

ÉTUDE

Impacts environnementaux du numérique dans le monde

- Troisième édition, 2025 -



Etude : Impacts environnementaux du numérique dans le monde

Version : 1.0

Date de publication : 4 février 2025

Auteur·rices :

- Louise AUBET, Membre du groupe Études, experte Green IT, Resilio
- Sylvain CHERY, Membre du groupe Études, Agile Partner
- Auban DERREUMAUX, Membre du groupe Études, innov'ICTion
- Lorraine DE MONTENAY, Co-responsable du groupe Études, experte Green IT, indépendante
- Brice PASIAN, Co-responsable du groupe Études, expert Green IT, indépendant
- Anne RABOT, Membre du groupe Études, experte Green IT, Resilio

Contribut·eur·rices :

- Frédéric BORDAGE, Fondateur GreenIT.fr
- Florian COLLONGE, Membre du groupe Études, Green IT Panda
- Astrid DHENAIN, Consultante, Resilio
- Renaud HELUIN, Consultant Conception Responsable et Green IT, NovaGaïa
- Etienne LEES-PERASSO, Consultant ACV & écoconception, indépendant

Relecteur :

- Augustin WATTIEZ, Doctorant, UC Louvain

Conception graphique et mise en page :

- marie-graphiste.com, Graphiste, indépendante

Contact :

- Association GreenIT : contact@greenit.eco

Comment citer ce rapport :

« *Impacts environnementaux du numérique dans le monde, troisième édition* », Association Green IT, 2025 (EENM 2025), <https://t.ly/greeniteco.IENM2025>

Licence :



Ce travail est produit et diffusé par l'association Green IT sous licence Creative Commons CC-BY-NC-ND. Vous avez l'obligation de transmettre ce document en l'état, sans modification, intégralement, en incluant les informations contenues sur cette page. Vous ne pouvez pas modifier ce document.

Version française complète de la licence :

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

L'association Green IT refuse explicitement que ce document serve à l'entraînement / aux réponses d'une IA.

Partout dans le monde, les usages numériques gagnent du terrain. Mais quels sont les impacts sur l'environnement du numérique, à l'échelle mondiale, aujourd'hui ? Cette étude, évalue **les impacts environnementaux du numérique à l'échelle mondiale**. Ses résultats mettent en lumière que le numérique est tout sauf immatériel, avec autour de **6 équipements actifs par internaute en 2023**. Ainsi, si le numérique était un pays, il émettrait autant de Gaz à Effet de Serre (GES) que le **2 fois le Canada ou 5,5 fois la France**.

Parmi les indicateurs qui ressortent particulièrement, la **contribution du numérique à l'épuisement des ressources en minéraux et métaux se distingue**, dépassant pour la première fois l'indicateur du potentiel de réchauffement climatique dans l'ordre des indicateurs qui ont le plus de poids.¹

Le numérique contribue aux tensions sur les ressources et n'existe pas sans ces minéraux et métaux, qui sont des ressources finies, dont dépendent aussi d'autres secteurs tels que la santé, les infrastructures énergétiques et la défense. Faire un usage immodéré du numérique contribue ainsi à mettre en péril la disponibilité de ces ressources pour les générations futures et la transition énergétique.²

Cet exemple montre l'utilité d'une **Analyse du Cycle de Vie (ACV)** multicritère, méthode d'évaluation retenue pour cette étude. A ce titre, on peut espérer que les impacts sociaux, tels que l'exploitation humaine, pourront aussi être un jour considérés quantitativement pour ces évaluations.

Au niveau mondial, contrairement à l'échelle européenne et française, la phase d'utilisation a proportionnellement plus d'impact que la phase de fabrication, sauf pour la contribution à l'épuisement des ressources en minéraux et métaux et les émissions de radiations ionisantes, indicateurs pour lesquels la phase de fabrication reste prépondérante.

Cette étude met aussi en exergue la relation entre les impacts du numérique et le budget soutenable pour rester sous le seuil critique des limites planétaires. Ainsi, **le numérique consomme 40% du budget annuel soutenable d'un-e internaute, budget soutenable pour rester en dessous de 1,5°C de réchauffement climatique** conformément aux accords de Paris.³ Ce qui apparaît clairement disproportionné en rapport aux besoins essentiels : manger, boire, se loger, etc.

La trajectoire du numérique tend fortement vers un **accroissement systémique du nombre d'équipements, d'usages, et du nombre d'utilisateur-rices, , et ce, au dépend des conséquences environnementales**. Ceci est particulièrement notable, concernant les équipements utilisateur-rices, pour les **téléviseurs**, les **smartphones**, et les **objets connectés**. De même, l'essor fulgurant de l'**IA générative** en peu de temps est déjà visible au sein des impacts environnementaux du numérique, totalisant, **uniquement pour les serveurs configurés pour l'IA, entre 1% à 5% des impacts du numérique selon les indicateurs** (4% pour les émissions de GES).

Face à ces constats, nos recommandations concernant la réduction des impacts environnementaux se focalisent sur la **sobriété numérique** et les mécanismes pour la mettre en œuvre, à la fois sur la réduction des impacts liés à la fabrication et liés à l'utilisation des équipements et des services numériques : **arbitrer nos usages, moins d'équipements, et les faire durer plus longtemps**. Ces recommandations font l'objet d'une section dédiée, à destination des pouvoirs publics, des organisations et des citoyen-nes.

1 Malgré une méthode de pondération nettement plus favorable à la mise en exergue du potentiel de réchauffement climatique. Voir à ce titre les résultats de la normalisation pondération et les facteurs de pondération de la Commission Européenne dans la méthodologie PEF, traité en annexe.

2 Voir à ce titre le site https://www.mineralinfo.fr/fr/substances?title=&field_usages_target_id=151&sort_by=field_criticit_e_a_plat_value, ou encore les données de l'USGS. Pour prendre un exemple dont dépendent beaucoup de secteurs comme le numérique : si la production de nickel de 2023 restait identique chaque année, il resterait 36 ans de nickel avant épuisement des réserves mondiales connues (calculé à partir de <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-nickel.pdf>).

3 L'Accord de Paris | CCNUCC, <https://unfccc.int/fr/a-propos-des-ndcs/l-accord-de-paris>

Remerciements

Les auteurs·rices souhaitent remercier l'ensemble des contributeurs·rices, relecteurs·rices et intervenant·s cité·es en introduction, ainsi que tous les membres de l'association ayant participé par leurs conseils ou actions à rendre cette étude réalisable et diffusable.

Nous souhaitons également remercier :

- Frédéric Bordage, pour sa confiance et son partage de connaissance ayant permis l'appropriation des travaux réalisés dans les précédentes éditions de ce rapport.
- Amaël Parreaux-Ey (Resilio), pour son soutien dans la promotion de l'étude.
- Gaël Duez (Green IO) pour la mise en lumière de l'étude lors du Green IO Paris le 5 décembre 2024.
- Nos proches qui nous ont soutenus pendant la rédaction de l'étude.

Nous soutenir

Cette étude a été pilotée et réalisée entièrement bénévolement par les membres de l'association Green IT. L'association est uniquement financée par les dons, les adhésions et les appels à projet auxquels elle répond.

Pour poursuivre nos actions (études, plaidoyer, sensibilisation du grand public, développement de ressources et outils libres...), nous avons besoin de votre soutien !



Je fais un don

L'association Green IT est reconnue d'intérêt général, ce qui vous permet de déduire 66% du montant de votre don de vos impôts en tant que particulier et 60% en tant qu'entreprise.



Je rejoins l'association

Les membres de l'association donnent de leur temps et de leurs compétences dans ses projets de sensibilisation du grand public, de réalisation d'études et de plaidoyer. L'adhésion est ouverte uniquement aux personnes physiques. Les personnes morales qui souhaitent nous soutenir peuvent nous faire un don ou nous contacter pour la mise en place d'une convention de mécénat de compétence.

GLOSSAIRE

Analyse de sensibilité : Type d'analyse faisant partie de la phase d'interprétation des impacts dans une analyse du cycle de vie. Elle consiste à faire varier un paramètre (quantité, durée de vie, masse, etc.) pour étudier l'influence sur les résultats. Cela permet de déterminer quels sont les paramètres dimensionnants et d'estimer l'incertitude sur les résultats et de renforcer la fiabilité de l'étude dans son ensemble.

Analyse du Cycle de Vie (ACV) : Méthode d'évaluation normalisée permettant de réaliser un bilan des environnemental multicritère et multi-étape d'un système (produit, service, entreprise ou procédé) sur l'ensemble de son cycle de vie (conception, fabrication, utilisation, fin de vie, etc.).

Application Specific Integrated Circuit (ASIC) : Circuit intégré spécialisé pour un type spécifique d'application, qui ne peut pas être reprogrammé une fois fabriqué.

Blockchain : Une blockchain est un registre numérique qui enregistre en toute sécurité les données de transaction sur un réseau distribué d'ordinateurs. La blockchain garantit l'intégrité des données grâce à sa nature immuable résultant de la cryptographie et des mécanismes de consensus. Ainsi une fois l'information enregistrée, elle ne peut pas être modifiée rétroactivement. La blockchain constitue le socle des réseaux de cryptomonnaies comme le Bitcoin et l'Ether.

Box TV : Dispositif externe relié à la TV permettant l'utilisation de multiples sources, le câble ou onde terrestre, par satellite, ou par internet (IPTV). Les équipements reliés à internet permettent d'utiliser des applications pour consommer les services vidéo fournis par des plateformes de streaming ou de VOD

Ecoconception : Également « éco-conception ». Approche méthodique qui prend en considération les aspects environnementaux du processus de conception et développement dans le but de réduire les impacts environnementaux négatifs tout au long du cycle de vie d'un produit.

Energie finale : L'énergie dite « finale » est celle qui est utilisée à la satisfaction des besoins de l'homme. La consommation d'énergie finale est égale à la consommation d'énergie primaire moins toutes les pertes d'énergie au long de la chaîne industrielle.

Energie primaire : L'énergie primaire désigne les différentes sources d'énergie disponibles dans la nature avant transformation.

Feature phone : (aussi appelé téléphone mobile basique) Téléphone mobile limité à des fonctions de base de la téléphonie, essentiellement les appels téléphoniques et l'envoi et la réception de SMS et la gestion d'un répertoire. Certaines fonctions multimédia (photographie, lecteur MP3, etc.) peuvent également être disponibles.

Field-Programmable Gate Array (FPGA) : Circuit intégré fait pour être (re)programmé par l'utilisateur après sa fabrication.

Gaz à effet de serre (GES) : Tout gaz contribuant à l'effet de serre, par absorption du rayonnement infrarouge. Par exemple, le dioxyde de carbone, le méthane, l'eau, etc.

Hyperscaler : Centre informatique à grande échelle spécialisé dans la fourniture de grandes quantités de puissance de calcul et de capacité de stockage aux organisations et aux individus du monde entier.

Internet des Objets (IoT) : (IoT de l'anglais (the) Internet of Things) Interconnexion entre l'Internet et des objets, des lieux et des environnements physiques. Les équipements reliés à l'Internet sont aussi appelés des objets connectés.

Intelligence Artificielle (IA) : Ensemble des techniques visant à réaliser des machines et des programmes informatiques capables de simuler des capacités de l'intelligence humaine (création, raisonnement, apprentissage, etc.).

Mix électrique : Le mix électrique représente la composition de sources d'énergies primaires, renouvelables et non renouvelables utilisées dans la production de l'électricité dans une région géographique donnée.

Smartphone : Catégorie de téléphone mobile capable d'exécuter de nombreuses fonctionnalités d'un ordinateur, disposant généralement d'une interface à écran tactile, d'un accès Internet à partir des réseaux Wi-Fi et mobiles, d'une connexion GPS et d'un système d'exploitation (OS) permettant l'exécution d'applications téléchargeables.

Serveur configuré pour l'IA : Unité de serveur conventionnel, préparé pour accueillir des unités de processeur graphique et une grande quantité de mémoires, utilisés de manière intensive dans les traitements spécifiques pour les algorithmes complexes utilisés dans les techniques d'intelligence artificielle. Ce type d'unité est également adapté pour fournir une puissance supérieure nécessaire.

Tonne éq. CO₂ : L'émission en équivalent CO₂ est la quantité émise de dioxyde de carbone (CO₂) qui provoquerait le même forçage radiatif intégré, pour un horizon temporel donné, qu'une quantité émise d'un seul ou de plusieurs gaz à effet de serre. (source : GIEC)

ACRONYMES

Acronyme	Signification
ACV	Analyse du Cycle de Vie
ADEME	Agence de la transition écologique (France)
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line / Liaison numérique asymétrique
ASIC	Application Specific Integrated Circuit / Circuit intégré spécialisé pour une application spécifique
FPGA	Field-Programmable Gate Array / Réseau de portes programmables in situ
FTTH	Fiber To The Home / Fibre optique jusqu'au domicile
GES	Gaz à Effet de Serre
GPU	Graphic Processor Unit / Processeur Graphique
GSMA	Global System for Mobile Communications Association
IA	Intelligence Artificielle
ICV	Inventaire du Cycle de Vie
ICT	Information and Communication Technology / Technologies de l'Information et de la Communication
IoT	Internet of Things / Internet des Objets
ISO	International Organization for Standardization / Organisation internationale de normalisation
IT	Information Technology / Technologies de l'Information
LCD	Liquid Crystal Display / Affichage à Cristaux Liquides
OLED	Organic Light-Emitted Display / diode électroluminescente organique
PEF	Product Environmental Footprint
SIM	subscriber identity/identification module / module d'identification de l'abonné

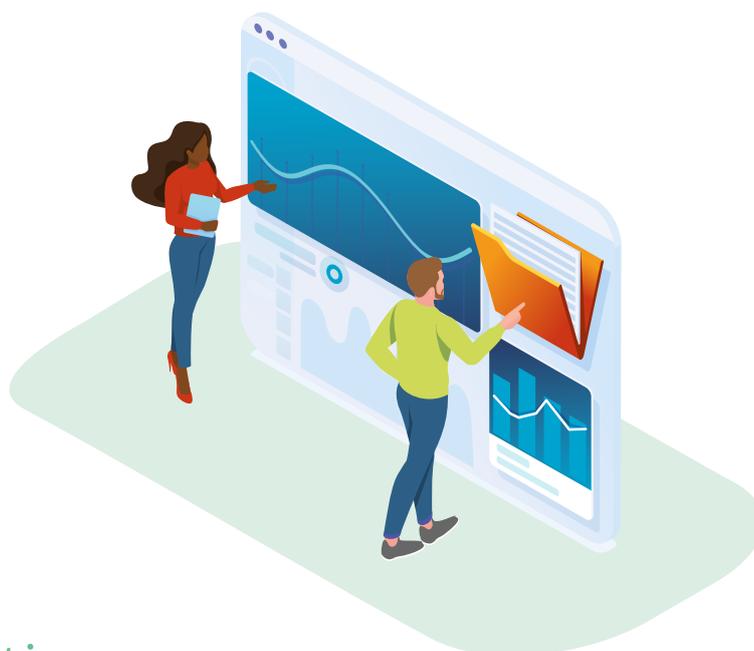
Sommaire

Auteur·rices	2
Résumé	3
Remerciements	4
Nous soutenir	4
GLOSSAIRE	5
ACRONYMES	6
Sommaire	7
1 Introduction	9
1.1 Préambule	9
1.2 À propos	9
1.3 Méthodologie	10
1.4 Indicateurs environnementaux et de flux utilisés	11
2 Présentation des résultats	13
2.1 Le numérique dans le monde en 2023	13
2.1.1 Quantités d'équipements et nombre d'internautes	13
2.1.2 Appareils les plus utilisés par les internautes	14
2.1.3 Les réseaux	14
2.1.4 Les centres informatiques	15
2.2 Impacts environnementaux et sanitaires	16
2.2.1 À l'échelle mondiale	16
2.2.2 À l'échelle individuelle	17
2.3 Comparaison aux limites planétaires	18
2.3.1 Définition et méthodologie	18
2.3.2 A l'échelle de l'ensemble des terrien·ne·s	19
2.3.3 A l'échelle des internautes	20
2.4 Répartition des impacts environnementaux et sanitaires	21
2.4.1 En fonction du Tier	21
2.4.2 En fonction de l'étape du cycle de vie	22
2.5 Analyse détaillée	24
2.5.1 Focus sur les équipements utilisateur·rices	24
2.5.1.1 Téléviseurs	24
2.5.1.2 IoT	25
2.5.1.3 Smartphones	25
2.5.1.4 Vidéoprojecteurs	26
2.5.1.5 Focus sur les réseaux	26
2.5.2 Focus sur les centres informatiques	28
2.5.2.1 Les serveurs pour l'IA	29
2.5.2.2 Les équipements non-IT	30
2.5.2.3 Serveurs de stockage	30
2.5.2.4 Synthèse	30
3 Recommandations	31
4 Conclusion	35
5 Annexes	37
5.1 Résultats complémentaires	37
5.1.1 Tableaux de résultats détaillés	37
5.1.2 Comparaison à la littérature	40
5.1.3 Analyses de sensibilité	43
5.1.3.1 Analyse de sensibilité des quantités de projecteurs dans le monde	43

Sommaire

5.1.3.2 Analyse de sensibilité sur la consommation électrique des serveurs d'IA.....	44
5.1.3.3 Analyse de sensibilité sur les durées de vie des moniteurs et téléviseurs.....	44
5.1.3.4 Analyse de sensibilité sur les quantités d'équipements IoT.....	45
5.1.3.5 Analyse de sensibilité cumulée	46
5.2 Méthodologie détaillée de l'étude	47
5.2.1 Principes généraux de l'ACV	47
5.2.2 Approche méthodologique de l'ACV.....	48
5.2.2.1 Les différentes phases d'une ACV.....	48
5.2.2.2 Définition de l'objectif et du périmètre d'action	48
5.2.2.3 Analyse de l'inventaire du cycle de vie (AICV).....	48
5.2.2.4 Analyse de l'impact du cycle de vie (AICV).....	49
5.2.2.5 Interprétation des résultats du cycle de vie	49
5.2.3 Définition de l'objectif et du périmètre d'action	49
5.2.3.1 Objectif de l'étude.....	49
5.2.3.2 Cadre de travail	50
5.2.3.3 Conduite de l'étude.....	50
5.2.3.4 Public visé.....	50
5.2.4 Validité des résultats.....	50
5.2.5 Système de produit à étudier.....	51
5.2.5.1 Frontières technologiques	51
5.2.5.2 Fonction et unité fonctionnelle	51
5.2.5.3 Limites du système	52
5.2.6 Procédures d'allocation.....	55
5.2.7 La méthodologie AICV et les types d'impacts 55	
5.2.7.1 Sélection, classification et caractérisation des impacts.....	55
5.2.7.2 Normalisation et pondération.....	57
5.2.8 Type et source des données.....	59
5.2.8.1Données relatives aux caractéristiques physiques	59
5.2.8.2Données relatives aux impacts du cycle de vie.....	59
5.2.9 Exigences en matière de qualité des données.....	60
5.2.10 Outil de modélisation d'ACV.....	60
5.2.11 Considérations relatives à la revue critique	60
5.3 Données utilisées dans le modèle ACV	61
5.3.1 Résumé.....	61
5.3.2 Tier I – Équipements internautes	63
5.3.2.1 Informations générales	63
5.3.2.2 Téléphones.....	63
5.3.2.3 Tablettes	67
5.3.2.4 Ordinateurs portables	68
5.3.2.5 Ordinateurs fixes.....	70
5.3.2.6 Vidéoprojecteurs.....	72
5.3.2.7 Imprimantes	73
5.3.2.8 Écrans.....	75
5.3.2.9 Smart box TV.....	78
5.3.2.10 Enceintes connectées.....	79
5.3.2.11 Consoles de jeu.....	80
5.3.2.12 IoT - Objets connectés.....	83
5.3.3 Tier II – Réseaux	84
5.3.3.1 Définition.....	84
5.3.3.2 Méthodologie	85
5.3.4 Tier III – Centres informatiques.....	86
5.3.4.1 Définition.....	86
5.3.4.2 Méthodologie	86
5.4 Limites de l'étude	88
5.4.1 Limites associées au périmètre de l'étude	88
5.4.2 Limites associées à l'inventaire du cycle de vie et à la collecte de données....	88
5.4.3 Synthèse des limites par tiers et recommandations.....	89

Index des tableaux et figures.....	90
---	-----------



1 Introduction

1.1 Préambule

Cette étude a été réalisée bénévolement, dans le cadre de l'**association Green IT**. Il s'agit de la troisième édition de l'étude "Empreinte environnementale du numérique mondial" (EENM) parue dans sa première version en 2010, et dans sa deuxième édition en 2019.

L'association Green IT met à disposition du grand public des études de qualité permettant à toute personne de **mieux connaître et comprendre les impacts environnementaux du numérique** et leurs **conséquences**. À ce jour, l'étude "Empreinte environnementale du numérique mondial" 2019 (EENM 2019) et l'étude "Impacts environnementaux du numérique dans le monde" 2025 (EENM 2025) sont les seules analyses du cycle de vie (ACV) multicritères permettant d'estimer l'empreinte globale du numérique dans le monde.

Les catégories et les facteurs d'impact étant différents entre 2019 et 2025, nous nous abstenons de toute comparaison directe entre les résultats de ces deux études. De même, les sources utilisées pour estimer le stock d'équipement peuvent varier d'une étude à l'autre et limitent la comparabilité entre l'étude 2019 et l'étude 2025.

1.2 À propos

L'association Green IT est une **association à but non lucratif et d'intérêt général**, qui œuvre chaque jour pour une **meilleure connaissance, prise en compte et réduction des impacts environnementaux du numérique**.

Pour cela, les membres de l'association réalisent des sensibilisations du grand public, des outils et des référentiels libres d'accès et mis à disposition de tous, du plaidoyer auprès d'institutions en France et en Europe, et réalisent des études libres d'accès telles que celle-ci.

Les membres de l'association ne sont pas des personnes morales mais uniquement des personnes physiques. L'association ne représente les intérêts d'aucune organisation professionnelle, privée ou publique, ou acteur économique ou politique.

Au sein de l'association, le **Groupe Etudes** rassemble les membres les plus experts de l'évaluation des impacts environnementaux du numérique, afin de réaliser bénévolement des études telles que celle-ci.

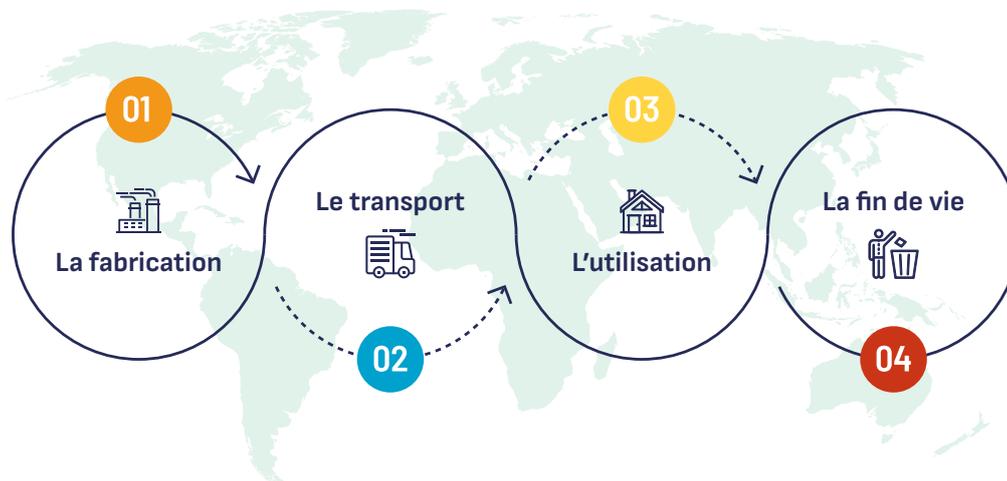
L'association Green IT a été créée en mars 2022 à partir du collectif Green IT.fr qui existe depuis 2004. L'association est composée de bénévoles et experts qui agissent pour une société où le numérique est utilisé de façon durable.

Pour en savoir plus sur l'association :
<https://greenit.eco/qui-sommes-nous/>

1.3 Méthodologie

Cette évaluation des impacts environnementaux du numérique à l'échelle mondiale a été réalisée selon la méthodologie d'**Analyse du Cycle de Vie (ACV) simplifiée**, au plus proche des normes ISO 14040/44⁴ et de la méthodologie PEF/OEF⁵ de la Commission Européenne.

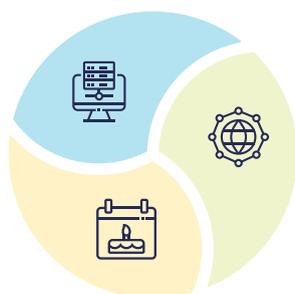
L'Analyse du Cycle de Vie est une méthode de mesure des **impacts environnementaux de produits ou de services**. Elle se caractérise par une prise en compte des impacts sur l'ensemble du **cycle de vie**. On distingue habituellement les étapes suivantes :



De plus, cette ACV est une **analyse multicritère**, c'est-à-dire qu'elle prend en compte plusieurs impacts environnementaux. Les indicateurs pris en compte dans cette étude sont listés à la section suivante.

L'unité fonctionnelle est l'unité de référence qui quantifie les services ou produits étudiés. La fonction étudiée est la fourniture de services numériques dans le monde, utilisés par les consommateurs, les organisations privées et publiques pendant un an. En raison de cette grande diversité d'utilisation, il est difficile, voire impossible, de classer l'utilisation des services numériques dans le monde en unités fonctionnelles.

Dans ce cas, le concept d'unité fonctionnelle est remplacé par une unité déclarée :



« Équipements et systèmes liés aux services numériques mondiaux pendant un an. »

Et au niveau individuel :



« Équipements et systèmes liés aux services numériques mondiaux pendant un an et rapportés à un-e internaute. »

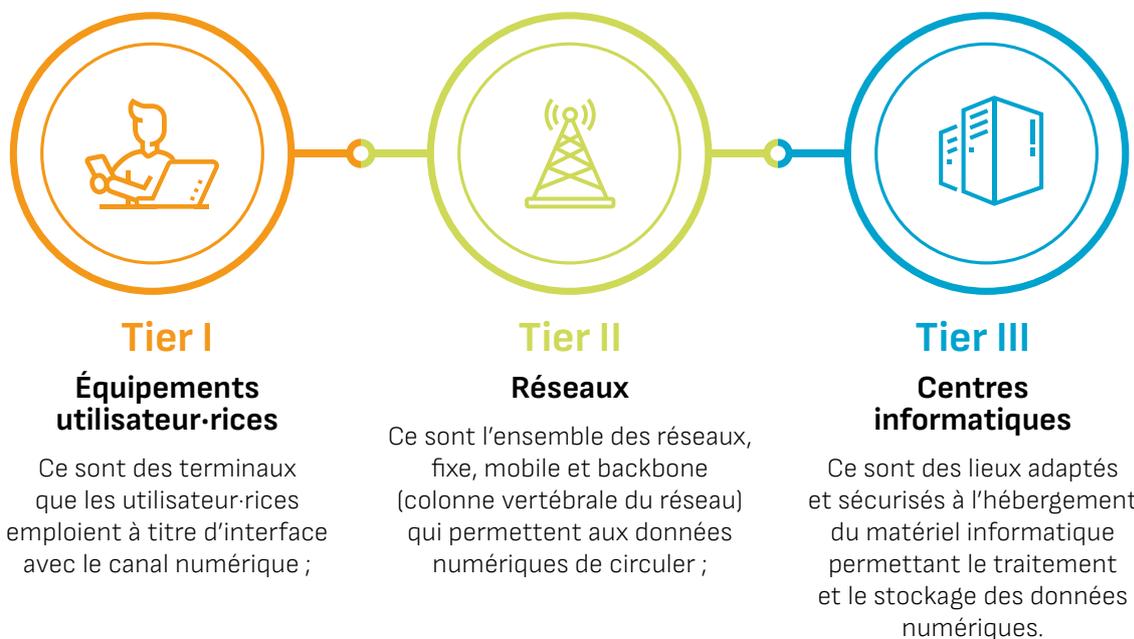
⁴ <https://www.iso.org/standard/37456.html> et <https://www.iso.org/standard/38498.html>

⁵ Product Environmental Footprint (PEF), <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html>

L'inventaire des quantités et des usages des équipements a été réalisé sur la base des dernières données à disposition quantifiant le **stock actif en 2023**. Autrement dit, l'ensemble des équipements et systèmes existant en 2023 est considéré, et pas seulement les achats faits en 2023.

Le périmètre étudié est celui défini dans la deuxième édition de l'étude : "L'ensemble des équipements électroniques qui utilisent des données binaires".

La classification habituellement utilisée dans l'évaluation des impacts environnementaux du numérique suit 3 "Tier"⁶ :



La méthodologie détaillée ainsi que les hypothèses prises sont disponibles à la section 5.2 en annexe.

1.4 Indicateurs environnementaux et de flux utilisés

Lors de cette étude, les 16 indicateurs environnementaux recommandés dans la méthode PEF (Product Environmental Footprint) ont été calculés. Toutefois pour la lisibilité de l'étude, **7 indicateurs environnementaux** sont sélectionnés. Ils sont présentés dans le Tableau 1. Ils correspondent à au moins 80 % du total des impacts, conformément à la méthode de normalisation et de pondération du PEF permettant de définir quels sont les indicateurs environnementaux **les plus importants à considérer** au regard du périmètre de l'étude. Plus de détails sur la méthodologie de sélection de ces indicateurs sont données à la section 5.2.6.

Nom de l'indicateur environnemental	Acronyme et unité	Poids dans l'empreinte
 Utilisation des ressources, minéraux et métaux	ADPe (kg Sb eq.)	23,71 %
 Potentiel de réchauffement climatique	GWP (kg CO ₂ eq.)	23,25 %
 Utilisation des ressources abiotiques, fossiles	ADPf (MJ)	15,62 %

⁶ Cette notion de "Tier" est à entendre au sens de "niveau", en anglais, comme les briques qui composent le numérique en communiquant entre elles, et non au sens de "tiers" au sens français de tierce partie ou de 1/3 d'une quantité.

Nom de l'indicateur environnemental	Acronyme et unité	Poids dans l'empreinte
 Particules fines, santé humaine	PM (Occurrence de maladie)	5,82 %
 Eutrophisation, eau douce	Epf (kg P eq.)	5,71 %
 Radiations ionisantes, santé humaine	IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	5,52 %
 Acidification	AP (mol H ⁺ eq.)	5,42 %

Tableau 1 : Liste des indicateurs environnementaux retenus dans l'étude et poids respectif dans l'empreinte globale

Ces indicateurs environnementaux sont complétés par des indicateurs de flux. Contrairement aux indicateurs environnementaux, qui rendent compte des effets sur l'environnement, les indicateurs de flux quantifient quant à eux les quantités de matière et d'énergies utilisées.

L'indicateur de flux considéré dans cette étude est la **consommation d'énergie primaire totale** (TPE), en MJ.



2 Présentation des résultats

2.1 Le numérique dans le monde en 2023

Le **numérique** est aujourd'hui devenu **incontournable** aussi bien dans la vie quotidienne que dans les usages professionnels de nombreux internautes : qu'il s'agisse des systèmes de paiements, de nos moyens de communication ou de divertissement, le numérique est omniprésent. Contrairement à ce qu'évoquent les termes « cloud » ou « dématérialisation », le numérique est **très matériel**, tant dans la **quantité d'équipements** et dans les **ressources** nécessaires pour le faire fonctionner que dans les **pollutions** et autres **effets générés** sur l'environnement.

Comme pour le reste de nos activités, il est nécessaire de **réduire les impacts du numérique** globalement, notamment afin de respecter les objectifs des accords internationaux – comme les **accords de Paris** dont l'objectif est de limiter l'augmentation de la température moyenne mondiale à 1,5°C au-dessus des niveaux préindustriels.⁷ De même, les impacts environnementaux du numérique sont très visibles lorsqu'on les compare aux **limites planétaires** : ces limites sont déclinées en budget annuel à respecter sur différents indicateurs pour que l'espèce humaine puisse continuer à vivre. Il y a donc un fort enjeu à **connaître et réduire les impacts environnementaux du numérique** afin de rester dans un environnement soutenable pour la survie humaine.

2.1.1 Quantités d'équipements et nombre d'internautes

En 2023, le nombre d'internautes est estimé à 5,35 milliards de personnes⁸. Cette valeur est considérée comme représentant le nombre d'utilisateur-rices du numérique.



En 2023, on dénombre environ 30,5 milliards d'équipements utilisés pour 5,35 milliards d'internautes, soit près de 6 équipements par internaute.

⁷ L'Accord de Paris | CCNUCC, <https://unfccc.int/fr/a-propos-des-ndcs/l-accord-de-paris>

⁸ 2024 Global Digital Report, <https://www.meltwater.com/en/global-digital-trends>

Ce chiffre avait été estimé à 34 milliards d'équipements pour 4,1 milliards de personnes ayant un accès à Internet en 2019, soit environ 8 équipements par internaute. Cette différence dans le nombre d'équipements par internaute est principalement due à une différence de sources dans l'estimation du nombre d'objets connectés (IoT) dans le monde. L'estimation réalisée pour cette étude s'appuie sur 2 sources différentes mais concordantes, rendant la valeur relativement fiable. La quantité d'équipements IoT a fait l'objet d'une analyse de sensibilité à la section 5.1.3 en annexe.

