

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

**Evaluation environnementale des équipements et infrastructures
numériques en France** **Synthèse du 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 - Synthèse. 30 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
1. PRINCIPALES CONCLUSIONS	4
2. CONTEXTE DU PROJET	5
2.1. Objectif de l'étude	5
2.2. Méthodologie de l'ACV	6
2.3. Périmètre de l'étude	6
2.3.1. Système de produit à étudier	6
2.3.2. Fonction et unité fonctionnelle.....	7
2.3.3. Impacts environnementaux	7
3. DONNEES UTILISEES DANS LE MODELE ACV	9
3.1. Caractéristiques et hypothèses globales.....	9
3.2. Tiers 1 – Equipement utilisateur.....	9
3.3. Tiers 2 – Réseaux	10
3.3.1. Informations générales	10
3.4. Tiers 3 – Centres de données.....	12
4. RESULTATS	14
4.1. Focus spécifique sur chaque tiers des équipements et infrastructures numériques.....	18
4.1.1. TIERS 1 – Terminaux utilisateurs.....	18
4.1.2. TIERS 2 - Réseaux.....	19
4.1.3. TIERS 3 - Datacenters	20
4.1.3.1. Analyse de contribution – Par type de datacenter	20
4.1.3.2. Analyse de contribution – Par type d'équipement et de consommation	21
5. IMPACT PAR FOYER TYPE.....	23
6. LIMITES DE L'ETUDE.....	25
7. ANNEXES : INFORMATIONS TECHNIQUES	27

1. Principales conclusions

Cette étude a permis de quantifier les impacts environnementaux des équipements et infrastructures numériques en France, conformément aux trois briques présentées ci-dessous :

- Les équipements des usagers des équipements et infrastructures numériques : **terminaux** fixes et mobiles présents en France tels que les téléviseurs, ordinateurs, tablettes, objets connectés, smartphones, etc. ;
- Les **réseaux** déjà déployés ou en cours de développement en France d'ici à 2025 ;
- Les **centres informatiques** tels que définis par les normes ISO 30134 et EN 50 600 et tout ce qu'ils contiennent (notamment les équipements informatiques tels que les serveurs, les équipements réseaux et baies de stockage).

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., soit 2,5% de l'empreinte carbone de la France, légèrement supérieur au secteur des déchets (14 MT CO₂ eq. ¹), 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.

Un premier niveau d'analyse 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 %).

Un second niveau de distribution d'impact est présenté selon les phases du cycle de vie (fabrication, distribution, utilisation et fin 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 ce qui confirme l'importance des politiques visant à allonger la durée d'usage des équipements numériques à travers la durabilité des produits, le réemploi, le reconditionnement, l'économie de la fonctionnalité ou la réparation.

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 énergétique 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, matières premières critiques telles que définies par la Commission Européenne², etc.). Ces matériaux requièrent également beaucoup de ressources et d'énergie, et génèrent 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 (sac à dos écologique, quantité de matière mise en œuvre sur le cycle de vie d'un produit), du fait du bénéfice du recyclage qui évite la production de matière vierge.

La distribution a un impact moins important, mais non négligeable.

¹ Stratégie nationale bas-carbone – La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone – Synthèse - 2020

² Résilience des matières premières critiques: la voie à suivre pour un renforcement de la sécurité et de la durabilité, 2020, Commission Européenne

2. Contexte du projet

2.1. 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 équipements et infrastructures numériques sont au cœur de notre quotidien et ont bouleversé nos comportements et nos modes de consommation.

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

Au vu de la connaissance accumulée sur le sujet des équipements et infrastructures numériques³, 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 d'un service numérique (terminal, réseau, datacenter) ;
- **Multi composants**, afin d'appréhender ces systèmes complexes que sont l'association des terminaux utilisateurs, datacenters et réseaux de télécommunications, tous composés d'une multitude d'équipements ayant chacun des cycles de vie propre.

La présente étude, intitulée « *Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective* », se donne pour objectif d'éclairer le débat public, de tracer les trajectoires potentielles des impacts environnementaux et de lister les actions efficaces, vectrices d'une transition digitale durable. Cette étude s'inscrit dans la lignée de nombreux travaux dont au niveau français l'élaboration de la feuille de route du Gouvernement « Numérique et environnement »⁴ définissant de nouvelles politiques publiques en faveur d'une transition numérique soutenable, et au niveau européen.

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 :

- Etablir 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 type (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 technologies 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

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

Il a fait l'objet d'une revue critique conforme à la norme ISO 14071, réalisée par :

³ « Impacts environnementaux des objets connectés et des services basés sur leur utilisation : Ordres de grandeurs et recommandations méthodologiques », 2021, Négaoctet pour ScoreLCA

⁴ Feuille de route « Numérique et environnement – faisons converger les transitions », 23 février 2021

- **Gwenaëlle Souffran et Stéphane Le Pochat**, EVEA (président du panel de revue critique)
- **Thierry Leboucq**, Greenspector
- **Martin Dargent**, Easyvirt

2.2. Méthodologie 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 14040:2006⁵ et ISO 14044:2006⁶, 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.
- **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.

2.3. 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 sont 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.

2.3.1. Système de produit à étudier

Cette étude porte sur le secteur du numérique à l'échelle française. Le périmètre de ce secteur couvre trois catégories d'équipements également appelés « Tiers » :

- **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). Les box internet sont comprises dans le réseau.
- **3.Tier – Datacenters** : Cette catégorie comprend les équipements liés à l'hébergement et au traitement des données (serveurs, disques, équipements réseau...)

Cette étude porte sur l'ensemble du secteur du numérique en France en 2020. Par conséquent, dans la mesure du possible, les données sélectionnées sont représentatives de 2020.

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

⁵ ISO 14040:2006 – Management Environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et Cadres

⁶ ISO 14044:2006 - Management Environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices

La fabrication des équipements est prise en compte, même si celle-ci a lieu hors France.

2.3.2. 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 »

A 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, y compris mais non limité aux usages par les entreprises, associations, administrations, enseignement, pouvoirs publics.

2.3.3. Impacts environnementaux

Dans cette étude, les indicateurs retenus sont ceux proposés par la Commission Européenne dans le cadre du projet Product Environmental Footprint (PEF), en utilisant le PEF 3.0.⁷

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. Ces indicateurs ont été sélectionnés sur la base des résultats normalisés et pondérés.

