableau 112 – Données entreprise type – Secteur du commerce.....	178
Tableau 113 – Données entreprise type – Secteur des services.....	180
Tableau 114 – Résultats entreprise moyenne – Résultats globaux.....	181
Tableau 115 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats globaux.....	181
Tableau 116 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillés.....	182
Tableau 117 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 1.....	184
Tableau 118 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3.....	186
Tableau 119 – Résultats entreprise type secteur du commerce – Résultats globaux.....	188
Tableau 120 – Résultats entreprise type secteur du commerce – Résultats détaillés.....	189
Tableau 121 – Résultats entreprise type secteur du commerce – Résultats détaillés – tier 1.....	191
Tableau 122 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3.....	193
Tableau 123 – Résultats entreprise type secteur des services – Résultats globaux.....	195
Tableau 124 – Résultats entreprise type secteur des services – Résultats détaillés.....	196
Tableau 125 – Résultats entreprise type secteur des services – Résultats détaillés – tier 1.....	198
Tableau 126 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3.....	200
Tableau 127 - Comparaison des impacts des entreprises par employé.....	202
Tableau 128 - Impacts environnementaux globaux des équipements et infrastructures numériques en France pendant 1 an.....	205
Tableau 129 - Impacts environnementaux globaux des équipements et infrastructures numériques en France pendant 1 an - Par habitant.....	206
Tableau 130 - Impacts environnementaux globaux des équipements et infrastructures numériques en France pendant 1 an - Résultats normalisés et pondérés.....	207
Tableau 131 - Liste des équipements et réseaux exclus.....	208
Tableau 132 - Impacts unitaires - Terminaux utilisateurs.....	216
Tableau 133 - Impacts unitaires - Réseaux.....	216
Tableau 134 - Impacts unitaires - Datacenters.....	217
Tableau 135 - Evaluation de la qualité des données.....	219
Tableau 136 – Analyse de conformité à la norme ITU L.1450.....	243

FIGURES

Figure 1 - Approches cycle de vie et multicritère.....	15
Figure 2 - Illustration des tiers du numérique défini par les 3 principales catégories d'équipement.....	20
Figure 3 - Récapitulatif des principales hypothèses et sources - Tier 1.....	37
Figure 4 - Extrait de l'ADEME. J.Lhotellier, E.Lees, E.Bossanne, S.Pesnel. Mars 2018. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport.....	49
Figure 5 - (a) L'architecture générale d'un dispositif de périphérie IoT avec le concept de blocs fonctionnels et le niveau de spécification matérielle, (b) un exemple de profil matériel IoT, (c) l'empreinte carbone résultante obtenue par le cadre pour le profil.....	64
Figure 6 - Détail sur les profils matériels des objets connectés, extrait de.....	65
Figure 7 - Equipements constitutifs des réseaux.....	69
Figure 8 - Récapitulatif des principales hypothèses et sources - Tier 2.....	72
Figure 9 - Représentation d'un datacenter - Source APL DATA CENTER.....	77
Figure 10 - Répartition des 883 165 m2 de superficie de salles informatiques en France.....	85
Figure 11 - Comparaison avec la littérature.....	101
Figure 12 - Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques.....	103
Figure 13 - Décomposition par phase du cycle de vie.....	106
Figure 14 - Répartition des impacts personnel / professionnel.....	108
Figure 15 - Terminaux utilisateurs - Analyse de contribution.....	112
Figure 16 - Terminaux utilisateurs - Analyse de contribution - Focus sur la fabrication, distribution et fin de vie des terminaux utilisateurs.....	115
Figure 17 - Terminaux utilisateurs - Analyse de contribution - Focus sur la phase d'utilisation des terminaux utilisateurs.....	118
Figure 18 - Réseaux - Analyse de contribution.....	120
Figure 19 - Réseaux – Impacts par Go (considérant les impacts des réseaux mobiles ramenés à 100%).....	122
Figure 20 - Réseaux – Focus sur les réseaux mobiles.....	124

Figure 21 - Réseaux – Focus sur les réseaux fixes	126
Figure 22 - Datacenters - Analyse de contribution	128
Figure 23 - Datacenters - Analyse de contribution par type d'équipement et de consommation	131
Figure 24 - Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus - Résultats	135
Figure 25 - Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements- Résultats	138
Figure 26 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité des équipements – Résultats ..	141
Figure 27 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements - Résultats.....	144
Figure 28 - Analyse de sensibilité sur la consommation électrique - Résultats	145
Figure 29 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité - Résultats.....	147
Figure 30 - Analyse de sensibilité cumulée – Résultats.....	148
Figure 31 – Résultats foyer type couple déconnecté – Résultats détaillés.....	158
Figure 32 – Résultats foyer type couple déconnecté – Résultats détaillés – tier 1	160
Figure 33 – Résultats foyer type famille hyperconnectée – Résultats détaillés	163
Figure 34 – Résultats foyer type famille hyperconnectée – Résultats détaillés – tier 1	165
Figure 35 – Résultats foyer type étudiant connecté – Résultats détaillés	168
Figure 36 – Résultats foyer type étudiant connecté – Résultats détaillés – tier 1	170
Figure 37 - Comparaison des impacts des foyers par habitant.....	172
Figure 38 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillés	183
Figure 39 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 1	185
Figure 40 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3	187
Figure 41 – Résultats entreprise type secteur du commerce – Résultats détaillés	190
Figure 42 – Résultats entreprise type secteur du commerce – Résultats détaillés – tier 1	192
Figure 43 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3	194
Figure 44 – Résultats entreprise type secteur des services – Résultats détaillés	197
Figure 45 – Résultats entreprise type secteur des services – Résultats détaillés – tier 1	199
Figure 46 – Résultats entreprise type secteur bancaire – Résultats détaillé – tier 3	201
Figure 47 - Comparaison des impacts des entreprises par employé.....	203

