

EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMERIQUE EN FRANCE



EXPERTISES

Mise à jour de l'étude ADEME-Arcep

RAPPORT FINAL

Janvier 2025

CITATION DE CE RAPPORT

BRILLAND Thomas, FANGEAT Erwann, MEYER Julia, WELLHOFF Mathieu, ADEME, 2025. Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France. 35 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>

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'œuvre 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

ADEME

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

Coordination technique - ADEME : Brilland Thomas

Direction/Service : DEC / So Num

Résumé

Le secteur du numérique continue de bouleverser nos modes de vie, et son empreinte environnementale est en croissance continue et très rapide malgré les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre notamment.

L'étude ADEME-Arcep d'évaluation de l'impact environnemental du numérique en France, publiée en 2022, établit à 17,2 millions de tonnes équivalent CO₂ les émissions liées à ce secteur, soit 2.5% des émissions de la France en 2020. Cependant, cette étude présentait une limite importante, puisqu'elle ne prenait pas en compte les data centers situés à l'étranger qui hébergent des usages français. De plus, différentes études sur le numérique ont été réalisées depuis, permettant de mettre à jour ou de préciser l'évaluation environnementale de certaines briques du numérique, notamment sur les réseaux de télécommunication ou encore sur les usages audiovisuels.

Le présent document a donc vocation à intégrer ces différents éléments pour évaluer l'empreinte environnementale du numérique en France sur l'année 2022, et présente trois mises à jour principales par rapport à l'étude ADEME-Arcep sur l'année 2020 : la prise en compte des data centers situés à l'étranger, la mise à jour de la répartition des téléviseurs (en faveur de télévisions à écrans OLED de plus grande taille, plus impactant), ainsi que l'intégration des résultats de l'étude sur l'empreinte de la fourniture d'accès à internet en France.

Les résultats sont présentés à l'échelle France, par habitant, et sont détaillés suivant différents niveaux d'analyse, ainsi qu'en les comparant avec l'étude précédente.

Les principaux résultats de cette mise à jour sont les suivants :

- L'empreinte carbone générée pour un an de consommation de biens et services numériques en France en 2022 représente l'équivalent de 4,4 % de l'empreinte carbone nationale soit 29,5 Mt CO₂eq, ce qui représente un peu moins que les émissions totales du secteur des poids lourds.
- Outre l'empreinte carbone, l'épuisement des ressources abiotiques (minéraux & métaux) ressort de nouveau comme un critère pertinent pour décrire l'impact environnemental du numérique.
- 11 % de la consommation électrique française est liée aux services numériques soit 51,5 TWh (65 TWh si on prend en compte la consommation électrique des data centers situés à l'étranger).
- 117 millions de tonnes de ressources sont utilisées par an pour produire et utiliser les équipements numériques soit 1,7 tonnes par français et par an².
- Les terminaux représentent 50 % de l'empreinte carbone du numérique, les data centers 46 % et les réseaux 4 %.
- Enfin, c'est la phase de fabrication qui concentre la majorité des impacts environnementaux. Elle représente 60 % de l'empreinte carbone et la phase d'utilisation 40 %.

A noter que comme l'étude précédente, les résultats sont conservateurs, l'évaluation présentant également des limites : pas de prise en compte des réseaux télécom hors de France, pas d'actualisation détaillée des data centers en France, pas de prise en compte du développement de l'IA générative...

Abstract

The digital sector continues to disrupt our lifestyles, and its environmental footprint is growing steadily and very rapidly, despite targets to reduce greenhouse gas emissions.

The ADEME-Arcep study assessing the environmental impact of the digital sector in France, published in 2022, puts the sector's emissions at 17.2 million tonnes of CO₂ equivalent, or 2.5% of France's emissions in 2020. However, this study had an important limitation, as it did not consider data centres located abroad that host French uses. In addition, various digital studies have since been carried out, updating or clarifying the environmental assessment of certain digital components, notably telecoms networks and audiovisual uses.

The aim of this document is therefore to integrate these various elements to assess the environmental footprint of digital technology in France for the year 2022, and presents three main updates compared to the ADEME-Arcep study for the year 2020: the inclusion of data centres located abroad, an updated breakdown of TV sets (in favour of larger OLED screens, which have a greater impact), and the integration of the results of the study on the footprint of internet access provision in France.

The results are presented on a France-wide, per-capita basis, and are broken down according to different levels of analysis, as well as by comparison with the previous study.

The main results of this update are as follows:

- The carbon footprint generated by one year's consumption of digital goods and services in France in 2022 represents the equivalent of 4.4% of the national carbon footprint, or 29.5 Mt CO₂eq, which is slightly less than the total emissions of the heavy goods vehicle sector.
- In addition to the carbon footprint, the depletion of abiotic resources (minerals & metals) once again emerges as a relevant criterion for describing the environmental impact of digital technology.
- 11% of French electricity consumption is linked to digital services, i.e. 51.5 TWh (65 TWh if we take into account the electricity consumption of data centres located abroad).
- 117 million tonnes of resources are used every year to produce and use digital equipment, i.e. 1.7 tonnes per French person per year ².
- Terminals account for 50% of the digital industry's carbon footprint, data centres 46% and networks 4%.
- Finally, it is the manufacturing phase that concentrates the majority of environmental impacts. It represents 60% of the carbon footprint, and the use phase 40%.

It should be noted that, like the previous study, the results are conservative, and the assessment also has its limitations: telecoms networks outside France are not considered, data centres in France are not updated in detail, the development of generative AI is not taken into account...

SOMMAIRE

1. Contexte du projet	7
1.1. Objectif de l'étude	7
1.2. Méthodologie ACV	7
1.3. Périmètre de l'étude	8
1.3.1. Système de produit à étudier	8
1.3.2. Fonction et unité fonctionnelle	8
1.3.3. Impacts environnementaux	9
2. Données utilisées et hypothèses	10
2.1. Caractéristiques et hypothèses globales	10
2.2. Tier 1 – Terminaux	10
2.2.1. Télévisions	11
2.2.2. Casques réalité virtuelle	11
2.2.3. Ordinateurs portables professionnels	11
2.3. Tier 2 – Réseaux	12
2.4. Tier 3 – Data centers	12
2.4.1. Modèle Masanet	12
2.4.2. Data centers en France	12
2.4.3. Usages français hébergés à l'étranger	13
2.5. Synthèse des modifications	15
3. Résultats	16
3.1. Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques	17
3.2. Répartition selon les phases du cycle de vie	17
3.3. Comparaison avec l'étude précédente	18
3.4. Analyse territoriale	21
4. Analyse de sensibilité	22
4.1. Analyse de sensibilité sur les terminaux	22
4.1.1. Variation du nombre de terminaux	22
4.1.2. Variation de la durée de vie	22
4.1.3. Variation de la consommation électrique	23
4.1.4. Variation de la répartition des télévisions	23
4.1.5. Analyse de sensibilité cumulée - équipements	23
4.2. Analyse de sensibilité sur les data centers	24
4.2.1. Variation sur les data centers en France	24
4.2.2. Variation sur les data centers à l'étranger	25
4.2.3. Analyse de sensibilité cumulée – data centers	25
4.3. Analyse de sensibilité cumulée	26
5. Limites de l'étude	28
5.1. Limites générales	28

5.2. Limites sur les équipements	28
5.3. Limites sur les réseaux	28
5.4. Limites sur les data centers	28
6. Conclusions	30
Références bibliographiques	31
Index des tableaux et figures.....	32
Sigles et acronymes	33

1. Contexte du projet

1.1. Objectif de l'étude

Le secteur du numérique continue de bouleverser nos modes de vie, et son empreinte environnementale est en croissance continue et très rapide malgré les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre notamment.

L'étude ADEME-Arcep¹ d'évaluation de l'impact environnemental du numérique en France, publiée en 2022, établit à 17,2 millions de tonnes équivalent CO2 les émissions liées à ce secteur, soit 2.5% des émissions de la France en 2020. Cette étude montrait que ces émissions provenaient principalement (près de 80%) de la fabrication des équipements utilisateur. De plus, le volet prospectif de cette étude insiste sur l'importance de surveiller de près ce secteur, puisqu'il prévoit une multiplication par 3 des émissions d'ici à 2050 dans le scénario tendanciel.

Si cette évaluation reposait sur une méthodologie ACV avec revue critique, son périmètre était restreint aux infrastructures et terminaux situés en France, ce qui entraînait une limite importante puisque n'avait été pris en compte dans les hypothèses de l'étude en 2020 que les data centers situés sur le territoire français. Or une partie importante des usages en France sont hébergés à l'étranger (environ 53% selon nos estimations) ce qui représente des impacts très loin d'être négligeables. Par ailleurs, avec l'arrivée des nouveaux usages notamment liés à l'IA générative, ou encore avec le développement massif de services reposant sur des algorithmes de recommandation, pour la plupart hébergés à l'étranger, il est essentiel de prendre en compte cette part importée des data centers.

L'Agence Internationale de l'Energie présente par exemple dans son dernier rapport² un scénario anticipant en 2 ans un doublement de la consommation énergétique des data centers dans le monde, atteignant 1 000 TWh fin 2026, équivalent à la consommation du Japon. Les derniers rapports environnementaux de Microsoft³ et Google⁴ montrent que leurs émissions sont en croissance forte, et que ces firmes ne pourront pas atteindre leurs objectifs de neutralité carbone à cause de leurs investissements colossaux dans des data centers (notamment dédiés à l'Intelligence Artificielle).

De plus, de nouvelles études ont été réalisées depuis : l'étude⁵ de l'impact environnemental des fournisseurs d'accès à internet a permis de préciser l'évaluation de l'empreinte environnementale des réseaux en France ; l'étude⁶ sur les équipements électrodomestiques en France permet de mettre à jour la répartition des écrans TV dans les ménages français, ce qui fait évoluer sensiblement le mix entre les télévisions OLED et LCD-LED au profit des télévisions OLED plus grandes et plus impactantes.