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

INDICATEURS D'IMPACT	Epuisement des ressources naturelles (minérales et métaux) - Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) - Unité : kg Sb équivalent (kg Sb eq.) - Méthode d'évaluation : CML 2002 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.	Changement climatique - Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) - Unité : kg CO₂ équivalent (kg CO₂ eq.) - Méthode d'évaluation : IPCC 2013 méthode 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.
	Acidification - 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) 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.	Emissions de particules fines - Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) - Unité : Disease incidence - Méthode d'évaluation : PM method recommended by UNEP (UNEP 2016) 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
	Radiations ionisantes - 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) Définition : Les radionucléides peuvent être libérés lors de plusieurs activités humaines. Lorsque les radionucléides se désintègrent, ils libèrent des rayonnements ionisants.	Formation d'ozone photochimique, santé humaine - 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 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

⁷ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml> (last retrieved: 19/08/2021)

INDICATEURS DE FLUX	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	oxydant très puissant connu pour avoir des effets sur la santé car il pénètre facilement dans les voies respiratoires
	Epuisement des ressources abiotiques (fossiles) - Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) - Unité : MJ - Méthode d'évaluation : CML 2002 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.	Ecotoxicité, eaux douces - Type d'indicateur : Indicateur d'impact orienté problème (mid-point) - Unité : CTUe - Méthode d'évaluation : USEtox (Rosenbaum et al., 2008) 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.
	Masse de déchets - 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 - 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 - 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 - 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 1 - Détail des indicateurs d'impact

3. Données utilisées dans le modèle ACV

Les données utilisées dans l'étude sont précisées dans le rapport. Sont rappelées ici les principales caractéristiques et hypothèses globales, et par tiers du numérique en France.

3.1. Caractéristiques et hypothèses globales

- Phase de Fabrication

Les données ont été évaluées avec la base de données Négaoctet 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.

- 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, dépendamment des équipements :

- Transport par bateau
- Transport en avion
- Transport en train

À chaque fois, 1 000 km supplémentaires en camion sont ajoutés pour évaluer la distance supplémentaire requise⁸.

Les données de transport utilisées sont issues de la base de données ecoinvent v3.6.

- Phase d'Utilisation

Les données électriques sont évaluées comme un mix électrique français.

Afin d'être cohérent avec la période de collecte des données (2020), nous avons choisi les données électriques fiables les plus récentes disponibles, provenant de RTE pour l'année 2019⁹.

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

- 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 »¹⁰.

3.2. Tiers 1 – Equipement utilisateur

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

⁸ Hypothèse PEP ecopassport PCR v3, approche pénalisante

⁹ RTE, Bilan Electrique 2019

¹⁰ <http://weee-lci.ecosystem.eco/Node>

Projecteur
Afficheurs électroniques : - 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 2 - Liste des terminaux utilisateurs

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

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 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.
4. 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.

Un tableau présentant les valeurs pour les équipements est présenté en annexe.

3.3. Tiers 2 – Réseaux

3.3.1. Informations générales

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

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

Tableau 3 – 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.

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 inclue 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

Le nombre d'abonnés pour les réseaux fixes (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) dont 530 000 abonnés professionnels.
- xDSL : 15 952 000 abonnés dont 1 550 000 abonnés professionnels¹¹.

La consommation de données est considérée comme étant de 220 Go par mois et par abonné, tout usage et toute technologie confondue. Ce chiffre se base sur le rapport ICT¹² 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.

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

- Tous réseaux hors MtoM : 75 763 000 abonnés
- MtoM : 22 205 000 abonnés
- Usage personnel : 65 944 000 abonnés
- Usage professionnel : 9 596 000 abonnés¹³

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).¹⁴

Pour les phases de fabrication, de distribution et de fin de vie, la modélisation est basée sur la prise en compte de 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 varie.

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

Pour la phase d'utilisation, les données du rapport ICT¹⁵, utilisant comme source un rapport de l'IEA¹⁶ 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

¹¹ 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>

¹² ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.93

¹³ 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

¹⁴ 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

¹⁵ ICT report: European Commission, *ICT Impact study, Final report*, prepared by VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, July 2020, p.73

¹⁶ IEA-4E, *Intelligent Efficiency For Data Centres & Wide Area Networks*, Report Prepared for IEA-4E EDNA, May 2019

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.

3.4. Tiers 3 – Centres de données

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 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 bâtementaire**, qui regroupe le bâtiment et les équipements dits « non IT », dédiés aux facilités. Ce niveau délivre des services d'hébergement, à savoir la mise à disposition d'espace énergisés en salle informatiques compatible avec un niveau de résilience et de sécurité et des conditions environnementales compatibles avec le fonctionnement des équipements informatiques.