Hors IoT, on observe une augmentation de 13,8 % du nombre d'équipements en 4 ans (+3,3 % en rythme annualisé), alors que dans le même temps, le **nombre d'internautes a bondi** de plus de 30 %. Cette différence s'explique par le fait que les nouveaux internautes, principalement situés dans les pays d'Asie Centrale et d'Afrique, possèdent moins d'équipements que les internautes plus anciens. Le plus grand réservoir de nouveaux internautes étant dans ces régions du globe, on peut s'attendre à la poursuite de cette tendance : une **augmentation du nombre d'internautes et du total d'équipements**, accompagnée d'une **baisse du taux d'équipement moyen par internaute**.

2.1.2 Appareils les plus utilisés par les internautes

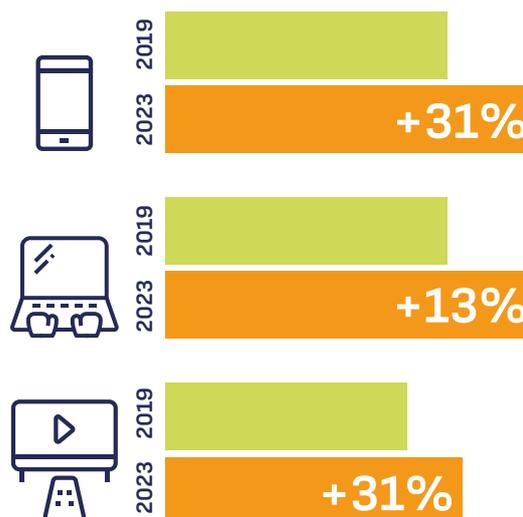
Les appareils les plus utilisés dans le monde sont les smartphones (4,6 milliards), les moniteurs et téléviseurs (2,4 milliards), les téléphones fixes (1,7 milliard) et les feature phones (1 milliard).

Par ailleurs, les objets connectés (IoT) sont environ 15,7 milliards sur Terre en 2023⁹.

On observe globalement une très forte croissance du nombre de smartphones, avec une croissance de plus de 31 % en 4 ans (plus 1,1 milliard en 2023 par rapport à 3,5 milliards en 2019). Le nombre de téléviseurs en service progresse également dans la même proportion, notamment grâce à l'allongement de leur durée de vie utile et un boost temporaire des ventes durant la période covid-19. Concernant les ordinateurs, on note une légère augmentation de 5 % de leur nombre total entre

2019 et 2023 (pour atteindre 1,5 milliard) mais une nette progression de la part des ordinateurs portables en comparaison aux ordinateurs fixes, passant de 56 % en 2019 à 69 % en 2023. Cette distinction est importante à faire car ces deux types d'équipements n'ont pas les mêmes caractéristiques ni la même durée de vie et donc pas les mêmes impacts environnementaux.

L'évolution des caractéristiques techniques des différents équipements (augmentation de la taille, etc.) est analysée et discutée à la section 2.5.



2.1.3 Les réseaux

Le **réseau** permet de **relier les équipements numériques** entre eux ainsi qu'aux centres informatiques. On distingue les réseaux fixes (ADSL et fibre optique par exemple) des réseaux mobiles (2G / 3G / 4G / 5G). Ceux-ci sont composés de nombreux équipements qui gèrent les échanges de données.

Le **nombre d'abonnements** aux réseaux fixes est de 1,5 milliard, contre 7 milliards pour le réseau mobile, soit environ 4,7 fois plus. Cette différence est due au fait qu'un même abonnement au réseau fixe permet de servir plusieurs usagers (typiquement un abonnement xDSL / FTTH par foyer ou bureau). Par ailleurs, une connexion aux réseaux mobiles demande simplement l'acquisition d'une carte SIM et d'un terminal connecté. La connexion aux réseaux fixes demande quant à elle le raccordement à une installation filaire et une box internet, ce qui est plus coûteux et complexe. Ceci est particulièrement vrai dans les pays où les infrastructures électriques et télécoms couvrent très partiellement le territoire.

⁹ Cf. Annexe méthodologique concernant les objets connectés inclus dans le périmètre de cette étude. Les objets connectés, notre précédente étude, était estimé à 19 milliards en 2019. Cet écart s'explique par une différence de source d'inventaire identifiant le nombre d'équipements IoT. La source utilisée dans la présente étude estime à 10 milliards le nombre d'équipements IoT en 2019.

Les 7 milliards d'abonnements mobiles peuvent être comparés au nombre de téléphones portables : 5,6 milliards (smartphones et feature phones). La différence peut s'expliquer par le fait qu'on peut installer plusieurs cartes SIM dans un seul smartphone, pour les aspects professionnels et personnels par exemple. De plus, d'autres équipements utilisateur·rices comme les tablettes, ou certains équipements connectés (voitures par exemple), peuvent être équipés de cartes SIM.

À l'inverse, les réseaux fixes comptent 3 fois plus de **données échangées** que les réseaux mobiles. Le réseau fixe, en particulier fibre, fournit un accès à internet de plus haut débit qui permet des usages plus consommateurs¹⁰ (connexions professionnelles, streaming, etc.).

Le nombre d'abonnements ainsi que les quantités de données échangées sur les réseaux sont résumés dans le tableau suivant :

	Nombre d'abonnements en 2023	Quantité de données échangées en 2023 (Go)
Réseau fixe	1,5 milliard	4 500 milliards
Réseau mobile	7,0 milliards	1 500 milliards

Tableau 2 : Nombre d'abonnements et quantité de données échangées sur les réseaux fixes et mobiles en 2023

Le nombre d'internautes est de 5,35 milliards en 2023, pour presque 6 milliards de To (Téra, soit 6 000 milliards de Go) de données transférées sur les réseaux fixes et mobiles confondus. Cela donne une moyenne de 3 000 Go de données échangées en un an par internaute sur le réseau fixe et 214 Go sur le réseau mobile.

2.1.4 Les centres informatiques

Les centres informatiques stockent et calculent les informations générées par les utilisateur·rices. Avec l'essor actuel des services Cloud, des systèmes à base de blockchain, et plus récemment de l'intelligence artificielle générative, ces centres hébergent des quantités de plus en plus importantes de données et leur puissance de calcul s'accroît considérablement.

En 2023, toutes activités confondues, on compte environ **79,5 millions de serveurs** accompagnés de plus de **8,2 millions d'équipements réseau** dédiés aux centres informatiques. La consommation électrique de ces centres est estimée à **506 TWh** par an, soit à peu près autant que la consommation d'un pays comme l'Allemagne¹¹. Parmi ces 506 TWh, près de 190 TWh, soit environ 37 %, sont dévolus aux équipements dits « non-informatiques » (batteries, onduleurs, systèmes de gestion thermique ici appelés « climatisation », etc.).

¹⁰ Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper, <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>

¹¹ Consommation totale de 515,55 TWh d'électricité en Allemagne en 2023 : <https://lowcarbonpower.org/fr/region/Allemagne>

2.2 Impacts environnementaux et sanitaires

2.2.1 À l'échelle mondiale

Les impacts environnementaux et sanitaires du numérique dans le monde sur 1 an sont présentés dans le tableau suivant :

Nom de l'indicateur	Acronyme et unité	Empreinte mondiale en 2023
 Potentiel de réchauffement climatique	GWP (kg CO ₂ eq.)	1 832 milliards
 Utilisation des ressources, minéraux et métaux	ADPe (kg Sb eq.)	41 millions
 Utilisation des ressources, fossiles	ADPf (MJ)	24 995 milliards
 Eutrophisation, eau douce	Epf (kg P eq.)	673 millions
 Particules fines, santé humaine	PM (Occurrence de maladie)	79 111
 Acidification	AP (mol H ⁺ eq.)	9 947 millions
 Radiations ionisantes, santé humaine	IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	953 milliards
 Énergie Primaire Totale	TPE (MJ)	28 634 milliards

Tableau 3 : Empreinte mondiale du numérique en 2023 sur les indicateurs environnementaux retenus

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées au numérique sont de 1,8 milliard de tonnes éq. CO₂¹². Ainsi, sur l'indicateur concernant le potentiel de réchauffement climatique, le numérique mondial équivaut à environ 3 fois les émissions de la Corée du Sud, plus de 2 fois celles du Canada ou de l'Arabie Saoudite, ou environ 5,5 fois celles de la France¹³.

En 2023, le numérique mondial représente **3,4 % des émissions mondiales de GES**. Entre 2019 et 2023, les émissions de GES mondiales tous secteurs confondus ont augmenté de plus de 1,9 %¹⁴. L'impact mondial du numérique a suivi la même tendance de croissance. C'est pourquoi la part du numérique dans l'empreinte mondiale semble rester stable, malgré un accroissement des impacts.

Des **analyses de sensibilité** sont menées (voir section 5.1.3 en annexe) pour évaluer l'intervalle d'incertitude en faisant varier certains paramètres : elles montrent que les émissions de GES liées au numérique se situent entre 1,692 et 1,962 milliard de tonnes éq. CO₂. Les durées de vie des écrans et des téléviseurs ainsi que la consommation électrique des serveurs d'IA sont les éléments qui ont le plus d'impact sur cette variation.

12 À titre indicatif, ce chiffre s'élevait à 1,4 milliard de tonnes éq. CO₂ en 2019. Toutefois, une comparaison directe n'est pas appropriée, les deux chiffres résultant de méthodologies d'évaluation différentes

13 CO₂ and Greenhouse Gas Emissions - Our World in Data, <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>

14 Les émissions mondiales de GES sont passées de 52,80 milliards de tonnes éq. CO₂ en 2019 à 53,82 milliards de tonnes éq. CO₂ en 2023. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>

2.2.2 À l'échelle individuelle

En rapportant les impacts globaux au nombre d'internautes¹⁵, on obtient les impacts suivants pour un-e internaute sur 1 an :

Nom de l'indicateur	Acronyme et unité	Empreinte par internaute en 2023
 Potentiel de réchauffement climatique	GWP (kg CO ₂ eq.)	342,355
 Utilisation des ressources, minéraux et métaux	ADPe (kg Sb eq.)	0,008
 Utilisation des ressources, fossiles	ADPf (MJ)	4 671,940
 Eutrophisation, eau douce	Epf (kg P eq.)	0,126
 Particules fines	PM (Occurrence de maladie)	0,0015 %
 Acidification	AP (mol H ⁺ eq.)	1,859
 Radiations ionisantes, santé humaine	IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	178,139
 Energie Primaire Totale	TPE (MJ)	5 352,130

Tableau 4 : Empreinte du numérique par internaute en 2023 sur les indicateurs environnementaux retenus

En comparaison cela correspond pour chaque internaute sur 1 an, à :

 **Pour l'utilisation des ressources, minéraux et métaux :**
environ 40 tonnes de terres excavées¹⁶ ou l'équivalent de minerais dans 3 smartphones ;

 **Pour le potentiel de réchauffement climatique :**
environ 3 500 km parcourus en voiture¹⁷ ;

 **Pour la consommation d'énergie primaire :**
1 radiateur de 1 000 Watts, allumé pendant environ 20 jours¹⁸.

¹⁵ 5,35 milliards, tels qu'identifiés précédemment à la section 2.1.3.

¹⁶ En utilisant une valeur de clark de 2,00E-04 kg eq. Sb par tonnes de terre excavée.

¹⁷ Avec l'hypothèse d'une émission de 97 g de CO₂ par km parcouru

¹⁸ En considérant 1 radiateur de 1 000 Watts allumé 24h/24 et un ratio de 3 entre 1kWh d'énergie primaire et 1kWh d'énergie finale.

2.3 Comparaison aux limites planétaires

2.3.1 Définition et méthodologie

Il existe neuf **limites planétaires**, dont huit sont chiffrées par les chercheurs et six sont déjà franchies. La Figure ci-dessous résume leur état fin 2023. Le cercle en pointillés représente l'estimation des limites de la zone sûre et les zones colorées l'estimation de leur état, la couleur orange ou rouge représentant chacune respectivement un dépassement plus important.

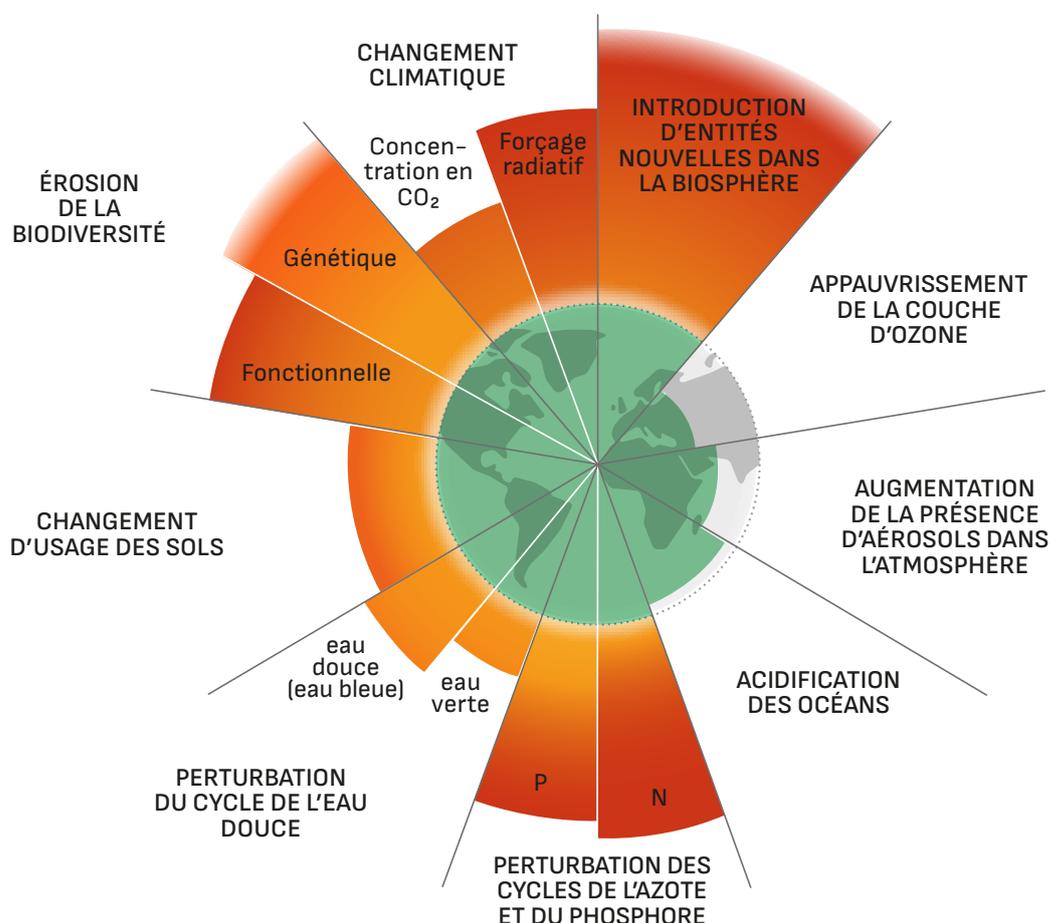


Figure 1 : Illustration des neuf limites planétaires et de leur niveau de dépassement¹⁹

Les **limites planétaires** sont un concept qui traduit les limites à respecter pour que l'espèce humaine puisse continuer à vivre sur terre. Le concept est maintenant consensuel ("jour du dépassement") cependant des désaccords persistent entre les scientifiques sur les valeurs chiffrées exactes de ces limites. Bien que les 16 indicateurs du PEF ne correspondent pas en tant que tels aux 9 limites planétaires, une méthodologie est proposée par le Joint Research Center (JRC)²⁰, service des sciences et de la connaissance de l'Union Européenne, pour rapporter les résultats d'une ACV multicritère PEF aux limites planétaires²¹. Elle est appliquée ci-dessous.

Cette démarche permet de comparer les résultats des impacts environnementaux aux limites planétaires, pour estimer dans quelles mesures la pression exercée par les activités humaines sur l'environnement respecte les limites d'un cadre sécurisé ou dépasse largement les limites soutenables faisant

¹⁹ Earth beyond six of nine planetary boundaries | Science Advances, <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2458>

²⁰ Joint Research Centre, https://commission.europa.eu/about/departments-and-executive-agencies/joint-research-centre_en

²¹ Commission européenne, Centre commun de recherche, Castellani, V., Cerutti, A., Beylot, A., Sanyé-Mengual, E., et al., Consumption and consumer footprint : methodology and results : indicators and assessment of the environmental impact of European consumption, Publications Office, 2019, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/98570> § Figure 71, page 134

courir un grand risque à la survie de l'espèce humaine. Pour cela, un "budget soutenable" identique est attribué à chaque personne, par année, pour chaque indicateur environnemental.

En d'autres termes, comparer les résultats d'une ACV multicritère aux limites planétaires permet de se rendre compte de **la proportion que l'activité mesurée prend sur le budget limité à respecter pour permettre à l'humanité de vivre dans des conditions soutenables intégrant l'ensemble de nos activités.**

2.3.2 A l'échelle de l'ensemble des terrien-ne-s

Le tableau ci-dessous donne le pourcentage des limites planétaires atteint avec les indicateurs environnementaux liés au numérique, pour chaque humain-e. Le budget est réparti à l'identique pour l'ensemble des êtres humains vivant en 2023 indifféremment de son usage du numérique :

Nom de l'indicateur environnemental	Acronyme et unité	Empreinte mondiale	% limite par humain-e
 Potentiel de réchauffement climatique	GWP (kg CO ₂ eq.)	1 831 601 700 281	26,9 %
 Utilisation des ressources, minéraux et métaux	ADPe (kg Sb eq.)	40 917 068	18,7 %
 Émission de particules	PM (Occurrence de maladie)	79 111	15,3 %
 Eutrophisation, eau douce	Epf (kg P eq.)	672 955 785	11,6 %
 Utilisation des ressources, fossiles	ADPf (MJ)	24 994 879 417 990	11,2 %
 Écotoxicité, eau douce	Ecotox (CTUe)	12 597 943 615 723	9,6 %
 Formation d'ozone photochimique, santé humaine	POF (kg NMVOC eq.)	5 430 140 022	1,3 %
 Acidification	AP (mol H ⁺ eq.)	9 947 464 423	1,0 %
 Eutrophisation, marine	Epm (kg N eq.)	1 889 122 942	0,9 %
 Toxicité humaine, non cancéreuse	CTUh-nc (CTUh)	20 717	0,5 %
 Eutrophisation, terrestre	Ept (mol N eq.)	17 985 028 874	0,0 %
 Toxicité humaine, cancéreuse	CTUh-c (CTUh)	2 108	0,0 %
 Radiations ionisantes, santé humaine	IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	953 044 536 804	0,0 %
 Appauvrissement de la couche d'ozone	ODP (kg CFC-11 eq.)	86 296	0,0 %

Tableau 5 : Pourcentage de limite planétaire par humain-e atteint avec les impacts environnementaux du numérique

La comparaison aux limites planétaires fait principalement ressortir les 6 indicateurs suivants pour les impacts environnementaux du numérique au niveau mondial :

1. Potentiel de réchauffement climatique
2. Utilisation des ressources, minéraux et métaux
3. Émissions de particules
4. Eutrophisation de l'eau douce
5. Utilisation des ressources, fossiles
6. Ecotoxicité sur l'eau douce

En 2023, l'ensemble du numérique mondial consomme à lui-seul 27 % du budget soutenable planétaire annuel pour rester en dessous de 1,5°C de réchauffement climatique.

De même, l'ensemble du numérique mondial consomme 18,7 % du budget soutenable planétaire annuel en termes d'utilisation des ressources en minéraux et métaux, 15,3 % du budget soutenable planétaire en termes d'émissions de particules fines.

2.3.3 A l'échelle des internautes

Il est toutefois possible d'attribuer les impacts de l'activité analysée (ici le numérique mondial) uniquement à ses utilisateur·rices et non à l'ensemble des êtres humains vivants. Dans le tableau ci-dessous, les limites planétaires sont rapportées au budget total des 5,35 milliards d'internautes,²² c'est-à-dire sans affecter le budget des non-internautes :

Nom de l'indicateur environnemental	Acronyme et unité	Empreinte mondiale	% limite par internaute
 Potentiel de réchauffement climatique	GWP (kg CO ₂ eq.)	1 831 601 700 281	40,3 %
 Utilisation des ressources, minéraux et métaux	ADPe (kg Sb eq.)	40 917 068	28,0 %
 Émission de particules	PM (Occurrence de maladie)	79 111	23,0 %
 Eutrophisation, eau douce	Epf (kg P eq.)	672 955 785	17,3 %
 Utilisation des ressources, fossiles	ADPf (MJ)	24 994 879 417 990	16,7 %
 Écotoxicité, eau douce	Ecotox (CTUe)	12 597 943 615 723	14,4 %
 Formation d'ozone photochimique, santé humaine	POF (kg NMVOC eq.)	5 430 140 022	2,0 %
 Acidification	AP (mol H ⁺ eq.)	9 947 464 423	1,5 %
 Eutrophisation, marine	Epm (kg N eq.)	1 889 122 942	1,4 %
 Toxicité humaine, non cancéreuse	CTUh-nc (CTUh)	20 717	0,8 %
 Eutrophisation, terrestre	Ept (mol N eq.)	17 985 028 874	0,4 %
 Toxicité humaine, cancéreuse	CTUh-c (CTUh)	2 108	0,3 %

22 5,35 milliards d'internautes en 2023

	Radiations ionisantes, santé humaine	IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	953 044 536 804	0,3 %
	Appauvrissement de la couche d'ozone	ODP (kg CFC-11 eq.)	86 296	0,0 %

Tableau 6 : Pourcentage de limite planétaire par internaute atteint avec les impacts environnementaux du numérique

Ainsi, en 2023, l'usage annuel du numérique mondial consomme 40 % du budget GES soutenable annuel par internaute pour rester en dessous de 1,5°C de réchauffement climatique.

De même, le numérique mondial consomme 28 % du budget soutenable annuel par internaute en matière d'épuisement des ressources en minéraux et métaux. A noter que, l'écotoxicité sur l'eau douce, indicateur qui ne ressort pas parmi les indicateurs environnementaux les plus pertinents selon la méthode de normalisation pondération du PEF, ressort quant à lui à hauteur de 14,4 % du budget soutenable par internaute selon la méthode des limites planétaires, ce qui est assez conséquent.

Que le numérique consomme à lui-seul plus de 40 % du budget GES soutenable des internautes démontre la part énorme que prend aujourd'hui le numérique dans nos vies, et la disproportion flagrante entre d'une part, l'image d'un numérique "virtuel" qui n'aurait que peu ou pas d'impact sur l'environnement, et d'autre part, la proportion des impacts par rapport à un budget soutenable.

2.4 Répartition des impacts environnementaux et sanitaires

2.4.1 En fonction du Tier

Les impacts environnementaux et sanitaires liés au numérique sont détaillés selon les 3 "tiers" de l'architecture du numérique :

1. Tier I : Les équipements utilisateur·rices
2. Tier II : Les réseaux
3. Tier III : Les centres informatiques

La répartition des impacts par Tier est présentée dans le tableau suivant :

	 GWP (kg CO ₂ eq.)	 ADPe (kg Sb eq.)	 ADPf (Mj)	 Epf (kg P eq.)	 PM (Occurrence de maladie)	 AP (mol H ⁺ eq.)	 IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	 TPE (Mj)
 Tier I – Équipements utilisateur·rices	54 %	72%	53 %	48 %	52 %	55 %	71 %	53 %
 Tier II – Réseaux	23 %	15 %	24 %	26 %	25 %	23 %	21 %	25 %
 Tier III – Centres informatiques	23%	13 %	22 %	26 %	23 %	22 %	8 %	21 %

Tableau 7 : Répartition des impacts environnementaux du numérique pour chacun des 3 Tiers

Les équipements utilisateur-rices sont la principale source d'impacts du numérique dans le monde, entre 48 et 72 % selon les indicateurs. Les réseaux représentent quant à eux entre 15 et 26 % des impacts alors que les centres informatiques représentent entre 8 et 26 % des impacts.

Pour la majorité des indicateurs, on observe des répartitions très similaires en moyenne autour de 57 %, 23 % et 20 % pour les Tier I, II et III respectivement. Pour deux indicateurs cependant (l'utilisation des ressources, minéraux et métaux et les radiations ionisantes), cette répartition est beaucoup plus inégale avec environ 70 % des impacts venant du Tier I.

Pour mieux comprendre la répartition de ces impacts, il faut l'étudier en fonction du cycle de vie, détaillée dans la section suivante.

Les équipements utilisateur-rices (Tier I) représentent plus de la moitié des impacts environnementaux du numérique. Les reste des impacts se répartit entre les réseaux (Tier II) et les centres informatiques (Tier III).

Deux indicateurs se distinguent : l'épuisement des ressources abiotiques en minéraux et métaux et les émissions de radiations ionisantes. Pour ceux-ci, le Tier I concentre encore plus d'impacts que la moyenne (plus de 70 %).

2.4.2 En fonction de l'étape du cycle de vie

Les impacts environnementaux répartis par Tier, selon les étapes du cycle de vie sont présentés sur la Figure 2. Le Tableau 14 en annexe présente cette répartition sous forme chiffrée.

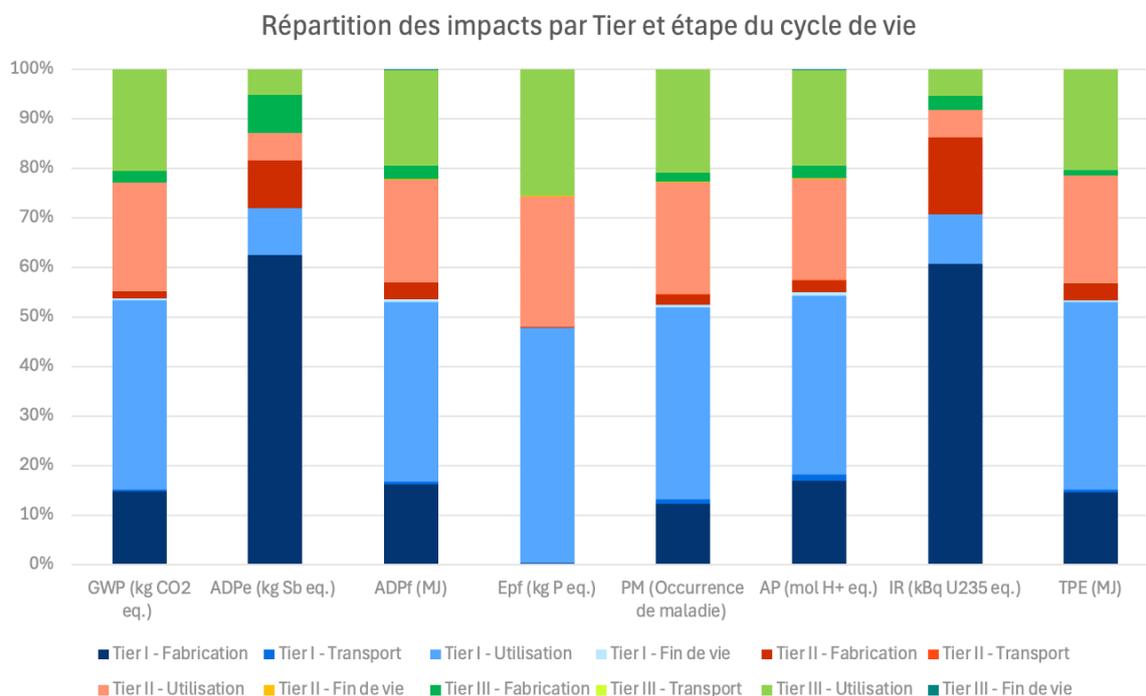


Figure 2 : Répartition des impacts environnementaux du numérique par Tier et par étape du cycle de vie

Pour **les équipements utilisateur-rices**, les impacts sont majoritairement répartis entre les **phases de fabrication et d'utilisation**. Pour les **réseaux et centres informatiques**, la **phase d'utilisation** concentre les impacts. La différence de répartition entre les Tiers s'explique principalement par la **consommation électrique unitaire des équipements**. En effet, les équipements de réseau ou de centre informatiques ont des puissances plus élevées que les équipements utilisateur-rices et ils sont souvent utilisés 24h/24 contrairement à la majorité des équipements utilisateur-rices (sauf IoT). De plus, le **mix électrique mondial** dépend encore en partie des **énergies fossiles**. **Ainsi, pour les Tiers II et III, la part des impacts dus à la fabrication est proportionnellement bien plus faible que pour l'utilisation.**

Cette répartition des impacts diffère pour deux indicateurs environnementaux, pour lesquels la fabrication représente proportionnellement un impact plus important : l'indicateur d'utilisation des ressources en minéraux et métaux, et l'indicateur concernant les émissions de radiations ionisantes.

Concernant l'indicateur d'utilisation des ressources en minéraux et métaux, ceci s'explique par **l'extraction des matières premières** nécessaires à la **fabrication des équipements**, dont l'écrasante majorité fait partie du Tier I. En effet, la quantité de serveurs et d'équipements réseaux est plus faible comparée à la quantité d'équipements utilisateur-rices de tous types : 30,5 milliards d'équipements utilisateur-rices pour 86 millions d'équipements informatiques dans les centres informatiques, soit une proportion de 355 équipements utilisateur-rices pour 1 équipement informatique en centre informatique. Une grande partie de cet impact à la fabrication du Tier I vient de la fabrication des téléviseurs. Un focus est fait sur les principaux équipements contributeurs à la section suivante.

Le second indicateur dont la répartition varie est celui de l'émission de radiations ionisantes. De la même manière, une large part de ces impacts vient de la fabrication des équipements utilisateur-rices, et surtout des téléviseurs.

Les étapes de distribution et de fin de vie représentent, proportionnellement, une **part négligeable** des impacts environnementaux du numérique, quel que soit le Tier et l'indicateur observé.

De manière générale, au niveau mondial²³, la phase d'utilisation est la principale source d'impacts du numérique. Deux indicateurs font exception à ce titre : l'utilisation des ressources en minéraux et métaux et les émissions de radiations ionisantes, pour lesquels l'impact a majoritairement lieu à la fabrication.

²³ Principalement en raison des différences de mix électrique, ce cas général valable au niveau mondial n'est pas le cas au niveau Européen et au niveau Français. Voir à ce titre nos études Europe et l'étude ADEME-ARCEP pour la France.

2.5 Analyse détaillée

2.5.1 Focus sur les équipements utilisateur-rices

Les équipements utilisateur-rices totalisent entre 48 et 72 % des impacts environnementaux totaux selon l'indicateur considéré. La Figure 3 représente la répartition des impacts du Tier I selon les catégories d'équipements. Le Tableau 14 en annexe présente cette répartition sous forme chiffrée.

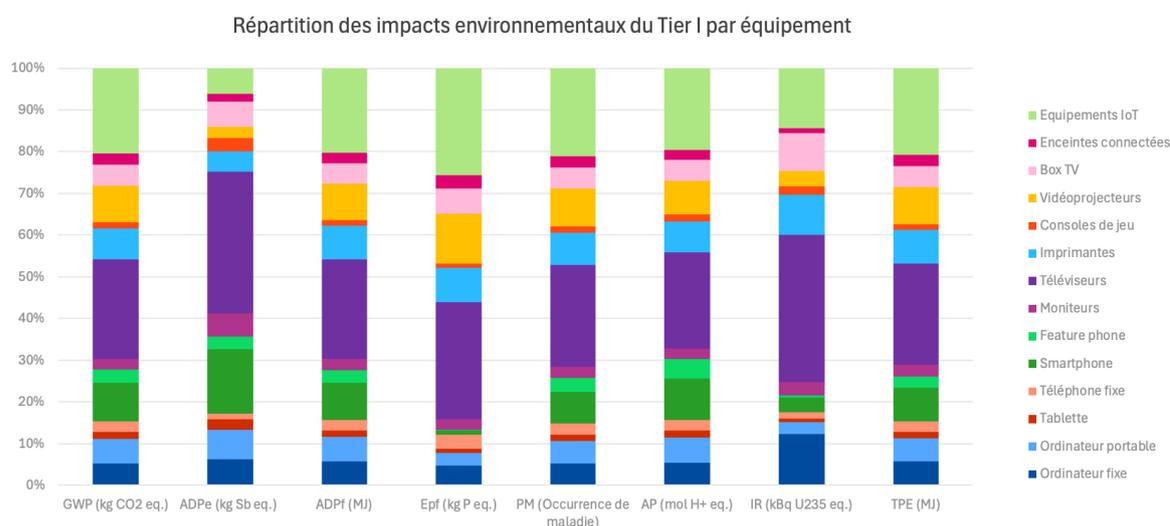


Figure 3 : Répartition des impacts environnementaux des équipements utilisateur-rices (Tier I) par catégorie d'équipements

2.5.1.1 Téléviseurs

Les **téléviseurs (TV)** et les **box TV** sont la **première catégorie** d'équipements **utilisateur-rices** ayant le **plus d'impact**. Ils concentrent 16 à 31 % des impacts environnementaux dans le monde, principalement sur les indicateurs d'utilisation des ressources en minéraux et métaux et émissions de radiations ionisantes. Cela est principalement dû à la conjonction de deux facteurs : leur nombre (1 TV pour 3,6 internautes ou 1 TV pour 5,3 personnes dans le monde) et l'augmentation continue de la taille des écrans (diagonale de 47 pouces en moyenne pour le stock actif, et plus encore donc pour les écrans actuellement vendus).