Cette présente étude a pour vocation d'intégrer ces différentes mises à jour et s'inscrit notamment dans le cadre des travaux sur la Stratégie Nationale Bas Carbone du secteur du numérique, cadre dans lequel l'ADEME et la DGEC ont développé un calculateur commun d'évaluation environnementale multicritère du secteur du numérique.

1.2. Méthodologie ACV

L'analyse du cycle de vie est une méthode utilisée pour évaluer l'impact environnemental de produits, de services. 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 14040:2006⁷ et ISO 14044:2006⁸, 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.

¹ <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/5226-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france-et-analyse-prospective.html>

² <https://www.iea.org/reports/electricity-2024>

³ <https://www.microsoft.com/en-us/corporate-responsibility/sustainability/report>

⁴ <https://sustainability.google/reports/google-2024-environmental-report/>

⁵ <https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/6789-evaluation-de-l-empreinte-environnementale-de-la-fourniture-d-acces-a-internet-en-france.html>

⁶ <https://librairie.ademe.fr/recherche-et-innovation/6931-l-equipement-des-menages-francais-en-appareils-electrodomestiques.html>

⁷ ISO 14040:2006 – Management Environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et Cadres

⁸ ISO 14044:2006 - Management Environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices

- **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.

1.3. Périmètre de l'étude

Dans le cadre de notre étude, l'objectif est d'intégrer les dernières connaissances (2022) 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.

Sont également pris en compte les impacts « importés », c'est-à-dire ceux qui ne sont pas situés en France mais qui servent des usages français : notamment la fabrication des équipements ainsi que les data centers situés à l'étranger et hébergeant des usages français.

1.3.1. 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 réseaux de télécommunication pour les échanges de données entre les terminaux des utilisateurs finaux et les data centers. Le réseau est composé d'un réseau fixe, d'un réseau mobile et d'un réseau dorsal (backbone). Les box internet sont incluses dans le périmètre des réseaux fixes.
- **3.Tier – Datacenters** : Cette catégorie comprend les équipements liés à l'hébergement et au traitement des données (serveurs, disques, ...)

Cette étude porte sur l'ensemble du secteur du numérique en France en 2022. Par conséquent, dans la mesure du possible, les données sélectionnées sont représentatives de 2022.

Le périmètre géographique considéré dans cette étude est composé d'équipements informatiques situés en France, ainsi que ceux liés aux usages situés en France.

Cette étude prend en compte les équipements basés sur le sol français : terminaux utilisateur, réseaux et data centers, ainsi que les data centers situés à l'étranger mais servant aux usages français.

Concernant les réseaux, l'étude ne prend pas en compte les équipements basés à l'étranger et utilisés pour les services numériques utilisés en France.

Concernant les réseaux et data centers, l'étude prend cependant en compte les équipements basés en France et utilisés pour des services numériques utilisés à l'étranger.

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

1.3.2. 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.

1.3.3. 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 3.0.⁹

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. Les indicateurs de l'étude de 2022 ont été repris.

<u>Catégorie d'impact</u>	<u>Modèle</u>	<u>Unité</u>
Changement Climatique	IPCC 2013, GWP 100	kg CO2 eq
Emissions de particules fines	Fantke et al., 2016	disease incidence
Acidification	Posch et al., 2008	mol H+ eq
Rayonnements ionisants, santé humaine	Frischknecht et al., 2000	kBq U235 eq
Formation d'ozone photochimique, santé humaine	Van Zelm et al., 2008, as applied in ReCiPe, 2008	kg NMVOC eq
Epuisement des ressources abiotiques, combustibles fossiles	ADP for energy carriers, based on van Oers et al. 2002 as implemented in CML, v4.8 (2016)	MJ
Epuisement des ressources abiotiques, 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
Ecotoxicité, eau douce	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUe
Matières premières	MIPS, Schmidt-Bleek 1994 and Ritthoff et al., 2002	kg
Consommation d'énergie primaire	Cumulative Energy	MJ
Consommation d'énergie finale		MJ

Tableau 1 – Indicateurs pris en compte dans le cadre de cette étude

⁹ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developEF.xhtml>

2. Données utilisées et hypothèses

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.

2.1. Caractéristiques et hypothèses globales

- Phase de Fabrication

Les données ont été évaluées avec la base de données NégaOctet au 05/2024. Ces données comportent notamment les inventaires du cycle de vie sur la fabrication des équipements et des infrastructures utilisés dans la présente étude.

- Phase de Distribution

De même, les données ont été évaluées avec la base de données NégaOctet. Ces données reprennent les hypothèses détaillées dans l'étude ADEME-Arcep.

- Phase d'Utilisation

Les données électriques sont évaluées avec un mix électrique français, à l'exception de la consommation électrique des data centers situés à l'étranger. Pour ces derniers, les données sont évaluées avec les mix électriques présents dans la base de données NégaOctet.

Afin d'être cohérent avec la précédente étude, le même mix électrique a été choisi, qui correspond aux données RTE pour l'année 2019.

- Phase de fin de vie

Le recyclage et la valorisation des matériaux en fin de cycle de vie sont considérés tels qu'appliqués par la base de données de fin de vie Ecosystem, utilisée dans la base de données NégaOctet.

Deux approches ont été retenues :

- L'approche « sans bénéfices », qui suppose que le recyclage ou la valorisation énergétique n'apporte aucun bénéfice lié à la substitution de matière vierge ou de sources d'énergie primaire.
- L'approche « avec bénéfices », qui suppose que le recyclage ou la valorisation énergétique apporte un bénéfice lié à la substitution de matière vierge ou de sources d'énergie primaire.

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

2.2. Tier 1 – Terminaux

Pour les équipements utilisateur, la plupart des hypothèses de l'étude ADEME-Arcep ont été reprises, c'est-à-dire :

- Nombre d'équipements
- Configurations moyennes
- Répartition entre usages personnels et usages professionnels
- Durées de vie
- Scénarios de consommation électrique annuelle

Il s'agit donc des données pour l'année 2020, qu'on suppose identiques à l'année 2022.

Pour les facteurs d'impact, la dernière version de la base NégaOctet a été utilisée (ces facteurs d'impact sont donc légèrement différents de l'étude ADEME-Arcep).

S'il n'y a pas de précisions particulières dans cette partie, cela signifie que les hypothèses de l'étude ADEME-Arcep ont été reprises.

2.2.1. Télévisions

La modification principale pour la brique des terminaux concerne les télévisions.

En effet, l'étude¹⁰ EDF sur les équipements électro-domestiques, dont les résultats ont été repris dans l'étude¹¹ sur l'impact environnemental des usages audiovisuels notamment, indique une proportion d'écrans OLED sensiblement plus importante que dans l'étude ADEME-Arcep : 13,3% d'écrans OLED en 2022 contre 1,4% dans l'étude (2020). Cette répartition pour les usages personnels et professionnels a été reprise ici. Les nombres d'équipements restent inchangés.

Pour les usages personnels (43 800 000 équipements) :

Configuration	1	2
Répartition (basé sur les données EDF)	86,7%	13,3%
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 2 – Configurations des télévisions – usage personnel

Pour les usages professionnels (18 771 429 équipements) :

Configuration	1	2
Répartition (basé sur les données EDF)	86,7%	13,3%
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 3 – Configurations des télévisions – usage professionnel

2.2.2. Casques réalité virtuelle

Une autre modification de cette étude concerne l'ajout des casques de réalité virtuelle. En effet, ces derniers n'étaient pas présents dans le volet 2 de l'étude ADEME-Arcep, mais étaient dans l'étude prospective. Ainsi, on reprend les hypothèses du volet 3 prospective :

- Nombre d'équipements : 971 215 casques à usage personnel, 115 520 à usage professionnel
- Durée de vie : 3 ans
- Consommation annuelle : 1,80kWh par équipement

Les facteurs d'impact sont issus de l'étude CEPiR¹² (Cas d'Etude Pour un Immersif Responsable), on fait l'hypothèse d'une répartition entre les écrans LCD et OLED identique à celle des TV :

Configuration	1	2
Répartition (par hypothèse)	86,7%	13,3%
Nombre de manettes	2	2
Technologie de l'écran	LCD LED	OLED

Tableau 4 – Configurations des casques de réalité virtuelle

2.2.3. Ordinateurs portables professionnels

Enfin, on peut noter une dernière modification qui concerne les ordinateurs portables professionnels. N'étant pas en mesure de retrouver les facteurs d'impact des configurations présentes dans l'étude

¹⁰ <https://librairie.ademe.fr/recherche-et-innovation/6931-l-equipement-des-menages-francais-en-appareils-electrodomestiques.html>

¹¹ <https://librairie.ademe.fr/economie-circulaire-et-dechets/7667-etude-de-l-impact-environnemental-des-usages-audiovisuels-en-france.html>

¹² <https://www.cepir.info/>

ADEME-Arcep, on fait l'hypothèse que les configurations et leur répartition restent identiques entre ordinateurs professionnels et personnels.

2.3. Tier 2 – Réseaux

Pour mettre à jour la brique réseaux, la modélisation simplifiée de l'étude ADEME-Arcep, basée sur une estimation des achats d'équipements réseaux des FAI en 2020, a été remplacée par les résultats de l'étude¹³ sur l'empreinte environnementale de la fourniture d'accès à internet en France. Cette dernière a été réalisée en 2023 à partir de l'agrégation des données spécifiques aux opérateurs ainsi qu'aux données de la base NégaOctet. Elle a permis de modéliser les impacts environnementaux des réseaux fixe et mobile à partir d'une modélisation du parc d'équipements (et non seulement des achats), dont l'impact est amorti sur leur durée de vie, permettant une approche cohérente avec la modélisation des deux autres tiers du numérique. En parallèle, ces travaux avaient permis de réaliser l'ACV des principaux FAI et ainsi mettre à jour le RCP Fourniture d'accès à Internet sur la base des retours d'expérience.

Il faut cependant noter que le mix électrique de cette étude a été modifié, afin de rester cohérent sur l'ensemble des tiers. Le mix électrique EcoInvent a donc été remplacé par le mix électrique de l'étude ADEME-Arcep de 2022.