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

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

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

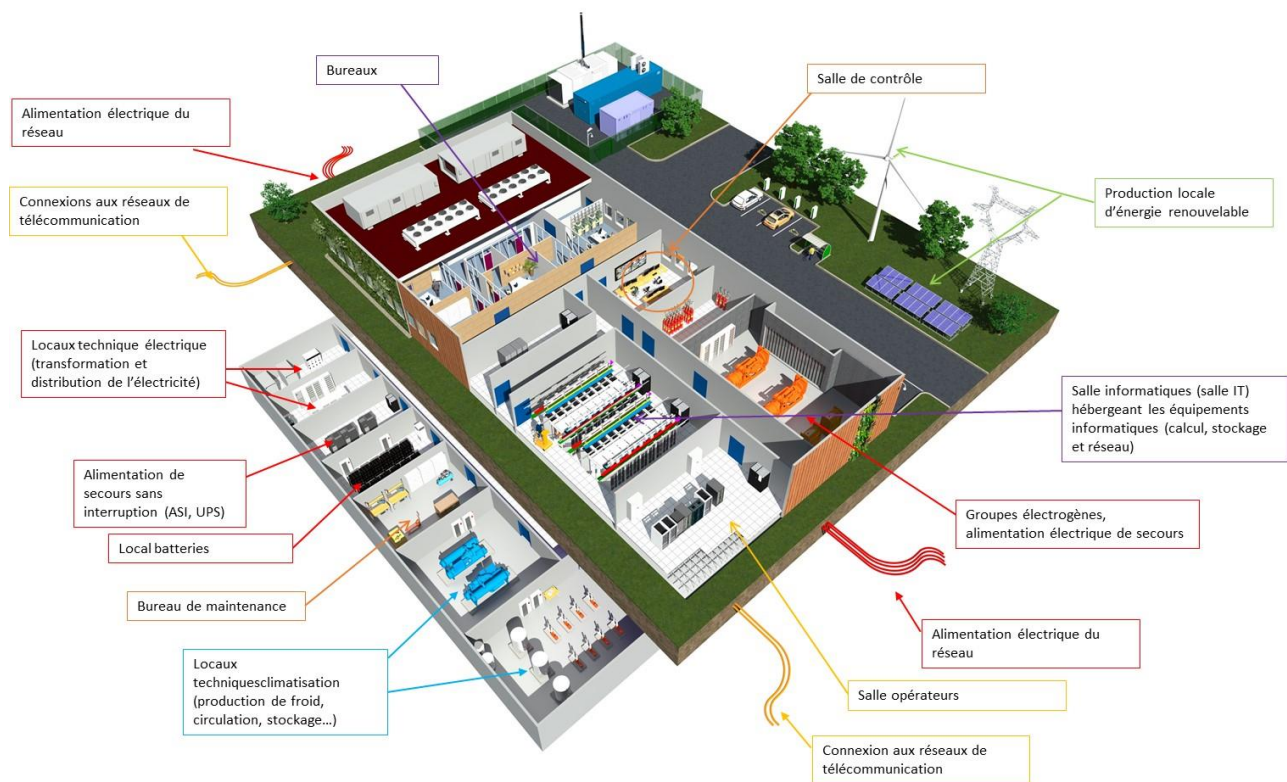


Figure 1 - Représentation d'un datacenter - Source APL DATA CENTER

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 bâtimentaire » et « parc informatique ».

Un tableau regroupant l'ensemble des données croisées avec la base de données NegaOctet pour évaluer les impacts environnementaux des datacenters est disponible en annexe.

4. Résultats

Dans les tableaux suivants, les nombres avec la notation E, tel que 2,53E-06 doivent être lu 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 environnementaux globaux pour 1 an de services numérique en France, ainsi que par habitant et par 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 à l'échelle de la France et par an	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
Résultats par habitant et par an	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
Intervalle de variation - (minimum - maximum)	58,4% - 161,0%	61,1% - 157,8%	62,4% - 155,6%	62,0% - 156,2%	62,8% - 155,8%	61,3% - 160,7%	61,4% - 157,1%	62,3% - 155,6%	65,7% - 162,2%	62,5% - 165,3%	61,7% - 158,8%	60,2% - 158,4%

Tableau 4 - Evaluation globale pour les équipements et infrastructures numériques pendant 1 an en France

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.

De manière spécifique, l'impact sur le changement climatique est de 16,9 Mt eq. CO₂ (entre 10,6 et 26,3) et de 253 kg eq. CO₂/hab français (entre 158 et 393).

Afin de fournir quelques éléments de comparaison avec des valeurs tangibles, certains impacts peuvent être exprimés en équivalents :

- Au niveau Français :
 - o Les impacts sur le changement climatique sont légèrement supérieurs au secteur des déchets en France (14 MT eq. CO₂)¹⁷, et correspondent aux émissions de CO₂ directes d'un parc de 12 344 994 véhicules particuliers (considérant 12 223 km par véhicule¹⁸, et des émissions moyennes de 112 g CO₂ eq./km¹⁹).
 - o La consommation électrique est estimée à la consommation de 8 282 000 foyers français (considérant 29 012 000 de foyers²⁰, et 170 TWh de consommation électrique pour le secteur résidentiel²¹).
- Au niveau d'un habitant :
 - o Les impacts sur le changement climatique sont similaires à 2 259 km en voiture.
 - o La production de déchets est égale à 299 kg.

¹⁷ Stratégie nationale bas-carbone – La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone – Synthèse - 2020

¹⁸ Bilan annuel des transports en 2019 : bilan de la circulation, 2020, Ministère de la transition écologique

¹⁹ <https://carlabelling.ademe.fr/chiffrescler/r/evolutionTauxCo2>

²⁰ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3676599?sommaire=3696937#titre-bloc-3>

²¹ Bilan électrique 2019, RTE

- 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.

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 total²², 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 émises par les équipements et infrastructures numériques en France sont estimées à 16,9 Mt CO₂ eq., ce qui peut être comparé au 663²³ 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 équipements et infrastructures numériques ont lieu hors France).

Un premier niveau de distribution d'impact est présenté selon les trois tiers (terminaux utilisateurs, réseaux et datacenters).

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 %).

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.

²² Source: IEA <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=FRANCE&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=TotElecCons>