En effet, les impacts environnementaux d'un téléviseur augmentent proportionnellement à sa taille (surface de l'écran), aussi bien à la fabrication que lors de la phase d'utilisation. Les impacts à l'utilisation sont multipliés par près de 4 quand la diagonale double²⁴.

Sur les 5 dernières années, si la croissance du nombre d'équipements a été boostée temporairement durant la période du COVID-19, les ventes semblent désormais se stabiliser, voire diminuer dans les pays déjà très équipés. La croissance du parc sur près de 15 ans reste toutefois impressionnante. L'agrandissement de la taille des écrans semble quant à lui être une tendance qui se poursuivra dans les prochaines années : la taille moyenne des livraisons de téléviseurs LCD a dépassé pour la première fois les 50 pouces en mi 2023²⁵.

24 Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et biens d'équipement - La librairie ADEME, <https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/1189-modelisation-et-evaluation-des-impacts-environnementaux-de-produits-de-consommation-et-biens-d-equipement.html>

25 Omdia: For the first time, LCD TV display weighted average size surpasses the 50-inch display size, <https://www.prnewswire.com/apac/news-releases/omdia-for-the-first-time-lcd-tv-display-weighted-average-size-surpasses-the-50-inch-display-size-301883953.html>

	Taille moyenne	Nombre d'équipements actifs
2010	31" (LCD)	0.50 milliard
2023	47" (LCD)	1.45 milliard
À venir	55/65" (OLED)	? milliard

En outre, l'émergence des téléviseurs à technologie OLED, en faible proportion à date dans le parc mais dont les ventes progressent année après année, va également tirer les impacts environnementaux vers le haut, leur taille étant d'ores et déjà plus élevée en moyenne (58 pouces), tout comme leurs impacts environnementaux lors de la phase de fabrication. Enfin, cette mise à disposition par l'industrie de tailles toujours croissantes favorise le renouvellement des équipements et donc l'obsolescence technologique^{26 27}.

La durée de vie des moniteurs et téléviseurs est fixée à 7 ans et a été approximée à partir de données anciennes. Une analyse de sensibilité a donc été effectuée sur ce paramètre pour évaluer son impact sur les résultats globaux. Les détails sont donnés à la section 5.1.3. On peut observer que ce paramètre est l'un des principaux responsables de l'incertitude sur les impacts totaux du numérique.

2.5.1.2 IoT

Les **divers objets connectés** sont devenus la **deuxième catégorie d'équipements utilisateur-rices** ayant le **plus d'impact**. Hors enceintes connectées, ils représentent environ **11 % des impacts environnementaux** du numérique pour tous les indicateurs, à l'exception de l'indicateur qui concerne l'utilisation des ressources en minéraux et métaux (5 %).

Les objets connectés ont un profil d'impact différent de la plupart des équipements utilisateur-rices : contrairement à une idée très répandue, une grande partie des objets connectés sont **alimentés sur secteur** et non sur batterie, avec un mode veille ayant très peu de différence dans sa consommation électrique par rapport au mode actif. Ces équipements étant **très nombreux**, et pour la plupart rarement éteints (plutôt en mode actif ou en mode veille), leur **consommation électrique en cumulé** est assez importante pour représenter **10,6 % de la consommation électrique de l'ensemble du numérique**, soit 242 TWh, c'est-à-dire autant que 49 % de la production totale d'électricité en France en 2023²⁸.

La différence en quantité d'équipements IoT entre l'étude 2019 et la présente étude a conduit à réaliser une analyse de sensibilité sur la quantité d'objets connectés. Les détails sont présentés à la section 5.1.3. Les résultats montrent que ce paramètre est peu responsable de l'incertitude des résultats globaux.

2.5.1.3 Smartphones

Les **smartphones** sont la **troisième catégorie d'équipements utilisateur-rices** ayant les impacts environnementaux les plus importants du numérique. Ils représentent 11 % de l'utilisation des ressources en minéraux et métaux du numérique, indicateur sur lequel ils ont proportionnellement le plus d'impact en comparaison aux autres types d'équipements. Concernant le potentiel de réchauffement climatique, la quantité de smartphones leur fait dépasser les impacts des ordinateurs portables (5 % contre 3 % pour les ordinateurs portables).

²⁶ Petit écran, grand gaspillage : l'obsolescence des téléviseurs - HOP, <https://www.halteobsolescence.org/publication/rapport-obsolescence-televiseurs/>

²⁷ Omdia: For the first time, LCD TV display weighted average size surpasses the 50-inch display size, <https://www.prnewswire.com/apac/news-releases/omdia-for-the-first-time-lcd-tv-display-weighted-average-size-surpasses-the-50-inch-display-size-301883953.html>

²⁸ Production | EDF FR, <https://www.edf.fr/groupe-edf/comprendre/production>

Le **nombre** de smartphones a **augmenté de 1 milliard entre 2019 et 2023** : l'**usage** des smartphones s'est largement **démocratisé** au cours des dernières années à travers le monde. En parallèle, on observe une forte **diminution du nombre de feature phones**.

Une étude de GSMA²⁹ renseigne sur le taux de pénétration des smartphones sur le marché par région du monde. On peut voir que la répartition géographique des smartphones n'est pas homogène. Le taux de pénétration est le plus élevé en Amérique du Nord, puis en Europe et en Asie avec 70 à 80 %. A l'inverse, en Afrique et au Moyen-Orient, le taux de pénétration va de 20 à 60 %. Dans ces zones, l'étude explique qu'à présent, les freins à l'utilisation d'un smartphone ne sont plus la couverture réseau, mais principalement le coût du terminal et les compétences pour pouvoir l'utiliser (dont la maîtrise de la lecture).

Du point de vue des tendances d'évolution, dans un marché en baisse depuis le pic de 2021 dans le contexte de la pandémie³⁰, les ventes semblent être légèrement reparties à la hausse sur l'année 2024, notamment en raison de la poursuite **déploiement de la 5G** dans les marchés dits « émergents »³¹. Les récentes actualités autour des dernières évolutions technologiques de l'IA ont été saisies par les fabricants pour développer et promouvoir de **nouveaux produits** revendiquant des capacités de calcul dédiées à l'IA. Ces nouveaux produits sont vu comme des leviers de « croissance »³², ce qui **soulève des risques importants d'obsolescences psychologique (marketing) et technique** (mise à niveau des Systèmes d'Exploitation)³³, avec pour impacts l'accélération des renouvellements des appareils, smartphones et laptops³⁴.

2.5.1.4 Vidéoprojecteurs

Les **vidéoprojecteurs** représentent 2 à 6 % des impacts environnementaux et sanitaires du numérique, ce qui en fait une catégorie d'équipements ayant un impact conséquent dans le Tier I.

Leur impact est principalement dû à la **consommation d'électricité en phase d'utilisation**. En effet, la puissance unitaire d'un équipement est élevée et leur temps d'utilisation peut également être élevé, notamment dans un cadre scolaire ou professionnel.

Cependant, la donnée d'inventaire sur les quantités de vidéoprojecteurs a été déduite indirectement à partir de données sur les moniteurs et projecteurs. De plus, il existe de nombreux types de vidéoprojecteurs : en entreprise, dans les établissements scolaires, pour les particuliers, etc. Ces différentes typologies d'équipement et leurs usages variés rendent difficile l'obtention d'un chiffre fiable. Ainsi, une analyse de sensibilité a été réalisée pour estimer l'influence de la quantité de vidéoprojecteurs sur les impacts globaux du numérique. Les détails sont donnés à la section 5.1.3. Il en résulte que ce n'est pas la source principale d'incertitude sur les résultats globaux.

2.5.1.5 Focus sur les réseaux

Les **réseaux fixes et mobiles** (Tier II) sont dans l'ensemble responsables de **15 à 26 % des impacts globaux** environnementaux et sanitaires du numérique en 2023.

La Figure 4 représente la répartition des impacts des réseaux entre fixe et mobile. Le réseau mobile représente une part légèrement plus importante des impacts du numérique que le réseau fixe pour la plupart des indicateurs (répartition de respectivement 60 % à 40 %). Seules l'utilisation des ressources, minéraux et métaux et les radiations ionisantes sont légèrement supérieures pour le réseau fixe.

L'impact unitaire du réseau mobile pour un-e abonné-e est plus faible que pour le réseau fixe. C'est le nombre d'abonnés au réseau mobile (7 fois plus grand que sur le réseau fixe) qui fait que l'impact total est plus grand pour le réseau mobile.

29 GSMA | The State of Mobile Internet Connectivity Report 2024 - Mobile for Development, <https://www.gsma.com/r/somic/>

30 Canalys Newsroom - Global smartphone market declined just 4% in 2023 amid signs of stabilization, <https://www.canalys.com/newsroom/worldwide-smartphone-market-2023>

31 Worldwide Smartphone Forecast Update, 2024-2028, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US52314824>

32 Global Smartphone Shipments Growth Forecast for 2024 Raised to 5%, <https://www.counterpointresearch.com/insights/global-smartphone-forecast-2024/>

33 Annonce Apple <https://www.apple.com/newsroom/2024/06/introducing-apple-intelligence-for-iphone-ipad-and-mac/> et Microsoft <https://blogs.windows.com/windowsexperience/2024/10/01/new-experiences-coming-to-copilot-pcs-and-windows-11/>

34 Global PC Shipments Dip Slightly Despite Recovery Economy, AI Integration Key to Future Market Success, According to IDC Tracker, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS52644924>

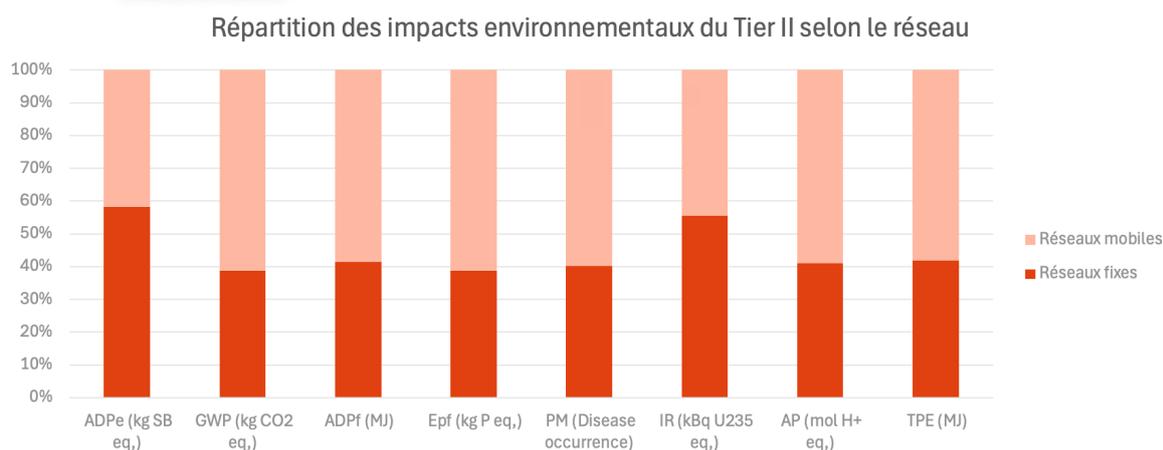


Figure 4 : Répartition des impacts environnementaux des réseaux (Tier II) entre réseau fixe et mobile

Le Tableau 8 représente les pourcentages d'impacts des différents réseaux par rapport à l'empreinte globale du numérique. Dans le réseau, on distingue une part d'impact due à la connexion au réseau et une part d'impact due à la quantité de données consommées, selon la méthode de l'étude ADEME utilisée³⁵ pour la modélisation des impacts des réseaux :

	 GWP (kg CO₂ eq.)	 ADPe (kg Sb eq.)	 ADPf (MJ)	 Epf (kg P eq.)	 PM (Occurrence de maladie)	 AP (mol H⁺ eq.)	 IR (kBq U₂₃₅ eq.)	 TPE (MJ)
Réseau Fixe	9,07 %	8,87 %	10,08 %	10,24 %	9,94 %	9,45 %	11,70 %	10,50 %
<i>Part due à la quantité de données</i>	1,37 %	2,01 %	1,54 %	1,52 %	1,42 %	1,35 %	1,88 %	1,56 %
<i>Part due au nombre d'abonnements</i>	7,70 %	6,85 %	8,55 %	8,72 %	8,52 %	8,10 %	9,82 %	8,95 %
Réseau Mobile	14,30 %	6,38 %	14,25 %	16,22 %	14,83 %	13,58 %	9,37 %	14,59 %
<i>Part due à la quantité de données</i>	7,22 %	2,98 %	6,95 %	8,75 %	7,36 %	6,93 %	3,73 %	7,22 %
<i>Part due au nombre d'abonnements</i>	7,08 %	3,39 %	7,30 %	7,48 %	7,47 %	6,65 %	5,64 %	7,36 %
Total Tier II	23,37 %	15,24 %	24,33 %	26,46 %	24,77 %	23,03 %	21,07 %	25,09 %

Tableau 8 : Répartition des impacts environnementaux des réseaux selon le type ainsi que la part due à l'abonnement ou la quantité de données échangées

On observe que pour le réseau fixe, la part d'impact due à la connexion au réseau est plus importante que la part d'impact due à la quantité de données consommées. En effet, une part importante des impacts a lieu au moment du raccordement au réseau : l'installation du câble de fibre optique en aérien ou sous-terrain pour raccorder la box internet par exemple. Une fois ce raccordement réalisé, la quantité de données qui est échangée n'augmente que peu la consommation des équipements installés et donc l'impact total.

³⁵ Évaluation de l'empreinte environnementale de la fourniture d'accès à internet en France - La librairie ADEME, <https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/6789-evaluation-de-l-empreinte-environnementale-de-la-fourniture-d-acces-a-internet-en-france.html>

Pour le réseau mobile au contraire, la répartition des impacts entre la part de raccordement et de la donnée est plus également répartie. En effet, à l'inverse du réseau fixe, l'échange de plus de données va demander une consommation électrique conséquente pour les équipements (antennes, amplificateurs, etc.).

D'après l'étude ADEME utilisée pour la modélisation des impacts des réseaux, le cœur de réseau (appelé backbone) et le réseau de transport représentent environ 10 à 25 % des impacts du réseau selon les indicateurs. Il est particulièrement mutualisé et optimisé, ce qui permet de réduire son impact, surtout sur la phase d'utilisation. En revanche, le réseau d'accès est lui beaucoup plus diffus, pour raccorder chaque abonné-e au reste du réseau. Son impact est majoritaire avec 75 à 90 % du total environ. De plus, deux aspects des réseaux ont été exclus de l'étude : les satellites de télécommunication et les câbles sous-marins. Plus de détails sur le périmètre pris en compte sont donnés à la section 5.2.4.

2.5.2 Focus sur les centres informatiques

En 2023, les **centres informatiques** sont responsables de **13 à 26 % des impacts environnementaux et sanitaires du numérique dans le monde**, selon les indicateurs. La figure ci-dessous détaille la répartition des impacts environnementaux selon les catégories d'équipement, ainsi que le Tableau 9.

Au sein des centres informatiques, la consommation électrique est de loin la première source d'impact, sauf pour l'indicateur utilisation des ressources en minéraux et métaux, qui est principalement lié dans l'ordre d'importance, à la phase de fabrication des serveurs et des batteries.

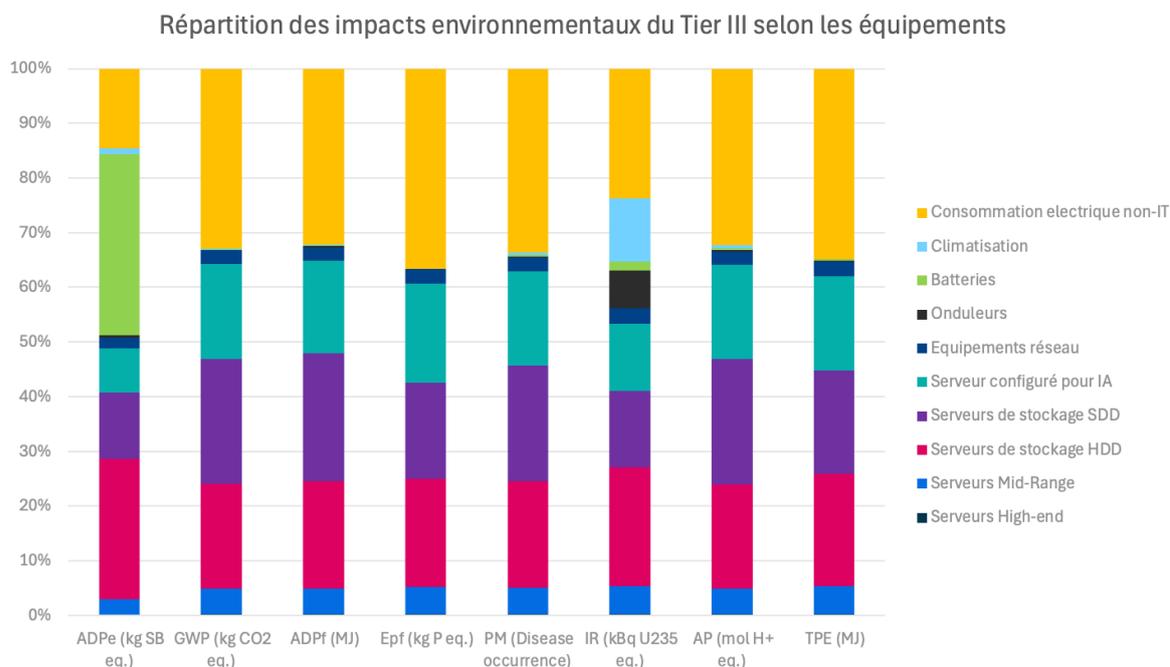


Figure 5 : Répartition des impacts environnementaux des centres informatiques (Tier III) selon les équipements

	 GWP (kg CO ₂ eq.)	 ADPe (kg Sb eq.)	 ADPf (MJ)	 Epf (kg P eq.)	 PM (Occurrence de maladie)	 AP (mol H ⁺ eq.)	 IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	 TPE (MJ)
Serveurs de calcul - High-end	0,07 %	0,02 %	0,07 %	0,08 %	0,07 %	0,07 %	0,02 %	0,07 %
Serveurs de calcul - Mid-range	1,06 %	0,35 %	1,02 %	1,27 %	1,07 %	1,01 %	0,41 %	1,09 %
Serveurs de stockage - HDD	4,34 %	3,27 %	4,37 %	5,05 %	4,43 %	4,17 %	1,79 %	4,41 %
Serveurs de stockage - SDD	5,22 %	1,55 %	5,17 %	4,49 %	4,81 %	5,06 %	1,15 %	4,05 %
Serveurs configurés pour l'IA	3,95 %	1,05 %	3,76 %	4,64 %	3,95 %	3,76 %	1,01 %	3,69 %
Equipements réseau	0,57 %	0,24 %	0,55 %	0,69 %	0,58 %	0,55 %	0,24 %	0,59 %
Onduleurs	0,02 %	0,07 %	0,05 %	0,00 %	0,04 %	0,05 %	0,57 %	0,04 %
Batteries	0,03 %	4,22 %	0,05 %	0,00 %	0,07 %	0,09 %	0,14 %	0,04 %
Climatisation	0,02 %	0,14 %	0,02 %	0,00 %	0,10 %	0,11 %	0,95 %	0,02 %
Consommation électrique non-IT	7,51 %	1,86 %	7,14 %	9,39 %	7,64 %	7,10 %	1,95 %	7,47 %
Total Tier III	22,80 %	12,77 %	22,18 %	25,61 %	22,75 %	21,97 %	8,22 %	21,46 %

Tableau 9 : Répartition des impacts environnementaux des centres informatiques (Tier III) relativement aux impacts totaux du numérique

Les lignes spécifiques aux équipements non-IT (onduleurs, batteries, climatisation) sont à comprendre comme indiquant les impacts hors consommation électrique lors de la phase d'utilisation de ces équipements. Cette consommation électrique est prise en compte dans la ligne "consommation électrique non-IT".

2.5.2.1 Les serveurs pour l'IA

En 2023, les serveurs dédiés à l'Intelligence Artificielle (IA) représentent déjà 1 à 5% des impacts environnementaux des centres informatiques selon les indicateurs, et ce, malgré leur faible nombre en proportion des autres serveurs³⁶. **Les serveurs configurés pour l'IA émettent déjà près de 4% des émissions de GES du numérique, soit déjà plus que l'ensemble des ordinateurs portables.** Au regard des projections de croissance à venir des usages des technologies IA, la proportion des impacts des serveurs IA est amenée à s'accroître encore plus rapidement dans les prochaines années, avec les conséquences environnementales correspondantes.

On note cependant déjà que les serveurs configurés pour l'IA consomment plus de 18 % de l'électricité des centres informatiques, alors qu'ils ne représentent que 2 % des quantités de serveurs.

	Allocation
Serveurs de calcul - High-end	0,31 %
Serveurs de calcul - Mid-range	4,95 %
Serveurs de stockage - HDD	19,71 %
Serveurs de stockage - SDD	17,48 %
Serveurs configurés pour l'IA	18,13 %
Equipements réseau	2,70 %
Consommation électrique non-IT	36,71 %

Tableau 10 : Allocation de la consommation électrique du Tier III

³⁶ Les serveurs IA ne représentent, dans notre inventaire 2023, que 2% des serveurs, soit moins que les serveurs mid-range.

Il est important de rappeler que cette répartition est une représentation 2023 sur un secteur encore très jeune et en pleine évolution. Par conséquent, cette répartition a vocation à devenir rapidement obsolète, et est susceptible d'être encore lacunaire et donc sous-estimée. En effet, les unités de calcul dédiées à l'IA, surtout dans leur phase d'entraînement de modèles, sont spécialement conçues pour ces usages (serveur de type FPGA, ASIC ou GPU)³⁷. En 2023, ce type d'unité représentait environ 30 % des livraisons en 2023, et 44 % prévues pour 2024³⁸. Or, ces unités spécialisées ont une consommation électrique de plus en plus importante. Pour tenir compte de ce degré d'incertitude et des impacts associés, une analyse de sensibilité a été menée, et détaillée en annexe dans la section 5.1.3.2. Elle met en évidence les variations potentielles des impacts du numérique par rapport à la consommation électrique liée aux serveurs configurés pour l'IA.

Par ailleurs, l'essor de l'IA générative est un usage supplémentaire qui ne se substitue pas aux usages précédents mais s'y additionne. Il en va donc de même pour les équipements de type serveur, qui s'ajoutent aux stocks existants. Les traitements de calculs nécessitant des composants supplémentaires et en bien plus grande quantité (GPU, mémoire vive, stockage). En 2023, la durée de vie de ces serveurs hors IA a actuellement tendance à être légèrement prolongée vers 7 ans, pour libérer du capital pour l'acquisition des serveurs IA, onéreux et dans un contexte d'économie mondiale en berne³⁹.

2.5.2.2 Les équipements non-IT

La répartition des consommations électriques, telle que reprise dans Le tableau ci-dessus montre la part importante des équipements non-IT. A noter que notre modèle sur les données 2023 ne tient pas encore compte de la reconfiguration progressive débutant actuellement, poussée par l'essor de l'IA générative, qui génère une densité thermique beaucoup plus importante et donc des besoins accrus de refroidissement et l'émergence progressive de nouvelles méthodes de refroidissement (door cooling, immersion cooling)³⁷.

2.5.2.3 Serveurs de stockage

Les **serveurs de stockage** sont les équipements totalisant le plus d'impact au sein des centres informatiques : **cela est lié à leur grand nombre proportionnellement aux serveurs de calcul, bien qu'unitairement, un serveur de calcul soit bien plus énergivore à l'utilisation.**⁴⁰

2.5.2.4 Synthèse

La migration vers le cloud, l'essor de l'IA générative, et les cryptomonnaies, sont les 3 principaux vecteurs de la reconfiguration en cours des impacts des centres informatiques. Tous trois entraînent une hausse notable de la demande, avec une croissance forte du nombre de projets d'implantation de centres informatiques à travers le monde entier, les Etats-Unis étant largement en tête. Pour la première fois en février 2024, l'Agence Internationale de l'Energie a alerté sur le bond en termes de consommation électrique réalisé par le secteur depuis 2022, annonçant des projections de doublement de la consommation électrique des centres informatiques entre 2022 et 2026⁴¹.

Le développement fulgurant des technologies de l'IA génère également de profonds bouleversements dans la gestion des centres informatiques existants : en 2023, leurs gestionnaires privilégient le rallongement des durées de vie des serveurs existants et l'investissement dans l'optimisation de la gestion de l'énergie et l'augmentation de capacité. Ces 2 points visent à soutenir le développement de leur offre en capacité de calcul spécialisé pour l'IA⁴².

37 Global AI Server Demand Surge Expected to Drive 2024 Market Value to US\$187 Billion; Represents 65% of Server Market, Says TrendForce, <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20240717-12227.html>

38 Global annual AI server shipments, 2023-2024, <https://www.digitimes.com/reports/item.asp?id=20240711RS400>

39 Omdia: Servers for AI processing are big sellers | Network World, <https://www.networkworld.com/article/1312785/omdia-servers-with-ai-processing-are-big-sellers.html>

40 Notre inventaire dénombre une proportion de 15,5 serveurs de stockage (HDD ou SSD) pour 1 serveur de calcul (high-end, mid-range, ou IA).

41 Electricity 2024 – Analysis – IEA, <https://www.iea.org/reports/electricity-2024> § Licence: CC BY 4.0, page 31

42 Omdia: AI boosts server spending but unit sales still plunge | Network World, <https://www.networkworld.com/article/1251147/omdia-ai-boosts-server-spending-but-unit-sales-still-plunge.html>

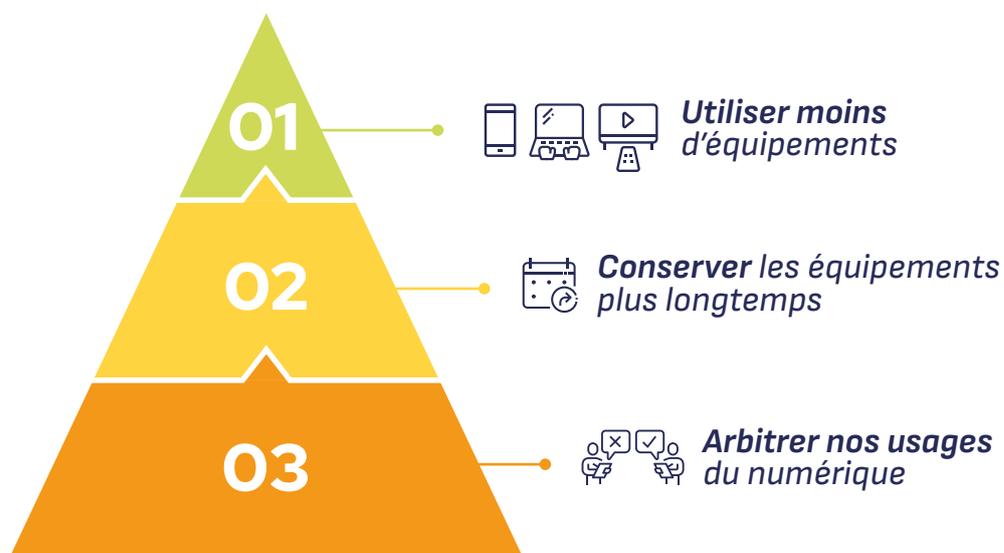


3 Recommandations

Au cours de cette étude, nous avons pu voir que le numérique consomme déjà plus de 40% du budget GES par internaute pour rester en dessous de 1,5°C de réchauffement climatique. Si le numérique devait prendre une **place proportionnelle à sa contribution aux émissions de GES** (3,4%) tout en respectant le budget soutenable pour rester dans les limites planétaires, il faudrait alors **réduire d'un facteur 12 les émissions du numérique**.

Face au constat de ces impacts environnementaux et sanitaires conséquents du numérique, quels sont les leviers d'action pour réduire son empreinte ?

L'idée générale pourrait être résumée en 3 points :



Pour que chacun-e puisse s'emparer concrètement des enjeux à sa portée, nous avons structuré les **recommandations** selon **3 profils (citoyen, entreprise, pouvoirs publics)** et listé les recommandations par **priorité**.

Une **réduction** d'une telle **ampleur** appelle à considérer tout exercice de recommandation avec humilité et à **réévaluer régulièrement les ambitions** de réduction à la hausse, par palier. En effet, si pour certains internautes, réduire ses impacts environnementaux du numérique peut être de ne pas posséder de téléviseur, d'ordinateur ou de smartphone, pour d'autres, de telles contraintes peuvent paraître inaccessibles tant le numérique imprègne nos quotidiens personnels, administratifs et professionnels. Mieux vaut, dans ce dernier cas, **se concentrer sur la ou les actions ayant le plus de potentiel de réduction des impacts** tout en combinant une **dose d'effort réaliste au regard de ses contraintes**. Pour des utilisateur-ices ayant déjà un usage sobre du numérique, l'effort contributif supplémentaire pourrait être de partager leur expérience de sobriété et de réparabilité du numérique pour accompagner d'autres sur cette voie.

A ce titre, il est aussi nécessaire de rappeler que bien que les équipements utilisateur-ices **représentent la majorité des impacts**, l'effort **ne peut reposer uniquement sur les actions individuelles** : les **actions collectives et citoyennes**, la réglementation et une véritable stratégie de sobriété numérique sont nécessaires pour **réduire efficacement** les impacts environnementaux et sanitaires du numérique. Par ailleurs, demander un effort identique aux pays en voie de développement en comparaison aux pays développés ne tiendrait pas compte de la dette des émissions passées des pays développés, ni des **inégalités persistantes** actuellement en matière d'accès au numérique et de taux d'équipement.

D'après les résultats de la présente étude, il apparaît clairement que :

1. **Pour réduire les impacts environnementaux et sanitaires du numérique** il faut en priorité agir sur les équipements et les phases de cycle de vie qui concentrent le plus d'impacts, donc
 - a. Au niveau du **Tier I – Equipements utilisateur-ices** :
 - i. Réduire le **nombre** et la **taille** des **moniteurs** et **téléviseurs**
 - ii. Réduire le nombre d'**objets connectés**
 - iii. Réduire le nombre de **smartphones**
 - iv. **Faire durer** tous ces appareils plus longtemps
 - v. **Réduire le temps d'utilisation** des moniteurs, téléviseurs, smartphones et vidéoprojecteurs
 - vi. Améliorer l'**efficacité énergétique** des nouveaux appareils
 - b. Au niveau du **Tier II – Réseaux** :
 - i. **Dimensionner** les réseaux au plus juste et limiter le déploiement de nouvelles infrastructures
 - ii. **Privilégier** l'utilisation des réseaux fixes déjà existants
 - iii. **Réduire la quantité de données** transférées sur les réseaux mobiles
 - iv. Améliorer l'**efficacité énergétique** des nouveaux équipements
 - c. Au niveau du **Tier III – Centres informatiques** :
 - i. **Dimensionner** les centres informatiques au plus juste et limiter le déploiement de nouvelles infrastructures, et donc des services numériques associés,
 - ii. **Moins solliciter** les centres informatiques (calculs et stockage)
 - iii. **Freiner les nouveaux usages** (IA en particulier)
 - iv. Améliorer l'**efficacité énergétique** des nouveaux équipements
2. **Pour revenir sous le seuil des limites planétaires**, les actions ci-dessus doivent être menées avec l'ambition de réduire d'un facteur 12 les impacts environnementaux et sanitaires du numérique. Pour cela, **toutes les parties prenantes ont leur rôle à jouer**. Voici nos recommandations pour les pouvoirs publics, les entreprises et organisations, et les individus consommateurs/citoyens.