2.4. Tier 3 – Data centers

L'étude ADEME-Arcep répertorie les data centers situés en France, avec 5 catégories : Public Local, Public National, Entreprises, Colocation et HPC. Cette approche était donc une approche « production », et ne prend pas en compte les usages français hébergés à l'étranger (et ne retranche pas les usages étrangers hébergés en France). Or une partie importante des usages en France sont hébergés à l'étranger (environ 53%) ce qui représente des impacts très loin d'être négligeables.

Dans cette étude, les usages français hébergés à l'étranger ont été pris en compte, en s'appuyant notamment sur le modèle « Masanet¹⁴ », comme l'avait fait Hubblo¹⁵.

2.4.1. Modèle Masanet

Le modèle Masanet s'appuie sur les données Cisco, qui répertorie la consommation électrique mondiale des Data Centers, avec une répartition par type de data centers, par usage (stockage, ...), ou encore par région du monde.

Ces données n'étant disponibles que jusqu'à 2018, ce modèle contient des projections tendanciennes jusqu'en 2023.

2.4.2. Data centers en France

En reprenant les données ADEME-Arcep pour 2020, on considère que les data centers traditionnels correspondent aux catégories « Public Local », « Public National » et « Entreprises » ; les data centers de type Cloud correspondent à « Colocation », et les data centers de type Hyperscale correspondent à la catégorie « HPC ».

Pour estimer l'évolution des data centers en France entre 2020 et 2022, on applique la même évolution que les projections faites dans le modèle Masanet.

Cela signifie :

- Une augmentation de la consommation d'électricité de 2%
- Une diminution de 7 points de la part de consommation des data centers traditionnels.
- Une augmentation de 6 points de la part de consommation des data centers Hyperscale/HPC

¹³ <https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/6789-evaluation-de-l-empreinte-environnementale-de-la-fourniture-d-acces-a-internet-en-france.html>

¹⁴ Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., and J.G. Koomey, 2020. Recalibrating global data center energy use estimates.

¹⁵ <https://hubblo.org/fr/blog/datacenters-imported-impacts/>

Type de data center	Public Local	Public National	Entreprises	Colocation	Hyperscale /HPC	Total
Superficie de salles informatiques m2 en France en 2022	72 264	57 712	276 839	421 064	33 339	861 217
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	1,63
Consommation électrique totale TWh	0,59	0,61	3,7	5,7	1,2	11,9

Tableau 5 – Données utilisées pour les data centers en France

Les facteurs d'impact annuels par m2 par catégorie de centre de données sont considérés identiques à l'étude ADEME-Arcep.

2.4.3. Usages français hébergés à l'étranger

Pour estimer les usages français hébergés à l'étranger, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Les usages français ont la même répartition par type de data centers que les usages mondiaux donnés dans le modèle Masanet (et donc la production mondiale).
- Pour les data centers traditionnels, l'ensemble des usages français sont hébergés en France.
- Les usages étrangers hébergés en France sont exclus du périmètre : ces usages sont supposés négligeables en termes de trafic par rapport à l'inverse ; et le mix électrique français étant particulièrement favorable, les gains environnementaux en les prenant en compte seraient minimales en comparaison à l'empreinte environnementale des usages français hébergés à l'étranger.
- On considère que les facteurs d'impact de Fabrication, Distribution et Fin de vie sont similaires pour les data centers en France et à l'étranger.
- On considère que la densité, le taux de charge et le PUE sont identiques entre les data centers cloud étrangers et les data centers colocations en France ; et entre les data centers Hyperscale étrangers et les data centers HPC en France.

Type de Centre de données	Répartition mondiale 2022 (Masanet)
Traditionnels	20%
Cloud	34%
Hyperscale	46%

Tableau 6 – Répartition mondiale de la consommation électrique par type de centre de données

En considérant que la consommation électrique des data centers liés en France correspond à 20% des usages français, on peut en déduire la consommation électrique totale des usages français. On peut alors calculer la consommation électrique totale des data centers Cloud et Hyperscale pour les usages français. En retranchant de cette consommation la consommation électrique de ceux situés en France, on en déduit la consommation électrique des data centers Cloud et Hyperscale à l'étranger.

Pour schématiser la méthodologie et les étapes du calcul (en reprenant le schéma réalisé par Hubblo) :

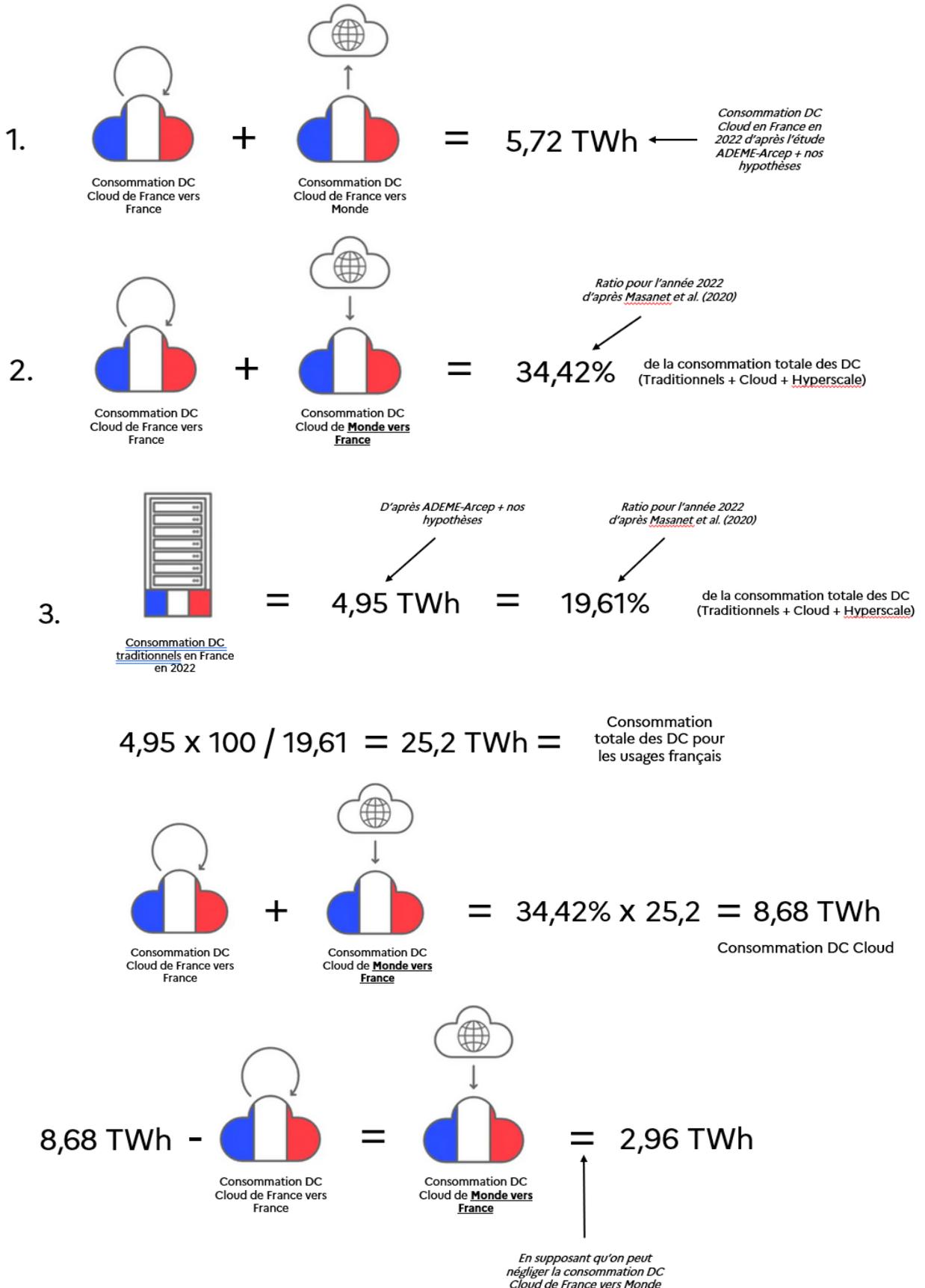


Figure 1 – Détail de la méthodologie pour calculer les data centers à l'étranger

On applique à ces data centers la répartition par région du monde dans le modèle Masanet, et on leur applique un mix électrique UE / Chine ou US en fonction.

Région du monde	Proportion Cloud 2022	Proportion Hyperscale 2022	Mix électrique utilisé (NégaOctet)
Asie-Pacifique	35%	40%	Chine
Europe Centrale et Europe de l'Est	6%	1%	UE
Amérique Latine	2%	4%	Etats-Unis
Moyen-Orient et Afrique	4%	2%	Chine
Amérique du Nord	37%	35%	Etats-Unis
Europe de l'Ouest	17%	19%	UE

Tableau 7 – Hypothèses de répartition du mix électrique des data centers

En faisant les mêmes hypothèses de densité électrique et PUE, on peut estimer la superficie des salles informatiques des data centers Cloud et Hyperscale à l'étranger, et on considère les mêmes facteurs d'impact pour les phases de Fabrication, Distribution et Fin de vie que pour les data centers en France.

Data Centers à l'étranger (usages français)	Cloud	Hyperscale	Total
Superficie totale (m2)	218 339	280 936	499 275
Consommation – mix UE (TWh)	0,67	2,03	2,72
Consommation – mix US (TWh)	1,16	3,98	5,17
Consommation – mix Chine (TWh)	1,14	4,35	5,49
Consommation totale (TWh)	2,96	10,37	13,33

Tableau 8 – Données utilisées pour les data centers à l'étranger

2.5. Synthèse des modifications

Pour synthétiser les principales modifications par rapport à l'étude ADEME-Arcep de 2022 :

- Tier 1 terminaux : le mix entre les télévisions OLED et LCD-LED varie au profit des télévisions OLED plus grandes et plus impactantes, et on intègre les casques de réalité virtuelle.
- Tier 2 réseaux : On intègre les résultats de l'étude spécifique sur l'évaluation de l'empreinte environnementale la fourniture d'Accès à Internet sur l'année 2022¹⁶, en modifiant le mix électrique pour être cohérent avec l'ensemble.
- Tier 3 data centers : On prend en compte les usages français hébergés à l'étranger à l'aide du modèle Masanet, avec lequel on fait également évoluer les data centers situés en France.