²³ 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.>

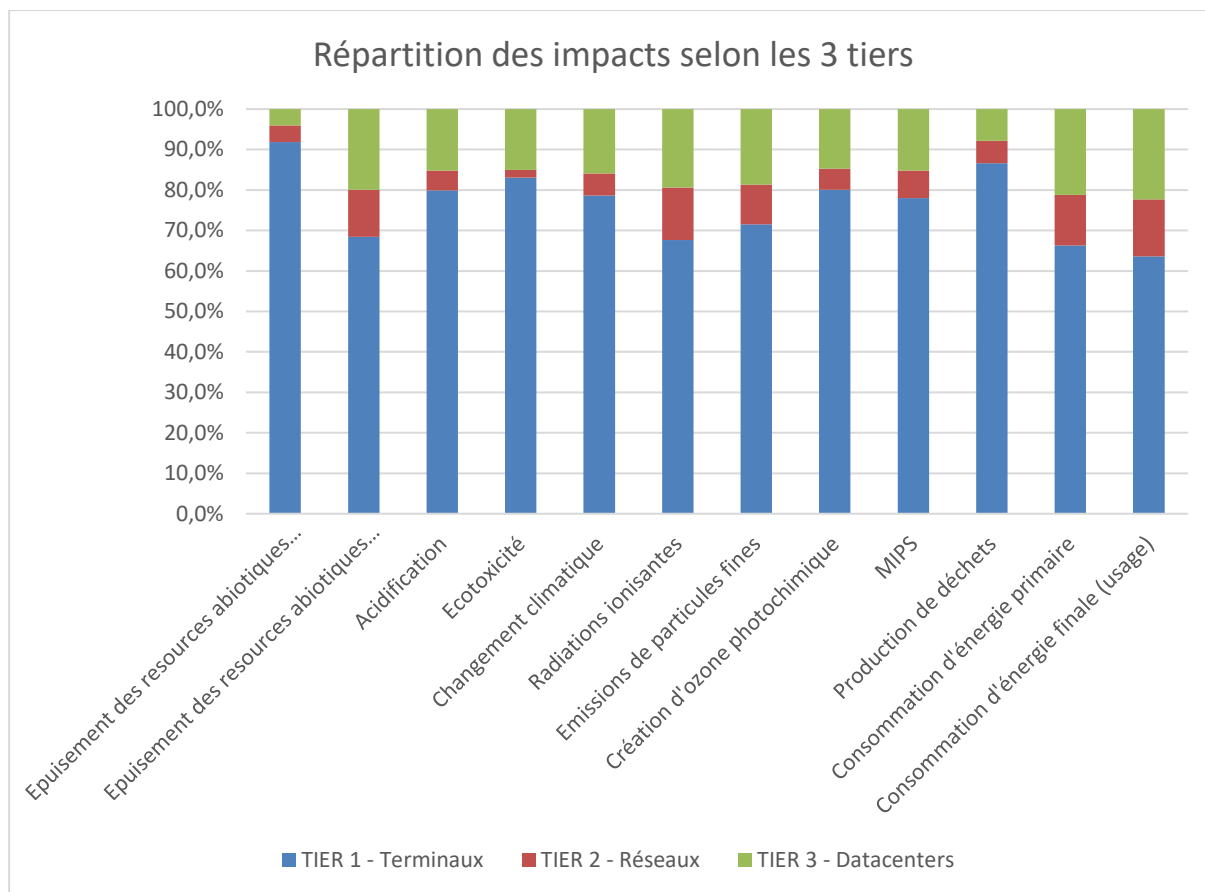


Figure 2 - Décomposition des impacts par tiers des équipements et infrastructures numériques

Un second niveau de distribution d'impact est présenté selon les trois tiers (terminaux utilisateurs, réseaux et datacenters) et selon les phases du cycle de vie (fabrication, distribution, utilisation et fin 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.

En effet, la phase de fabrication est responsable de la majorité des impacts pour chaque indicateur (entre 0% et 121,5% des impacts), suivi de la phase d'utilisation (entre 0,2% et 100%). La phase de fin de vie a des impacts généralement négatifs, du fait des bénéfices liés au recyclage (entre -22% et 10,5%). Enfin, la distribution a des impacts faibles (entre 0% et 4,6%)

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 énergétique 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, matières premières critiques telles que définies par la Commission Européenne²⁴, etc.). Ces matières requièrent également beaucoup de ressources et d'énergie, et génèrent beaucoup de déchets pour leur extraction (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.

²⁴ Résilience des matières premières critiques: la voie à suivre pour un renforcement de la sécurité et de la durabilité, 2020, Commission Européenne

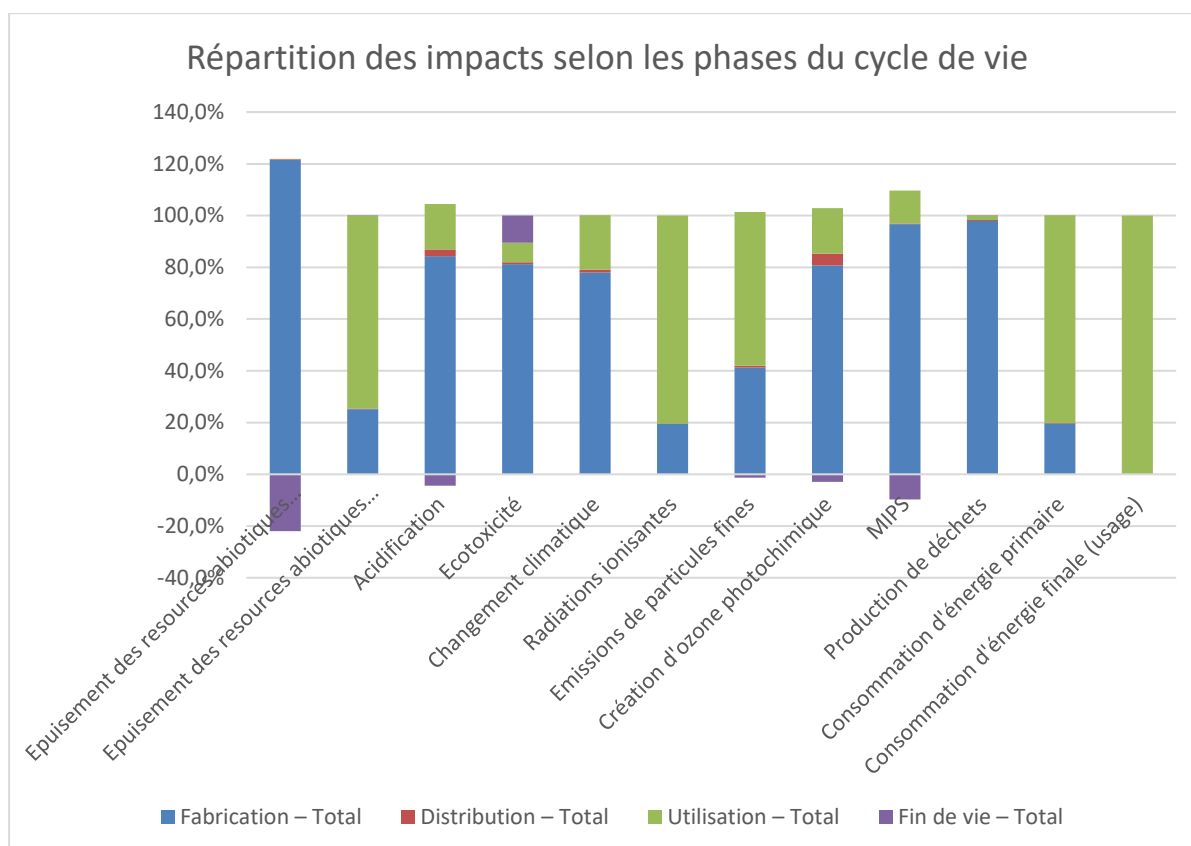


Figure 3 - Décomposition par phase du cycle de vie

Il est également possible de dissocier les impacts liés 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).

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.