Pouvoirs publics

<p>Action 1 : Limiter la croissance du numérique, encadrer les usages</p>	<p>Notamment le recours au numérique pour les services publics et la gestion des communs.</p> <p>Créer les conditions pour favoriser l’allongement de la durée de vie des équipements numériques (ex : favoriser le secteur de la réparation et du réemploi, limiter la publicité dans l’espace public, allonger la durée de garantie à 5 ans, séparer les mises à jour de sécurité et confort, encadrer le recours aux dark patterns, etc.).</p> <p>Encadrer les usages de l’IA en tenant compte de ses impacts environnementaux.</p>
<p>Action 2 : Informier et consulter les citoyens</p>	<p>Sensibiliser le grand public sur les impacts environnementaux du numérique en général, et plus particulièrement sur les équipements et les usages qui concentrent le plus d’impacts.</p> <p>Ouvrir le débat et faire participer les citoyens pour définir collectivement quel numérique est souhaitable pour aujourd’hui et pour demain.</p> <p>Fournir une information exhaustive sur les projets qualifiés “d’intérêt public majeur” en IA ou transition numérique.</p>
<p>Action 3 : Encourager les acteurs à la transparence</p>	<p>Cadrer les pratiques d’évaluation et d’affichage sur les impacts environnementaux des équipements et services numériques (ACV multicritère PEF), et inciter les acteurs à mettre en œuvre ces pratiques.</p> <p>Étendre les indices de réparabilité et de durabilité au niveau européen et à l’international.</p>

Tableau 11 : Recommandations d’actions des pouvoirs publics pour réduire les impacts du numérique

Entreprises et Organisations

<p>Action 4 : Réduire les impacts environnementaux des équipements et services numériques</p>	<p>Généraliser les pratiques d’écoconception des équipements et des services numériques.</p> <p>Questionner systématiquement les besoins et les nouveaux usages envisagés.</p>
<p>Action 5 : Faire preuve de transparence sur les impacts environnementaux de leurs équipements et services</p>	<p>Notamment pour les fabricants et les fournisseurs de services (Cloud/Hyperscalers), évaluer les impacts environnementaux de leurs équipements et services au moyen de la méthode ACV multicritère, communiquer des résultats détaillés et auditable.</p>
<p>Action 6 : Innover en matière de modèle d’affaire pour être compatible avec les limites planétaires</p>	<p>Faire évoluer les modèles d’affaire des entreprises du secteur pour freiner la production de nouveaux équipements numériques.</p> <p>Ralentir le déploiement de nouvelles infrastructures et leur utilisation.</p> <p>Adopter des modèles d’entreprises régénératives.</p>

Tableau 12 : Recommandations d’actions des entreprises et organisations pour réduire les impacts du numérique

Citoyens-nes

<p>Action 7 : limiter son nombre d'équipements</p>	<p>S'équiper du strict nécessaire, en premier lieu pour les moniteurs, téléviseurs, objets connectés, smartphones et vidéoprojecteurs, mais également tous les autres équipements numériques (ordinateurs, imprimantes... et les petits équipements type écouteurs, casques, disques durs externes, etc.).</p> <p>Choisir des appareils durables et sobres énergétiquement.</p>
<p>Action 8 : Résister aux modes / questionner les usages</p>	<p>Réduire son temps d'écran en général.</p> <p>Réduire ses usages intensifs en données sur les réseaux mobiles (ex : streaming vidéo, appels vidéo).</p> <p>Ne renouveler ses appareils que lorsque ceux-ci deviennent inutilisables (et non à la sortie d'un nouveau modèle).</p> <p>N'utiliser les systèmes d'IA, générative en particulier, que très parcimonieusement.</p> <p>Faire connaître ses choix de réduction pour stimuler l'engagement des autres internautes, des acteurs du secteur et des pouvoirs publics.</p>
<p>Action 9 : Prolonger la durée d'usage</p>	<p>Protéger ses appareils et en prendre soin pour éviter les casses prématurées.</p> <p>Adopter des pratiques de maintenance et de nettoyage (matériel et logiciel) pour prolonger la durée de vie de ses appareils.</p> <p>Favoriser la filière du reconditionnement à l'achat comme à la revente de ses appareils.</p>

Tableau 13 : Propositions de bonnes pratiques des individus pour réduire les impacts du numérique



4 Conclusion

Cette étude met en lumière que les impacts environnementaux du numérique sont tout sauf immatériels, avec autour de **30,5 milliards d'équipements actifs en 2023**. Ainsi, si le numérique était un pays, il émettrait autant de Gaz à Effet de Serre que **3 fois la Corée du Sud** ou **5,5 fois la France**.

Parmi les indicateurs qui ressortent particulièrement, la **contribution du numérique à l'épuisement des ressources en minéraux et métaux se distingue particulièrement**, dépassant pour la première fois l'indicateur du potentiel de réchauffement climatique, malgré une méthode de pondération nettement plus favorable à la mise en exergue du potentiel de réchauffement climatique.⁴³ Ainsi, l'indicateur d'utilisation des ressources en minéraux et métaux rappelle que **le numérique contribue aux tensions sur les ressources et n'existe pas sans ces minéraux et métaux, qui sont des ressources finies, dont dépendent aussi d'autres secteurs** tels que la santé, les infrastructures énergétiques ou la défense. Faire un usage immodéré du numérique contribue ainsi à mettre en péril les ressources pour les générations futures.⁴⁴

L'exemple de la contribution du numérique à l'épuisement des ressources en minéraux et métaux, ainsi que les indicateurs touchant à la **ressource eau** (tels que ceux **l'eutrophisation**, et **l'écotoxicité sur l'eau douce**), montrent à quel point il est important d'avoir une vision d'ensemble des impacts environnementaux et sanitaires du numérique, d'où l'utilité d'une ACV multicritère. De plus, selon les étapes du cycle de vie et le type d'équipement numérique analysé, les impacts diffèrent, comme on a pu le voir au long de cette étude, renforçant la nécessité d'avoir recours à une analyse multicritère, qui permet ainsi d'éviter d'**occasionner des transferts de pollution par manque de considération d'un indicateur dans les prises de décision**. A ce titre, on peut espérer que les impacts sociaux, tels que l'exploitation humaine, pourront aussi être un jour considérés pour ces évaluations.

À noter qu'au niveau mondial, contrairement à l'échelle européenne et française, la phase d'utilisation a proportionnellement plus d'impact que la phase de fabrication, sauf pour la contribution à l'épuisement des ressources en minéraux et métaux et les émissions de radiations ionisantes, indicateurs pour lesquels la phase de fabrication reste majoritaire.

⁴³ Voir à ce titre les résultats de la normalisation pondération et les facteurs de pondération de la Commission Européenne dans la méthodologie PEF, traité en annexe.

⁴⁴ Voir à ce titre le site https://www.mineralinfo.fr/fr/substances?title=&field_usages_target_id=151&sort_by=field_critique_a_plat_value, ou encore les données de l'USGS. Pour prendre un exemple dont dépendent beaucoup de secteurs comme le numérique : si la production de nickel de 2023 restait identique chaque année, il resterait 36 ans de nickel avant épuisement des réserves mondiales connues [calculé à partir de <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-nickel.pdf>].

Cette étude met aussi en exergue la relation entre les émissions de GES du numérique et le budget soutenable des limites planétaires à respecter pour rester en dessous de 1,5°C de réchauffement climatique. En effet, s'il représente 3,4% des émissions mondiales de GES, **le numérique consomme cependant 40% du budget annuel soutenable d'un internaute pour rester en dessous de 1,5°C de réchauffement climatique**, conformément aux accords de Paris.⁴⁵

A l'aune des données collectées lors de notre inventaire, nous avons pu voir que la trajectoire en cours pour le numérique tend fortement vers un **accroissement systémique du nombre d'équipements, d'usages, et du nombre d'utilisateur-rices, et ce, au dépend des conséquences environnementales**. Ceci est particulièrement notable, concernant les équipements utilisateur-rices, pour les **téléviseurs**, les **smartphones**, et les **objets connectés**. De même, l'essor fulgurant de l'**IA générative** en peu de temps est déjà visible au sein des impacts environnementaux du numérique, totalisant, **uniquement pour les serveurs configurés pour l'IA, entre 1 à 5% des impacts du numérique selon les indicateurs** (4% pour les émissions de GES).

A l'échelle mondiale, on ne constate aucune baisse significative d'une catégorie d'équipement. Ainsi, les nouveaux usages et équipements s'ajoutent aux précédents avec une trajectoire globale d'augmentation des impacts du numérique. Cette augmentation des impacts du numérique se cumule à l'augmentation des impacts des autres secteurs, ce qui démontre la vacuité des promesses de verdissement que le numérique pourrait apporter aux autres secteurs.

Face à ces constats, nos recommandations concernant la réduction des impacts environnementaux se focalisent sur la **sobriété numérique** et les mécanismes pour la mettre en œuvre, à la fois sur la réduction des impacts liés à la fabrication et liés à l'utilisation des équipements et des services numériques : **moins d'équipements, mais qui durent plus longtemps et arbitrer nos usages**. Ces recommandations font l'objet d'une section dédiée, à destination des pouvoirs publics, des organisations et des citoyens. **Cependant, cette étude et ces recommandations ne sont rien sans votre engagement individuel et collectif pour réduire activement nos impacts.**



5 Annexes

5.1 Résultats complémentaires

5.1.1 Tableaux de résultats détaillés

La somme des totaux n'est pas toujours égale à 100% en raison des arrondis.

			 Tier I	 Tier II	 Tier III	Total
	GWP (kg CO ₂ eq.)	Fabrication	15 %	1 %	2 %	18 %
		Transport	1 %	0 %	0 %	1 %
		Utilisation	38 %	22 %	20 %	81 %
		Fin de vie	0 %	0 %	0 %	1 %
	ADPe (kg Sb eq.)	Fabrication	62 %	10 %	8 %	80 %
		Transport	0 %	0 %	0 %	0 %
		Utilisation	9 %	6 %	5 %	20 %
		Fin de vie	0 %	0 %	0 %	0 %
	ADPf (MJ)	Fabrication	16 %	3 %	3 %	22 %
		Transport	1 %	0 %	0 %	1 %
		Utilisation	36 %	21 %	19 %	77 %
		Fin de vie	0 %	0 %	0 %	1 %
	EpF (kg P eq.)	Fabrication	0 %	0 %	0 %	0 %
		Transport	0 %	0 %	0 %	0 %
		Utilisation	48 %	26 %	26 %	100 %
		Fin de vie	0 %	0 %	0 %	0 %

			 Tier I	 Tier II	 Tier III	Total
	PM (Occurrence de maladie)	Fabrication	12 %	2 %	2 %	16 %
		Transport	1 %	0 %	0 %	1 %
		Utilisation	39 %	23 %	21 %	82 %
		Fin de vie	1 %	0 %	0 %	1 %
	AP (mol H ⁺ eq.)	Fabrication	17 %	2 %	3 %	22 %
		Transport	1 %	0 %	0 %	1 %
		Utilisation	36 %	20 %	19 %	76 %
		Fin de vie	1 %	0 %	0 %	1 %
	IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	Fabrication	61 %	16 %	3 %	79 %
		Transport	0 %	0 %	0 %	0 %
		Utilisation	10 %	5 %	5 %	21 %
		Fin de vie	0 %	0 %	0 %	0 %
	TPE (MJ)	Fabrication	15 %	3 %	1 %	19 %
		Transport	0 %	0 %	0 %	0 %
		Utilisation	38 %	22 %	20 %	80 %
		Fin de vie	0 %	0 %	0 %	0 %

Tableau 14 : Répartition des impacts environnementaux du numérique par Tier et par étape du cycle de vie

	 GWP (kg CO ₂ eq.)	 ADPe (kg Sb eq.)	 ADPf (MJ)	 Epf (kg P eq.)	 PM (Occurrence de maladie)	 AP (mol H ⁺ eq.)	 IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	 TPE (MJ)
Ordinateur fixe	3 %	4 %	3 %	2 %	3 %	3 %	9 %	3 %
Ordinateur portable	3 %	5 %	3 %	1 %	3 %	3 %	2 %	3 %
Tablette	1 %	2 %	1 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %
Téléphone fixe	1 %	1 %	1 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %
Smartphone	5 %	11 %	5 %	1 %	4 %	6 %	3 %	4 %
Feature phone	0 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Moniteurs	1 %	4 %	2 %	1 %	1 %	1 %	2 %	1 %
Téléviseurs	13 %	25 %	13 %	14 %	13 %	13 %	25 %	13 %
Imprimantes	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	7 %	4 %
Consoles de jeu	1 %	2 %	1 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %
Vidéo projecteurs	5 %	2 %	5 %	6 %	5 %	5 %	3 %	5 %
Box TV	3 %	4 %	3 %	3 %	3 %	3 %	6 %	3 %
Enceintes connectées	1 %	1 %	1 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %
Equipements IoT	11 %	5 %	11 %	12 %	11 %	11 %	10 %	11 %
Total Tier I	54 %	72 %	53 %	48 %	52 %	55 %	71 %	53 %

Tableau 15 : Répartition des impacts environnementaux des équipements utilisateur-ices (Tier I) par catégorie d'équipements en proportion du total des impacts environnementaux du numérique dans le monde sur les 3 Tiers

Les totaux peuvent ne pas toujours correspondre en raison des arrondis.

	 GWP (kg CO ₂ eq.)	 ADPe (kg Sb eq.)	 ADPF (MJ)	 Epf (kg P eq.)	 PM (Occurrence de maladie)	 AP (mol H ⁺ eq.)	 IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	 TPE (MJ)
Réseau Fixe	9 %	9 %	10 %	10 %	10 %	10 %	12 %	11 %
<i>Part due à la quantité de données</i>	1 %	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %	2 %	2 %
<i>Part due au nombre d'abonnements</i>	8 %	7 %	9 %	9 %	9 %	8 %	10 %	9 %
Réseau Mobile	14 %	6 %	14 %	16 %	15 %	14 %	9 %	15 %
<i>Part due à la quantité de données</i>	7 %	3 %	7 %	9 %	7 %	7 %	4 %	7 %
<i>Part due au nombre d'abonnements</i>	7 %	3 %	7 %	7 %	7 %	7 %	6 %	7 %
Total Tier II	23 %	15 %	24 %	26 %	24 %	23 %	21 %	25 %

Tableau 16 : Répartition des impacts environnementaux des réseaux (Tier II) selon le type ainsi que la part due à l'abonnement ou la quantité de données échangées, en proportion du total des impacts environnementaux du numérique dans le monde sur les 3 Tiers

	 GWP (kg CO ₂ eq.)	 ADPe (kg Sb eq.)	 ADPF (MJ)	 Epf (kg P eq.)	 PM (Occurrence de maladie)	 AP (mol H ⁺ eq.)	 IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	 TPE (MJ)
Serveurs de calcul - High-end	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Serveurs de calcul - Mid-range	1 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %	1 %
Serveurs de stockage - HDD	4 %	3 %	4 %	5 %	4 %	4 %	2 %	4 %
Serveurs de stockage - SSD	5 %	2 %	5 %	4 %	5 %	5 %	1 %	4 %
Serveurs configurés pour l'IA	4 %	1 %	4 %	5 %	4 %	4 %	1 %	4 %
Equipements réseau	1 %	0 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %	1 %
Onduleurs	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %
Batteries	0 %	4 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Climatisation	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %
Consommation électrique non-IT	8 %	2 %	7 %	10 %	8 %	7 %	2 %	7 %
Total Tier III	23 %	13 %	22 %	26 %	23 %	22 %	8 %	21 %

Tableau 17 : Répartition des impacts environnementaux des centres informatiques (Tier III), en proportion du total des impacts environnementaux du numérique dans le monde sur les 3 Tiers

5.1.2 Comparaison à la littérature

Les résultats peuvent être comparés avec la **littérature scientifique existante** pour **identifier les différences et similarités**. On compte plusieurs études recensant les impacts environnementaux du numérique dans le monde pendant ces dernières années. Les résultats obtenus dans la présente étude sont donc comparés aux résultats de ces autres études pour comparer la pertinence des ordres de grandeur ou identifier de potentiels différences.

Pendant, **aucune étude n'a utilisé la même méthodologie**. Il faut donc **comparer** les résultats **de manière prudente**. Il est nécessaire de comprendre comment s'expliquent les écarts de résultats entre les différentes études.

La principale étude utilisée (Freitag et al., 2021⁴⁶) est une **revue de la littérature**, qui analyse trois articles scientifiques publiés **entre 2015 et 2021**, sur les impacts environnementaux du numérique dans le monde :

- Andrae and Edler (2015)⁴⁷ ;
- Belkhir and Elmelig (2018)⁴⁸ ;
- Malmodin and Lundén (2018)⁴⁹.

Ce sont les études les plus récentes sur le sujet. A ces trois études, s'ajoute un autre article de Malmodin publié en 2024⁵⁰. Elle contient des mises à jour par rapport à l'étude de Malmodin and Lundén de 2018.

Toutes ces études se focalisent uniquement sur l'indicateur du **potentiel de réchauffement climatique**. La comparaison est donc faite uniquement sur cet indicateur. De plus, elles incluent toutes les **trois Tiers** : les centres informatiques, les réseaux et les équipements utilisateur-rices . Les éléments pris en compte dans les différents Tiers sont variables et détaillés ci-dessous.

Dans l'étude de Andrae and Edler ainsi que Belkhir and Elmelig, la méthode utilisée est l'estimation de la consommation électrique des équipements pour les 3 Tiers, pendant la phase d'utilisation et la fabrication. Cette quantité d'électricité est ensuite convertie en émission de gaz à effet de serre avec un mix électrique. L'étude de Malmodin et al. utilise une approche cycle de vie similaire à la présente étude. C'est donc la plus proche méthodologiquement. C'est également celle qui se base sur les données les plus récentes. La comparaison à cette étude est donc privilégiée.

Le Tableau 16 résume les principales inclusions et exclusions dans le périmètre des études considérées.

	 Tier I		 Tier II		 Tier III	
	Inclus	Exclus	Inclus	Exclus	Inclus	Exclus
Andrae and Edler	Ordinateurs fixes et portables, écrans, téléphones portables, tablettes, TV, lecteurs DVD	Imprimantes, IoT	Basé sur la quantité de données transférées	Satellites	Basé sur la quantité de données transférées	-

46 Freitag et al., *The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations* - ScienceDirect, 2021, <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666389921001884>

47 *On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030*, <https://www.mdpi.com/2078-1547/6/1/117>

48 *Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations* - ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261733233X>

49 *The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015*, <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3027>

50 Malmodin et al., *ICT sector electricity consumption and greenhouse gas emissions – 2020 outcome* - ScienceDirect, 2024, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308596123002124>

	 Tier I		 Tier II		 Tier III	
	Inclus	Exclus	Inclus	Exclus	Inclus	Exclus
Belkhir and Elmeligi	Ordinateur, laptops, écrans LCD et CRT, tablettes, smartphones	Téléviseurs, box TV, imprimantes, IoT	Box internet, réseaux professionnels et d'opérateur, environnement technique	Satellites	Serveurs de calcul et de stockage, équipements réseau, refroidissement, alimentation électrique	Bâtiments
Malmodin et al.	Ordinateur, laptops, écrans, tablettes, smartphones, box internet, terminaux de paiement, enceinte connectée, casque, IoT	Téléviseurs, imprimantes, consoles de jeu	Réseau fixe et mobile, WAN et LAN en entreprise, satellites	Box internet	Serveurs, équipements de stockage, équipements de communication, environnement technique	-

Tableau 18 : Principales inclusions et exclusions dans le périmètre des 3 études scientifiques comparées à celle-ci

Plusieurs différences notables peuvent déjà être identifiées :

- La présente étude donne les impacts liés au numérique pour l'année 2023, les autres études scientifiques concernent l'année 2020. De plus, deux d'entre elles ont été réalisées en amont sur la base de projections. Une sous-estimation des résultats issus de la littérature scientifique est donc attendue par rapport aux résultats de la présente étude.
- Les deux premières études se basent uniquement sur la consommation électrique. Les impacts sur le potentiel de réchauffement climatique issus d'autres procédés ou matières premières ne sont donc pas pris en compte. Une sous-estimation des résultats issus de ces études est donc attendue par rapport aux résultats de la présente étude.
- Les différences de périmètres détaillées dans le Tableau ci-dessus peuvent amener à des sous-estimations ou des surestimations par rapport à la présente étude.

Le Tableau 17 résume les résultats par Tier des différentes études scientifiques, en comparaison à la présente étude.

	Impact GWP Tier I (G tonnes éq. CO ₂)	Impact GWP Tier II (G tonnes éq. CO ₂)	Impact GWP Tier III (G tonnes éq. CO ₂)	Impact GWP Total (G tonnes éq. CO ₂)	Pourcentage du résultat total de la présente étude
Présente étude (année 2023)	0,99	0,43	0,42	1,83	100 %
Andrae and Edler (année 2020, scénario "expected case")	0,97	0,46	0,43	1,86	102 %
Belkhir and Elmeligi (année 2020, scénario "average")	0,45	0,27	0,49	1,21	75 %
Malmodin and Lundén (année 2020)	0,43	0,20	0,12	0,76	58 %

Tableau 19 : Comparaison des résultats de la présente étude avec trois études scientifiques

Concernant le Tier I, la présente étude est la plus proche des résultats d'Andrea and Edler. L'écart avec les autres études s'explique principalement par le fait qu'elles ne prennent pas en compte les téléviseurs dans le périmètre. Si on enlève les téléviseurs de notre étude pour avoir le même périmètre, on obtient 0,65 Gt éq. CO₂, réduisant l'écart avec les résultats de Malmodin à 30 % environ. La différence restante s'explique probablement par la modélisation de l'IoT. En effet, Malmodin et al. estiment 13 Mt éq. CO₂ pour l'IoT alors que la présente étude donne 207 Mt éq. CO₂, soit environ 16 fois plus. En effet, la présente étude utilise une quantité d'objets connectés de 15 milliards contre 6 milliards pour Malmodin et al. Aussi, la consommation électrique estimée pour l'IoT est 3 fois plus élevée. Cependant, la valeur de 15 milliards d'objets connectés est conservée dans la présente étude car considérée comme suffisamment fiable. En effet, deux sources récentes (Transforma Insights⁵¹ et Ericsson⁵²) donnant des résultats cohérents pour 2023 ont été trouvées. Une analyse de sensibilité a été réalisée sur la quantité d'objets connectés (variation entre 12 et 18 milliards) et il en résulte que la variation induite sur les résultats globaux est de +/- 5 % sur les résultats du Tier I.

Le constat est le même pour le Tier II : la présente étude est la plus proche des résultats d'Andrea and Edler. Les résultats des deux autres études sont bien inférieurs ; les résultats de Malmodin et al. indiquent un impact deux fois plus faible que dans la présente étude. Les résultats montrent que la majorité des impacts du potentiel de réchauffement climatique viennent de la phase d'utilisation et donc de l'électricité consommée. En s'intéressant donc aux consommations électriques, on trouve que Malmodin et al. estiment un total de 272 TWh d'électricité pour les réseaux, contre 513 TWh dans la présente étude. Il faut cependant noter que dans l'étude de Malmodin et al., les box internet sont prises en compte dans le Tier I et non dans le Tier II. A périmètre égal, en excluant les box du périmètre du Tier II, la présente étude donne 410 TWh. De plus, l'IEA⁵³ indique une consommation électrique des réseaux au niveau mondial comprise entre 260 et 360 TWh en 2022. Malgré une légère surestimation, la valeur issue de l'étude est donc dans le même ordre de grandeur. La modélisation du Tier II, détaillée à la section 6.13.3, comporte une forte incertitude. En effet, les impacts ont été obtenus à partir d'une extrapolation d'une étude réalisée en France, et n'est donc pas représentative de la pluralité des infrastructures réseaux pouvant être observées dans le monde.

Pour le Tier III, les résultats présentés dans cette étude sont supérieurs aux estimations des précédentes études. De même que pour le Tier II, la majorité des impacts viennent de l'électricité consommée. Malmodin et al. se basent sur une valeur de 223 TWh en 2020, tandis que la présente étude se base sur 506 TWh en 2023. Cependant, dans les précédentes études, l'impact de l'IA n'était pas pris en compte car cette dernière n'avait pas encore connu le "boom" qu'elle a connu ces dernières années. Cela explique probablement une partie des écarts entre les deux valeurs de consommation électrique. De plus,

51 Current IoT Forecast Highlights - Transforma Insights, <https://transformainsights.com/research/forecast/highlights>

52 Wide-area and short-range IoT devices worldwide 2029 | Statista, <https://www.statista.com/statistics/1016276/wide-area-and-short-range-iot-device-installed-base-worldwide/>

53 Data centres & networks - IEA, <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks>

la valeur de 506 TWh est cohérente avec un rapport de l'IEA⁵⁴ estimant à 460 TWh la consommation électrique des centres de données en 2022 au niveau mondial, ce qui valide l'ordre de grandeur. Une incertitude subsiste sur la consommation électrique unitaire des serveurs, notamment ceux dédiés à l'IA. Une analyse de sensibilité est réalisée à la section 3.2 sur ce sujet.

5.1.3 Analyses de sensibilité

Plusieurs **analyses de sensibilité** ont été réalisées sur des éléments ayant un fort impact dans le résultat global et se basant sur des données présentant une forte incertitude. En effet, une analyse de sensibilité permet d'étudier la manière dont la variation d'un paramètre en entrée influence le résultat final.

Les 4 analyses réalisées dans cette étude portent ainsi sur :

- Les quantités de vidéoprojecteurs ;
- Les consommations électriques des serveurs dédiés à l'IA ;
- Les durées de vie des moniteurs et téléviseurs ;
- Les quantités d'équipements IoT.

5.1.3.1 Analyse de sensibilité des quantités de projecteurs dans le monde

Les **vidéoprojecteurs** ont un impact relativement important dans les impacts du Tier I. Or la donnée d'inventaire a été déduite indirectement à partir de données agrégées des ventes de moniteurs et projecteurs. De plus, il existe de nombreux types de vidéoprojecteurs : en entreprise, dans les établissements scolaires, pour les particuliers, etc. Ces différentes typologies d'équipement et leurs usages variés rendent difficile l'obtention d'un chiffre fiable.

Pour réaliser cette analyse de sensibilité, une augmentation et une diminution de 30 % de la **quantité d'équipements** est simulée.

Indicateur	 GWP	 ADPe	 ADPf	 Epf	 PM	 AP	 IR
Cas de base	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ecart de -30 %	98 %	99 %	98 %	98 %	98 %	98 %	99 %
Ecart de +30 %	101 %	100 %	101 %	101 %	101 %	101 %	100 %

Tableau 20 : Résultats globaux de l'analyse de sensibilité sur la quantité de vidéoprojecteurs en proportion du total des impacts

Sur le total, la variation d'impact est de 1 à 3 % de l'empreinte mondiale sur la plupart des indicateurs. En revanche, en regardant plus précisément l'impact relatif sur le Tier I, la différence est plus significative avec jusqu'à 7 % d'écart entre la valeur haute et la valeur basse.

Indicateur	 GWP	 ADPe	 ADPf	 Epf	 PM	 AP	 IR
Cas de base	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ecart de -30 %	97 %	99 %	97 %	96 %	97 %	97 %	99 %
Ecart de +30 %	103 %	101 %	103 %	104 %	103 %	103 %	101 %

Tableau 21 : Résultats sur le Tier I de l'analyse de sensibilité sur la quantité de vidéoprojecteurs en proportion des impacts du Tier I

⁵⁴ Electricity 2024 - Analysis and forecast to 2026, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6b2fd954-2017-408e-bf08-952fd-d62118a/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf>

5.1.3.2 Analyse de sensibilité sur la consommation électrique des serveurs d'IA

Le déploiement d'infrastructures dédiées à l'intelligence artificielle (IA) s'est fortement accéléré depuis fin 2022. Le phénomène étant récent, il est encore peu documenté dans la littérature scientifique, que ce soit la quantité d'équipements, leur consommation électrique ou encore des données environnementales. En effet, au-delà des serveurs dédiés à l'IA, de nombreux serveurs "classiques" ont été augmentés avec des GPU, et il apparaît difficile d'en faire un inventaire précis. Ces machines très puissantes augmentent significativement la consommation électrique par unité, leur multiplication exponentielle a de fortes répercussions sur l'impact du numérique. Ainsi, l'incertitude sur les quantités de serveurs et leur consommation électrique est très importante.

Pour réaliser cette analyse de sensibilité, une augmentation et diminution de 30 % de la consommation électrique des serveurs dédiés à l'IA est simulée.

Indicateur	 GWP	 ADPe	 ADPf	 Epf	 PM	 AP	 IR
Cas de base	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ecart de -30 %	98 %	99 %	98 %	97 %	98 %	98 %	99 %
Ecart de +30 %	101 %	100 %	101 %	102 %	101 %	101 %	100 %

Tableau 22 : Résultats globaux de l'analyse de sensibilité sur la consommation électrique des serveurs dédiés à l'IA en proportion du total des impacts

La variation sur les résultats globaux va de -3 % à +2 % sur l'ensemble des indicateurs. En regardant plus précisément le Tier III, la différence sur les indicateurs environnementaux est de 7 à 17 points entre la valeur haute et la valeur basse.

Indicateur	 GWP	 ADPe	 ADPf	 Epf	 PM	 AP	 IR
Cas de base	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ecart de -30 %	92 %	95 %	92 %	91 %	92 %	92 %	93 %
Ecart de +30 %	108 %	105 %	108 %	109 %	108 %	108 %	107 %

Tableau 23 : Résultats sur le Tier III de l'analyse de sensibilité sur la consommation électrique des serveurs dédiés à l'IA en proportion des impacts du Tier III

5.1.3.3 Analyse de sensibilité sur les durées de vie des moniteurs et téléviseurs

Les moniteurs et téléviseurs représentent environ 18 % de l'empreinte globale du numérique. Or leur durée de vie, fixée à 7 ans, a été approximée à partir de données anciennes. Une analyse de sensibilité a donc été effectuée en diminuant de 20 % ou en augmentant de 40 % leur durée de vie. Cela correspond à faire varier la durée de vie de 5,6 ans à 9,8 ans. Les stocks d'équipements totaux ont été reconstitués en fonction.

Indicateur	 GWP	 ADPe	 ADPf	 Epf	 PM	 AP	 IR
Cas de base	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ecart de -20 %	97 %	99 %	97 %	96 %	97 %	97 %	99 %
Ecart de +40 %	105 %	102 %	105 %	106 %	105 %	105 %	102 %

Tableau 24 : Résultats globaux de l'analyse de sensibilité sur la durée de vie des moniteurs et téléviseurs en proportion du total des impacts

Sur le total des impacts, la variation va de -4 % points à +6 % de l'empreinte mondiale sur l'ensemble des indicateurs.

Cette variation s'explique par le fait d'utiliser la méthode des stocks⁵⁵. En conséquence, **cette simulation ne rend pas compte des effets de second ordre qu'entraînerait l'augmentation de la durée de vie de ces équipements en termes de reports d'achats d'équipements de remplacement du précédent.** Et inversement, cette simulation ne rend pas compte des effets de second ordre qu'entraînerait la baisse de la durée de vie des équipements en termes d'augmentation des achats d'équipements de remplacement du précédent.

En analysant plus précisément le Tier I, il apparaît des écarts allant de 4 à 20% entre la valeur haute et la valeur basse.

Indicateur	 GWP	 ADPe	 ADPf	 Epf	 PM	 AP	 IR
Cas de base	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ecart de -20 %	95 %	98 %	95 %	93 %	95 %	96 %	98 %
Ecart de +40 %	110 %	103 %	109 %	114 %	110 %	109 %	103 %

Tableau 25 : Résultats sur le Tier I de l'analyse de sensibilité sur la durée de vie des moniteurs et téléviseurs en proportion du total des impacts

5.1.3.4 Analyse de sensibilité sur les quantités d'équipements IoT

Les **équipements IoT** représentent 15 milliards d'objets connectés dans le monde. Lors de l'étude réalisée en 2019, l'inventaire estimait à 19 milliards la quantité d'objets connectés, en raison d'une différence de source, ce qui induit une **diminution** de la quantité d'équipements **entre ces deux études**. Cette diminution, a conduit à réaliser une **analyse de sensibilité** en estimant une variation de +/- 20 % la **quantité d'objets connectés** (c'est à dire une variation de 12 à 18 milliards d'équipements).

⁵⁵ On estime la quantité d'équipements en utilisation dans l'année étudiée en additionnant les ventes sur un intervalle de temps correspondant à la durée de vie de l'équipement. Ainsi, augmenter la durée de vie d'un équipement correspond à prendre en compte de manière supplémentaire des équipements plus anciens et donc augmente les quantités d'équipements ainsi que les impacts associés, tout en amortissant les impacts liés spécifiquement à la fabrication de ces équipements sur une période plus longue.

Indicateur	 GWP	 ADPe	 ADPf	 Epf	 PM	 AP	 IR
Cas de base	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ecart de -20 %	98 %	99 %	98 %	98 %	98 %	98 %	98 %
Ecart de +20 %	102 %	101 %	102 %	103 %	102 %	102 %	102 %

Tableau 26 : Résultats globaux de l'analyse de sensibilité sur les quantités d'équipements IoT en proportion du total des impacts

Sur les résultats globaux de l'étude, la **variation observée est de +/- 2 %** du fait de cette variation de la quantités d'objets connectés, ce qui reste faible. En analysant plus précisément le Tier I, il apparaît une variabilité de 3 à 10 % entre les valeurs hautes et les valeurs basses.

Indicateur	 GWP	 ADPe	 ADPf	 Epf	 PM	 AP	 IR
Cas de base	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ecart de -20 %	97 %	99 %	97 %	96 %	96 %	97 %	97 %
Ecart de +20 %	105 %	102 %	105 %	106 %	105 %	105 %	103 %

Tableau 27 : Résultats sur le Tier I de l'analyse de sensibilité sur les quantités d'équipements IoT en proportion du total des impacts

5.1.3.5 Analyse de sensibilité cumulée

Les analyses de sensibilité ont ensuite été agrégées afin de déterminer l'amplitude maximale et minimale des variations possibles autour des impacts évalués dans cette étude.