¹⁶ <https://bibliothèque.ademe.fr/industrie-et-production-durable/6789-evaluation-de-l-empreinte-environnementale-de-la-fourniture-d-acces-a-internet-en-france.html>

3. 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 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%.

	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	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - kWh
Résultats à l'échelle de la France et par an	1,15E+06	1,11E+12	1,89E+08	5,33E+11	2,95E+10	1,24E+11	1,78E+03	7,79E+07	1,17E+11	1,20E+12	6,48E+10
Intervalle de variation - Minimum	59,1%	60,0%	50,0%	51,1%	50,8%	65,3%	57,0%	51,2%	54,9%	60,3%	59,3%
Intervalle de variation - Maximum	159,0%	159,9%	184,4%	185,5%	183,2%	148,0%	166,4%	182,1%	176,0%	159,6%	165,0%
Résultats par habitant et par an	1,69E-02	1,64E+04	2,78E+00	7,84E+03	4,34E+02	1,83E+03	2,63E-05	1,15E+00	1,72E+03	1,77E+04	9,55E+02

Tableau 9 – Evaluation globale du secteur du numérique pour les usages français pendant 1 an

L'impact sur le changement climatique est de 29,5Mt eq. CO₂. Cela correspond aux émissions directes d'un parc de 21 547 086 véhicules particuliers (considérant 12 223 km par véhicule¹⁷, et des émissions moyennes de 112 g CO₂ eq./km¹⁸).

Comparé¹⁹ au 671MT CO₂ eq. total en 2022, cela signifie que le secteur du numérique est responsable de 4,4% de l'empreinte carbone de la France, soit à peu près équivalent au secteur des poids lourds.

La consommation électrique pour les équipements et infrastructures numériques en France est de 51,5TWh, ce qui peut être comparé aux 452,8 TWh totaux²⁰, ce qui signifie que les équipements et infrastructures numériques sont responsables de 11,3% de la consommation électrique française.

A noter qu'en incluant la consommation des data centers à l'étranger, on obtient 64,9TWh de consommation électrique liée aux usages numériques français, soit 14,3% de la consommation électrique française.

¹⁷ Bilan annuel des transports en 2019 : bilan de la circulation, 2020, Ministère de la transition écologique

¹⁸ <https://carlabelling.ademe.fr/chiffrescles/r/evolutionTauxCo2>

¹⁹ Année 2022. Source : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/emissions-de-gaz-effet-de-serre-et-empreinte-carbone-en-2022-syntheses-des-connaissances-en-2023>

²⁰ Bilan électrique 2022, RTE

A l'échelle d'une personne habitant en France, cela correspond à 434 kg eq. CO₂, soit 22% des émissions soutenables (2 tonnes par personne et par an). On peut également noter qu'une personne mobilise 1,7 tonnes de matériaux par an pour son utilisation du numérique.

3.1. Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg	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	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (usage) - MJ
TIER 1 – Terminaux utilisateur	85,8%	54,9%	48,3%	53,6%	49,5%	64,2%	52,9%	50,8%	59,1%	54,5%	63,9%
TIER 2 - Réseaux	5,7%	9,3%	4,1%	4,0%	3,8%	11,2%	8,0%	5,2%	5,3%	9,5%	13,0%
TIER 3 – Data centers	8,5%	35,8%	47,7%	42,4%	46,7%	24,5%	39,1%	44,0%	35,6%	36,0%	23,1%

Tableau 10 – Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques

On constate que les terminaux utilisateurs représentent la majorité des impacts sur la totalité des indicateurs, mais en particulier sur l'épuisement des ressources minérales. On peut également noter que la prise en compte des usages français hébergés à l'étranger a augmenté considérablement la part des data centers pour l'indicateur changement climatique, qui devient similaire à celle des équipements.

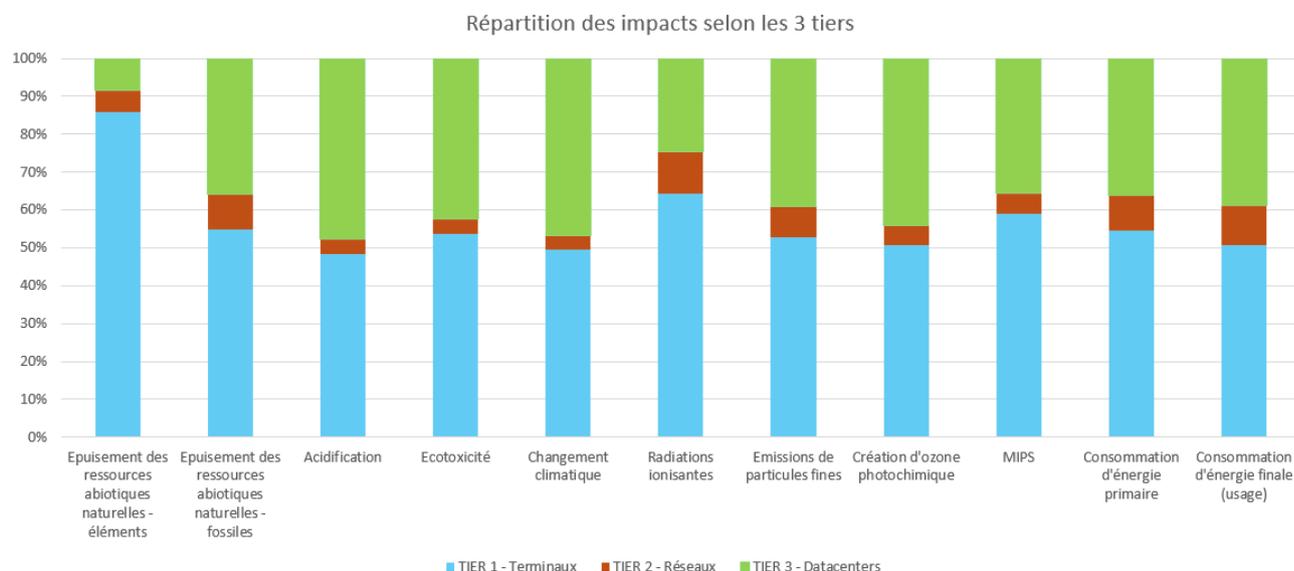


Figure 2 – Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques

3.2. Répartition selon les phases du cycle de vie

Dans le tableau suivant, on différencie la phase d'utilisation et les autres.

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments - kg	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	Consommation d'énergie primaire - MJ
TIER 1 – Fabrication, Distribution, Fin de vie	85,7%	17,0%	41,5%	50,7%	42,1%	18,3%	25,3%	44,2%	54,6%	16,1%
TIER 1 - Utilisation	0,1%	37,9%	6,7%	2,9%	7,5%	45,9%	27,7%	6,7%	4,6%	38,6%
TIER 2 – Fabrication, Distribution, Fin de vie	5,6%	1,4%	2,5%	2,9%	1,8%	1,9%	2,0%	3,1%	4,4%	1,5%
TIER 2 - Utilisation	0,1%	7,9%	1,6%	1,1%	2,0%	9,4%	6,0%	2,1%	0,9%	8,0%
TIER 3 – Fabrication, Distribution, Fin de vie	8,4%	7,3%	14,9%	15,8%	16,5%	4,3%	9,7%	14,6%	15,5%	7,2%
TIER 3 - Utilisation	0,1%	28,5%	32,8%	26,6%	30,3%	20,3%	29,4%	29,4%	20,0%	28,6%

Tableau 11 – Décomposition des impacts par phase du cycle de vie

Si les données entre fabrication, distribution et fin de vie sont agrégées, c'est bien la phase de fabrication qui représente l'essentiel de l'impact. On constate donc ici que la fabrication des équipements utilisateur et l'utilisation des data centers représentent plus de 70% des impacts sur l'indicateur changement climatique.

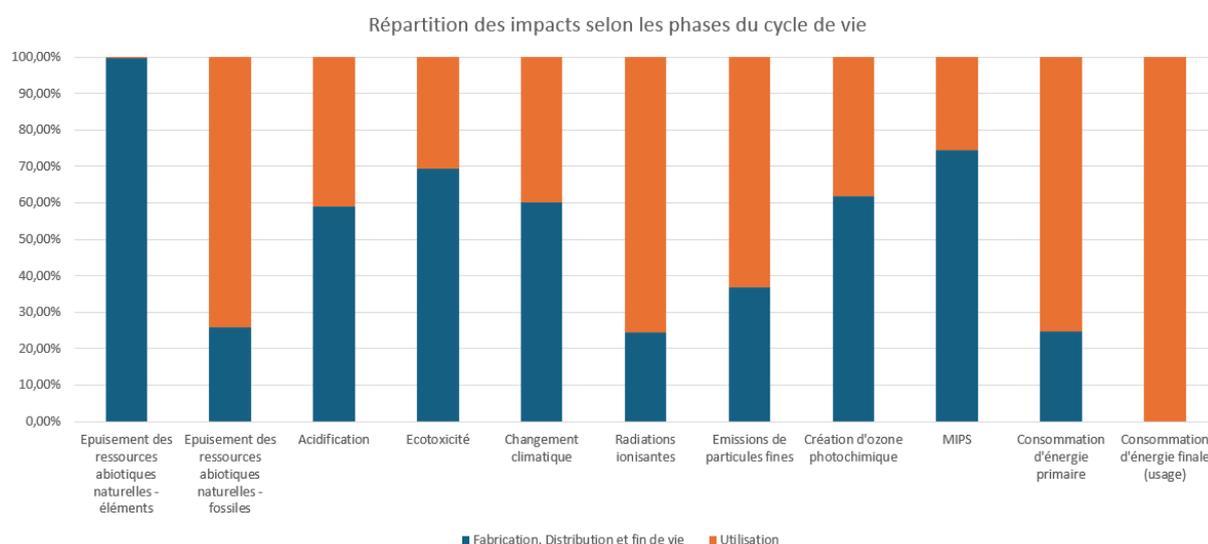


Figure 3 – Décomposition des impacts par phase du cycle de vie

3.3. Comparaison avec l'étude précédente

Pour avoir des comparaisons cohérentes, on compare la présente étude avec l'étude ADEME-Arcep sur les données 2020, mais également une version corrigée en prenant en compte les data centers à l'étranger, sur la base de l'article de Hubblo.