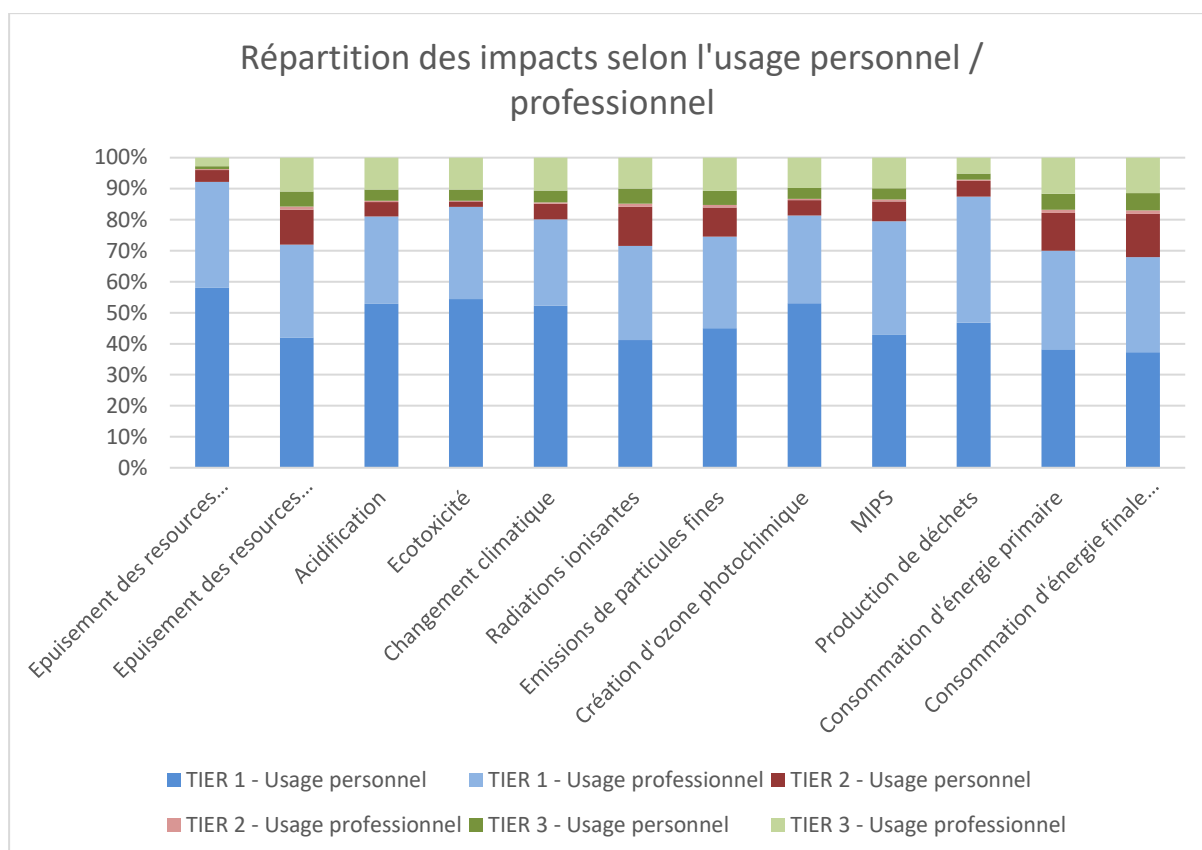


Figure 4 - Répartition des impacts personnel / professionnel

4.1. Focus spécifique sur chaque tiers 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 tiers (terminaux utilisateur, réseau et centres de données) est analysé individuellement.

4.1.1. TIERS 1 – Terminaux utilisateurs

Les terminaux utilisateur 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.

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.

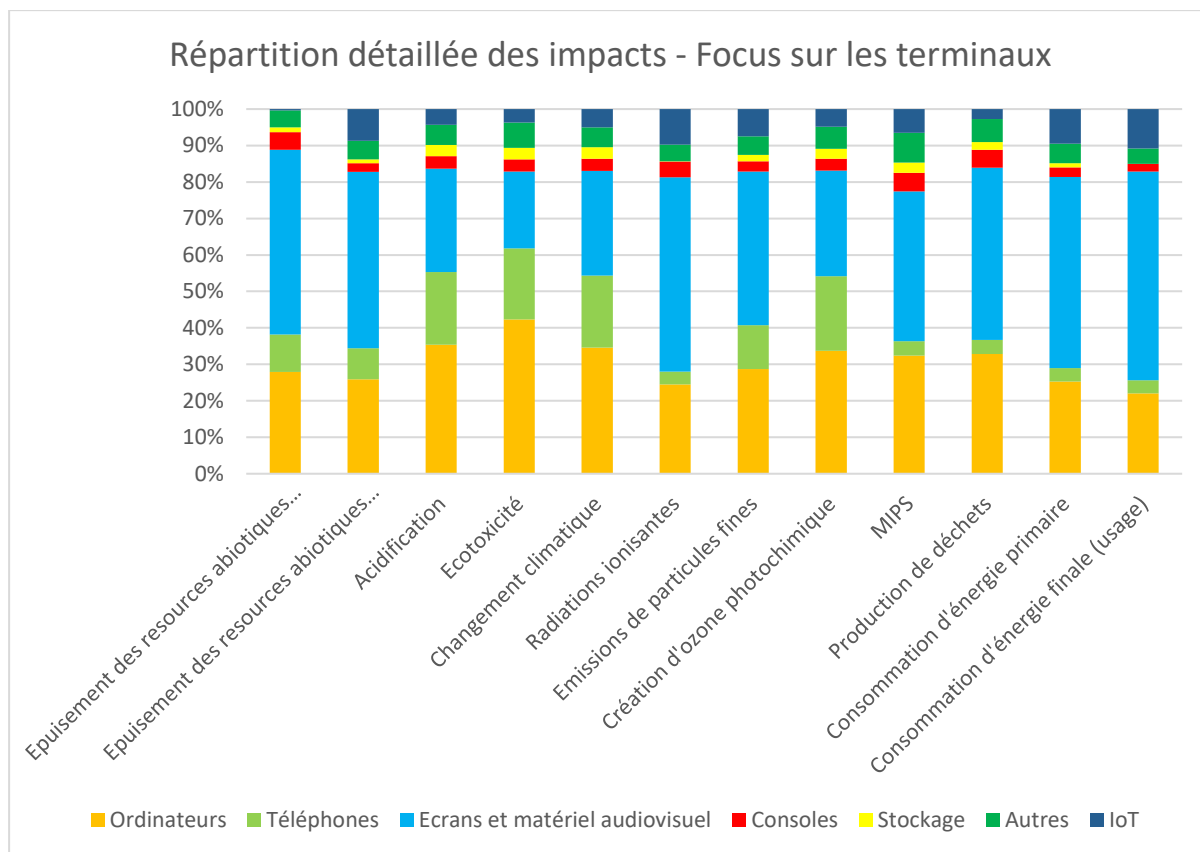


Figure 5 - Terminaux utilisateurs - Analyse de contribution

4.1.2. TIERS 2 - Réseaux

Les réseaux peuvent être divisés entre réseaux fixes (xDSL, FFTx), 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.