SIGLES ET ACRONYMES

ACV	Analyse de Cycle de Vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFPIA	Association pour la Formation Professionnelle dans les Industries de l'Ameublement
ARCEP	Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
ATTM	Access, Terminals, Transmission and Multiplexing
CCDC	Cloud Computing and Data Center
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
CHRU	Centre Hospitalier Régional et universitaire
COMUE	Communauté d'Universités et Etablissements
CUE	Carbon Usage Effectiveness
DC	Data Center
DCMM	Data Center Maturity Model
DDV	Durée De Vie
DEEE	Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
DMS	Desktop Managed Services
EN	Normes du comité Européen de Normalisation
EPEAT	Electronic Product Environmental Assessment Tool
ErP	Energy related Products
ETSI	Energy Related Product
EuP	Energy using Product
EPIC	Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial
ES	ETSI Standard

ETI	Entreprise de Taille Intermédiaire
FAI	Fournisseur d'Accès à Internet
GES	Gaz à Effet de Serre
GeSI	Global enabling Sustainability Initiative
GHG	GreenHouse Gas
HDD	Hard Disk Drive
HPC	High Performance Computing
HW	Hardware
ICT	Information and Communication Technology
IE	Ingénierie Environnementale
IEC	International Electrotechnical Commission
ILCD	International Reference Life Cycle Data system
iNEMI	International Electronics Manufacturing Initiative
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
IT	Information Technology
ITU	International Telecommunication Union
KPI	Key Performance Indicator
LCA	Life Cycle Analysis
MFA	Material Flow Analysis
PCR	Product Category Rule
PEF	Product Environmental Footprint
PEFCR	Product Environmental Footprint Category Rule
PME	Petite et Moyenne Entreprise
PRG	Pouvoir Réchauffant Global
PUE	Power Usage Effectiveness
REACH	Registration, Evaluation, Autorisation and Restriction of Chemicals
REF	Renewable Energy Factor
RoHS	Restriction of Hazardous substances in electrical and electronic equipment
RSE	Responsabilité Sociétale des Entreprises
SDIS	Service Départemental d'Incendie et de Secours
SSD	Solid State Drive
SW	Software
TIA	Telecommunications Industry Association
TIC	Technologie de l'Information et de la Communication
TNS	Telecommunications Network Services
TS	Technical Specification

L'ARCEP EN BREF

L'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse, arbitre expert et neutre au statut d'autorité administrative indépendante, est l'architecte et la gardienne des réseaux d'échanges internet, télécoms fixes, mobiles, postaux et de la distribution de la presse en France.

A sa création, le Parlement lui a confié la mission d'accompagner l'ouverture à la concurrence du secteur des communications électroniques, afin que de nouveaux opérateurs puissent émerger aux côtés de l'opérateur historique (France Télécom, devenu Orange), et ce, au bénéfice de l'utilisateur final. Veiller à ce que les réseaux se développent comme un bien commun est la mission de l'Arcep.

Aujourd'hui, la place des nouvelles technologies est interrogée dans notre société, notamment quant à leur impact environnemental. L'Arcep a pris acte de cet enjeu en ouvrant un nouveau chapitre de la régulation. Elle se met à l'écoute de ces interrogations et anime le débat sur les réseaux du futur et leur place dans la société en tant qu'expert neutre du secteur.

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES MISSIONS DE L'ARCEP



Définir la réglementation applicable à tout ou partie des opérateurs.



Attribuer, par des décisions individuelles, des ressources **en fréquences ou en numérotation**.



Veiller au financement et à la **fourniture du service universel**.



Faire part de son expertise, au moyen des avis et actes de « droit souple » qu'elle rend à la demande du Gouvernement, du Parlement ou des autres autorités de régulation



Dialoguer régulièrement avec les acteurs du secteur, pour conserver une connaissance fine des marchés qu'elle régule.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

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

Ce rapport s'inscrit dans une démarche d'analyse mais aussi de prospection quant à l'avenir du numérique. Cette étude croise l'ensemble du périmètre, depuis les installations réseaux vers les terminaux tout en considérant les impacts des réseaux, équipements numériques et datacenters.

Spécifiquement, la tâche 2 consiste en une évaluation des impacts du numérique en France selon la méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie (ACV).

Celle-ci porte sur les 3 tiers de numériques : les terminaux utilisateurs, les réseaux et les centres de données, et calcul un panel de 12 indicateurs d'impacts, dont notamment le changement climatique, la consommation de ressources naturelles, ou encore les particules fines.

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

Enfin sont présentés des cas de calcul des impacts du numérique de foyers et entreprises types.

La croissance des équipements et services numériques, souvent perçue comme dématérialisée, a également été associée à une augmentation significative des pressions sur l'environnement et les ressources naturelles. Cette étude évalue et analyse les impacts environnementaux liés aux équipements et aux infrastructures du numérique afin de comprendre leur magnitude et leurs sources.