Sur l'indicateur changement climatique, cela donne :

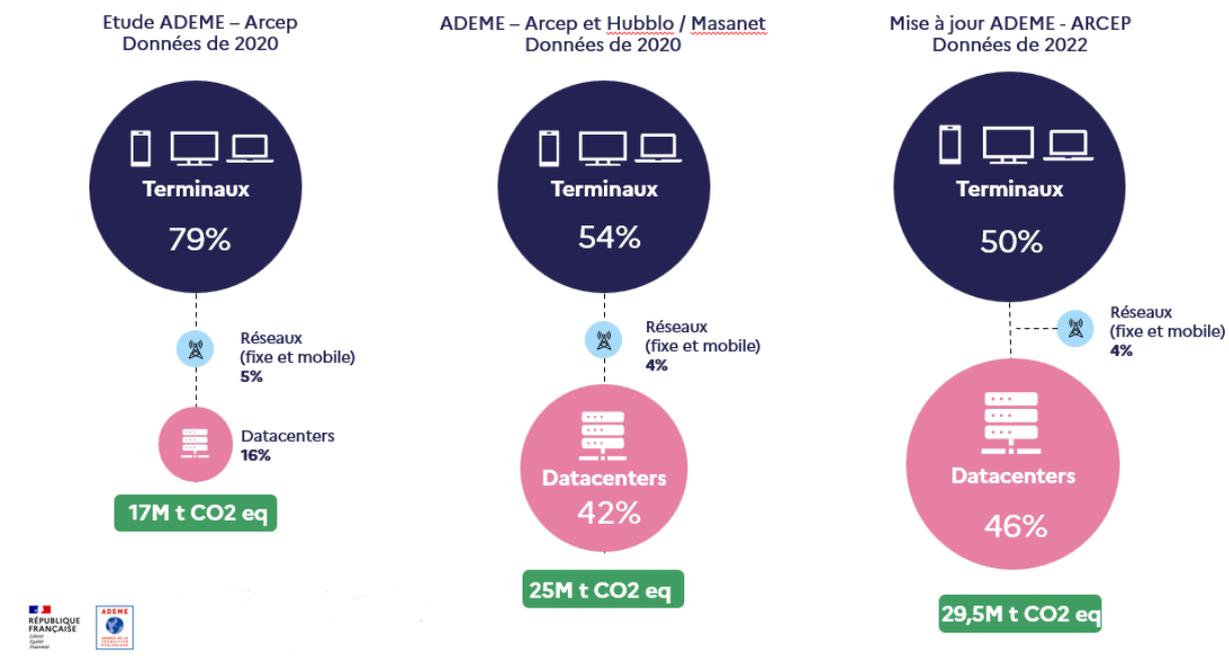


Figure 4 – Comparaison des résultats avec les études précédentes – par tier

La prise en compte des data centers hébergés à l'étranger pour l'étude de 2020 augmentait déjà de 47% les émissions liées au secteur du numérique. La présente mise à jour aboutit à des émissions 70% supérieures à l'étude ADEME-Arcep précédente.

L'augmentation est essentiellement due aux data centers, mais également à la prise en compte des évolutions dans la répartition des TV, l'augmentation de la part d'OLED étant responsable d'environ 1 million de tonnes équivalent CO2 par an.

Il est important de garder en tête que si la part des terminaux diminue considérablement, les émissions absolues sont croissantes ; c'est bien la prise en compte des émissions liées aux data centers à l'étranger qui explique cette évolution de répartition.

En comparant l'indicateur changement climatique pour les différentes phases du cycle de vie :

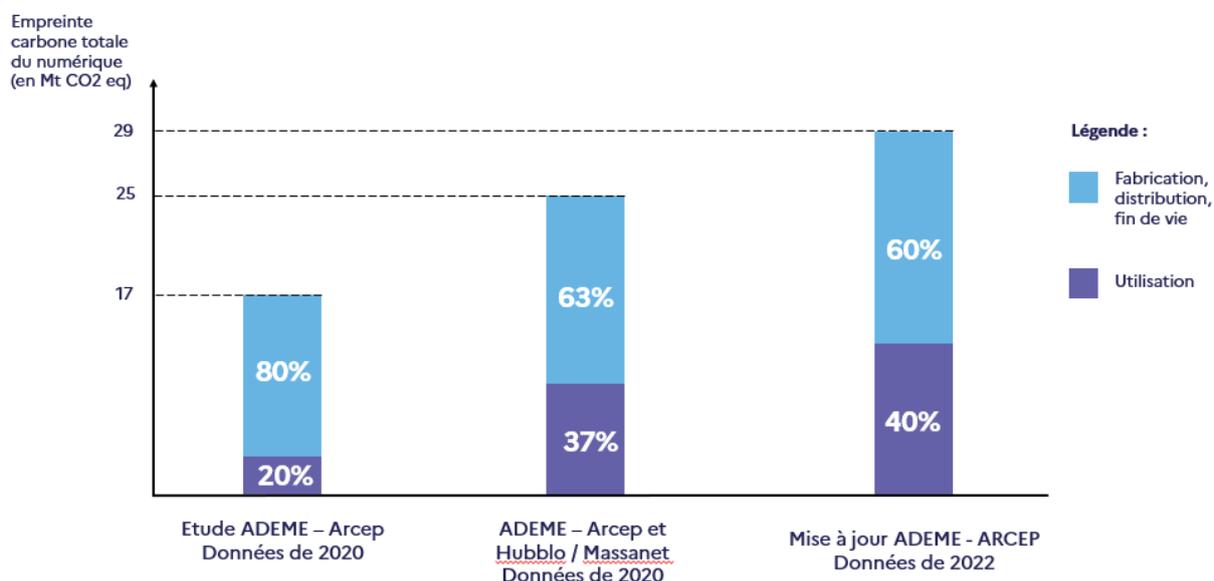


Figure 5 – Comparaison des résultats avec les études précédentes – par phase du cycle de vie

De la même manière, la prise en compte des data centers à l'étranger entraîne une évolution importante dans la répartition des phases : la part liée à l'utilisation augmente considérablement.

Si l'on compare les résultats entre le dernier rapport et la présente mise à jour sur les 4 indicateurs majeurs : épuisement des métaux, épuisement des ressources fossiles, changement climatique et consommation d'énergie finale, on constate que la hausse est particulièrement importante pour l'indicateur changement climatique.

C'est bien la prise en compte des data centers à l'étranger qui entraîne la différence la plus importante, liée au mix électrique particulièrement carboné aux Etats-Unis et en Chine : pour une hausse de 30% de consommation d'énergie finale, on a une hausse de 70% des émissions de CO2. A noter qu'il n'y a pas une hausse de 30% de la consommation électrique liée au numérique en France, puisque la majeure partie de la hausse vient des data centers à l'étranger.

Le graphique ci-dessous présente une comparaison entre les résultats de l'étude de 2022 et la présente mise à jour pour les 4 indicateurs principaux :

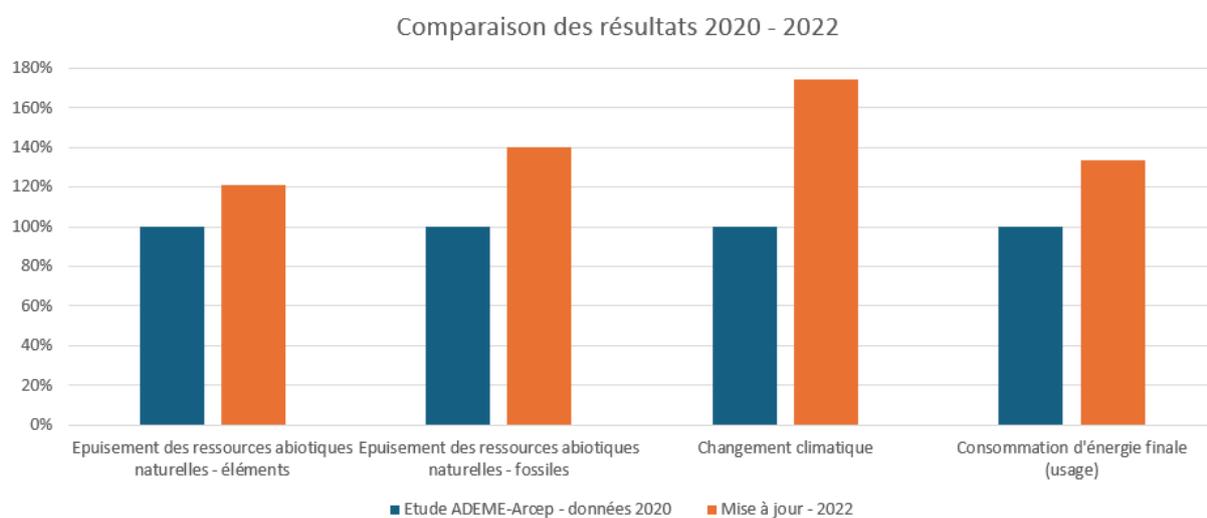


Figure 6 – Comparaison des résultats avec l'étude précédente sur les principaux indicateurs

Le graphique ci-dessous compare la consommation d'électricité des usages numériques français en 2020 et 2022. Pour la consommation en France, la mise à jour entraîne une légère baisse de la consommation électrique (qui vient de la baisse de la consommation des réseaux, liée en partie à la transition vers la fibre optique moins consommatrice). Néanmoins, la mise à jour estime à 13 TWh la consommation électrique des data centers situés à l'étranger qui hébergent des usages français.