A l'échelle globale, 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 installées chez les utilisateurs.

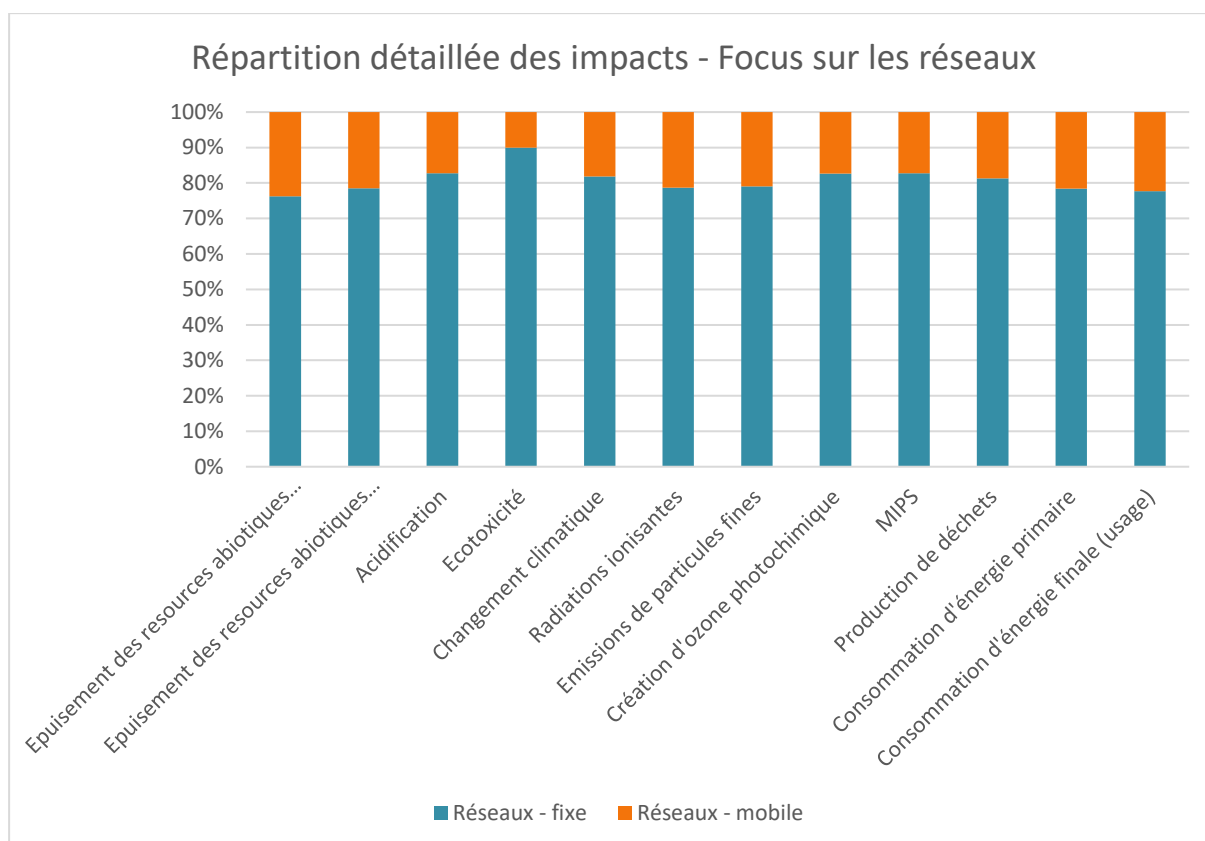


Figure 6 - Réseaux - Analyse de contribution

4.1.3. TIERS 3 - Datacenters

4.1.3.1. 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.

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.