Indicateur	 GWP	 ADPe	 ADPf	 Epf	 PM	 AP	 IR
Cas de base	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ecart minimum	94 %	98 %	94 %	92 %	94 %	94 %	97 %
Ecart maximum	108 %	103 %	108 %	110 %	108 %	108 %	103 %

Tableau 28 : Résultats globaux de l'analyse de sensibilité sur tous les scénarios cumulés

On obtient finalement un intervalle de -8 % à +10 % autour de la valeur de base - sur l'indicateur Eutrophisation sur l'eau douce (Epf), qui est l'indicateur le plus sensible aux variations. La **majorité de cette incertitude** est due à l'incertitude liée aux **durées de vie des moniteurs et téléviseurs** puis à la **consommation électrique des serveurs d'IA**.

5.2 Méthodologie détaillée de l'étude

5.2.1 Principes généraux de l'ACV

L'**Analyse du Cycle de Vie** (ACV) est une méthode utilisée pour évaluer l'impact environnemental de produits, services ou organisations.

Il existe d'autres méthodes d'évaluation de l'impact environnemental, telles que l'**empreinte carbone** ou les **évaluations d'impact**. L'ACV présente des caractéristiques spécifiques qui rendent son approche holistique unique. En effet, utilisée depuis la fin des années 1990 et normalisée dans les normes ISO 14040:2006⁵⁶ et ISO 14044:2006⁵⁷, cette méthode vise à établir l'impact environnemental d'un produit ou d'un service selon plusieurs concepts clés :

- Une **approche multicritère** : Plusieurs indicateurs environnementaux sont systématiquement pris en compte, notamment le potentiel de réchauffement de la planète, l'épuisement des ressources abiotiques, la création d'ozone photochimique, la pollution de l'eau, de l'air et du sol, l'écotoxicité humaine et la biodiversité. La liste des indicateurs n'est pas fixe mais dépend du secteur d'activité.
- Une **perspective en cycle de vie** : Une prise en compte des impacts générés à toutes les étapes du cycle de vie des équipements ou des services, depuis l'extraction de ressources souvent difficilement accessibles jusqu'à la production de déchets, en passant par les processus d'installation, la consommation d'énergie pendant la phase d'utilisation, etc.
- Une **approche quantitative** : Chaque indicateur est décrit de manière quantitative afin de placer tous les aspects externes d'un produit ou d'un service sur la même échelle et de prendre des décisions objectives.
- Une **approche fonctionnelle** : L'objet d'étude est défini par la fonction qu'il remplit afin de comparer différentes solutions techniques.

Lors de la réalisation d'une ACV, il est nécessaire de définir une **unité fonctionnelle** : l'unité de référence utilisée pour mettre en relation les intrants et sortants ainsi que la performance environnementale d'un ou de plusieurs systèmes de qui quantifie les services ou produits étudiés.

Une unité fonctionnelle peut être :

- **Attributionnelle** : Il s'agit de décrire les impacts environnementaux potentiels qui peuvent être attribués à un système (par exemple un produit) tout au long de son cycle de vie, c'est-à-dire en amont le long de la chaîne d'approvisionnement et en aval en suivant la chaîne de valeur de l'utilisation et de la fin de vie du système. Elle se concentre sur les effets directs liés à un système.
- **Conséquentielle** : Il s'agit d'identifier les conséquences qu'une décision prise dans le système de premier plan a sur d'autres processus et systèmes de l'économie, tant dans le système d'arrière-plan du système analysé que dans d'autres systèmes. Elle modélise le système analysé sur ces conséquences. Elle comprend les effets indirects liés à un système.

Dans le secteur du numérique, l'ACV a été appliquée principalement dans le domaine des produits au départ, mais son champ d'application s'est élargi ces dernières années, d'abord grâce à la norme ETSI 203 19918 et aujourd'hui grâce aux nombreux travaux réalisés par les organisations professionnelles du secteur des télécommunications, comme l'UIT⁵⁸, par le consortium NegaOctet⁵⁹ pour les services numériques ou par le pôle éco-conception⁶⁰ pour les services en général.

Le passage d'un produit à un service implique de conserver la perspective multicritère et fonctionnelle mais de passer d'une approche circulaire ("cradle to grave" c'est-à-dire de l'extraction à l'enfouissement tout au long du cycle de vie) à une approche matricielle englobant le cycle de vie de tous les équipements composant les trois entités (équipements utilisateur-rices, réseaux, centres informatiques) qui composent le service numérique et lui permettent de fonctionner.

56 ISO 14040:2006 - Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework, <https://www.iso.org/standard/37456.html>

57 ISO 14044:2006 - Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines, <https://www.iso.org/standard/38498.html>

58 UIT, <https://www.itu.int/fr/Pages/default.aspx#/fr>

59 NegaOctet, <https://negaoctet.org/>

60 Pôle Eco-conception, <https://www.eco-conception.fr/>

Cette méthode de diagnostic environnemental permet d'identifier les étapes et d'**éviter les transferts d'impacts de l'une à l'autre** mais aussi **d'un Tier à l'autre**. Par exemple, lors du passage d'une solution locale à une solution SaaS dans le cloud, l'analyse du cycle de vie permettra de s'assurer que les impacts évités au niveau des terminaux des utilisateur·rices ne seront pas compensés par des impacts supplémentaires sur le réseau.

5.2.2 Approche méthodologique de l'ACV

5.2.2.1 Les différentes phases d'une ACV

Comme le présente la norme ISO 14040:2006, une étude de l'ACV se compose de 4 phases interdépendantes :

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

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

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

5.2.2.2 Définition de l'objectif et du périmètre d'action

La définition de l'objectif de l'étude doit décrire le but de l'étude et le processus décisionnel pour lequel elle apportera un soutien à la prise de décision en matière d'environnement. L'objectif d'une ACV doit déterminer l'application prévue, les raisons pour lesquelles l'étude est menée, le public visé, c'est-à-dire les personnes à qui les résultats de l'étude sont censés être communiqués, et si les résultats sont censés être utilisés dans des états comparatifs qui seront divulgués au public.

Le périmètre d'une ACV (y compris les limites du système, le niveau de détail, la qualité des données, les hypothèses formulées, les limites de l'étude, etc.) dépend du sujet et de l'utilisation prévue de l'étude. La profondeur et l'étendue d'un périmètre d'action peuvent varier considérablement en fonction de l'objectif spécifique poursuivi.

Une ACV adopte une approche structurée, relative à une unité fonctionnelle et/ou déclarée. Toutes les analyses ultérieures se rapportent donc à ces unités. Si une comparaison est nécessaire (uniquement des produits ou services remplissant la même fonction), il est nécessaire de choisir une unité fonctionnelle en référence à la fonction que les produits ou services en question remplissent.

5.2.2.3 Analyse de l'inventaire du cycle de vie (AICV)

Collecte des données

Cette phase consiste en la collecte de données et de procédures de calcul pour quantifier les intrants et produits sortants pertinents du système étudié. Les données à inclure dans l'inventaire doivent être collectées pour chaque processus unitaire considéré dans les limites du système étudié.

Inventaire des flux élémentaires

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

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

Règles d'allocation et d'affectation

En réalité, peu de processus industriels produisent un seul résultat : les processus industriels produisent généralement plus d'un produit et/ou des produits intermédiaires ou leurs déchets sont recyclés. Dans ce cas, il faut appliquer des critères pour attribuer la charge environnementale aux différents produits, comme c'est le cas dans l'étude réalisée.

Évaluation de la qualité des données

Les données d'ACV et d'ICV relatives aux services et équipements numériques restent difficiles à obtenir. La plupart des études inspirées de l'ACV utilisent des données monocritères (comme l'énergie ou le réchauffement global), ou des ensembles de données hétérogènes.

5.2.2.4 Analyse de l'impact du cycle de vie (AICV)

Sélection, classification et caractérisation des impacts

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

Normalisation et pondération

Les résultats numériques des indicateurs peuvent également être ordonnés, normalisés, groupés et pondérés. Cette approche facilite l'interprétation, mais il n'existe pas de consensus scientifique sur une méthode solide permettant d'effectuer une telle évaluation.

5.2.2.5 Interprétation des résultats du cycle de vie

L'interprétation est la phase finale de l'ACV. Il s'agit des résultats de l'inventaire ou de l'évaluation, ou des deux, qui sont résumés et discutés de manière compréhensible. Cette section est utilisée par les destinataires de l'étude comme base pour les conclusions, les recommandations et la prise de décision conformément à l'objectif et à la portée établis.

Analyse de sensibilité et d'incertitude

Certaines des données sont collectées dans la littérature, ce qui signifie que le modèle est basé sur des données secondaires et donc éventuellement incertaines. Afin de déterminer l'ordre de grandeur des variations des résultats, des analyses de sensibilité et d'incertitude doivent être réalisées.

5.2.3 Définition de l'objectif et du périmètre d'action

5.2.3.1 Objectif de l'étude

De manière générale, réaliser l'analyse du cycle de vie d'un secteur d'activité (ici, les activités numériques) revient à le mettre en relation avec son contexte physique et environnemental réel. Il est pertinent d'appliquer cette méthode pour :

- Établir un diagnostic quantitatif des impacts environnementaux directs des activités numériques au niveau mondial ;
- Identifier les principaux contributeurs aux impacts ;
- Identifier les leviers d'amélioration les plus significatifs ;
- Permettre un suivi des performances environnementales dans les années suivantes ;
- Communiquer objectivement sur les performances environnementales et les possibilités d'amélioration ;
- Alimenter une stratégie numérique responsable axée sur la performance environnementale.

Cette étude vise donc à **mesurer les impacts environnementaux des technologies et infrastructures numériques dans le monde** afin de faire la lumière sur les impacts environnementaux du numérique pour **informer le grand public** et **généraliser la prise de conscience collective** et **responsabiliser les citoyens et les acteurs stratégiques**.

5.2.3.2 Cadre de travail

Ce travail est une **Analyse du Cycle de Vie Simplifiée**.

Dans la mesure du possible et en fonction de notre contexte, le choix méthodologique fera référence aux normes ISO 14040:2006 et 14044:2006, ainsi que des normes complémentaires telles que :

- PEF Guidelines⁶¹ and PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules Guidance)
- relative to IT equipment
- ITU L1410⁶² – Methodology for environmental life cycle assessments of information and communication technology goods, networks and services (UIT L1410 – Méthodologie pour l'analyse du cycle de vie environnemental des biens, réseaux et services des technologies de l'information et de la communication)

5.2.3.3 Conduite de l'étude

L'étude a été organisée selon les phases suivantes :

- **Une phase de cadrage** pour définir le périmètre de l'étude et englober la complexité du système ;
- **Une phase de collecte de données** couvrant l'ensemble des équipements et des usages inclus dans notre périmètre. Cette phase a consisté en une recherche bibliographique approfondie, d'ateliers avec des experts, etc. ;
- **Une phase de développement d'un outil sur mesure** pour calculer les impacts environnementaux de la numérisation au niveau mondial en utilisant la méthodologie de l'analyse du cycle de vie ;
- **L'analyse de l'inventaire et des impacts** du cycle de vie ;
- **L'interprétation** des résultats.

5.2.3.4 Public visé

Le public visé est principalement le **grand public**.

L'étude finale et les données finales générées sont placées sous une **licence Creative Commons (CC-BY-NC-ND)** afin de permettre un large accès et une utilisation des résultats pour le bien commun.

Les résultats ne sont pas destinés à être utilisés dans des assertions comparatives destinées à être divulguées au public.

5.2.4 Validité des résultats

Les résultats ne sont valables que pour la situation définie par les hypothèses décrites dans ce rapport.

Les conclusions peuvent changer si ces conditions diffèrent. La pertinence et la fiabilité de l'utilisation par des Tiers ou à des fins autres que celles mentionnées dans ce rapport ne peuvent donc pas être garanties par les praticiens de l'ACV. Elle relève donc de la seule responsabilité du commanditaire.

Périmètre de l'étude

Dans le cadre de notre étude, l'objectif est de fournir les dernières connaissances (2023) sur les impacts environnementaux des technologies numériques en utilisant la méthode ACV décrite ci-dessus, à l'échelle mondiale.

Seuls les **impacts directs sont pris en compte**. Les impacts indirects, positifs et négatifs (tels que les effets rebonds directs ou indirects, la substitution, les changements structurels, etc.), ne sont pas pris en compte. Ceci constitue une **ACV attributionnelle**.

Les paragraphes suivants fournissent des détails sur le périmètre d'action de l'étude, à savoir :

- Unité fonctionnelle ;
- Limites du système : inclusion, exclusion, critères de coupure ;
- Représentativité géographique, temporelle et technologique ;
- Phases du cycle de vie prises en compte ;

61 PEF METHOD – European Commission, https://green-business.ec.europa.eu/environmental-footprint-methods/pef-method_en

62 ITU-T L1410 – Methodology for environmental life cycle assessments of information and communication technology goods, networks and services | GlobalSpec, <https://standards.globalspec.com/std/9953730/itu-t-l-1410>

- Quantification de l'impact environnemental, méthodes de caractérisation ;
- Types et sources de données ;
- Exigences en matière de qualité des données.

5.2.5 Système de produit à étudier

5.2.5.1 Frontières technologiques

Cette étude porte sur les **services numériques à l'échelle mondiale**. La définition du numérique utilisée pour comptabiliser ce qui fait ou non partie du périmètre du numérique dans cette étude est la suivante : L'ensemble des équipements électroniques qui utilisent des données binaires.

Le champ d'application des services numériques couvrirait trois catégories également appelées « Tiers » :

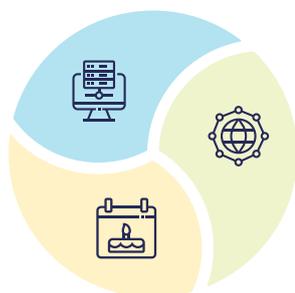
- **Tier I : Équipements utilisateur-rices** : Ce sont l'ensemble des terminaux que les utilisateur-rices emploient à titre d'interface avec le canal numérique ;
- **Tier II : Réseaux** : Ce sont l'ensemble des réseaux, fixe, mobile et backbone (colonne vertébrale du réseau) qui permettent aux données numériques de circuler ;
- **Tier III : Centres informatiques** : Ce sont des endroits adaptés et sécurisés à l'hébergement du matériel informatique permettant le traitement et le stockage des données numériques.

5.2.5.2 Fonction et unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle est l'unité de référence utilisée pour mettre en relation les intrants et sortants ainsi que la performance environnementale d'un ou de plusieurs systèmes de produits.

La fonction étudiée est la **fourniture de services numériques dans le monde**, utilisés par les consommateurs, les organisations privées et publiques pendant un an. En raison de cette grande diversité d'utilisation, il est difficile, voire impossible, de classer l'utilisation des services numériques dans le monde en unités fonctionnelles.

Dans ce cas, le concept d'unité fonctionnelle est remplacé par une **unité déclarée** :



« Équipements et systèmes liés aux services numériques mondiaux pendant un an. »

Et au niveau individuel :



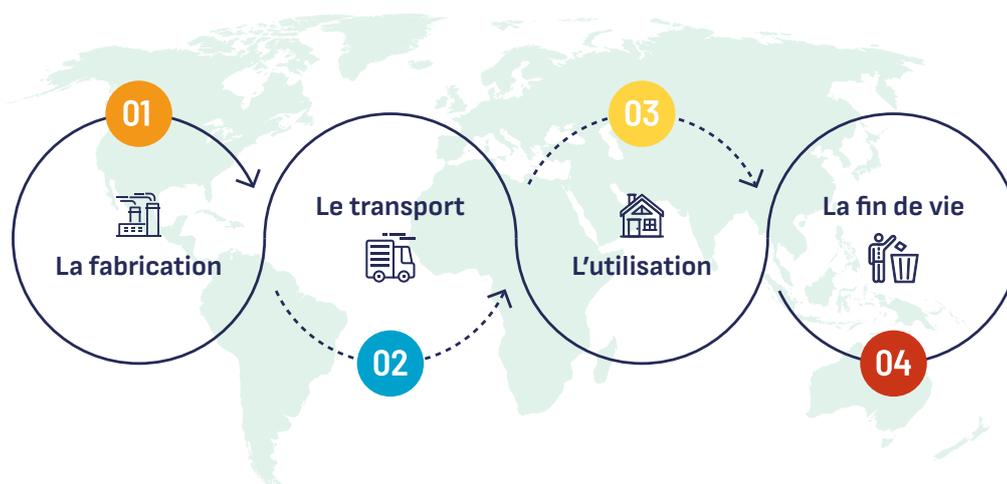
« Équipements et systèmes liés aux services numériques mondiaux pendant un an et rapportés à un-e internaute. »

5.2.5.3 Limites du système

Étapes du cycle de vie étudiées

Au cours de cette étude, nous avons étudié les étapes suivantes du cycle de vie :

1. Étape de fabrication : Comprend l'extraction des matières premières, les transports en amont et les processus de fabrication.
2. Étape de transport : Comprend le transport entre le fabricant et le site d'installation.
3. Étape d'utilisation : Comprend au moins l'électricité utilisée par les équipements informatiques.
4. Étape de fin de vie : Comprend le traitement de fin de vie des équipements informatiques.



Limites temporelles

Cette étude couvre tous les services numériques dans le monde en **2023**. Par conséquent, les données sélectionnées sont aussi représentatives que possible de l'année 2023. Si des données manquent, elles ont été remplacées et extrapolées autant que possible avec des données les plus récentes possible. Le cas échéant, cela est précisé dans la méthodologie. Les données les plus anciennes utilisées datent de 2018.

Limites géographiques

Le périmètre géographique considéré dans cette étude couvre les équipements informatiques situés dans le **monde entier**.

Inclusions et exclusions

Comme présenté précédemment, l'étude couvre les infrastructures et les dispositifs de services numériques situés dans le monde à travers les trois Tiers. La Figure 6 représente le découpage du numérique selon les 3 Tiers.

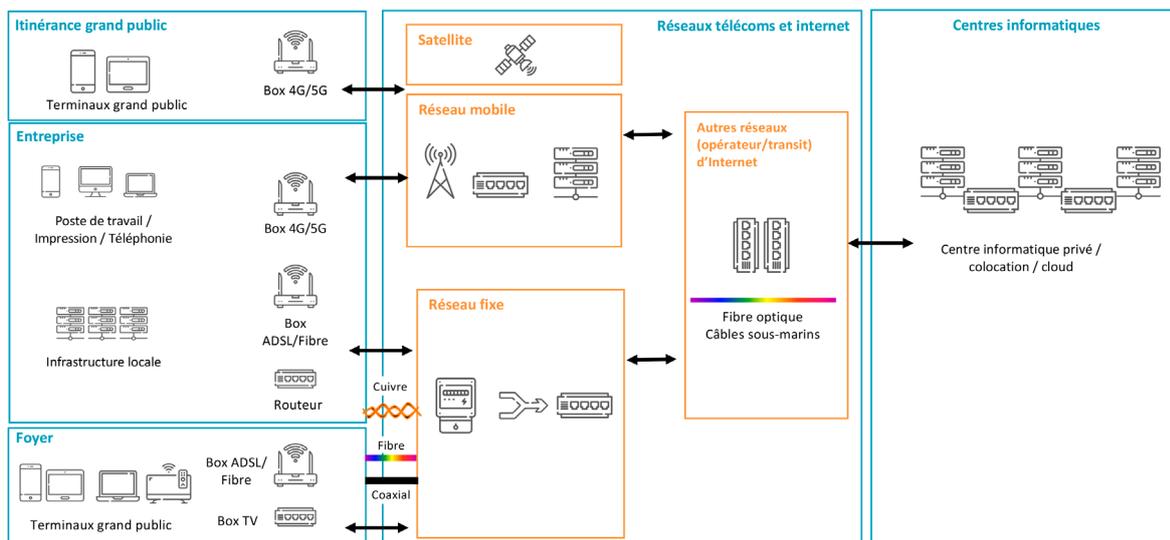


Figure 6 : modélisation des services numériques en 3 Tiers

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

1. Tier I – Equipements utilisateur-rices :

Sont inclus : ordinateur de bureau, ordinateur portable, tablette, téléphone portable, téléphone mobile standard (GSM), téléphone fixe, écran, téléviseur, téléviseur intelligent, projecteur, box TV, console de jeux, imprimante, équipement IoT (automobile, sécurité, capteur, bâtiment).

Sont exclus : emballage, chargeur et alimentation, périphérique (clavier, souris, manette, etc.), téléphone satellite, montre connectée, imprimante 3D, station d'accueil, lecteur DVD / Blu-ray / Ultra HD, tableau blanc interactif, lecteur MP3, équipement audio domestique autonome, distributeur automatique de billets, caisse enregistreuse et terminal de paiement, point d'accès WLAN public, caméra de sécurité, appareil photo et la partie connecté des véhicules.

Les éléments ci-dessus sont exclus par manque de données disponibles à leur sujet.

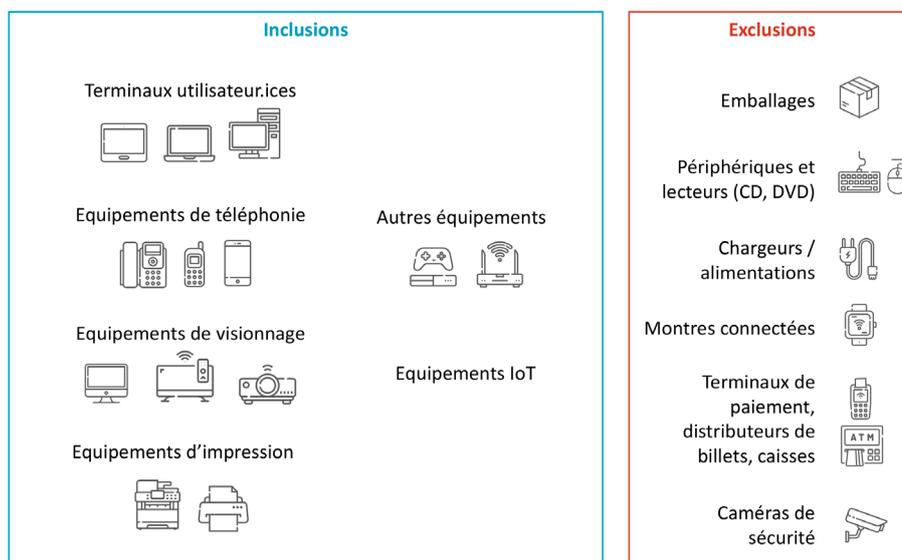


Figure 7 : Schéma des principales inclusions et exclusions concernant le périmètre du Tier I

2. Tier II – Réseaux : La modélisation se base sur l'étude sur l'évaluation de l'empreinte environnementale de la fourniture d'accès à internet en France de l'ADEME⁶³.

La liste des équipements pris en compte dans cette étude est donnée ci-après :

- **Réseau fixe :** Routeur/switch de collecte, box ADSL et fibre, ONT, câble cuivre, fibre optique, boucles locales cuivre et fibre (câbles de cuivre, fibres optiques, poteaux, tranchées), DS-LAM, OLT, routeur d'agrégation, équipement WDM de boucle d'agrégation, équipement WDM backbone, routeur peering, site d'hébergement ;
- **Réseau mobile :** Antenne passive multi-bandes, amplificateurs radio, BBU 2G/3G/4G/5G, antenne active, routeur de collecte sur site radio, security gateway 4G/5G, routeur d'agrégation, équipement WDM de boucle d'agrégation, équipement WDM backbone, routeur peering, MME/SGSN, HSS/HLR, SP-GW/GGSN, PCRF, Gi LAN, FW roaming, fibre optique, site hébergement.

A l'inverse, les principales exclusions sont les suivantes : Box TV (pris en compte dans le Tier I), répéteurs wifi, amplificateurs RU, faisceaux hertziens, DNS fixes et mobiles, sous-répartiteur, point de mutualisation, point de branchement, connexions d'accès sans fil fixe (FWA).

De plus, l'accès à internet par satellite, le cœur de réseau (aussi appelé "backbone") à l'international ainsi que les câbles sous-marins sont exclus de l'étude.

La liste exhaustive et justifiée des inclusions et exclusions peut être retrouvée dans l'étude de l'ADEME directement.

3. Tier III – Centres informatiques :

Sont inclus : serveur de calcul, serveur de stockage, serveur dédié à l'IA, équipement réseau, onduleur, batterie, climatisation, consommation électrique de l'environnement technique (refroidissement et alimentation électrique des équipements informatiques).

Sont exclus : fabrication, distribution et fin de vie de système d'alimentation électrique (transformateur, groupe électrogène, etc.), fuite de fluide frigorigène, petit équipement IT et non-IT, le bâtiment.

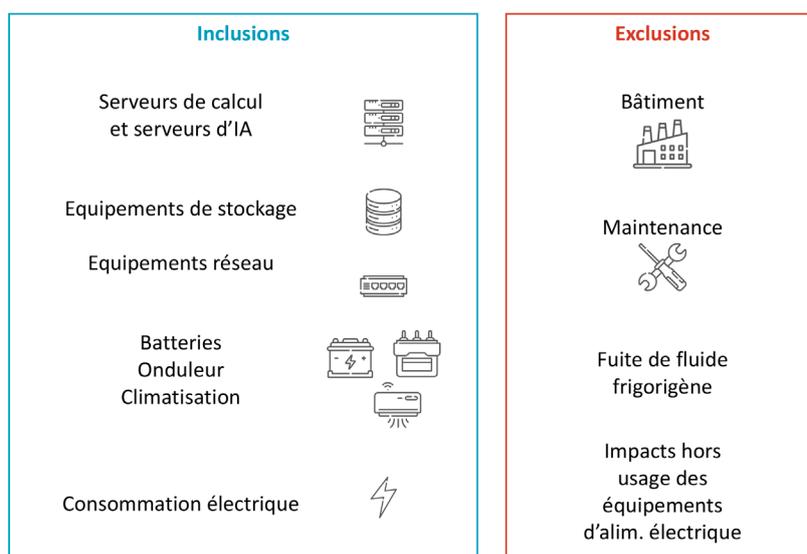


Figure 8 : Schéma des principales inclusions et exclusions concernant le périmètre du Tier III

⁶³ Evaluation de l'empreinte environnementale de la fourniture d'accès à internet en France - La librairie ADEME, <https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/6789-evaluation-de-l-empreinte-environnementale-de-la-fourniture-d-acces-a-internet-en-france.html>

De plus, les flux suivants ont été exclus de l'étude car considérés comme hors périmètre :

- Les travaux de conception et de recherche et développement pour chaque équipement.

Les flux suivants ont été exclus de l'étude car considérés comme négligeables :

- Equipements périphériques de saisie (clavier, souris, tablette graphique, etc.), périphériques de charge ou d'alimentation ;
- L'upgrade logiciel et matériel des équipements au cours de leur vie ;
- Le matériel et outillage nécessaire à l'installation et à la maintenance des équipements et infrastructures.

Les flux suivants ont été exclus de l'étude faute de données homogènes sur tous les Tiers concernant

- Eclairage, chauffage, nettoyage des installations de production des équipements ;
- La construction et la maintenance des infrastructures de production des équipements.

Critères de coupure

En général, la modélisation environnementale doit couvrir un pourcentage défini (supérieur ou égal à 95%) de l'équipement ou des systèmes :

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

Dans le cadre spécifique de l'étude, aucun flux n'a été exclu explicitement par la règle du critère de coupure. Cependant, les bases de données utilisées appliquent le critère de coupure ci-dessus. Ainsi, à titre d'exemple, des flux comme certains emballages ou des transports amont ont pu être exclus par ce critère de coupure, durant la création de données d'impacts du cycle de vie. L'analyse environnementale révèle les parties du service considéré qui ont le plus d'impact et qui feront l'objet d'une analyse de sensibilité.

5.2.6 Procédures d'allocation

Les seules allocations réalisées directement dans cette étude sont les **allocations temporelles** pour ramener les impacts des équipements et infrastructures à une durée d'un an.

Des procédures d'allocations spécifiques ont été réalisées dans l'étude source⁶⁴ dont sont issus les résultats sur le Tiers 2 - Réseau. Pour plus de détails, consulter l'étude source directement.

5.2.7 La méthodologie AICV et les types d'impacts

5.2.7.1 Sélection, classification et caractérisation des impacts

L'analyse est basée sur les 16 indicateurs proposés par la Commission européenne dans le cadre du projet Product Environmental Footprint (PEF)⁶⁵, en utilisant la version PEF 3.1.

Afin de rendre ces indicateurs aussi compréhensibles que possible et de concentrer les recommandations sur les sujets clés, l'ensemble des indicateurs est généralement réduit à une sélection appropriée. Cela se fait en utilisant l'approche de normalisation et de pondération. Les indicateurs suivants ont été sélectionnés, représentant plus de 80 % des résultats globaux pondérés :

⁶⁴ <https://bibliothèque.ademe.fr/industrie-et-production-durable/6789-evaluation-de-l-empreinte-environnementale-de-la-fourniture-d-acces-a-internet-en-france.html>

⁶⁵ Environmental Footprint Methods - European Commission, https://green-business.ec.europa.eu/environmental-footprint-methods_en

Nom de l'indicateur environnemental		Acronyme et unité	Poids dans l'empreinte totale
	Utilisation des ressources abiotiques, minéraux et métaux	ADPe (kg Sb eq.)	23,71 %
	Potentiel de réchauffement climatique	GWP (kg CO ₂ eq.)	23,25 %
	Utilisation des ressources abiotiques, fossiles	ADPf (MJ)	15,62 %
	Particules fines	PM (Occurrence de maladie)	5,82 %
	Eutrophisation, eau douce	Epf (kg P eq.)	5,71 %
	Rayonnement ionisant, santé humaine	IR (kBq U ₂₃₅ eq.)	5,52 %
	Acidification	AP (mol H ⁺ eq.)	5,42 %

Tableau 29 : Liste des indicateurs environnementaux représentant 85% de l'empreinte globale selon la méthode de normalisation et de pondération PEF

Principales catégories d'impact normalisées pondérées

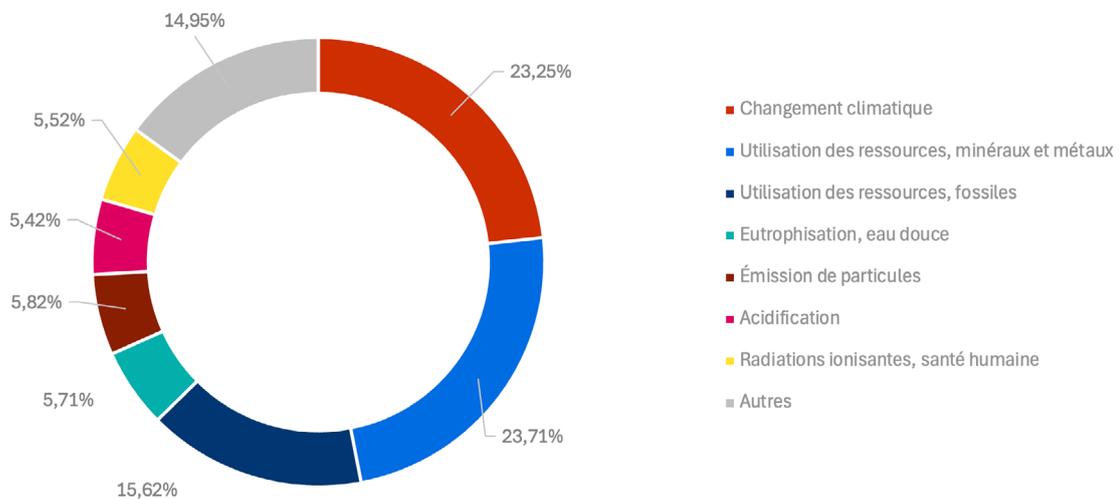


Figure 9 : Principales catégories d'impact normalisées pondérées

L'utilisation des ressources en minéraux et métaux, les émissions de gaz à effet de serre, ainsi que l'utilisation des ressources fossiles représentent, à elles trois, 62,6 % des impacts, selon la méthode PEF. Suivent l'eutrophisation de l'eau douce, l'émission de particules fines et les émissions de radiations ionisantes, pour total de 79,6% des impacts. Avec l'acidification, le total des indicateurs présentés atteint une représentation de 85,1 % selon la méthode PEF.

Les indicateurs Utilisations des sols et utilisation de l'eau n'ont pas pu être retenus pour cette étude en raison de problèmes liés à l'affectation des flux les concernant, rendant incohérents leurs résultats.

Remarque : Malgré un coefficient de pondération particulièrement favorable à l'indicateur lié au potentiel de réchauffement climatique, l'indicateur arrivant en première position est l'indicateur d'utilisation des ressources en minéraux et métaux⁶⁶. En effet, pour le domaine du numérique, une grande part des impacts provient de l'utilisation de minerais et métaux dans la fabrication des équipements numériques. Par exemple, la fabrication d'un smartphone nécessite plus de 50 métaux différents⁶⁷.

Ces indicateurs environnementaux sont complétés par un indicateur de flux : la **consommation d'énergie primaire totale** (TPE), en MJ. Contrairement aux indicateurs environnementaux, qui rendent compte des effets sur l'environnement, les indicateurs de flux quantifient quant à eux les quantités de matière et d'énergies utilisées. Ces indicateurs ne peuvent pas être normalisés et pondérés, mais fournissent une compréhension supplémentaire des impacts environnementaux.

5.2.7.2 Normalisation et pondération

Les résultats numériques des indicateurs peuvent également être ordonnés, normalisés, groupés et pondérés. Cette approche facilite l'interprétation, mais il n'existe pas de consensus scientifique sur une manière solide d'effectuer une telle évaluation.