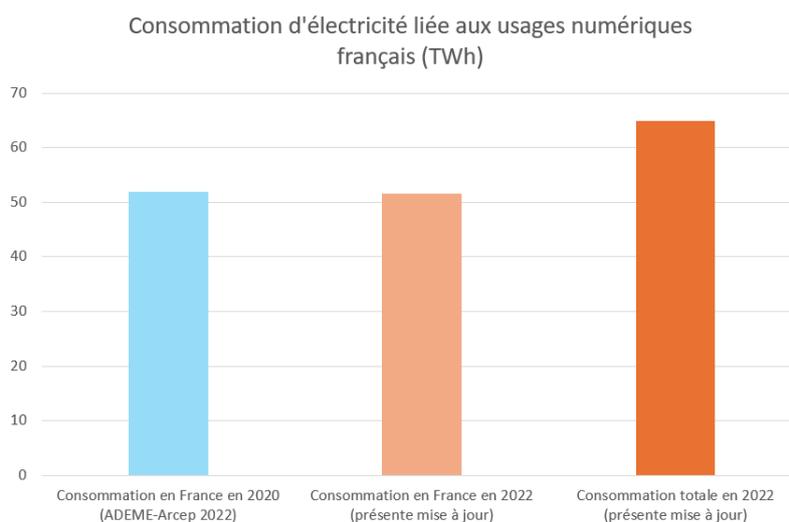


Figure 7 – Comparaison de la consommation d'électricité

3.4. Analyse territoriale

Enfin, on peut également comparer les résultats entre l'étude de 2022 et la présente étude sur le même périmètre, c'est-à-dire en ne prenant pas en compte les data centers à l'étranger.

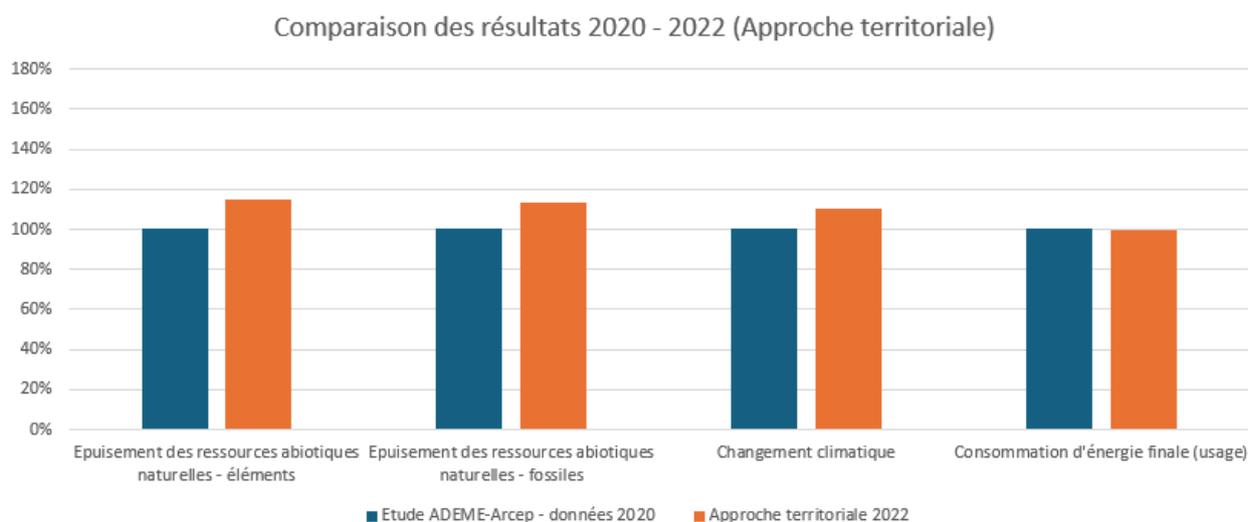


Figure 8 – Comparaison des résultats avec l'étude précédente – Approche territoriale

On constate que les variations ne sont pas aussi significatives (pas au-delà d'une augmentation de 20%), mais il est important de noter que ces variations sont essentiellement portées par l'évolution dans le mix des télévisions.

A noter également que si la consommation d'électricité liée au numérique en France diminue, sa part dans la consommation électrique française augmente (de 10% à 11%) puisque la consommation électrique française a diminué entre 2019 et 2022.

4. Analyse de sensibilité

Pour l'analyse de sensibilité, celles de l'étude ADEME-Arcep précédente ont été reprises pour la part des équipements, ainsi qu'une analyse en faisant varier la part des écrans OLED pour les télévisions. Pour la partie data centers, 2 cas d'étude ont été retenus : 30% d'usages importés, et 70% d'usages importés, notre cas de base étant à 53%.

4.1. Analyse de sensibilité sur les terminaux

Les analyses de sensibilité de l'étude ADEME-Arcep ont été reprises ; pour les casques de réalité virtuelle, on fait varier les paramètres de + ou - 20%.

4.1.1. Variation du nombre de terminaux

Le nombre de terminaux varie de manière importante selon les sources ; on obtient les résultats suivants au global :

	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	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%
Min	71,8%	82,3%	84,1%	82,7%	83,7%	79,8%	82,8%	83,2%	81,2%	82,4%	83,7%
Max	125,6%	116,4%	113,4%	116,5%	113,2%	121,6%	115,5%	114,6%	118,1%	116,2%	115,4%

Tableau 12 - Analyse de sensibilité sur le nombre de terminaux

4.1.2. Variation de la durée de vie

A noter ici que le « minimum » correspond aux hypothèses maximales de durée de vie. On obtient les résultats suivants au global :

	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	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%
Min	86,2%	97,2%	93,2%	91,7%	93,1%	97,0%	95,9%	92,8%	91,2%	97,4%	100,0%
Max	121,1%	104,3%	110,6%	113,0%	110,7%	104,4%	106,4%	111,2%	113,8%	104,0%	100,0%

Tableau 13 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie des terminaux

4.1.3. Variation de la consommation électrique

4	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments naturels	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	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%
Min	100,0%	93,0%	98,8%	99,5%	98,6%	91,5%	94,9%	98,8%	99,2%	92,9%	90,6%
Max	100,0%	109,0%	101,6%	100,7%	101,8%	110,9%	106,5%	101,6%	101,1%	109,1%	112,0%

Tableau 14 - Analyse de sensibilité sur la consommation électrique des terminaux

La consommation électrique des terminaux n'a pas un impact prédominant sur l'indicateur changement climatique, ce qui explique la variation particulièrement faible.

4.1.4. Variation de la répartition des télévisions

On fait varier la part des grands écrans OLED : le cas minimum est à 10%, le cas maximum à 20%.

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments naturels	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	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%
Min	100,4%	99,5%	99,3%	98,8%	99,0%	100,0%	99,6%	99,1%	99,6%	99,5%	100,0%
Max	99,2%	101,0%	101,3%	102,4%	102,0%	100,0%	100,7%	101,8%	100,7%	101,0%	100,0%

Tableau 15 - Analyse de sensibilité sur la répartition des télévisions

4.1.5. Analyse de sensibilité cumulée - équipements

En cumulant toutes ces variations sur les équipements on obtient :

	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	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%
Min	62,8%	75,3%	78,3%	76,0%	77,5%	71,9%	76,3%	77,0%	75,5%	75,5%	77,3%
Max	152,3%	135,2%	131,3%	138,5%	132,5%	141,8%	133,4%	134,2%	139,0%	134,8%	130,9%

Tableau 16 - Analyse de sensibilité cumulée sur les terminaux - Résultats

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	2,92E+10	4,29E+02
Minimum	2,29E+10	3,37E+02
Maximum	3,91E+10	5,76E+02

Tableau 17 - Analyse de sensibilité cumulée sur les terminaux - Focus sur le changement climatique

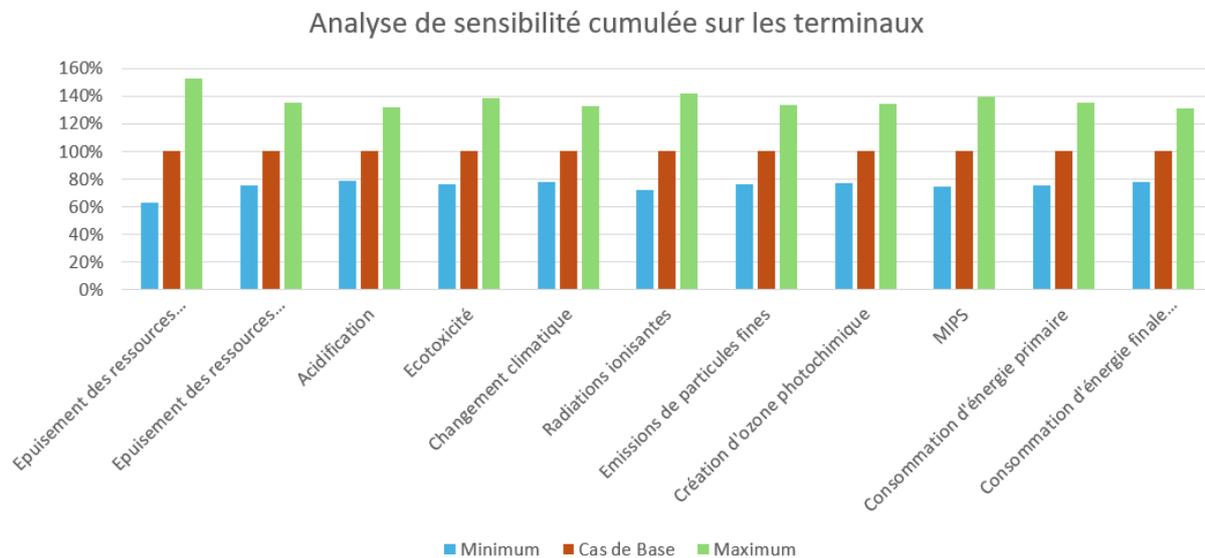


Figure 9 - Analyse de sensibilité cumulée sur les terminaux

4.2. Analyse de sensibilité sur les data centers

4.2.1. Variation sur les data centers en France

On fait varier de + ou - 20% la consommation électrique des data centers en France. Il faut noter qu'avec notre modèle, cela entraîne une variation sur les data centers à l'étranger.