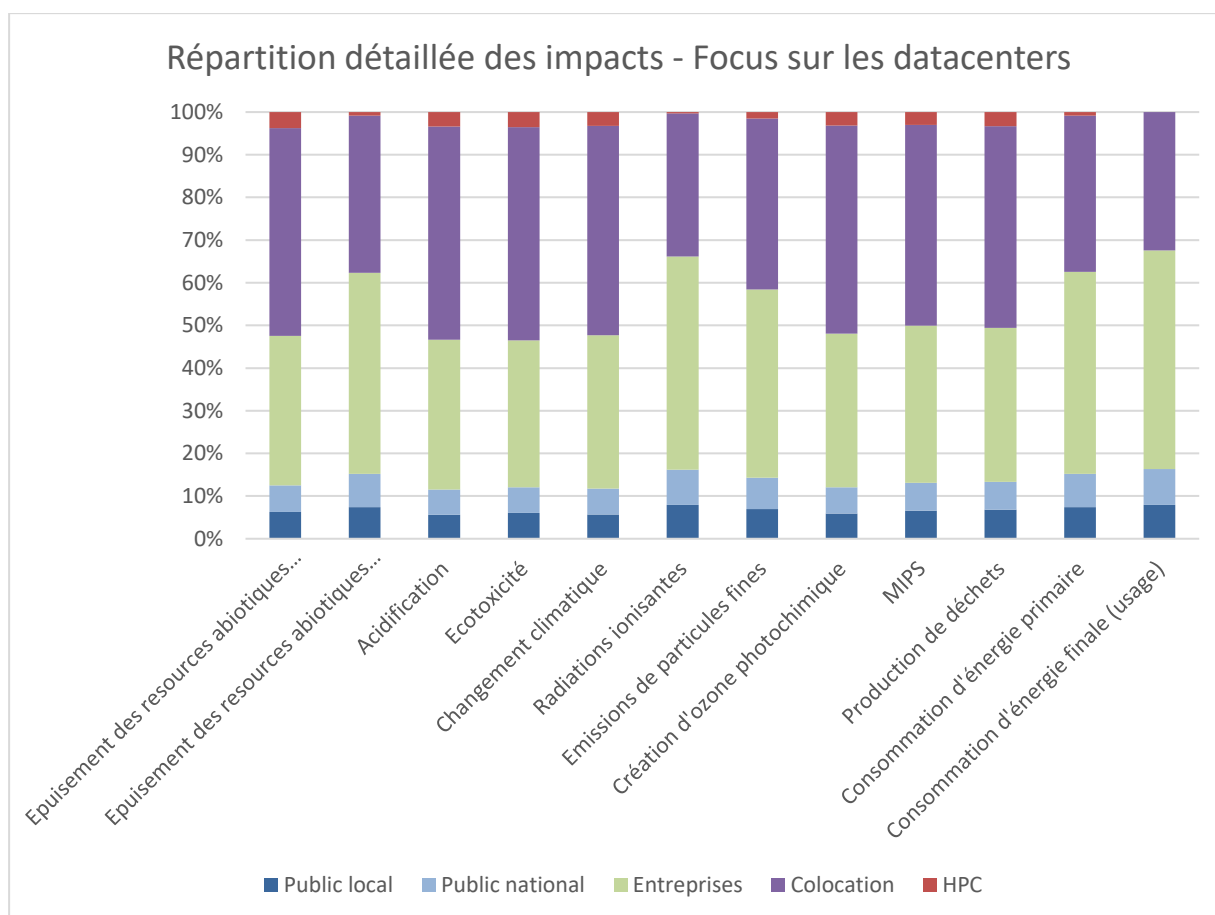


Figure 7 - Datacenters - Analyse de contribution

4.1.3.2. 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 : switches 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

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.

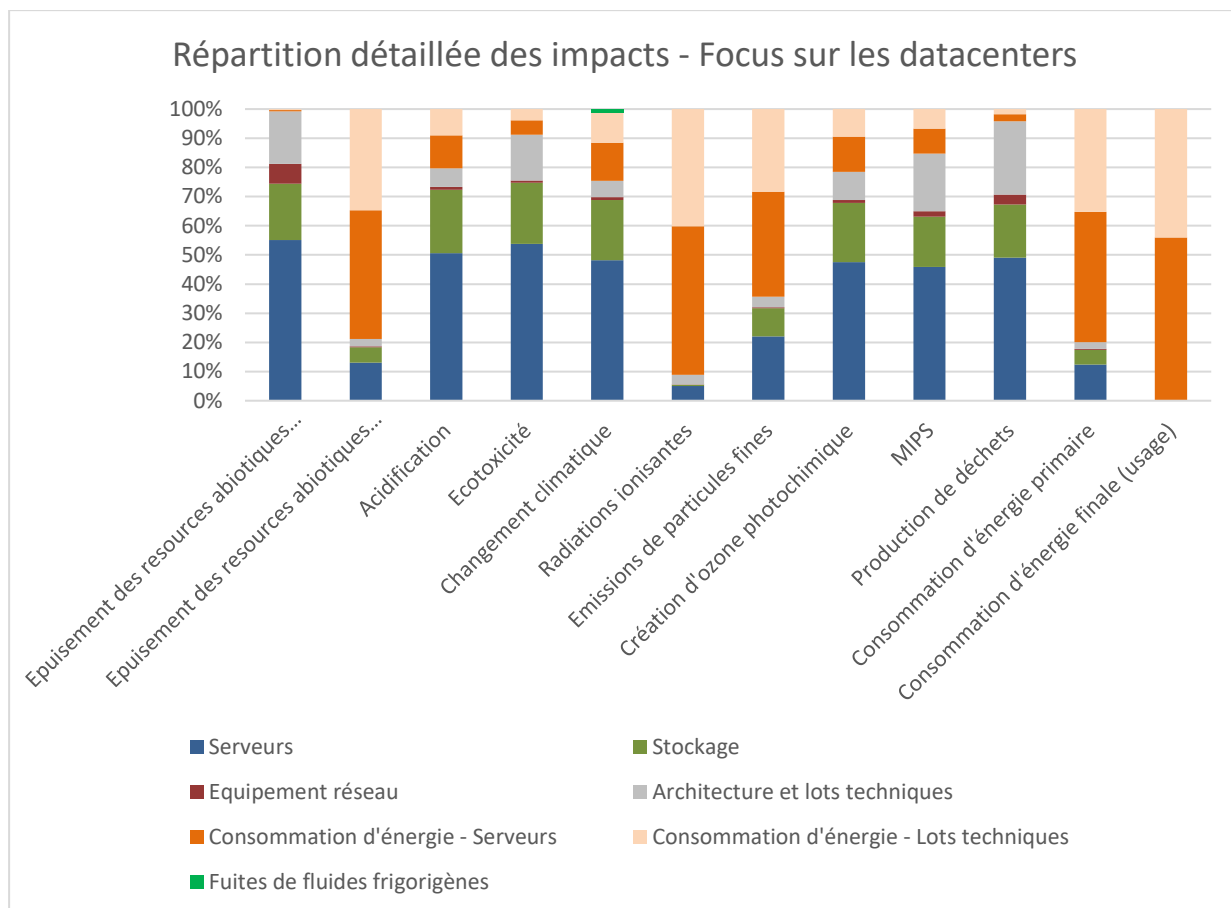


Figure 8 - Datacenters - Analyse de contribution par type d'équipement et de consommation

5. Impact par foyer type

Ce chapitre présente les impacts environnementaux du numérique par foyer, en moyenne et pour différents scénarios types, à vocation d'illustration.

Les impacts du foyer moyen sont définis comme étant les impacts globaux pour les particuliers (définis au **2.3.2 Fonction et unité fonctionnelle** sous la distinction des usages personnels par opposition aux usages professionnels), divisés par le nombre de foyers en France.

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 2015²⁵, indiquant un nombre de foyers total de 29 012 000.

La détermination des typologies de foyers s'est basée sur les catégories établies dans le baromètre ARCEP 2021²⁶.

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

La source utilisée est la suivante :

- Baromètre ARCEP 2021²⁷

Ces types de foyers étant 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.

Les impacts des foyers moyen et types 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
Foyer moyen	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
Foyer type couple déconnecté	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
Foyer type famille hyper connectée	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
Foyer type étudiant connecté	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

²⁵ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3676599?sommaire=3696937#titre-bloc-3>

²⁶ BAROMÈTRE DU NUMÉRIQUE Edition 2021 - Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française, ARCEP

²⁷ BAROMÈTRE DU NUMÉRIQUE Edition 2021 - Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française, ARCEP

Tableau 5 – Résultats foyer moyen – Résultats globaux

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.