Dans la présente étude, nous avons utilisé les facteurs de normalisation et de pondération fournis par le JRC dans la méthode PEF/OEF (EF 3.1), publiée le 20 novembre 2019. Le Tableau 27 liste les facteurs de normalisation et le Tableau 28 liste les facteurs de pondération utilisés.

		Acronyme et unité	Valeur de normalisation
	Acidification	AP (mol H ⁺ eq. / personne)	5,56E+01
	Potentiel de réchauffement climatique	GWP (kg CO ₂ eq. / personne)	7,55E+03
	Écotoxicité, eau douce	Ecotox (CTUe / personne)	5,67E+04
	Émission de particules	PM (Occurrence de maladie / personne)	5,95E-04
	Eutrophisation, eau douce	Epf (kg P eq. / personne)	1,61E+00
	Eutrophisation, marine	Epm (kg N eq. / personne)	1,95E+01
	Eutrophisation, terrestre	Ept (mol N eq. / personne)	1,77E+02
	Toxicité humaine, cancéreuse	CTUh-c (CTUh / personne)	1,73E-05
	Toxicité humaine, non cancéreuse	CTUh-nc (CTUh / personne)	1,29E-04
	Radiations ionisantes, santé humaine	IR (kBq U ₂₃₅ eq. / personne)	4,22E+01
	Utilisation des sols	LU (pt / personne)	8,19E+05
	Appauvrissement de la couche d'ozone	ODP (kg CFC-11 eq. / personne)	5,23E-02

⁶⁶ Voir à ce titre le tableau 29.

⁶⁷ ISF SystExt - Smartphone 2017, <https://www.systext.org/sites/all/animationreveal/mtxsmpt/#/7>

		Acronyme et unité	Valeur de normalisation
	Formation d'ozone photochimique, santé humaine	POF (kg NMVOC eq. / personne)	4,09E+01
	Utilisation des ressources, fossiles	ADPf (MJ / personne)	6,50E+04
	Utilisation des ressources, minéraux et métaux	ADPe (kg Sb eq. / personne)	6,36E-02
	Utilisation de l'eau	WU (m ³ eq. / personne)	1,15E+04

Tableau 30 : Liste des indicateurs environnementaux et leurs facteurs de normalisation proposés par le JRC

	Nom de l'indicateur environnemental	Facteur de pondération [%]
	Acidification	6,20 %
	Potentiel de réchauffement climatique	21,06 %
	Écotoxicité, eau douce	1,92 %
	Émission de particules	8,96 %
	Eutrophisation, eau douce	2,80 %
	Eutrophisation, marine	2,96 %
	Eutrophisation, terrestre	3,71 %
	Toxicité humaine, cancéreuse	1,84 %
	Toxicité humaine, non cancéreuse	2,13 %
	Radiations ionisantes, santé humaine	5,01 %
	Utilisation des sols	7,94 %
	Appauvrissement de la couche d'ozone	6,31 %
	Formation d'ozone photochimique, santé humaine	4,78 %
	Utilisation des ressources, fossiles	8,32 %

Nom de l'indicateur environnemental		Facteur de pondération [%]
	Utilisation des ressources, minéraux et métaux	7,55 %
	Utilisation de l'eau	8,51 %

Tableau 31 : Liste des indicateurs environnementaux et leurs facteurs de pondération proposés par le JRC

5.2.8 Type et source des données

Un calcul d'ACV nécessite deux types d'informations différents :

- **Données relatives aux caractéristiques physiques** du système étudié (telles que le nombre de smartphones utilisés dans le monde et la quantité d'électricité consommée par les smartphones). Pour ce projet, ces données sont agrégées à partir de diverses études, rapports et d'hypothèses réalisées.
- **Données relatives aux impacts du cycle de vie** des équipements informatiques ou des flux énergétiques qui entrent dans le système étudié. Ces données proviennent de la base de données NegaOctet.

5.2.8.1 Données relatives aux caractéristiques physiques

La collecte de données relatives aux quantités et caractéristiques physiques (durée de vie, consommation électrique, durée d'utilisation, configuration technique, etc.) des équipements numériques se base sur des **ressources bibliographiques diverses** (rapports institutionnels, études scientifiques, études de marché, etc.) et **hypothèses réalisées**.

5.2.8.2 Données relatives aux impacts du cycle de vie

Les données relatives aux impacts du cycle de vie des équipements informatiques ou des flux énergétiques sont classées dans les catégories suivantes : données primaires et données secondaires.

Les **données primaires** sont des données spécifiques au site. Ce sont par exemple des données recueillies dans l'usine de fabrication où sont réalisés les processus spécifiques au produit ou des données sur les matériaux ou l'électricité fournis par un fournisseur sous contrat capable de fournir des données sur les services réellement fournis, le transport effectué sur la base de la consommation réelle de carburant et des émissions associées, etc.

Les **données secondaires** sont divisées en :

- **Données spécifiques** : données provenant de sources de données communément disponibles et répondant aux caractéristiques prescrites en matière de qualité des données, à savoir l'exactitude, l'exhaustivité et la représentativité,
- **Données de substitution** : données provenant de sources de données communément disponibles mais qui ne remplissent pas toutes les caractéristiques de qualité des « données secondaires sélectionnées ».

La plupart des données relatives au cycle de vie ont été extraites de la base de données NegaOctet. Pour la modélisation des réseaux mobiles et fixes (Tier II), les données relatives au cycle de vie sont des données secondaires venant d'une précédente étude.

Dans ce projet, la base de données NegaOctet (publiée en décembre 2021) est utilisée. La base de données NegaOctet est un projet de trois ans, co-financé par l'Agence française de l'environnement (ADEME). Cette base de données a fait l'objet d'un processus de revue critique par un institut de recherche scientifique. Pour cette raison, la base de données d'impacts environnementaux a été exclue du scope de la revue critique de cette étude. Ce choix de base de données s'explique par le fait qu'il s'agit de la seule base de données homogène d'ICV pour les équipements numériques à ce jour au monde, permettant le calcul d'indicateurs d'impact PEF/OEF (EF 3.1).

5.2.9 Exigences en matière de qualité des données

Conformément aux objectifs et aux limites du système, la qualité requise des données collectées suit les règles décrites ci-dessous :

- **Représentativité technologique** : Représentative des technologies entre 2018 et 2023.
- **Représentativité géographique** : Données spécifiques correspondant aux équipements liés aux services numériques dans le monde entier pendant leur utilisation. Si les données sont manquantes, des hypothèses sont justifiées lorsque cela est possible.
- **Représentativité dans le temps** : Données de 2018–2023. Lorsque les données datent de plus de quatre ans (avant 2018), elles ont été extrapolées avec des hypothèses et justifiées lorsque cela était possible.
- **Exhaustivité** : L'application des critères de coupure est complexe compte tenu de la quantité d'équipements et de processus. L'étude comprend tous les flux identifiés, sauf indication contraire.
- **Incertitude des paramètres** : Pour la plupart des données, une seule source était disponible, d'où un degré élevé d'incertitude. Dans la mesure du possible, les données ont été recoupées avec des sources supplémentaires.
- **Pertinence et cohérence méthodologiques** : La méthodologie utilisée se base sur les normes ISO 14040/44. Une méthodologie de collecte des données cohérentes pour toutes les composantes étudiées a été appliquée.

5.2.10 Outil de modélisation d'ACV

L'évaluation de l'ensemble des services numériques mondiaux pour un an a été réalisée en compilant toutes les données relatives aux équipements, les données environnementales ainsi qu'en réalisant les allocations dans un **outil de type tableur Excel**.

5.2.11 Considérations relatives à la revue critique

La revue critique est une procédure permettant de certifier que l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est **conforme aux normes internationales** (ISO 14040/44) et aux normes complémentaires nationales pour répondre aux objectifs de l'étude. Elle est réalisée principalement lorsque les résultats sont destinés à être communiqués au public ou lorsqu'il s'agit d'allégations comparatives. Son objectif est de **limiter les risques** en termes de :

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

Dans notre contexte, la revue critique vise également à :

- Identifier les éléments importants et les **limites** de l'étude afin qu'elle ne soit pas déformée et afin d'éviter les biais dans la communication ;
- S'assurer de la **pertinence** et de la **fiabilité** des informations données.

Une revue critique externe a été conduite entre septembre et novembre 2024, par :

- Augustin Wattiez, doctorant à l'Université Catholique de Louvain ;

La revue critique s'est déroulée suivant les étapes :

- Envoi de la méthodologie et des données d'inventaire ;
- Envoi des remarques et commentaires du panel de revue critique.
- Prise en compte des remarques et commentaires dans la réalisation et la rédaction de l'étude.

5.3 Données utilisées dans le modèle ACV

5.3.1 Résumé

Tier	Paramètres	Unité	Quantité en 2023	Durée de vie (an)
-	Population mondiale	unité	8 009 000 000	-
-	Nombre d'internautes	unité	5 350 000 000	-
-	Nombre d'utilisateur·rices d'un téléphone mobile	unité	5 610 000 000	-
I	Desktop - Basic	unité	92 950 000	6
I	Desktop - Family	unité	92 950 000	6
I	Desktop - Gaming	unité	139 425 000	6
I	Desktop - Power Gaming	unité	46 475 000	6
I	Desktop - Power User	unité	92 950 000	6
I	Laptop - Type Chromebook	unité	419 816 000	5
I	Laptop - Type bureautique	unité	524 770 000	5
I	Laptop - Type gaming	unité	104 954 000	5
I	Tablette - Entrée de gamme (mini < 9 pouces)	unité	91 980 000	3
I	Tablette - Standard (9 à 11 pouces)	unité	275 940 000	3
I	Tablette - Haut de gamme (10 à 13 pouces)	unité	91 980 000	3
I	Téléphone fixe	unité	1 750 600 000	8
I	Smartphone - LCD	unité	2 363 136 000	3
I	Smartphone - OLED	unité	2 270 464 000	3
I	Feature phone	unité	950 800 000	4
I	Moniteur - 24 pouces, LCD	unité	906 165 240	7
I	Moniteur - 39 pouces, OLED	unité	634 760	7
I	Téléviseur - 45 pouces, LCD	unité	1 445 794 000	7
I	Téléviseur - 53 pouces, OLED	unité	14 753 000	7
I	Téléviseur - 68 pouces, OLED	unité	14 753 000	7
I	Imprimante multifonctions	unité	584 770 000	6
I	Console de jeu - Salon	unité	153 624 008	6,5
I	Console de jeu - Portable	unité	140 055 992	6,5
I	Vidéoprojecteur	unité	567 000 000	5
I	Box TV	unité	773 080 312	5
I	Enceinte connectée	unité	717 800 000	5
I	IoT Security - Video	unité	448 751 832	9
I	IoT Security - Control	unité	747 904 014	5
I	IoT Auto - Water heating	unité	448 736 126	12

Tier	Paramètres	Unité	Quantité en 2023	Durée de vie (an)
I	IoT Auto - Street lights	unité	448 736 126	10
I	IoT Auto - Space	unité	448 751 832	12
I	IoT Auto - Lighting	unité	1 196 640 140	7
I	IoT Auto - Cooking	unité	448 736 126	15
I	IoT Auto - Audio	unité	1 495 808 028	4
I	IoT Auto - Appliances	unité	598 320 070	12
I	IoT Smart meters	unité	1 869 783 594	12
I	IoT Sensors - Res-WiFi	unité	74 791 972	5
I	IoT Sensors - Res-LE	unité	388 911 972	5
I	IoT Sensors - Industry	unité	673 112 042	5
I	IoT Sensors - Health	unité	987 232 042	5
I	IoT Gateway - Bus	unité	82 268 028	7
I	IoT Gateway - LE to WiFi	unité	74 791 972	7
I	IoT Comm building control	unité	5 235 328 098	12
I	IoT Blinds + windows	unité	37 395 986	5
II	Quantité de données échangées sur le réseau fixe	Go	4 490 000 000 000	-
II	Nombre d'abonné-es au réseau fixe	unité	1 495 600 000	-
II	Quantité de données échangées sur le réseau mobile	Go	1 505 447 000 000	-
II	Nombre d'abonné-es au réseau mobile	unité	7 029 800 000	-
III	Serveur - High-end (2 CPU haut de gamme, 3072 Go, 8 To SSD, 1 GPU)	unité	116 550	5,5
III	Serveur - Mid-Range (2 CPU haut de gamme, 128 Go, 8 To SSD)	unité	2 913 750	5,5
III	Serveur de stockage – HDD, 48 disques	unité	39 572 610	5,5
III	Serveurs de stockage – SDD, 48 disques, TLC, 1024 Go par disque	unité	35 097 090	5,5
III	Serveur configuré pour l'IA	unité	1 779 816	5,5
III	Equipement réseau de centre informatique	unité	8 229 473	5
III	Onduleur	unité	899 030	10
III	Batterie	unité	58 548 400	10
III	Climatisation	unité	225 686	15
III	Consommation électrique non-IT	kWh	185 913 473 654	1
III	PUE moyen	-	1,58	-

Tableau 32 : Résumé des données d'inventaire

5.3.2 Tier I – Équipements internautes

5.3.2.1 Informations générales

Pour chaque équipement du Tier I, on donne :

- La définition ;
- Le nombre d'unités dans le nombre en 2023 ;
- La consommation électrique finale annuelle moyenne pour un équipement représentatif de cette catégorie ;
- La fréquence d'utilisation, c'est-à-dire la durée d'utilisation "active"⁶⁸ moyenne d'un équipement par internaute ;
- La durée de vie moyenne pour un équipement représentatif de cette catégorie ;
- Le taux de pénétration du marché, c'est-à-dire le taux (0-100 %) mesurant la couverture du marché par l'équipement considéré. Cette valeur n'est pas directement utilisée dans les calculs mais elle permet lorsqu'elle est disponible de vérifier la cohérence du nombre d'unités obtenues.
- Les caractéristiques techniques, c'est-à-dire la définition d'une ou plusieurs catégories d'équipements avec leurs caractéristiques techniques (taille d'écran, capacité de stockage, etc.) Elle permet de modéliser les impacts environnementaux plus précisément.

5.3.2.2 Téléphones

5.3.2.2.1 Téléphones mobiles

5.3.2.2.1.1 Smartphones

• Définition

Un **smartphone** est un téléphone mobile qui exécute de nombreuses fonctionnalités d'un ordinateur, disposant généralement d'une interface à écran tactile, d'un accès Internet à partir des réseaux Wi-Fi et mobiles, d'une connexion GPS et d'un système d'exploitation (OS) capable d'exécuter des applications téléchargées⁶⁹.

• Nombre d'unités dans le monde en 2023

4,6 milliards d'unités

Cette donnée est estimée à partir de l'étude de marché de Counterpoint Research⁷⁰. Ces données sont en cohérence avec d'autres sources comme celles de Gartner⁷¹ et IDC⁷². La donnée a été construite à partir des données annuelles d'expéditions mondiales et consolidées en fonction d'une durée de vie moyenne estimée à 3 ans (voir ci-dessous).

Selon les statistiques du marché des smartphones⁷³, la part des smartphones réutilisés et reconditionnés ne cesse d'augmenter. Ainsi 845 millions de smartphones ont été ajoutés aux 3,79 milliards d'unités neuves expédiées ces 3 dernières années.

⁶⁸ Pour les équipements utilisateur-rices toujours actifs, comme les smartphones, on définit la fréquence d'utilisation comme la durée d'utilisation avec écran allumé.

⁶⁹ VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, ICT Impact Study, Assistance to the European Commission – ICT impact study – FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p.108

⁷⁰ Global Smartphone Market Share: Quarterly, <https://www.counterpointresearch.com/insights/global-smartphone-share/>

⁷¹ Gartner Forecasts Worldwide Device Shipments to Decline 4% in 2023, <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2023-01-31-gartner-forecasts-worldwide-device-shipments-to-decline-four-percent-in-2023>

⁷² IDC, Source fermée, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS50604823>

⁷³ Worldwide Market for Used Smartphones Is Forecast to Surpass 430 Million Units with a Market Value of \$109.7 Billion in 2027, According to IDC, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS51804924>

- **Consommation électrique**

3.9 kWh /an /équipement⁷⁴

- **Fréquence d'utilisation**

4h37 d'utilisation /jour⁷⁵

Les données varient d'un pays à l'autre. Cette donnée est une donnée moyenne mondiale, datant de 2023.

- **Durée de vie moyenne**

3 ans

La durée de vie active est estimée ici à 3 ans⁷⁶ sur base de l'étude ecosmartphone Task 2 §4.1.2⁷⁷ recou-
pée par d'autres études.⁷⁸

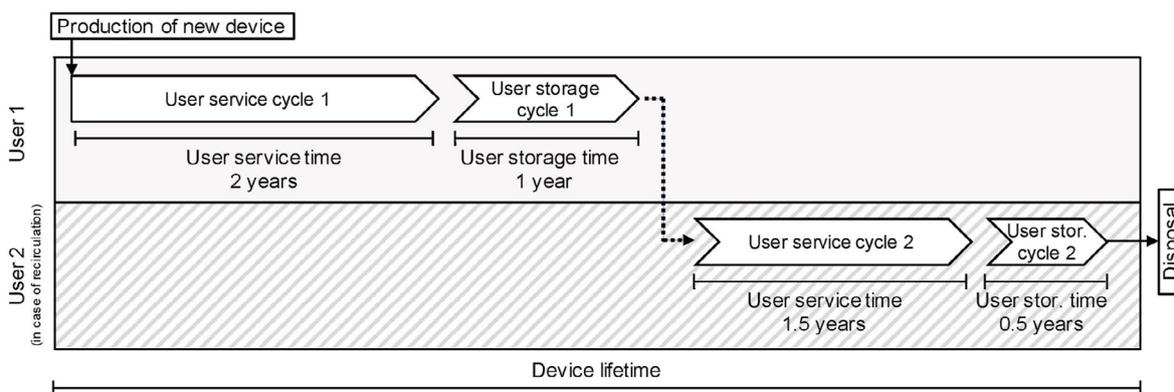


Figure 10 : Représentation du cycle de vie d'un smartphone⁷⁹

En 2023, 78,1 % (5,228 milliards) de personnes de 10 ans et plus possèdent un téléphone mobile.⁸⁰ De plus, en 2023 il y avait 7,01385 milliards d'abonnements actifs à la téléphonie mobile à haut débit, cependant ces abonnements répertoriés par l'ITU ne permettent pas de distinguer les abonnements reliés à un smartphone des abonnements reliés à des équipements connectés (cartes SIM embarquées dans les voitures, et dans d'autres types d'équipements connectés avec abonnement).⁸¹

⁷⁴ VHK and Viegand Maagøe for the European Commission, ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 120

⁷⁵ Time Spent Using Smartphones (2024 Statistics), <https://explodingtopics.com/blog/smartphone-usage-stats>

⁷⁶ European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Schischke, K., Clemm, C., Berwald, A. et al., Ecodesign preparatory study on mobile phones, smartphones and tablets - Publications Office of the European Union, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/175802>

⁷⁷ European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Schischke, K., Clemm, C., Berwald, A. et al., Ecodesign preparatory study on mobile phones, smartphones and tablets - Publications Office of the European Union, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/175802>

⁷⁸ FANGEAT Erwann, ADEME, Laurent ESKENAZI, Eric FOURBOUL, Hubblo, Julie ORGELET DELMAS, DDemain, Etienne LEES PERASSO, Firmin DOMON, LCIE Bureau Veritas, Evaluation de l'impact environnemental d'un ensemble de produits reconditionnés - rapport final, 2022, https://bibliothèque.ademe.fr/ged/6720/ademe_impact_environmental_reconditionnement_rapport.pdf § p. 28

⁷⁹ Jan C.T. Bieser, Yann Blumer, Linda Burkhalter, René Itten, Marilou Jobin, Lorenz M. Hilty, Consumer-oriented interventions to extend smartphones' service lifetime - ScienceDirect, Volume 7,2022,100074,ISSN 2666-7843, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666784322000286?via%3Dihub#fig1>

⁸⁰ Facts and Figures 2023 - Mobile phone ownership, <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/2023/10/10/ff23-mobile-phone-ownership/>

⁸¹ ITU DataHub - Fixed and mobile subscriptions : <https://datahub.itu.int/dashboards/?id=2>, indique 87,4% d'abonnements à la téléphonie mobile haut débit dans le monde en 2023. Avec 8,025 milliards d'habitants sur terre en 2023, cela fait un total de 7,01385 milliards d'abonnements actifs à la téléphonie mobile haut débit dans le monde en 2023.

- **Caractéristiques techniques**

	Entrée de gamme	Milieu de gamme
Technologie de l'écran	LCD tactile	OLED tactile
Taille de l'écran (pouce)	6,6	6,6
Répartition (%)	51 %	49 %

Tableau 33 : Caractéristiques techniques des gammes de smartphone utilisées dans le modèle

D'après une étude de Counterpoint Research⁸², 49 % des smartphones vendus début 2023 étaient désormais dotés d'un écran OLED. Nous avons donc considéré 49 % de smartphones OLED et 51 % de smartphones LCD dans cette étude.

- **Limites**

Les données sur le **stock dormant**, c'est-à-dire les équipements non utilisés mais ne sont pas envoyés dans une filière de fin de vie, sont difficiles à obtenir⁸³. Ce stock est supposé non-négligeable pour les smartphones en particulier. Cela engendre une incertitude sur la quantité de smartphones, qui est donc sous-estimée. Cela n'impacte pas la quantité d'électricité consommée car ces équipements sont non-utilisés.

5.3.2.2.1.2 Feature phones

- **Définition**

Un **feature phone** est un type de téléphone mobile qui dispose de plus de fonctions qu'un téléphone mobile standard pour les appels et les messages texte, mais qui n'est pas équivalent à un smartphone. Les "feature phones" peuvent passer et recevoir des appels, envoyer des messages texte et offrir certaines des fonctions avancées que l'on trouve sur un smartphone⁸⁴.

- **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

950,8 millions d'unités

Selon les statistiques du marché des feature phones⁸⁵, plus de 200 millions d'unités sont expédiées chaque année. La donnée de quantité utilisée a été construite à partir des données annuelles d'expéditions mondiales et consolidées en fonction d'une durée de vie moyenne estimée à 4 ans (voir ci-dessous).

- **Consommation électrique**

0,6 kWh /an /équipement

Les feature phones consommeraient sensiblement moins que les smartphones d'après l'étude Borderstep⁸⁶.

- **Fréquence d'utilisation**

Aucune donnée disponible.

82 Share of OLED Smartphones at Record High, <https://www.counterpointresearch.com/insights/smartphone-oled-penetration-q1-2023/>

83 GSMA – Methodology Estimating the number of dormant phones worldwide, <https://www.gsma.com/betterfuture/wp-content/uploads/2023/06/Research-Methodology-2023.pdf> & https://www.ecosmartphones.info/documents/task_2_§4.1.2

84 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission – ICT Impact study – FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 108

85 Global: feature phone market volume 2019-2029 | Statista, <https://www.statista.com/forecasts/1401833/worldwide-feature-phone-market-volume>

86 BMWK - Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland - Abschlussbericht , <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht.html> § p. 168

- **Durée de vie moyenne**

4 ans

D'après une étude du Borderstep Institut⁸⁷, la durée de vie des feature phones est sensiblement plus longue que les smartphones et est de l'ordre de 4 ans.

- **Taux de pénétration**

Aucune donnée disponible.

- **Caractéristiques techniques**

Aucune donnée disponible.

- **Limites**

Le manque de données précises sur la configuration technique ainsi que sur la fréquence d'utilisation engendre une incertitude sur les impacts environnementaux.

5.3.2.2.1.3 Téléphones fixes

- **Définition**

Un **téléphone fixe** est un téléphone qui est connecté à une ligne fixe. Il peut s'agir d'un téléphone fixe, connecté par câble, ou d'un combiné sans fil (généralement un téléphone DECT) qui doit être rechargé sur un support, lequel peut également faire office de base assurant la connexion entre le combiné et la ligne fixe⁸⁸.

- **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

1,7 milliards d'unités

La donnée de quantité utilisée a été construite à partir des données annuelles d'expéditions mondiales⁸⁹ et consolidées en fonction d'une durée de vie moyenne estimée à 8 ans (voir ci-dessous).

- **Consommation électrique**

18 kWh /an /équipement⁹⁰

- **Fréquence d'utilisation**

Aucune donnée disponible.

- **Durée de vie moyenne**

8 ans

D'après l'étude du Borderstep Institut⁹¹, la durée de vie des téléphones fixes est estimée à 8 ans.

- **Taux de pénétration**

Aucune donnée disponible.

87 BMWK - Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland - Abschlussbericht , <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht.html> § p. 169

88 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p.109

89 Landline Phones - Worldwide | Statista Market Forecast, <https://www.statista.com/outlook/cmo/consumer-electronics/telephony/landline-phones/worldwide#volume>

90 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p.120

91 BMWK - Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland - Abschlussbericht , <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht.html> § p. 169

- **Caractéristiques techniques**

Aucune donnée disponible.

- **Limites**

Le manque de données précises sur les caractéristiques techniques et la fréquence d'utilisation engendre une incertitude sur les impacts environnementaux.

5.3.2.3 Tablettes

- **Définition**

Une **tablette** est un produit qui est un type d'ordinateur portable qui comprend à la fois un écran tactile et peut être doté d'un clavier physique.⁹²

- **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

459,9 millions d'unités

Cette valeur est déterminée à partir des ventes trimestrielles de tablettes dans le monde entre 2011 et 2022. Les données sont agrégées par Statista et issues de iSuppli, IHS et IDC⁹³. Les valeurs allant jusqu'à 2020 peuvent être comparées avec les quantités de ventes de tablettes dans le monde par système d'exploitation de 2010 à 2020⁹⁴ et sont cohérentes avec cette deuxième source. Aucune donnée de 2023 n'a pu être trouvée.

- **Consommation électrique**

19,4 kWh /an /équipement

Cette valeur est issue d'une étude réalisée en Europe et obtenue à partir des données de l'ICT Impact Study⁹⁵ datant de 2020. Aucune donnée plus récente n'a pu être trouvée. L'incertitude sur cette valeur est donc élevée.

- **Fréquence d'utilisation**

3h15 /jour⁹⁶

Cette source ne distingue pas les tablettes des ordinateurs portables. De plus, cette donnée date de 2020. Aucune donnée plus récente n'a pu être trouvée. L'incertitude sur cette valeur de durée de vie est donc élevée.

- **Durée de vie moyenne**

3 ans

La durée de vie est ici estimée à 3 ans. Cette valeur est cohérente entre l'étude de l'ADEME sur le reconditionné⁹⁷ de 2022 et l'ICT impact study⁹⁸ de 2020.

92 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p.108

93 IHS; iSuppli; IDC. Période de sondage : 2011 à 2022, PC monitor unit shipments by quarter 2024 | Statista, février 2023, <https://www.statista.com/statistics/352891/global-pc-monitor-shipments-by-quarter/>

94 Strategy Analytics. Période de sondage : 2010 à 2022, Global tablet shipments by OS 2022 | Statista, juillet 2022, <https://www.statista.com/statistics/273268/worldwide-tablet-sales-by-operating-system-since-2nd-quarter-2010/>

95 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p.109

96 GlobalWebIndex's flagship report on device ownership and usage | bluesyemre, 2020, <https://bluesyemre.files.wordpress.com/2020/05/globalwebindexe28099s-flagship-report-on-device-ownership-and-usage.pdf> § p.10

97 FANGEAT Erwann, ADEME, Laurent ESKENAZI, Eric FOURBOUL, Hubblo, Julie ORGELET DELMAS, DDemain, Etienne LEES PERASSO, Firmin DOMON, LCIE Bureau Veritas, Evaluation de l'impact environnemental d'un ensemble de produits reconditionnés – rapport final, https://bibliothèque.ademe.fr/ged/6720/ademe_impact_environmental_reconditionnement_rapport.pdf § p. 28

98 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/>

- **Taux de pénétration**

Aucune donnée disponible.

- **Caractéristiques techniques**

On considère 3 modèles. L'entrée de gamme, milieu de gamme et haut de gamme, dont les configurations varient comme présenté dans le tableau ci-dessous.

	Entrée de gamme (<300€)	Milieu de gamme (>300€, <900€)	Haut de gamme (>900€)
Technologie de l'écran	LCD tactile	LCD tactile	LCD tactile
Taille de l'écran (pouce)	10,2	10,3	11,1
Répartition ⁹⁹ (%)	20 %	60 %	20 %

Tableau 34 : Caractéristiques techniques des gammes de tablettes utilisées dans le modèle

- **Limites**

Le manque de données plus récentes que 2020 ou 2022 pour les différents paramètres (quantités, durée de vie, consommation électrique, etc.) engendre une probable sous-estimation des impacts environnementaux des tablettes.

5.3.2.4 Ordinateurs portables

- **Définition**

Un **ordinateur portable** est un ordinateur conçu spécifiquement pour la portabilité et pour être utilisé pendant des périodes prolongées, avec ou sans connexion directe à une source d'alimentation CA. Il dispose d'un écran intégré.

- **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

1,05 milliard d'unités

Cette donnée a été calculée à partir de 2 sources : Canalys et Trendforce. La moyenne des quantités vendues reportées par chaque analyse a été calculée¹⁰⁰.

- **Consommation électrique**

27,59 kWh /an /équipement

Lors de l'étude portant sur les impacts du numérique en Europe¹⁰¹, la consommation annuelle par appareil a été établie à 30,96 kWh. Toutefois, cette valeur se basait sur une consommation pour une utilisation moyenne de 3 h 50 par jour, or nous avons établi pour cette étude une consommation à 3 h 15 par jour, ce qui nous donne une consommation actualisée estimée à 27,59 kWh/an/appareil pour 3 h 15 d'activité journalière.

Pour un total de 1 049 540 000 appareils actifs en 2023, cela correspond à une consommation annuelle de 28,957 TWh/an.

[files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_CIRCABC.pdf](#) § Energy p.109

99 Hypothèse de répartition basée sur une courbe de Gauss, en considérant que la majorité des achats sont faits sur du milieu de gamme.

100 Issu de Statista. Sources : Canalys Global PC Market data (2020-2024) et Trendforce (rapport 2025 à 2023 publié en 2023)

101 Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas-Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. et Lees Perasso, E. GreenIT.fr, Le numérique en Europe : une approche des impacts environnementaux par l'analyse du cycle de vie (NumEU) - Green IT, 2021, <https://www.greenit.fr/NumEU/>

- **Fréquence d'utilisation**

3h15 /jour¹⁰²

Cette source ne distingue pas les tablettes des ordinateurs portables. De plus, cette donnée date de 2020. Aucune donnée plus récente n'a pu être trouvée. L'incertitude sur cette valeur est donc élevée.

- **Durée de vie moyenne**

5 ans¹⁰³

- **Taux de pénétration**

Aucune donnée disponible.

- **Caractéristiques techniques**

Les ordinateurs portables ne bénéficient pas tous de configurations de même nature. Le rapport ICT impact study, pour la Commission Européenne¹⁰⁴, identifie les catégories suivantes, allant de l'ordinateur portable aux configurations les plus basiques aux ordinateurs les plus puissants : 0, I1, I2, I3, D1, D2. Les catégories ayant des configurations relativement similaires ont été regroupées ici, soit les catégories I0 et I1 (Notebook), les catégories I2 et I3 (Bureautique), et les catégories D1 et D2 (Gaming).

A défaut de sources complémentaires, nous avons réalisé une hypothèse de répartition des équipements par catégorie, au niveau mondial.

Configurations moyennes	Notebook	Bureautique	Gaming
Hypothèse de répartition	40 %	50 %	10 %
Masse de l'équipement (kg)	1,5	1,54	2,3
Taille de l'écran (pouce)	14,5	14,5	15,6
Technologie de l'écran	LCD	LCD	LED
Nom du processeur	AMD Ryzen 5	Intel Core i5	Intel Core i7 de 8e génération
Capacité de RAM (Go)	13	8	16
Capacité de stockage SSD (Go)	427	564	512
Capacité de stockage HDD (Go)	0	0	0
Surface de carte électronique (cm ²)	52,93	62,03	88,22
Nom de la carte graphique	Intégrée	Intégrée	NVIDIA Ampere Ge-Force RTX 2060 6Go
Masse de la batterie (g)	330	165	287
Masse de l'alimentation électrique (g)	245	211	208

Tableau 35 : Caractéristiques techniques des configurations type d'ordinateurs portables utilisées dans le modèle

102 GlobalWebIndex's flagship report on device ownership and usage | bluesyemre, 2020, <https://bluesyemre.files.wordpress.com/2020/05/globalwebindexe28099s-flagship-report-on-device-ownership-and-usage.pdf> § p. 10

103 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 112 table 68

104 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 131

- **Limites**

L'absence de données permettant de connaître avec plus de précision les configurations-types et les proportions des différentes catégories d'ordinateurs portables sur le marché est un facteur d'incertitude important. Nous avons tenté de le limiter en établissant des hypothèses transparentes, sur la base d'une catégorisation pré-existante et qui n'a pas, à notre connaissance, fait l'objet de remise en cause.