On obtient :

	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	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%
Min	99,0%	93,5%	91,7%	92,9%	92,1%	95,5%	93,0%	92,5%	94,3%	93,4%	92,2%
Max	101,0%	106,5%	108,3%	107,1%	107,9%	104,5%	107,0%	107,5%	105,7%	106,6%	107,8%

Tableau 18 - Analyse de sensibilité sur la consommation électrique des data centers en France

4.2.2. Variation sur les data centers à l'étranger

Notre cas de base étant à 53% de consommation à l'étranger, on fait varier ce paramètre entre 30% et 70%.

	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	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%
Min	96,9%	88,1%	75,5%	78,4%	76,8%	96,3%	84,4%	77,8%	83,1%	88,1%	87,2%
Max	105,1%	119,6%	139,6%	134,9%	138,1%	106,4%	125,5%	136,0%	127,5%	119,6%	121,4%

Tableau 19 - Analyse de sensibilité sur la part importée des data centers

4.2.3. Analyse de sensibilité cumulée – data centers

On obtient :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments naturels - fossiles	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	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%
Min	96,9%	84,3%	72,8%	76,3%	74,2%	92,7%	80,9%	75,3%	81,4%	84,2%	81,9%
Max	105,1%	128,4%	152,3%	145,3%	149,8%	111,1%	135,3%	147,3%	135,2%	128,4%	133,5%

Tableau 20 - Analyse de sensibilité cumulée sur les data centers – Résultats

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	2,95E+10	4,34E+02
Minimum	2,19E+10	3,22E+02
Maximum	4,42E+10	6,51E+02

Tableau 21 - Analyse de sensibilité cumulée sur les data centers - Focus sur le changement climatique

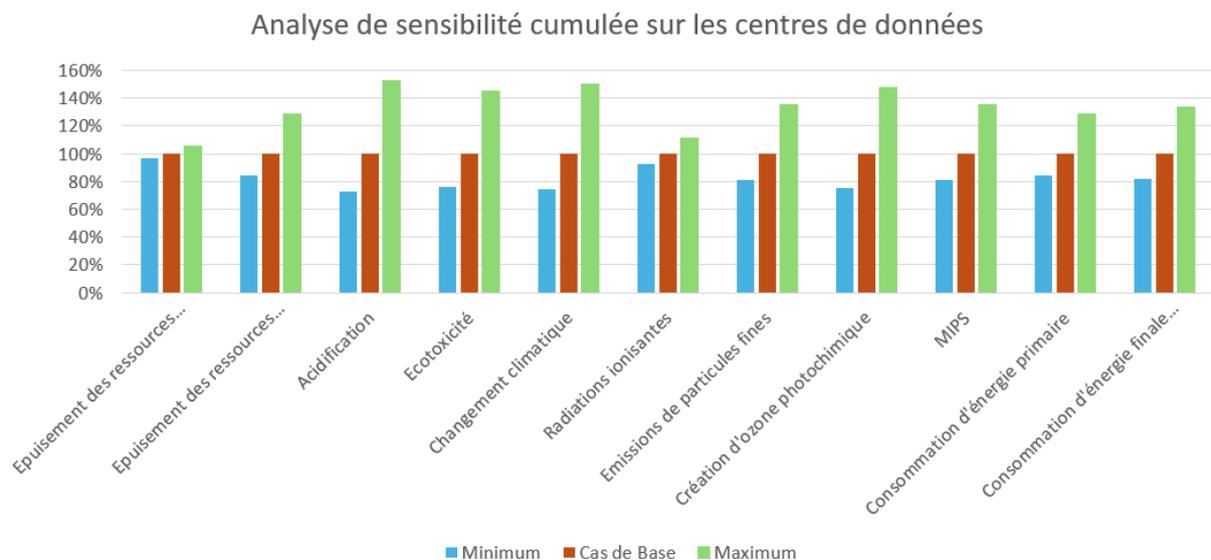


Figure 10 - Analyse de sensibilité cumulée sur les data centers

4.3. Analyse de sensibilité cumulée

En cumulant l'ensemble des hypothèses sur les équipements ainsi que les hypothèses sur les data centers, on obtient les variations suivantes :

	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - éléments naturels	Epuisement des ressources abiotiques naturelles - fossiles	Acidification	Ecotoxicité	Changement climatique	Radiations ionisantes	Emissions de particules fines	Création d'ozone photochimique	MIPS	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%
Min	59,7%	59,6%	51,1%	52,2%	51,7%	64,6%	57,3%	52,4%	55,7%	59,7%	59,2 %
Max	157,4%	163,6%	183,6%	183,8%	182,4%	153,0%	168,8%	181,5%	174,2%	163,3%	164,3%

Tableau 22 - Analyse de sensibilité cumulée

Sur l'ensemble des indicateurs, les résultats varient de 50,7% à 187,5%.

Spécifiquement 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	2,92E+10	4,29E+02
Minimum	1,53E+10	2,25E+02
Maximum	5,38E+10	7,92E+02

Tableau 23 - Analyse de sensibilité cumulée - Focus sur le changement climatique

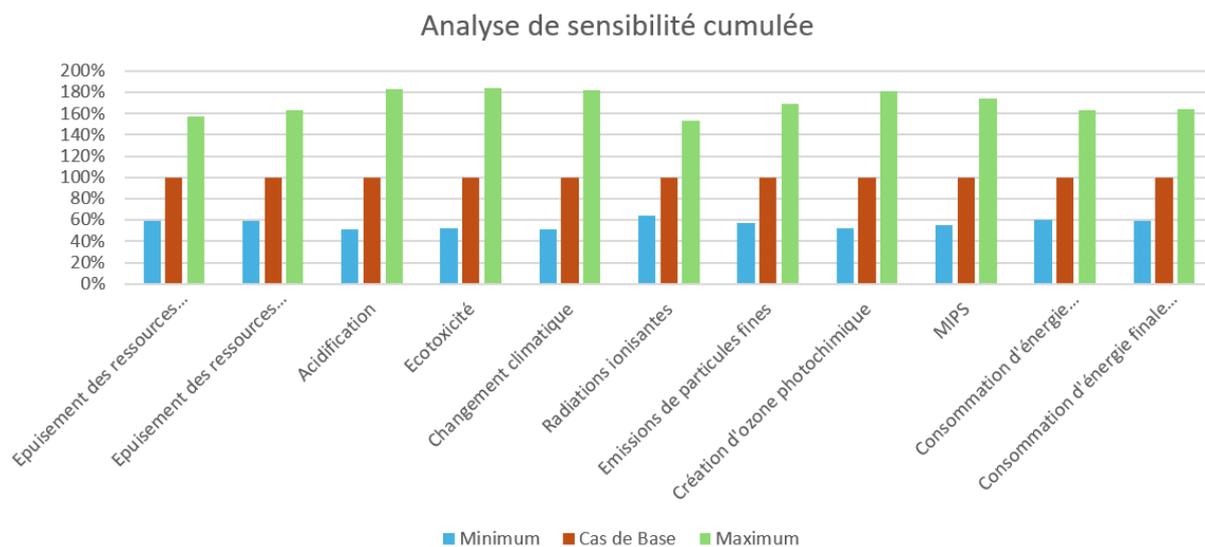


Tableau 24 - Analyse de sensibilité cumulée

Ainsi, les hypothèses les plus favorables entraînent un résultat de 15 millions de tonnes équivalent CO₂, légèrement inférieur au résultat de l'étude ADEME-Arcep de 2022. En revanche, les hypothèses les plus défavorables entraînent un résultat dépassant les 50 millions de tonnes équivalent CO₂, qui rapprocherait l'empreinte du numérique de celle de secteurs principaux comme ceux de l'énergie et du bâtiment.

5. Limites de l'étude

Cette partie a pour but de présenter les limites connues pour en avoir conscience et connaître les points d'amélioration pour des mises à jour futures.

5.1. Limites générales

La limite principale de notre étude concerne les données ICV, qui sont porteuses d'incertitude, en particulier parce que ces données peuvent commencer à être datées, dans ce secteur qui évolue très rapidement. Dans le cadre du programme Alt Impact, co-porté par l'ADEME, le CNRS et l'INRIA, il est prévu de construire une base de données ICV sectorielle du numérique, ce qui répondrait à cette limite.

A noter également que l'empreinte eau n'est pas présente dans cette étude, à cause d'incertitudes trop importantes dans les données. Cet enjeu prend une ampleur croissante avec les nouveaux investissements dans des data centers qui entraînent des conflits d'usage. On peut d'ailleurs noter que la consommation en eau est très variable en fonction des technologies de refroidissement des data centers. Mais cet enjeu dépasse le tiers data centers puisque l'extraction et le raffinage de métaux nécessite également des volumes d'eau importants.

La présente mise à jour se limite à l'état des lieux pour l'année 2022 ; il n'y a donc pas de mise à jour du volet prospectif de l'étude ADEME-Arcep. Les travaux SNBC pourront remédier à ce manquement pour l'indicateur changement climatique.

5.2. Limites sur les équipements

Les données concernant sur le nombre d'équipements, leurs durées de vie et leur consommation électrique présentait déjà des incertitudes, incertitudes amplifiées par leur ancienneté. Ces aspects sont couverts dans les analyses de sensibilité, mais il serait intéressant de pouvoir mettre à jour ces chiffres pour rendre compte des récentes évolutions : augmentation des tailles d'écran, puissance des équipements accrue, augmentation du nombre d'équipements, augmentation du temps d'utilisation...