Les foyers présentent des impacts environnementaux divers liés, outre la composition du foyer, à un usage du numérique varié. Une approche possible est de considérer que réduire l'usage du numérique permet de réduire les impacts associés. Notamment, à nombre de personnes égales, les impacts peuvent varier d'un facteur 4.

6. 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. De plus, cette étude a permis d'identifier un certain nombre de travaux complémentaires pouvant être menés pour permettre une meilleure compréhension et analyse des impacts environnementaux du secteur du numérique en France. Sont notamment identifiés :

- Limites reliées à la qualité des données

La qualité des données requise n'a pas pu être atteinte pour l'ensemble des données. Cela a été indiqué lorsque c'était le cas.

- Réseaux et équipements exclus

Certains équipements et réseaux n'ont pas pu être inclus du fait d'un manque de données.

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 et des satellites qui génèrent des impacts importants.

- 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. 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.

- 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.

- Marché de seconde-main, réutilisation de composant, économie circulaire

Dans cette étude, les produits sont considérés comme suivant une économie linéaire avec parfois du recyclage (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. 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. Il serait intéressant d'évaluer la possibilité d'intégrer ces points dans la présente étude.

- 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, cette étude ne prend pas en compte les équipements basés à l'étranger et utilisés pour les services numériques utilisés en France, en revanche elle prend en compte tous les équipements installés en France, même s'ils sont utilisés pour des services à l'étranger.

- Energie verte, obligations vertes, autoconsommation, compensation carbone, neutralité carbone

Certaines entreprises valorisent des actions de réduction d'impact liée à l'utilisation d'électricité verte ou via des mécanismes financiers.

Certaines de ces actions 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.

- Calcul de la consommation électrique des réseaux

L'approche retenue est 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. 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.

- Différentiation métropole / outremer

Les régions et territoires d'outremer ont des particularités qu'il n'a pas été possible de représenter dans cette étude. 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.

- Objets connectés

La méthode de détermination des impacts environnementaux des objets connectés est issue d'une modélisation à un niveau large qui nécessiterait d'être renforcée par une analyse plus fine. 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.

7. Annexes : informations techniques

Catégorie d'appareil	Nombre pour usage personnel	Nombre pour usage professionnel	Consommation énergétique pour usage personnel (kWh/an)	Consommation énergétique pour usage professionnel (kWh/an)	Consommation énergétique totale pour tous les équipements (TWh/an)	Durée de vie (an)
Téléphones	96 199 663	23 050 304			1,18	
Smartphones	59 528 880	10 071 120	3,9	3,9	0,257	2,5
Feature phones	10 551 120	1 785 043	0,09	0,09	0,000912	2,5
Téléphones (ligne fixe)	26 119 663	11 194 141	18	18	0,918	8
Tablettes	24 074 512	10 953 903	18,6	18,6	0,299	3
Ordinateur portable	32 120 000	26 815 780	29,1	29,1	2,22	5
Ordinateur fixe	17 520 000	19 756 596	100	100	4,74	6
Station d'accueil	0	26 815 780	1,28	1,28	0,0343	6
Projecteurs	4 157 974	461 997	49	200	0,924	5
Afficheurs électroniques	62 088 896	44 397 707			16,6	
Ecrans d'ordinateur	18 288 896	19 035 382	70	70	2,61	6
Ecrans spécifiques	0	6 590 897	Plusieurs valeurs, voir le rapport		2,77	6
Télévisions	43 800 000	18 771 429	179	179	11,2	8
Box TV (décodeurs)	19 009 283	8 146 836	73	73	1,51	5
Consoles de jeux	18 496 661	0			0,691	
Consoles bureau	11 746 044	0	100,2	100,2	0,656	6,5
Consoles mobiles	6 750 617	0	6,5	6,5	0,0348	6,5
Imprimantes	6 205 025	16 776 550	21,34	106,37	1,33	5
Disques Externes	107 181 925	3 167 015			0,0263	
SSD	7 634 954	225 598	0,37	0,37	0,00287	5
HDD	35 306 971	1 043 251	0,37	0,37	0,0133	5
Clés USB	64 240 000	1 898 165	0,15	0,15	0,0101	5
Enceintes connectées	2 484 956	0	23		0,0572	5
Objets connectés IoT	189 037 432	55 482 807	Plusieurs valeurs, voir le rapport		3,52	4-12
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 6 - Récapitulatif terminaux

Type de datacenter	Public Local	Public National	Entreprises	Colocation	HPC	TOTAL
Superficie de salles informatiques m2	81 390 m2	65 000 m2	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 Gbit						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 7 - Synthèse des données d'inventaire – Datacenter

L'ARCEP EN BREF

L'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse, arbitre expert et neutre au statut d'autorité administrative indépendante, est l'architecte et la gardienne des réseaux d'échanges internet, télécoms fixes, mobiles, postaux et de la distribution de la presse en France.

A sa création, le Parlement lui a confié la mission d'accompagner l'ouverture à la concurrence du secteur des communications électroniques, afin que de nouveaux opérateurs puissent émerger aux côtés de l'opérateur historique (France Télécom, devenu Orange), et ce, au bénéfice de l'utilisateur final. Veiller à ce que les réseaux se développent comme un bien commun est la mission de l'Arcep.

Aujourd'hui, la place des nouvelles technologies est interrogée dans notre société, notamment quant à leur impact environnemental. L'Arcep a pris acte de cet enjeu en ouvrant un nouveau chapitre de la régulation. Elle se met à l'écoute de ces interrogations et anime le débat sur les réseaux du futur et leur place dans la société en tant qu'expert neutre du secteur.

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES MISSIONS DE L'ARCEP



Définir la réglementation applicable à tout ou partie des opérateurs.



Attribuer, par des décisions individuelles, des ressources **en fréquences ou en numérotation**.



Veiller au financement et à la **fourniture du service universel**.



Faire part de son expertise, au moyen des avis et actes de « droit souple » qu'elle rend à la demande **du Gouvernement, du Parlement ou des autres autorités de régulation**



Dialoguer régulièrement avec les acteurs du secteur, pour conserver une connaissance fine des marchés qu'elle régule.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



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

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.