5.3.2.5 Ordinateurs fixes

- **Définition**

Un **ordinateur de bureau** est un ordinateur dont l'unité principale est destinée à être placée dans un endroit permanent et n'est pas conçue pour être transportée. Il n'est opérationnel qu'avec des équipements externes tels que l'écran, le clavier et la souris.

- **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

464,75 millions d'unités

Cette donnée a été estimée à partir d'études des ventes annuelles d'ordinateurs fixes pour les périodes précédant 2022 réalisées par IDC¹⁰⁵, et sur une interpolation entre l'estimation 2022 de l'étude IDC 2022 et l'estimation 2024 de l'étude IDC 2024¹⁰⁶, donnant un résultat de 76,48 millions d'unités, dans un ordre de grandeur assez proche de l'estimation 2023 de l'étude IDC 2022, qui estimait les ventes 2023 d'ordinateurs fixes à 75,39 millions. Une autre source, Canalys¹⁰⁷, donnait une estimation systématiquement plus basse, de l'ordre de 15 à 25 millions d'unités selon les années, avec des effets de baisse beaucoup plus marqués et de hausse un peu plus marqués, mais corroborant systématiquement la tendance annuelle IDC.

- **Consommation électrique**

95,8 kWh /an /équipement

Pour 464 750 000 équipements, cela représente 49,29 TWh d'électricité par an. Cette valeur est issue des données de l'ICT Impact Study¹⁰⁸ datant de 2020. Aucune donnée plus récente n'a pu être trouvée. L'incertitude sur cette valeur est donc élevée.

- **Fréquence d'utilisation**

3 h 15 /jour¹⁰⁹

Cette source ne distingue pas les tablettes des ordinateurs. De plus, cette donnée date de 2020. Aucune donnée plus récente n'a pu être trouvée. L'incertitude sur cette valeur de durée de vie est donc élevée.

- **Durée de vie moyenne**

6 ans¹¹⁰

105 Desktop PC shipments worldwide 2024-2028 | Statista, (version disponible en mai 2023), <https://www.statista.com/statistics/269044/worldwide-desktop-pc-shipments-forecast/>

106 Desktop PC shipments worldwide 2024-2028 | Statista, (version disponible en novembre 2024), <https://www.statista.com/statistics/269044/worldwide-desktop-pc-shipments-forecast/>

107 Canalys Global PC Market (2020-2024)

108 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 109

109 GlobalWebIndex's flagship report on device ownership and usage | bluesyemre, 2020, <https://bluesyemre.files.wordpress.com/2020/05/globalwebindexe28099s-flagship-report-on-device-ownership-and-usage.pdf> § P.10

110 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 112 table 68
What is the Average Lifespan of a Computer?, <https://www.hungerford.tech/blog/what-is-the-average-lifespan-of-a-computer/#:~:text=Even%20if%20you%20take%20pristine,to%20five%20years%20for%20laptops>

Deux sources permettent d'identifier la durée de vie moyenne des ordinateurs fixes, estimée entre 5 à 7 ans pour l'une et 6 ans en moyenne pour l'autre. Pour cet équipement dont les composants sont parmi les plus facilement remplaçables en cas de panne ou pour améliorer ses performances, il serait intéressant d'étudier quelle part des équipements sur le marché font l'objet du remplacement occasionnel de certains de leurs composants plutôt qu'être remplacés dans leur globalité. Aucune étude sur le sujet n'a été trouvée.

- **Taux de pénétration**

Aucune donnée disponible.

- **Caractéristiques techniques**

Les ordinateurs de bureau ne bénéficient pas tous de configurations de même nature. Le rapport ICT impact study, pour la Commission Européenne, identifie les catégories suivantes, allant de l'ordinateur aux configurations les plus bas de gamme aux ordinateurs les plus puissants : 0, I1, I2, I3, D1, D2. Les catégories d'ordinateurs de type 0 et I1 ont été regroupées en une seule catégorie, leurs configurations étant assez similaires.

A défaut de sources complémentaires, nous avons réalisé une hypothèse de répartition des équipements par catégorie, au niveau mondial.

Configurations moyennes	Catégories 0 et I1 (Basique)	Catégorie I2 (Familial)	Catégorie I3 (Gaming)	Catégorie D1 (Power Gaming)	Catégorie D2 (Power User)
Hypothèse de répartition	20 %	20 %	30 %	10 %	20 %
Masse de l'équipement (kg)	2,2	2,4	4,8	6,8	10,5
Masse de l'alimentation (kg)	0,34	1,2	3,27	1,7	1,66
Surface de carte électronique (cm ²)	289	359,1	590,49	686,25	686,25
Nom du processeur	Intel Celeron G3930	Intel Pentium G4560	AMD Ryzen 5 1500X	AMD Ryzen 5 1600	AMD Ryzen 7 1700X
Capacité de RAM (Go)	4	8	8	16	16
Nom de la carte graphique	Intégrée	MSI GeForce GTX 1050 2GT LP	Sapphire Radeon RX 570 Nitro+ 4Go	GeForce RTX2080	GeForce RTX3080
Capacité de stockage SSD (Go)	250	250	250	500	1 000
Capacité de stockage HDD (Go)	0	1 000	1 000	2 000	2 000
Masse du lecteur DVD (kg)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Tableau 36 : Caractéristiques techniques des configurations type d'ordinateurs de bureau utilisées dans le modèle

- **Limites**

L'absence de données permettant de connaître avec plus de précision les configurations-types et les proportions des différentes catégories d'ordinateurs de bureau sur le marché est un facteur d'incertitude important. Nous avons tenté de le limiter en établissant des hypothèses transparentes, sur la base d'une catégorisation pré-existante et qui n'a pas, à notre connaissance, fait l'objet de remise en cause.

5.3.2.6 Vidéoprojecteurs

- **Définition**

Un **vidéoprojecteur** est un appareil optique destiné à traiter des informations vidéo analogiques ou numériques, dans n'importe quel format de diffusion, de stockage ou de mise en réseau, afin de moduler une source lumineuse et de projeter l'image résultante sur un écran externe. Les informations audios, en format analogique ou numérique, peuvent être traitées en tant que fonction optionnelle du projecteur.¹¹¹

Les projecteurs peuvent être regroupés par catégories technologiques : DLP (digital light processing), LCD (liquid crystal display), LCOS (liquid crystal on silicon), LED et autres. Leurs principaux usages sont à domicile (home cinéma), à l'école (éducation), au bureau (entreprise), ou en situation de mobilité (portable).

- **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

567 millions d'unités

Cette donnée est estimée à partir des données de volume de vente d'écrans et projecteurs pour PC de 2018 à 2028¹¹². Le volume de marché des projecteurs uniquement est obtenu en soustrayant le volume d'écrans uniquement venant d'une seconde source¹¹³, agrégée par Statista. Cette donnée est finalement consolidée en fonction d'une durée de vie moyenne estimée à 5 ans (voir ci-dessous).

- **Consommation électrique**

200 kWh /an /équipement¹¹⁴

- **Fréquence d'utilisation**

La fréquence d'utilisation varie en fonction du contexte d'utilisation : 3 h /j dans un cadre scolaire, 1.5 h /jour dans un cadre professionnel et 0.5h/jour dans un cadre personnel.³⁸

- **Durée de vie moyenne**

5 ans¹¹⁵

- **Taux de pénétration**

Aucune donnée disponible

- **Caractéristiques techniques**

Aucune donnée d'impacts environnementaux et de quantités disponibles par technologie. Ainsi, aucune différenciation selon les technologies n'est prise en compte.

111 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 85 table, 5.2.1

112 Global: PC monitors & projectors volume 2019-2029 | Statista, 2024, <https://www.statista.com/forecasts/1256931/volume-global-pc-monitor-projector-market>

113 IDC, PC monitor unit shipments by quarter 2024 | Statista, 2022, <https://www.statista.com/statistics/352891/global-pc-monitor-shipments-by-quarter/>

114 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 88

115 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 86 table, 5.2

- **Limites**

Elle existe une grande incertitude sur la quantité de projecteurs car elle est calculée sur la base d'autres équipements. En effet, aucune donnée directe n'était disponible. De plus, les données obtenues se limitent aux projecteurs utilisés avec des ordinateurs et excluent les projecteurs utilisés comme téléviseur. Finalement, une incertitude supplémentaire est introduite par l'impossibilité de distinguer les différentes technologies de projecteurs. Aussi, une analyse de sensibilité est réalisée sur la quantité de projecteurs pour prendre en compte cette incertitude (voir section 4).

5.3.2.7 Imprimantes

- **Définition**

Le groupe de produit des équipements d'impression qui sont considérés ici inclut les catégories suivantes¹¹⁶ :

Catégorie de produit	Description
Imprimante laser monochrome (Imprimante multifonction)	Imprimante multifonctionnelle, capable de copier, de numériser et d'imprimer, qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électro-photographie) pour imprimer en une seule couleur seulement.
Imprimante multifonction laser couleur	Imprimante multifonctionnelle capable de copier, de numériser et d'imprimer, qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électro-photographique) pour imprimer en plusieurs couleurs.
Imprimante laser monochrome	Imprimante utilisant la technologie de marquage laser (parfois appelée électro-photographie) pour imprimer en une seule couleur.
Imprimante laser couleur	Imprimante utilisant la technologie de marquage laser (parfois appelée électro-photographie) pour imprimer en plusieurs couleurs.
Imprimante multifonction à jet d'encre couleur	Imprimante multifonction qui peut copier, numériser et imprimer et qui utilise la technologie de marquage à jet d'encre pour imprimer en plusieurs couleurs.
Imprimante à jet d'encre couleur	Imprimante qui utilise la technologie de marquage à jet d'encre pour imprimer en plusieurs couleurs.
Imprimante et appareil multifonction professionnels	Imprimante professionnelle ou appareil multifonction qui supporte un grammage supérieur à 141 g /m ² ; compatible A3 ; si elle imprime uniquement en monochrome, l'IPM ¹¹⁷ est égal ou supérieur à 86 ; s'il imprime en couleur, l'IPM est supérieur ou égal à 50 ; résolution d'impression de 600x600 dpi ou plus ; poids du modèle de base supérieur à 180 kg et plusieurs autres caractéristiques telles que la perforation de trous et la reliure par anneaux.
Scanner	Produit dont la fonction principale est de convertir des originaux papier en images électroniques qui peuvent être stockées, éditées, converties, etc.
Copieur	Produit d'imagerie disponible dans le commerce dont la seule fonction est la production de copies papier à partir de documents graphiques.

Tableau 37 : Description des catégories d'imprimantes

- **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

584,77 millions d'unités

¹¹⁶ VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 123 table, 71

¹¹⁷ IPM : vitesse d'impression exprimée en pages par minute

Considérant les estimations fournies par Statista Research Department¹¹⁸ et, après recoupement avec les chiffres d'IDC pour l'année 2022 et 2023¹¹⁹, le nombre d'unités d'imprimantes dans le monde est estimé à 584,77 millions.

A noter que les 2 sources ne considèrent pas le même périmètre (Pour IDC : restreint aux imprimantes à fonction unique, systèmes multifonction (MFP) et copieurs numériques à fonction unique (SF DC)).

En conséquence, les chiffres d'IDC sont inférieurs, mais cohérents compte tenu du périmètre.

- **Consommation électrique**

133 kWh /an /équipement

La consommation électrique varie grandement d'un type d'appareil à l'autre :

- **Minimum** : 2 kWh /an /appareil pour une imprimante jet d'encre ;
- **Maximum** : 664 kWh /an /appareil pour une imprimante multifonction professionnelle.

On obtient en moyenne une consommation de 133 kWh /an /équipement. Ces valeurs sont estimées stables depuis 2018. Elles sont issues des données de l'ICT Impact Study¹²⁰ datant de 2020. Aucune donnée plus récente n'a pu être trouvée. L'incertitude sur cette valeur est donc élevée.

- **Fréquence d'utilisation**

Aucune donnée disponible.

- **Durée de vie moyenne**

6 ans

Sur la base de différentes sources (ICT Impact Study¹²¹, ADEME, GreenIT.fr), la durée de vie moyenne de ce type d'équipements est estimée ici à 6 ans.

- **Taux de pénétration**

Aucune donnée disponible.

- **Caractéristiques techniques**

Les équipements d'impression forment une catégorie d'équipements qui peuvent être très différents les uns des autres. Par manque de données environnementales plus exhaustives ainsi que de données quantitatives précises sur les différents types d'équipements, l'ensemble des équipements de cette catégorie ont été modélisés comme des imprimantes multifonctions laser en réseau.

- **Limites**

L'étude ICT Impact Study¹²² (source des définitions de cette catégorie d'équipement) fournit également des informations sur les télécopieurs et les imprimantes 3D que nous avons exclues de notre champ d'application pour trois raisons :

- Ces appareils sont à la limite de ce qui peut être considéré ou non comme faisant partie du numérique.
- Ils représentent un stock limité d'équipements (270 000 imprimantes 3D) ou ont un impact limité (télécopieurs)
- Manque d'informations sur les impacts environnementaux de ces appareils pour les inclure dans notre champ d'application.

118 Global: printers & copiers volume 2019-2029 | Statista, <https://www.statista.com/forecasts/1247400/worldwide-printer-and-copier-market-volume>

119 Worldwide Quarterly Hardcopy Peripherals Tracker, https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=IDC_P4437

120 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 125-128

121 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 124

122 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 124

La modélisation de l'ensemble des équipements de cette catégorie par des imprimantes multifonctions laser en réseau comme décrit entraîne une incertitude dans les impacts environnementaux de cette catégorie d'équipements. Il n'est pas possible de dire si cette incertitude entraîne une sous-estimation ou une surestimation des impacts.

5.3.2.8 Écrans

- **Définition**

Un **écran** est composé d'un écran d'affichage et les composants électroniques associés qui, en tant que fonction principale, affichent des informations visuelles à partir d'une image ou d'une vidéo. Sa fonction principale est d'afficher des informations visuelles provenant de sources câblées ou sans fil.¹²³

N'ont pas été pris en compte ici de manière spécifique les écrans destinés uniquement à des fins publiques, par manque d'information fiable permettant d'estimer leur quantité au niveau mondial.

- **Les catégories d'écrans**

Catégorie de produits	Champ d'application
Moniteur	Ecran d'ordinateur (indifféremment pour les ordinateurs de bureau, les clients légers ou les seconds écrans externes d'ordinateurs portables)
Téléviseur	Téléviseur ordinaire, téléviseur d'accueil (chambres d'hôtel et autres logements, lits d'hôpitaux, etc.)

Tableau 38 : Description des catégories d'écrans

5.3.2.8.1 Moniteurs

- **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

906,8 millions

La source utilisée est IDC (International Data Corporation) qui communique sur les ventes mondiales d'écrans pour ordinateurs personnels (PC) de 2012 à 2022, par trimestre.¹²⁴ Des interpolations linéaires ont été appliquées pour obtenir les valeurs pour les trimestres manquants.

- **Consommation électrique**

25 kWh /an /équipement pour un écran de 24 pouces

50 kWh /an /équipement pour un écran de 35 pouces

Ces données sont issues d'une étude de l'ADEME datant de 2018¹²⁵ pour obtenir la puissance en mode actif et en utilisant la durée d'utilisation ci-dessous. Aucune donnée plus récente n'a été trouvée. L'incertitude associée à cette valeur est donc élevée.

- **Fréquence d'utilisation**

3 h 15 /jour¹²⁶

¹²³ European Commission, Commission Regulation (EU) 2019/2021 of 1 October 2019 laying down ecodesign requirements for electronic displays pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council, amending Commission Regulation (EC) No 1275/2008 and repealing Commission Regulation (EC) No 642/2009 (Text with EEA relevance.), 2019, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/648e809d-1729-11ea-8c1f-01aa75ed71a1/language-en/format->

¹²⁴ Worldwide Quarterly PC Monitor Tracker, https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=IDC_P7132

¹²⁵ Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et biens d'équipement - La librairie ADEME, <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/1189-modelisation-et-evaluation-des-impacts-environnementaux-de-produits-de-consommation-et-biens-d-equipement.html> § p. 51

¹²⁶ GlobalWebIndex's flagship report on device ownership and usage | bluesyemre, <https://bluesyemre.files.wordpress.com/2020/05/globalwebindexe28099s-flagship-report-on-device-ownership-and-usage.pdf> § p. 10

La durée d'utilisation journalière est considérée comme similaire à un ordinateur étant donné qu'un moniteur est toujours utilisé en concomitance avec un ordinateur.

- **Durée de vie moyenne**

7 ans

Cette valeur est obtenue sur la base d'une moyenne entre 2 sources : le benchmark GreenIT 2022¹²⁷ et une étude suédoise¹²⁸ datant de 2015. Compte tenu de l'absence de sources récentes, ce paramètre fera l'objet d'une analyse de sensibilité (voir section 4).

- **Taux de pénétration**

Aucune donnée disponible.

- **Caractéristiques techniques**

	Configuration 1	Configuration 2
Technologie de l'écran	LCD	OLED
Taille de l'écran (pouce)	24	35
Répartition ¹²⁹ (%)	99,93 %	0,07 %

Tableau 39 : Caractéristiques des configurations de moniteurs utilisées dans le modèle

Répartition entre technologies :

En 2023, 500'000 moniteurs OLED ont été vendus, soit 0.5% du marché cette même année (120'000 ventes en 2022)¹³⁰. En tenant compte de l'âge du parc actuel, la part de moniteurs OLED tombe donc en l'état à **0,07%**. En cumul, cette part reste donc marginale en comparaison des technologies LCD, mais cette proportion va être amenée à croître significativement dans les prochaines années (+300% vente attendues en 2024).

Taille moyenne :

Les tailles moyennes des écrans des différentes technologies sont les suivantes :

- **24 pouces** pour les écrans **LCD**, basé sur les éléments suivants :
 1. La taille moyenne retenue en Europe par l'ICT en 2020, 24 pouces¹³¹ ;
 2. A l'échelle mondiale, la taille moyenne en 2016 était de 22.1 pouces ¹³², avec une progression linéaire de la taille sur les 5 années précédentes.
 3. En 2023, le constructeur BenQ indique que plus de 50% de ses ventes sont réalisées en 24 pouces. Le 27 pouces représentant 30%¹³³.
- **35 pouces** pour les écrans **OLED**, basé sur la répartition fournie dans le Tableau 38, par Trendforce¹³⁴ pour les ventes de l'année 2023 (de la taille la plus vendue à la moins vendue).

127 BENCHMARK GREEN IT 2022, https://club.greenit.fr/doc/2022-09-Benchmark_Green_IT-2022-rapport.0.5_FR.pdf

128 Yuliya Kalmykova, João Patrício, Leonardo Rosado, P. EO Berg, Out with the old, out with the new – The effect of transitions in TVs and monitors technology on consumption and WEEE generation in Sweden 1996–2014, Waste Management, Volume 46, 2015

129 Hypothèse de répartition basée sur une courbe de Gauss, en considérant que la majorité des achats sont faits sur du milieu de gamme

130 OLED Monitor Shipments Predicted to Soar by 323% in 2023; 2024 Shipments Expected to Surpass One Million Units, Says TrendForce, <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20231012-11875.html>

131 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Electronic Displays, p. 77

132 PC monitor display size, <https://www.pcmatic.com/blog/pc-monitor-display-size/>

133 Affichage : Les écrans plus grands s'imposent - Magazine EDI, <https://www.edi-mag.fr/affichage-numerique/les-ecrans-plus-grands-simposent/>

134 OLED Monitor Shipments Predicted to Soar by 323% in 2023; 2024 Shipments Expected to Surpass One Million Units, Says TrendForce, <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20231012-11875.html>

Taille de l'écran (pouce)	27'	34'	49'	45'	Autres (Non considéré)
Volume de vente (%)	32 %	37 %	14 %	10 %	7 %

Tableau 40 : Répartition des quantités de moniteurs selon leur taille

- **Limites**

Le manque de sources récentes concernant les consommations électriques et les durées de vie des moniteurs génère une incertitude assez forte sur les impacts environnementaux de cette catégorie d'équipements.

5.3.2.8.2 Téléviseurs (TV)

- **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

1,475 milliards d'unités

La source utilisée est une agrégation Statista¹³⁵ des données consolidées annuellement par Trendforce¹³⁶, qui communique sur les ventes mondiales de TV de 2015 à 2024.

- **Consommation électrique**

179 kWh /an /équipement¹³⁷

C'est une donnée datant de 2020. Aucune donnée plus récente n'a été trouvée.

- **Fréquence d'utilisation**

3 h 20 /jour¹³⁸

Cette source date de 2022 et est spécifique aux téléviseurs.

- **Durée de vie moyenne**

7 ans

La durée de vie est estimée ici à 7 ans, en se basant sur la moyenne des sources utilisées : benchmark professionnel GreenIT.fr¹³⁹ et rapport d'évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective de l'Ademe/Arcep¹⁴⁰.

- **Taux de pénétration**

Aucune donnée disponible.

- **Caractéristiques techniques**

Les caractéristiques considérées sont les suivantes :

135 Global TV shipments 2015-2024 | Statista, <https://www.statista.com/statistics/276238/television-shipments-worldwide-forecast/>

136 Global TV Shipments to Fall Below 197 Million Units for the First Time in 2023, Slight Growth of 0.2% Expected in 2024, Says TrendForce, <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20231128-11931.html>
Global TV Shipments Are Projected to Drop by 3.9% YoY to Decade Low of Just 202 Million Units for 2022, Says TrendForce, <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20221221-11509.html>

137 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/A_report-ICT_study_final_2020_\(CIRABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/A_report-ICT_study_final_2020_(CIRABC).pdf)

138 Digital 2022: Global Overview Report — DataReportal — Global Digital Insights, <https://datareportal.com/reports/digital-2022-global-overview-report>

139 BENCHMARK GREEN IT 2022, https://club.greenit.fr/doc/2022-09-Benchmark_Green_IT-2022-rapport.05_FR.pdf

140 evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective, 2022, https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/etude-prospective-2030-2050_mars2023.pdf § p. 40

	Configuration 1	Configuration 2
Technologie de l'écran	LCD	OLED
Taille de l'écran (pouces)	46,9	58,7
Répartition (%)	98%	2%

Tableau 41 : Caractéristiques des configurations de téléviseurs utilisées dans le modèle

Taille moyenne des TV LCD : Estimation de 46,9 pouces à partir des tailles moyennes¹⁴¹ des écrans de télévision LCD dans le monde de 2015 à 2021 (en pouces) agrégé par Statista. Ce sont des prévisions pour la période 2018 à 2021 complétées par une interpolation linéaire pour l'année 2022. Ces valeurs sont moyennées en pondérant en fonction des quantités vendues dans le monde chaque année pour obtenir une taille moyenne des TVs utilisées dans le monde en 2022. Les valeurs des tailles d'écrans de télévision fournies par Statista sont cohérentes avec celles fournies par Omdia¹⁴².

Taille moyenne des TV OLED : Estimation de 58,7 pouces à partir de tailles moyennes des écrans de télévisions OLED entre 2016 et 2020, agrégé par Statista¹⁴³.

Proportion LCD vs OLED : Estimation à 98% LCD et 2% OLED. Ces valeurs sont obtenues à partir des quantités totales de TVs vendues entre 2015 et 2023, comparé avec la quantité de TV OLED vendues entre 2016 et 2023¹⁴⁴.

5.3.2.9 Smart box TV

• Définition

Il s'agit d'un boîtier externe relié à la TV permettant l'utilisation de multiples sources : le câble ou onde terrestre, par satellite, ou par internet (IPTV). Depuis l'émergence de multiples plateformes de vidéo via internet (Netflix, Prime, Disney+, etc.), les boîtiers les plus récents permettent l'intégration de ces canaux depuis un point unique, ainsi que des services "intelligents" (AppleTV, AndroidTV) et peuvent se coupler aux assistants vocaux (boîtiers "OTT" - "Over the top").¹⁴⁵

• Nombre d'unités dans le monde en 2023

773 millions d'unités

Cette quantité est estimée sur base des volumes de ventes mondiales des appareils domestiques intelligents¹⁴⁶. Parmi ces appareils domestiques intelligents, les équipements considérés sont ceux de divertissement vidéo auxquels on retranche les smart TV (qui sont déjà comptabilisés par ailleurs dans l'étude, au sein de la catégorie TV).

141 Source des données : GfK; gfu, Global average TV screen size 2015-2021 | Statista, Date de sondage : 2015 à 2017, <https://www.statista.com/statistics/760288/average-tv-screen-size-worldwide>

142 Omdia: For the first time, LCD TV display weighted average size surpasses the 50-inch display size, <https://www.prnewswire.com/apac/news-releases/omdia-for-the-first-time-lcd-tv-display-weighted-average-size-surpasses-the-50-inch-display-size-301883953.html>

143 Global OLED TV shipments by screen size 2016-2020 | Statista, <https://www.statista.com/statistics/991181/worldwide-oled-tv-shipments-screen-size>

144 Global OLED TV shipments 2016-2023 | Statista, <https://www.statista.com/statistics/260316/global-oled-tv-shipments/>

145 Définition inspirée de l'étude Evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France, ADEME, <https://librairie.ademe.fr/ged/6700/impact-environnemental-numerique-rapport2.pdf> § p. 54
Set Top Box Market Size, Share And Growth Report, 2030, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/the-global-set-top-box-market>
Set-Top Box Market Research | Industry Analysis, Size & Forecast Report, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/set-top-box-market>

146 Worldwide Quarterly Smart Home Device Tracker, et les press releases associées, reprises dans d'autres media, https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=IDC_P37480

- **Consommation électrique**

73 kWh /an /équipement¹⁴⁷

- **Fréquence d'utilisation**

Aucune donnée disponible.

- **Durée de vie moyenne**

5 ans

Faute de donnée disponible, l'hypothèse d'une durée de vie de 5 ans est utilisée. Une hypothèse similaire est réalisée dans l'étude ADEME-Arcep sur l'Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective de 2022.

- **Taux de pénétration**

Au niveau mondial, la répartition de l'utilisation des smart box était de 88,1 % en usage résidentiel en 2022¹⁴⁸. Les usages commerciaux proviennent notamment des services d'hôtellerie-restauration et des hôpitaux¹⁴⁹.

- **Caractéristiques techniques**

Aucune donnée disponible.

- **Tendances**

Les smart box TV ont été notamment utilisées pour prolonger la télévision existante tout en accédant à de nouveaux services fournis via internet, dont l'accès est parfois plus étendu que d'autres canaux de distribution vidéo.

L'utilisation de smart box TV s'est généralisée sur la période 2020-2021, durant les confinements liés à la pandémie de COVID-19. Aujourd'hui, les vagues d'équipements ou de renouvellement des équipements sont liées aux sorties technologiques (4G/5G, tendance de migration de flux "SD" vers "HD" et "4K", etc.), en croissance surtout en Europe et aux Etats-Unis.

- **Limites**

L'estimation de la quantité de box TV à partir des quantités d'autres équipements (équipements domestiques connectés et smart TV) engendre une forte incertitude.

5.3.2.10 Enceintes connectées

- **Définition**

Les enceintes dites "connectées" se distinguent en 2 catégories : les enceintes sans fil (Bluetooth, wifi), avec des fonctionnalités de consommation de services de "streaming" (Spotify, Deezer, ...), et les assistants vocaux/virtuels intégrant l'usage de commande vocale. Globalement, les assistants représentent 82.4 % en 2023 de l'ensemble du marché des enceintes connectées¹⁵⁰.

- **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

717,8 millions d'unités

147 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § p. 105-106

148 Set Top Box Market Size, Share And Growth Report, 2030, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/the-global-set-top-box-market>

149 Set-Top Box Market Size & Share, Growth Analysis 2024-2032, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/set-top-box-market>

150 Smart Speaker Market Size, Share & Industry Trends [2032], <https://www.fortunebusinessinsights.com/smart-speaker-market-106297>

Cette quantité se base sur les volumes de ventes mondiales¹⁵¹ et la durée de vie moyenne indiquée ci-dessous.

- **Consommation électrique**

43.8 kWh /an /équipement

Un rapport de 2019¹⁵², réalisé pour le Sénat, indique une consommation annuelle de 43,8 kWh par équipement dans son hypothèse centrale.

- **Fréquence d'utilisation**

Aucune donnée disponible.

- **Durée de vie moyenne**

5 ans

Faute de donnée précise disponible, la durée de vie moyenne de 5 ans a été retenue par hypothèse, ces appareils étant équipés de batterie.

- **Tendance**

De nouveaux produits intègrent un dispositif de visualisation (écran), pour proposer les contenus vidéos et l'intégration de réseaux sociaux, vidéo à la demande, etc. Cette tendance est indiquée comme un "moteur" de croissance du secteur, impliquant des impacts en hausse, tant au niveau de la fabrication (ajout d'un écran), qu'en matière de consommation électrique et de sollicitation des infrastructures réseaux (volume de données). L'intégration grandissante des technologies d'IA est également un facteur tendant à une accélération de cette croissance des impacts.¹⁵³

- **Caractéristiques techniques**

La modélisation est basée sur une configuration unique d'enceinte connectée. Sa masse est de 820g.

- **Limites**

Pour cet équipement, les principales limites sont l'hypothèse sur la durée de vie ainsi que la configuration unique pour les caractéristiques techniques. Ces approximations engendrent une incertitude sur les résultats.

5.3.2.11 Consoles de jeu

- **Définition**

Selon la SRI¹⁵⁴, citée dans l'ICT Impact Study¹⁵⁵ "une console de jeux est un appareil informatique dont la fonction principale est de jouer à des jeux vidéo. Les consoles de jeux partagent de nombreuses caractéristiques et composants de l'architecture matérielle que l'on trouve dans les ordinateurs personnels généraux (par exemple, unité(s) centrale(s) de traitement, mémoire système, architecture vidéo, lecteurs

151 Global smart speaker shipments by vendor 2022 | Statista, <https://www.statista.com/statistics/792598/world-wide-smart-speaker-unit-shipment/>; <https://omdia.tech.informa.com/pr/2022/aug/omdia-global-installed-base-of-smart-home-devices-exceeds-2bn-devices-in-2022>
IDC, Source fermée, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS49982122>
Worldwide Shipments of Smart Home Devices Continue to Decline in 2023, Slump Expected to Last into 2024, According to IDC, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS50994923>

152 ÉTUDE RELATIVE À L'ÉVALUATION DES POLITIQUES PUBLIQUES MENÉES POUR RÉDUIRE L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE, 2020, https://www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/commission/Developpement_durable/MI_empreinte_environnementale/r19-555-annexe.pdf § p. 112

153 Smart Speaker Market Size, Share & Industry Trends [2032], <https://www.fortunebusinessinsights.com/smart-speaker-market-106297>

154 In the EU, video games consoles are subject to a Self-Regulatory Initiative (SRI) under the Eco-design Directive (ENTR lot 3). Signatories are the three main producers: Microsoft (Xbox), Sony (PlayStation) and Nintendo. The most recent version is SRI 2.6.3 (2018) and the latest compliance report by the Independent Inspector (Intertek) was released in October 2019 (Intertek, Independent Inspector Annual Compliance Report – Games Consoles Self-Regulatory Initiative, Reporting Period 2018, Oct. 2019). All information on the SRI is available on a dedicated website www.efficientgaming.eu.

155 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf)

optiques et/ou disques durs ou autres formes de mémoire interne). Les consoles de jeux couvertes par cette SRI sont celles qui :

- utilisent des contrôleurs portables dédiés ou d'autres contrôleurs interactifs conçus pour permettre de jouer à des jeux (plutôt que la souris et le clavier utilisés par les joueurs individuels) (plutôt que la souris et le clavier utilisés par les ordinateurs personnels; et
- sont équipés de sorties audio-visuelles pour être utilisés avec des téléviseurs externes comme écran principal ; et
- utilisent des systèmes d'exploitation dédiés aux consoles (plutôt qu'un système d'exploitation PC classique)
- peuvent inclure d'autres caractéristiques secondaires telles que lecteur de disques optiques, visualisation de vidéos et d'images numériques, lecture de musique numérique, etc.
- sont des appareils alimentés par le secteur qui consomment plus de 20 watts en mode jeu actif avec l'une ou l'autre des ventes stock¹⁵⁶

• **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

293,68 millions d'unités.

Le stock de consoles de jeux a été calculé en utilisant les ventes annuelles entre 2016 et 2022 rapportées par VGChartZ pour le monde¹⁵⁷ et en se basant sur la durée de vie moyenne de 6,5 ans pour les consoles de jeux.

• **Consommation électrique**

55,88 kWh /an /équipement pour une console de jeu de **bureau**

5,15 kWh /an /équipement pour une console de jeu **mobile**

La consommation d'énergie des consoles est basée sur l'étude d'impact des TIC 2020¹⁵⁸, adaptée aux chiffres de VGChartZ ci-dessus, et en utilisant les chiffres du Global Web Index Q3 présentés par Hootsuite et rapportés dans l'étude d'impact sur les TIC¹⁵⁹.

• **Fréquence d'utilisation**

1 h 02 / jour¹⁶⁰

• **Durée de vie moyenne**

6,5 ans

En France, la durée de vie d'un équipement neuf est estimée à 5 ans, et la durée de vie en reconditionné à 3 ans¹⁶¹. L'étude sur les impacts environnementaux du numérique en 2021¹⁶² tablait sur une durée de vie moyenne à 6,5 ans, avec un bon degré de certitude.