5.3. Limites sur les réseaux

Les limites sur le volet réseau sont les mêmes que celles de l'étude²¹ de l'impact environnementale de la fourniture d'accès à internet, et notamment avec un certain nombre d'éléments manquants :

- la partie importée des réseaux (réseaux fixe / mobile hors de France)
- les câbles sous-marins
- les réseaux de satellites de télécommunication
- les réseaux LPWAN
- les réseaux locaux (LAN) filaires et sans fil
- les faisceaux hertziens

Des travaux sont en cours avec l'objectif d'estimer l'empreinte de ces différentes « briques manquantes ».

5.4. Limites sur les data centers

Le volet centre de données est porteur d'incertitudes, liées aux hypothèses fortes appliquées pour estimer la part importée.

Pour les data centers situés en France, afin d'être cohérent avec le modèle Masanet, des hypothèses d'évolution entre 2020 et 2022 ont été appliquées. Il est important de noter que le modèle Masanet s'appuyait sur les prévisions de l'Agence Internationale de l'Energie, qui a récemment mis à jour la consommation électrique liée aux data centers dans le monde (plus du double des prévisions pour 2022).

Il est donc particulièrement difficile d'estimer la part des usages hébergés à l'étranger, en particulier parce que les usages hébergés en France et à l'étranger ne sont pas les mêmes : par exemple, le contenu

²¹ <https://bibliothèque.ademe.fr/industrie-et-production-durable/6789-evaluation-de-l-empreinte-environnementale-de-la-fourniture-d-acces-a-internet-en-france.html>

audiovisuel est hébergé en majorité sur des serveurs « cache » situés sur le territoire français. A l'inverse, les algorithmes de recommandation ou les usages liés à l'IA générative, plus gourmands en ressources de calcul, sont davantage situés à l'étranger.

A noter également que les usages étrangers hébergés en France sont supposés négligeables.

Ce secteur étant en évolution très rapide, notamment avec l'arrivée des nouveaux usages, il est essentiel de le surveiller de près. L'Agence Internationale de l'Energie prévoit par exemple un doublement de la consommation électrique des data centers dans le monde d'ici à 2026, pour atteindre une consommation proche de celle du Japon.

Par ailleurs, l'évaluation de l'empreinte environnementale des data centers sur le territoire français repose sur une approche par surface avec une estimation des surfaces totales par typologie de data center qui date de 2020, et semble donc obsolète. Bien que des hypothèses aient été faites pour prendre en compte les évolutions, il y a un travail important d'actualisation à faire pour intégrer les nombreux projets de data centers de colocation ou hyperscaler construits en France ces 4 dernières années. Ce travail est en cours de réalisation dans le cadre d'une étude prospective Data Center. Il manquera cependant un travail de mise à jour spécifique aux data centers en entreprise (data center traditionnels), dont les chiffres sont plus difficiles à obtenir.

6. Conclusions

Cette étude a permis de mettre à jour l'évaluation des impacts environnementaux du numérique en France. Elle établit que les émissions liées à ce secteur en France en 2022 s'élèvent à 29,5Mt équivalent CO₂, soit 4,4% de l'empreinte carbone nationale.

La modification principale de cette étude est la prise en compte des data centers à l'étranger qui hébergent des usages français. Elle fait sensiblement la répartition des impacts en fonction des tiers et des phases du cycle de vie sur l'indicateur changement climatique en particulier :

- 50% des émissions carbone sont liées aux terminaux utilisateurs, 46% aux data centers, et 4% pour les réseaux.
- 60% des émissions carbone sont liées à la fabrication, à la distribution et à la fin de vie des équipements et infrastructures numériques, et 40% à l'utilisation ; ce qui signifie que la phase d'usage reste minoritaire.

Si la part relative liée à la fabrication, ou liée aux équipements diminue, en valeur absolue les émissions augmentent. Cela signifie qu'il faut continuer les efforts pour augmenter la durée de vie des équipements, et réduire le nombre d'équipements numériques. Mais il faut accentuer les efforts au niveau des usages : avec l'arrivée des nouveaux usages (IA générative notamment) qui risque d'entraîner une explosion de la consommation des data centers dans le monde, il faut insister sur l'importance de la sobriété, c'est-à-dire la remise en question de la nécessité de ces usages.

Références bibliographiques

ADEME, Janvier 2022. Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et Analyse prospective. Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France.

ADEME, Mars 2024. Evaluation de l'empreinte environnementale de la fourniture d'accès à internet en France. Action collective de mise en œuvre du RCP Fourniture d'Accès à Internet.

ARCOM, Arcep, ADEME, Octobre 2024. Etude de l'impact environnemental des usages audiovisuels en France.

CONSER EDF R&D, Novembre 2023. L'équipement des ménages français en appareils électrodomestiques.

Google, Juillet 2024. 2024 Environmental Report

Hubblo, Septembre 2023. Impacts importés des datacenters : l'angle mort des analyses territoriales des impacts du numérique

IEA, Janvier 2024. Electricity 2024. Analysis and forecast to 2026.

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

ISO 14044 :2006 – Mangement Environnemental – Analyse du cycle de vie – Exigences et lignes directrices

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., and J.G. Koomey, 2020. Recalibrating global data center energy use estimates.

Microsoft, Mai 2024. 2024 Environmental Sustainability Report

Ministère de la transition écologique, 2020. Bilan annuel des transports en 2019.

RTE, Bilan électrique 2022

Index des tableaux et figures

TABLEAUX

Tableau 1 – Indicateurs pris en compte dans le cadre de cette étude.....	9
Tableau 2 – Configurations des télévisions – usage personnel.....	11
Tableau 3 – Configurations des télévisions – usage professionnel	11
Tableau 4 – Configurations des casques de réalité virtuelle.....	11
Tableau 5 – Données utilisées pour les data centers en France.....	13
Tableau 6 – Répartition mondiale de la consommation électrique par type de centre de données.....	13
Tableau 7 – Hypothèses de répartition du mix électrique des data centers.....	15
Tableau 8 – Données utilisées pour les data centers à l'étranger.....	15
Tableau 9 – Evaluation globale du secteur du numérique pour les usages français pendant 1 an.....	16
Tableau 10 – Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques.....	17
Tableau 11 – Décomposition des impacts par phase du cycle de vie.....	18
Tableau 12 - Analyse de sensibilité sur le nombre de terminaux.....	22
Tableau 13- Analyse de sensibilité sur la durée de vie des terminaux.....	22
Tableau 14- Analyse de sensibilité sur la consommation électrique des terminaux.....	23
Tableau 15 - Analyse de sensibilité sur la répartition des télévisions.....	23
Tableau 16 - Analyse de sensibilité cumulée sur les terminaux - Résultats.....	24
Tableau 17 - Analyse de sensibilité cumulée sur les terminaux - Focus sur le changement climatique.....	24
Tableau 18 - Analyse de sensibilité sur la consommation électrique des data centers en France.....	25
Tableau 19 - Analyse de sensibilité sur la part importée des data centers.....	25
Tableau 20 - Analyse de sensibilité cumulée sur les data centers – Résultats.....	26
Tableau 21 - Analyse de sensibilité cumulée sur les data centers - Focus sur le changement climatique.....	26
Tableau 22 - Analyse de sensibilité cumulée.....	27
Tableau 23 - Analyse de sensibilité cumulée - Focus sur le changement climatique.....	27
Tableau 24 - Analyse de sensibilité cumulée.....	27

FIGURES

Figure 1 – Détail de la méthodologie pour calculer les data centers à l'étranger.....	14
Figure 2 – Décomposition des impacts par tier des équipements et infrastructures numériques.....	17
Figure 3 – Décomposition des impacts par phase du cycle de vie.....	18
Figure 4 – Comparaison des résultats avec les études précédentes – par tier.....	19
Figure 5 – Comparaison des résultats avec les études précédentes – par phase du cycle de vie.....	19
Figure 6 – Comparaison des résultats avec l'étude précédente sur les principaux indicateurs.....	20
Figure 7 – Comparaison de la consommation d'électricité.....	21
Figure 8 – Comparaison des résultats avec l'étude précédente – Approche territoriale.....	21
Figure 9 - Analyse de sensibilité cumulée sur les terminaux.....	24
Figure 10 - Analyse de sensibilité cumulée sur les data centers.....	26

Sigles et acronymes

ACV : Analyse de Cycle de Vie

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

AIE : Agence Internationale de l'Énergie

ARCEP : Autorité de Régulation des Communications Électroniques, des postes et de la distribution de la Presse

ARCOM : Autorité de Régulation de la Communication Audiovisuelle et Numérique

DC : Data Centers

GAFAM : Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft

GES : Gaz à Effet de Serre

HPC : High Performance Computing

IoT : Internet of Things

ISO : International Organization for Standardization

ITU : International Telecommunication Union

LCD : Liquid Crystal Display

OLED : Organic Light-Emitting Diode

PCR : Product Category Rules

PUE : Power Usage Effectiveness

RCP : Référentiel Catégoriel de Produit

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, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - 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 de la Cohésion des territoires, du ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

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.



EXPERTISES

Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France

Cette étude vise à mettre à jour les données de l'étude menée avec l'Arcep en 2020 sur l'évaluation de l'impact environnemental du numérique en France, aujourd'hui et demain. En effet, n'avait été pris en compte dans les hypothèses de l'étude de 2020, que les data centers situés sur le territoire français. Or une partie importante des usages en France sont hébergés à l'étranger (environ 53 %) ce qui représente des impacts très loin d'être négligeables. Par ailleurs, entre 2020 et 2022, le mix entre les télévisions OLED et LCD-LED a varié au profit des télévisions OLED plus grandes et plus impactantes ainsi que les usages notamment due à l'arrivée massive de l'IA.

Les principaux résultats de cette mise à jour sont les suivant :

- L'empreinte carbone générée par un an de consommation de biens et services numériques en France en 2022 représente l'équivalent de 4,4 % de l'empreinte carbone nationale soit 29,5 Mt CO₂éq.

- Outre l'empreinte carbone, l'épuisement des ressources abiotiques (minéraux & métaux) ressort comme un critère pertinent pour décrire l'impact environnemental du numérique.

- 11 % de la consommation électrique française est liée aux services numériques soit 51,5 TWh (65 TWh si on prend en compte la consommation électrique des data centers situés à l'étranger).