156 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 108

157 Yearly Hardware Comparisons - Global - VGChartz, https://www.vgchartz.com/tools/hw_date.php?reg=Global&ending=Yearly

158 VHK and Viegand Maagøe for the European Commission., ICT Impact Study, Assistance to the European Commission - ICT Impact study - FINAL REPORT. European Commission, 2020, [https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_\(CIRCABC\).pdf](https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2020-11/IA_report-ICT_study_final_2020_(CIRCABC).pdf) § Energy p. 91

159 Ibid, p.239

160 Marché des consoles de jeux - Partage, taille et croissance, <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/gaming-console-market>

161 FANGEAT Erwann, ADEME, Laurent ESKENAZI, Eric FOURBOUL, Hubblo, Julie ORGELETDELMAS, DDemain, Etienne LEES PERASO, Firmin DOMON, LCIE Bureau Veritas, Evaluation de l'impact environnemental d'un ensemble de produits reconditionnés - rapport final, 2022, https://librairie.ademe.fr/ged/6720/ademe_impact_environnemental_reconditionnement_rapport.pdf § p. 174

162 Study commissioned by the European Parliamentary group of the Greens/EFA Project headed by GreenIT.fr, with NegaOctet members (DDemain, GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, APL data center), APPENDICES OF THE REPORT Digital technologies in Europe: an environmental life cycle approach, 2021, <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/12/EU-Study-Appendices-to-the-LCA-EN.pdf> § p. 25

Sur la base de ces deux sources, et compte tenu de l'homogénéité du marché à l'échelle mondiale, nous estimons la durée de vie moyenne mondiale des consoles de jeu à 6,5 ans.

- **Taux de pénétration**

Aucune donnée disponible.

- **Caractéristiques techniques**

Nous dissocions les consoles type "salon" des consoles portables.

Consoles	Nintendo Switch ¹⁶³	Sony Playstation 5	MS Xbox Series X/S	Sony Playstation 4 ¹⁶⁴	MS Xbox One / One S	Nintendo 3DS
Type	Portable	Salon	Salon	Salon	Salon	Portable
Total ventes / période étude en millions d'unités	131,16	52,3	28,04	53,62	19,66	8,90
Proportion	44,66 %	17,81 %	9,55 %	18,26 %	6,69 %	3,03 %

Tableau 42 : Répartition des consoles de jeux par type ainsi que les quantités de ventes

Soit la proportion par type suivante :

Consoles portables	47,69 %
Consoles salon	52,31 %

Tableau 43 : Regroupement la répartition des consoles de jeux par type portable ou salon

Ces deux types de consoles s'appuie chacun sur un mélange pondéré des configurations suivantes :

Consoles	Nintendo Switch	Nintendo Switch Lite	Sony Playstation 5	Sony Playstation 4	MS Xbox One S
Type	Console Portable	Console Portable	Console Salon	Console Salon	Console Salon
Masse de l'équipement (kg)	0,297	0,277	4,78	2,8	2,9
Taille de l'écran (pouce) / Technologie	6,2 / LCD tactile	5,5 / LCD tactile	NA	NA	NA
Surface de carte électronique (cm ²)	Non renseigné	Non renseigné	Non renseigné	838,75	904,72
Processeur	Nvidia Tegra 20 nm	Nvidia Tegra 16 nm	AMD Zen 2	AMD Jaguar	AMD Jaguar
Capacité de RAM (Go)	4	4	16	8	8
Carte graphique	Intégrée au processeur	Intégrée au processeur	AMD RDNA 2	AMD Radeon	AMD Radeon

163 et dérivés tels que Switch Lite ou OLED

164 et dérivés tels que la PS4 Pro

Consoles	Nintendo Switch	Nintendo Switch Lite	Sony Playstation 5	Sony Playstation 4	MS Xbox One S
Capacité de stockage SSD (Go)	32	32	825	0	0
Capacité de stockage HDD (Go)	0	0	0	500	500

Tableau 44 : Caractéristiques des configurations de consoles de jeux utilisées dans le modèle

- **Limites**

Sont exclues de l'étude les consoles dédiées au retrogaming, dont les données de vente sont au moment de la rédaction de l'étude difficiles à collecter, ni des nouveaux types de consoles hybrides (tels que le Valve Steam Deck) utilisant des OS Desktop ou mobile adaptés (tels que Linux ou Android).

5.3.2.12 IoT - Objets connectés

- **Définition**

Des équipements qui sont connectés à l'internet des objets, dit IoT pour Internet of Things) et interagissent généralement via des systèmes embarqués, une certaine forme de communication en réseau, ainsi que la combinaison de edge computing (calculs fait en local ou à proximité) et de cloud computing (calculs réalisés à distance en centres informatiques. Les données provenant d'appareils connectés à l'IoT sont souvent, mais pas exclusivement, utilisées pour créer de nouveaux services pour les utilisatrices finales.

Les ordinateurs, tablettes ou smartphones ne sont pas considérés comme faisant partie de l'IoT car ils sont principalement des terminaux utilisateur-ices. La RFID peut être considérée comme un premier degré embryonnaire de l'IoT, mais cela est sujet à discussion ; dans cette étude, nous avons exclu la RFID de notre périmètre.

- **Nombre d'unités dans le monde en 2023**

L'entreprise IoT Analytics estimait en 2019¹⁶⁵ qu'il y aurait près de 19,8 milliards d'équipements IoT actifs dans le monde en 2023. Ces prévisions sont cependant anciennes. Transforma Insights estime quant à elle à environ 15,7 milliards le nombre d'équipements IoT actifs dans le monde en 2023¹⁶⁶. Cette nouvelle estimation est aussi cohérente avec celle d'Ericsson¹⁶⁷ tablant à 15,712 milliards d'équipements IoT dans le monde en 2023. Nous avons donc considéré la moyenne de ces 2 dernières données, soit **15,706 milliards d'objets connectés dans le monde en 2023**.

Faute de données plus récentes, nous avons ventilé la répartition entre les différentes catégories d'équipement en conservant la proportion des catégories établie par l'IEA en 2019¹⁶⁸.

- **Consommation électrique**

Sur la base des hypothèses de consommation établies par l'IEA¹⁶⁹ par type d'équipement, par mode, et par durée moyenne sur 24 d'activation du mode, nous estimons la consommation mondiale de l'IoT à 196 789 902,11 MWh pour l'année 2022.

- **Fréquence d'utilisation**

La fréquence d'utilisation considérée est celle proposée dans l'étude de l'IEA¹⁷⁰, par catégorie d'équipement.

165 Global IoT and non-IoT connections 2010-2025 | Statista, <http://www.statista.com/statistics/1101442/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>

166 Current IoT Forecast Highlights - Transforma Insights, <https://transformainsights.com/research/forecast/highlights>

167 Wide-area and short-range IoT devices worldwide 2029 | Statista, <http://www.statista.com/statistics/1016276/wide-area-and-short-range-iot-device-installed-base-worldwide/>

168 Total Energy Model for Connected Devices, https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/publications/2019/06/A2b - EDNA_TEM_Report_V1.0.pdf

169 Ibid.

170 Ibid.

- **Durée de vie moyenne**

La durée de vie moyenne considérée est celle proposée dans l'étude de l'IEA¹⁷¹, par catégorie d'équipement.

- **Taux de pénétration**

Aucune donnée disponible. Données non utilisées dans les calculs.

- **Caractéristiques techniques**

Nous avons utilisé les mêmes caractéristiques techniques que celles utilisées dans l'étude sur les impacts environnementaux du numérique en Europe¹⁷², sur la base des 12 blocs fonctionnels de l'étude de Thibaut Pirson et David Bol publiée en 2021.¹⁷³

5.3.3 Tier II – Réseaux

5.3.3.1 Définition

Un **réseau de télécommunication** est un réseau de liaisons et de nœuds (commutateurs, routeurs, etc.) permettant aux utilisateur·rices de communiquer entre eux à travers le réseau ou de se connecter à l'internet à partir de leurs terminaux.

Il existe deux grandes catégories de réseaux :

- **Les réseaux fixes** : ils permettent d'accéder à l'internet à partir d'un lieu fixe via une connexion filaire (domicile privé, lieu de travail, bâtiment ouvert au public, etc.). Ils comprennent principalement :
 - La technologie xDSL, qui utilise des câbles de cuivre ;
 - La fibre (FTTx), plus récemment, qui utilise des fibres optiques. Elles permettent de transporter plus de données sur de plus grandes distances.
- **Les réseaux mobiles** : Ils permettent d'utiliser des équipements sans fil sur l'ensemble du territoire, transmettant la voix et les données par ondes radio. Ces systèmes sont connus sous les noms de 2G, 3G, 4G et 5G.

D'autres technologies existent, comme les constellations de **satellites**, mais elles sont exclues de l'étude car elles représentent encore une faible proportion du trafic et très peu de données sont disponibles sur les impacts environnementaux associés.

Le **nombre d'abonné-es et les quantités de données dans le monde en 2023** sont résumés dans le tableau suivant :

	Nombre d'abonné-es	Quantité de données transférées (Go)
Réseau fixe	1 495 600 000 ¹⁷⁴	4,486E+12 ¹⁷⁵
Réseau mobile	7 029 800 000 ¹⁷⁶	1,054E+12 ¹⁷⁷

Tableau 45 : Nombre d'abonnés et quantité de données transférées en 2023 sur les réseaux fixes et mobiles

171 Ibid.

172 Voir à ce titre l'annexe méthodologique : Study commissioned by the European Parliamentary group of the Greens/EFA Project headed by GreenIT.fr, with NegaOctet members (DDemain, GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, APL data center), APPENDICES OF THE REPORT Digital technologies in Europe: an environmental life cycle approach, 2021, <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/12/EU-Study-Appendices-to-the-LCA-EN.pdf>

173 Pirson, T. and Bol, D., [PDF] Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach | Semantic Scholar, 2021, <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessing-the-embodied-carbon-footprint-of-IoT-edge-Pirson-Bol/49ac45f5d59ac2047548fd168eff62393dfdd2ed>

174 ITU regional global_Key ICT indicator aggregates, Nov 2023, https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ITU_regional_global_Key ICT indicator aggregates Nov 2023.xlsx

175 Source : *ibid.* Cette quantité de données a été extrapolée à partir des données des années précédentes indiquant une moyenne constante de 3 GB par souscription.

176 Source : *ibid.*

177 Source : *ibid.* Cette quantité de données a été extrapolée à partir des données des années précédentes indiquant une progression depuis 2019, pouvant atteindre en 2023 0,15 GB par souscription

5.3.3.2 Méthodologie

5.3.3.2.1 Etude source

L'évaluation de ces impacts se base sur le travail réalisé dans l'étude ADEME sur l'évaluation de l'empreinte environnementale de la fourniture d'accès à internet en France¹⁷⁸. Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une action collective avec plusieurs opérateurs de télécommunications français (Orange, Bouygues Telecom, Iliad, SFR, Adista et Telecoop).

L'étude est basée sur la France métropolitaine, avec des données pour l'année 2022. Elle porte sur l'ensemble des infrastructures de réseaux gérées par les opérateurs français, à l'exclusion des réseaux de transit Internet internationaux (hors périmètre), comme le montre la Figure 11.

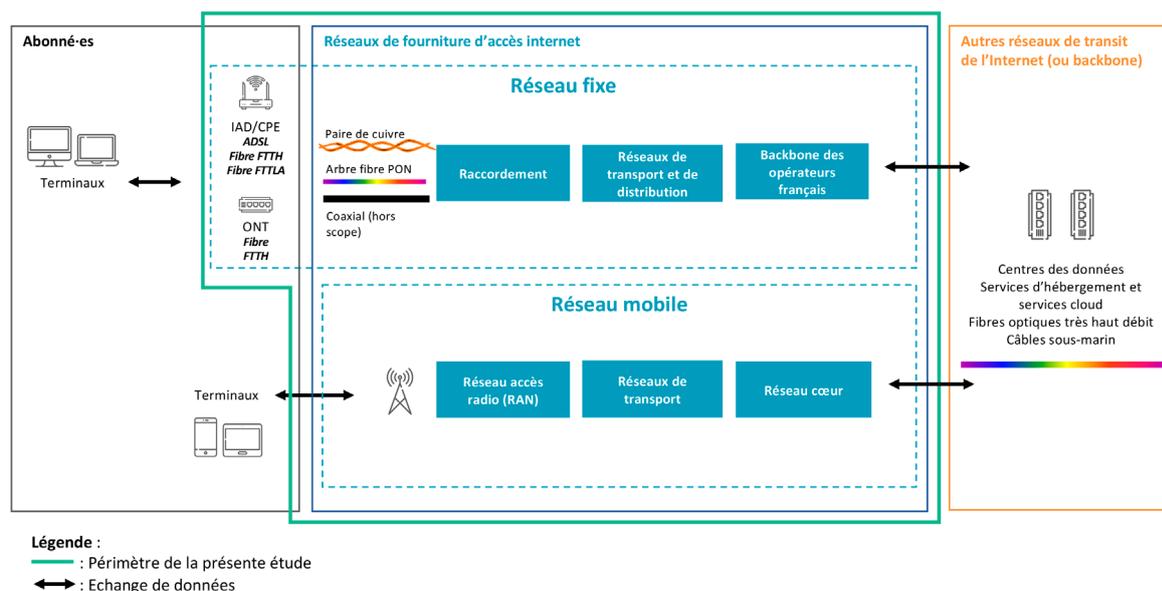


Figure 11 : Modélisation des services numériques en 3 Tiers Schéma du périmètre de l'étude sur les impacts environnementaux des réseaux en France

Il comprend :

- **Pour le réseau fixe :** de la box internet de l'abonné au cœur de réseau,
- **Pour le réseau mobile :** de l'antenne au cœur de réseau (le smartphone n'est pas pris en compte).

Les équipements du réseau et une partie du génie civil (creusement de tranchées, supports d'antennes, etc.) sont également pris en compte.

Cette étude suit la méthodologie de l'ACV, en considérant toutes les étapes du cycle de vie (fabrication, distribution, installation, utilisation et fin de vie) de l'équipement et de l'infrastructure. Comme toutes les ACV, l'étude est basée sur une unité fonctionnelle (UF). Il s'agit de l'unité de mesure utilisée pour évaluer le service fourni. Dans cette étude, l'UF est la suivante « Fournir un accès Internet à tous les utilisateur·rices situés sur l'ensemble du territoire français métropolitain pendant 1 an. »

5.3.3.2.2 Extrapolation

Pour extrapoler au monde dans le cadre de la présente étude, l'inventaire des équipements de l'étude ADEME est utilisé, mais le mix électrique est modifié pour utiliser le mix électrique moyen mondial plutôt que celui français. Les résultats sont recalculés dans ce cas de figure et normalisés à la consommation d'1 Go par un.e abonné.e fixe ou mobile.

Finalement, les valeurs du nombre d'abonné.es et de quantité de données consommées à l'échelle mondiale sont utilisées pour obtenir un résultat à l'échelle mondiale.

178 Evaluation de l'empreinte environnementale de la fourniture d'accès à internet en France - La librairie ADEME, <https://librairie.ademe.fr/produire-autrement/6789-evaluation-de-l-empreinte-environnementale-de-la-fourniture-d-acces-a-internet-en-france.html>

5.3.3.2.3 Limites

Les limites de cette modélisation sont propres à l'étude de référence¹⁷⁹, à savoir :

- **“Représentativité des données”** : Cette étude a été réalisée à partir des données des 4 plus grands opérateurs télécoms français, qui regroupent 94,7 % des abonnés français” ;
- **“Boucles locales”** : la modélisation des boucles locales à partir des données d'Orange est porteuse de plus d'incertitude que les autres catégories du réseau” ;
- **“Technologies exclues”** : L'exclusion des connexions d'accès sans fil fixe (FWA) et l'accès à internet par satellite peut engendrer une sous-estimation des impacts globaux”.

Les typologies de réseau sont très différentes d'un pays à un autre. En effet, les réseaux ont des formes variées dépendant de nombreux facteurs tels que la densité et de la répartition de la population, la géographie, les choix politiques, etc. qui vont impacter le déploiement d'un réseau plutôt qu'un autre (fixe, mobile, satellite, etc.) ainsi que la technologie de réseau (ADSL ou fibre, etc.). Ici, par manque de données disponibles, on se base sur le cas de la France pour extrapoler dans le monde entier ce qui apporte beaucoup d'incertitudes.

5.3.4 Tier III – Centres informatiques

5.3.4.1 Définition

Un **centre informatique** est un espace physique (une salle, un bâtiment ou une installation) qui héberge l'infrastructure informatique utilisée pour la création, l'exécution et la mise à disposition des applications et des services, mais aussi pour le stockage et la gestion des données associées¹⁸⁰.

5.3.4.2 Méthodologie

La modélisation sur le Tier III se base sur un inventaire d'équipements informatiques et non-informatiques à une échelle globale.

Serveurs

Les serveurs sont répartis en 5 catégories :

- Les serveurs High-End, modélisés par des serveurs contenant 2 CPU haut de gamme, 3072 Go, 8 To SSD, 1 GPU
- Les serveurs Mid-Range, modélisés par des serveurs contenant 2 CPU haut de gamme, 128 Go, 8 To SSD
- Les serveurs de stockage HDD (48 disques)
- Les serveurs de stockage SSD (48 disques - TLC, 1024 Go par disque)
- Les serveurs d'IA sont modélisés à partir d'une base de serveur en rack adapté pour ces types de traitement, auquel a été ajouté un module de calcul équivalant à un processeur graphique de type SMX5 H100

L'institut Borderstep a publié en 2024 des estimations de stock de serveurs, dans le but de fournir des données pour des études d'impact¹⁸¹. Le rapport indique une estimation moyenne pour 2024 avoisine les 77,7 millions d'unités, sur base d'une hypothèse d'une durée de vie moyenne de 5,5 ans. L'étude ne communique pas le chiffre précis pour 2023. En cohérence avec le graphique reprenant les estimations de stock entre 2019 et 2024 et les fourchettes d'estimation 2023, nous avons choisi d'utiliser le nombre 77,7 millions d'unités.

179 Evaluation de l'empreinte environnementale de la fourniture d'accès à internet en France - La librairie ADEME, <https://librairie.ademe.fr/produire-autrement/6789-evaluation-de-l-empreinte-environnementale-de-la-fourniture-d-acces-a-internet-en-france.html>

180 Qu'est-ce qu'un centre de données ? | IBM, <https://www.ibm.com/fr-fr/topics/data-centers>

181 Server stock data – A basis for determining the energy and resource requirements of data centres, <https://www.borderstep.org/wp-content/uploads/2024/06/Server-stock-data-EGG2024.pdf>

La répartition selon le type de serveurs, hors « serveurs d'applications spécifiques », a été reprise de l'étude de l'impact environnementale du numérique en Europe¹⁸².

L'étude Borderstep n'estime pas des serveurs IA, nous avons reconstitué un stock sur base de données d'analystes (TrendForce¹⁸³ et Digitimes) sur une base de moyenne des données disponibles (2022 et 2023). Ce stock comprend à la fois les serveurs d'architecture « conventionnelle » préparés pour accueillir plusieurs cartes GPU ou un module spécial (comme la configuration utilisée pour définir les facteurs d'impact), et les serveurs spécialisés de type FPGA/ASIC, à des fins « HPC »¹⁸⁴.

Serveurs	High-End	Mid-Range	Stockage HDD	Stockage SSD	IA
Répartition	0,15 %	3,67 %	49,79 %	44,16 %	2,24 %
Quantité	116 550	2 913 750	39 574 941	35 094 759	1 779 816
Durées de vie	5,5 ans	5,5 ans	5,5 ans	5,5 ans	5,5 ans

Tableau 46 : Caractéristiques des serveurs pris en compte dans la modélisation des centres informatiques

Equipements réseau

Les équipements réseaux ont été modélisés par des switchs 48 ports. D'après l'étude Masanet¹⁸⁵, on peut estimer qu'une unité serveur occupe 5 ports.

Le nombre d'équipements réseau est donc estimé à 8 229 473 unités.

Equipements non-IT

Les équipements non-IT des centres informatiques sont modélisés par les onduleurs, les batteries et la climatisation. Leur quantité a été approximée suivant les proportions de l'étude de l'impact environnemental du numérique en Europe¹⁸⁶ par m² de centre informatique.

Les durées de vie moyennes estimées ont été reprises du Référentiel méthodologique d'évaluation environnementale des Services d'hébergement informatique en centre informatique et de Services Cloud de l'ADEME¹⁸⁷.

Equipements non-IT	Onduleurs UPS 300 kVA	Batteries 35 kg	Climatisation 0,8 MW
Quantité	899 030	58 548 400	225 686
Durée de vie	10 ans	10 ans	15 ans

Tableau 47 : Caractéristiques des équipements non-IT pris en compte dans la modélisation des centres informatiques

182 Study commissioned by the European Parliamentary group of the Greens/EFA Project headed by GreenIT.fr, with NegaOctet members [DDemain, GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, APL data center], APPENDICES OF THE REPORT Digital technologies in Europe: an environmental life cycle approach, 2021, <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/12/EU-Study-Appendices-to-the-LCA-EN.pdf>

183 Global AI Server Demand Surge Expected to Drive 2024 Market Value to US\$187 Billion; Represents 65% of Server Market, Says TrendForce, <https://www.trendforce.com/presscenter/news/20240717-12227.html>

184 "The growing energy footprint of artificial intelligence" de Vries, Alex - Joule, Volume 7, Issue 10, 2191 - 2194

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

186 Study commissioned by the European Parliamentary group of the Greens/EFA Project headed by GreenIT.fr, with NegaOctet members [DDemain, GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, APL data center], APPENDICES OF THE REPORT Digital technologies in Europe: an environmental life cycle approach, 2021, <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/12/EU-Study-Appendices-to-the-LCA-EN.pdf>

187 Référentiel méthodologique d'évaluation environnementale des Services d'hébergement informatique en centre de données et de Services Cloud - La librairie ADEME, <https://librairie.ademe.fr/produire-autrement/6031-referentiel-methodologique-d-evaluation-environnementale-des-services-d-hebergement-informatique-en-centre-de-donnees-et-de-services-cloud.html>

Les consommations électriques des équipements non-IT ont été estimées à partir d'un PUE moyen mondial de 1,58¹⁸⁸. Ainsi, pour obtenir l'estimation de la consommation électrique total du Tier III, la consommation électrique totale des serveurs et des équipements réseaux (consommation électrique des équipements IT) a été multiplié par 1,58-1.

5.4 Limites de l'étude

L'évaluation des impacts environnementaux du numérique dans le monde de manière fiable et exhaustive s'avère complexe. Les principales causes sont la multiplicité de zones géographiques avec des usages très variés, le manque de données quantitatives et environnementales récentes à disposition, etc.

Cette section vise à lister les principales limites associées aux résultats de cette étude. Cela a pour but de prendre conscience des limites existantes, afin d'utiliser les résultats dans ce contexte. De plus, cela permet de dégager différents axes sur lesquels se focaliser à l'avenir pour de futurs travaux.

5.4.1 Limites associées au périmètre de l'étude

• Équipements et infrastructures exclus du périmètre de l'étude

Certains équipements, flux et infrastructures ont été exclus du périmètre de l'étude. La liste exhaustive est décrite à la section 5.2.5.3. Les exclusions sont majoritairement dues à un manque de données pour les caractériser. Cela induit une sous-estimation des impacts environnementaux réels du numérique. Cette sous-estimation n'est pas quantifiée mais elle est estimée comme non-négligeable. Par exemple, le réseau par satellites a un impact environnemental important par la conception et le lancement des fusées. Il en est de même pour les câbles sous-marins et le cœur de réseau à l'international qui sont également exclus.

• Prise en compte de la maintenance, mise à jour et reconditionnement, et fin de vie

Lors la phase d'utilisation, certains équipements nécessitent une maintenance (changement de pièces, nettoyage, etc.), ou une mise à niveau (cas par exemple les ordinateurs de bureau). Les impacts liés à cette maintenance n'ont pas été intégrés.

En outre, dans cette étude, est considéré un modèle d'économie linéaire encore prédominant dans le secteur du numérique. Les activités de reconditionnement de réparation progressent dans le secteur du numérique et constituent un axe stratégique de réduction d'impact. Le manque de données à l'échelle mondiale ne nous a toutefois pas permis d'inclure ces impacts et de dissocier l'éventuelle seconde vie de la première vie d'un équipement.

Enfin, les données actuellement disponibles liées à la fin de vie ne permettent que de traiter l'hypothèse d'un recyclage de 100% des équipements, alors que plus de 80% des déchets électriques et électroniques restent encore non tracés dans le monde lors de leur fin de vie. Par exemple, aucune étude à ce jour ne permet de quantifier quels sont les impacts sur l'environnement associés à la mise en décharge d'un équipement numérique lors de sa fin de vie, ou encore de la combustion d'un équipement.

5.4.2 Limites associées à l'inventaire du cycle de vie et à la collecte de données

La qualité d'une étude ACV dépend fortement de la qualité des données d'entrée et donc des limites associées identifiées individuellement pour chaque catégorie d'équipements en section 5.3.2

Il convient d'ajouter :

• Incertitude sur la consommation d'énergie et la durée de vie

Une consommation énergétique unique et une durée de vie fixe attribuées à une famille entière d'équipements ne reflètent pas la variabilité existante au sein de cette même famille. Cette valeur unique est conçue pour représenter une moyenne statistique sur l'ensemble de la catégorie d'équipements.

• Incertitude liée à l'extrapolation des impacts pour les réseaux (Tier II) :

Impacts venant d'une étude réalisée en France. Extrapolation de ces résultats à l'échelle mondiale. Cependant, les infrastructures réseau varient énormément d'un pays à un autre avec la densité et de la

188 Data center average annual PUE worldwide 2024 | Statista, <https://www.statista.com/statistics/1229367/data-center-average-annual-pue-worldwide/>

répartition de la population, la géographie, les choix politiques, etc. qui vont impacter le déploiement d'un réseau plutôt qu'un autre (fixe, mobile, satellite, etc.) ainsi que la technologie de réseau (ADSL ou fibre, etc.). L'extrapolation réalisée peut induire une sous-estimation ou une surestimation des impacts en fonction des pays.

• **Non distinction des usages personnels et professionnels :**

Nous ne faisons pas de distinction entre usage personnel et professionnel des équipements, faute de sources suffisamment précises sur ce point.

5.4.3 Synthèse des limites par tiers et recommandations

Domaine concerné	Description de la limite	Type de limite	Niveau de criticité	Recommandation pour adresser cette limite
Tiers I, II et III	Exclusion d'équipements : périphériques, imprimantes 3D, stations d'accueil, terminaux de paiement, distributeurs de billet, caméra de sécurité, etc.	Données d'inventaire	Prioritaire	Travaux complémentaires pour obtenir des données de cycle de vie et des données d'inventaires manquantes
Tier II - Réseaux	Modélisation des impacts des réseaux par extrapolation d'une étude française	Méthodologie	Prioritaire	Travaux complémentaires pour modéliser l'impact des réseaux à l'échelle mondiale de manière plus représentative
Tiers I, II et III	Utilisation d'une consommation électrique et une durée de vie unique pour chaque catégorie d'équipements	Données d'inventaire	Moyen	Travaux complémentaires pour obtenir des bornes hautes et basses pour les caractéristiques de chaque catégorie d'équipements (conso. électrique, durée de vie, etc.)
Tiers I, II et III	Non prise en compte de la maintenance, mise à jour et reconditionnement	Méthodologie	Faible	Travaux complémentaires pour inclure ces aspects dans le périmètre de l'étude.
Tiers I, II et III	Non distinction des usages professionnels et personnels	Méthodologie	Faible	Travaux complémentaires pour distinguer les impacts. Intéressant pour prioriser les bonnes pratiques

Tableau 48 : Synthèse des limites par Tiers et recommandations

Index des tableaux et figures

Tableau 1 : Liste des indicateurs environnementaux retenus dans l'étude et poids respectif dans l'empreinte globale.....	12
Tableau 2 : Nombre d'abonnements et quantité de données échangées sur les réseaux fixes et mobiles en 2023.....	15
Tableau 3 : Empreinte mondiale du numérique en 2023 sur les indicateurs environnementaux retenus.....	16
Tableau 4 : Empreinte du numérique par internaute en 2023 sur les indicateurs environnementaux retenus.....	17
Figure 1 : Illustration des neuf limites planétaires et de leur niveau de dépassement.....	18
Tableau 5 : Pourcentage de limite planétaire par humain-atteint avec les impacts environnementaux du numérique.....	19
Tableau 6 : Pourcentage de limite planétaire par internaute atteint avec les impacts environnementaux du numérique.....	21
Tableau 7 : Répartition des impacts environnementaux du numérique pour chacun des 3 Tiers.....	21
Figure 2 : Répartition des impacts environnementaux du numérique par Tier et par étape du cycle de vie.....	22
Figure 3 : Répartition des impacts environnementaux des équipements utilisateur-rices (Tier I) par catégorie d'équipements.....	24
Figure 4 : Répartition des impacts environnementaux des réseaux (Tier II) entre réseau fixe et mobile.....	27
Tableau 8 : Répartition des impacts environnementaux des réseaux selon le type ainsi que la part due à l'abonnement ou la quantité de données échangées.....	27
Figure 5 : Répartition des impacts environnementaux des centres informatiques (Tier III) selon les équipements.....	28
Tableau 9 : Répartition des impacts environnementaux des centres informatiques (Tier III) relativement aux impacts totaux du numérique.....	29
Tableau 10 : Allocation de la consommation.....	29
électrique du Tier III.....	29
Tableau 11 : Recommandations d'actions des pouvoirs publics pour réduire les impacts du numérique.....	33
Tableau 12 : Recommandations d'actions des entreprises et organisations pour réduire les impacts du numérique.....	33
Tableau 13 : Propositions de bonnes pratiques des individus pour réduire les impacts du numérique.....	34
Tableau 14 : Répartition des impacts environnementaux du numérique par Tier et par étape du cycle de vie.....	38
Tableau 15 : Répartition des impacts environnementaux des équipements utilisateur-rices (Tier I) par catégorie d'équipements en proportion du total des impacts environnementaux du numérique dans le monde sur les 3 Tiers.....	38
Tableau 16 : Répartition des impacts environnementaux des réseaux (Tier II) selon le type ainsi que la part due à l'abonnement ou la quantité de données échangées, en proportion du total des impacts environnementaux du numérique dans le monde sur les 3 Tiers.....	39
Tableau 17 : Répartition des impacts environnementaux des centres informatiques (Tier III), en proportion du total des impacts environnementaux du numérique dans le monde sur les 3 Tiers.....	39
Tableau 18 : Principales inclusions et exclusions dans le périmètre des 3 études scientifiques comparées à celle-ci.....	41
Tableau 19 : Comparaison des résultats de la présente étude avec trois études scientifiques.....	42
Tableau 20 : Résultats globaux de l'analyse de sensibilité sur la quantité de vidéoprojecteurs en proportion du total des impacts.....	43
Tableau 21 : Résultats sur le Tier I de l'analyse de sensibilité sur la quantité de vidéoprojecteurs en proportion des impacts du Tier I.....	43

Tableau 22 : Résultats globaux de l'analyse de sensibilité sur la consommation électrique des serveurs dédiés à l'IA en proportion du total des impacts.....	44
Tableau 23 : Résultats sur le Tier III de l'analyse de sensibilité sur la consommation électrique des serveurs dédiés à l'IA en proportion des impacts du Tier III	44
Tableau 24 : Résultats globaux de l'analyse de sensibilité sur la durée de vie des moniteurs et téléviseurs en proportion du total des impacts.....	45
Tableau 25 : Résultats sur le Tier I de l'analyse de sensibilité sur la durée de vie des moniteurs et téléviseurs en proportion du total des impacts.....	45
Tableau 26 : Résultats globaux de l'analyse de sensibilité sur les quantités d'équipements IoT en proportion du total des impacts.....	46
Tableau 27 : Résultats sur le Tier I de l'analyse de sensibilité sur les quantités d'équipements IoT en proportion du total des impacts.....	46
Tableau 28 : Résultats globaux de l'analyse de sensibilité sur tous les scénarios cumulés	46
Figure 6 : modélisation des services numériques en 3 Tiers	53
Figure 7 : Schéma des principales inclusions et exclusions concernant le périmètre du Tier I	53
Figure 8 : Schéma des principales inclusions et exclusions concernant le périmètre du Tier III	54
Tableau 29 : Liste des indicateurs environnementaux représentant 85% de l'empreinte globale selon la méthode de normalisation et de pondération PEF	56
Figure 9 : Principales catégories d'impact normalisées pondérées.....	56
Tableau 30 : Liste des indicateurs environnementaux et leurs facteurs de normalisation proposés par le JRC	58
Tableau 31 : Liste des indicateurs environnementaux et leurs facteurs de pondération proposés par le JRC	59
Tableau 32 : Résumé des données d'inventaire.....	62
Figure 10 : Représentation du cycle de vie d'un smartphone.....	64
Tableau 33 : Caractéristiques techniques des gammes de smartphone utilisées dans le modèle	65
Tableau 34 : Caractéristiques techniques des gammes de tablettes utilisées dans le modèle.....	68
Tableau 35 : Caractéristiques techniques des configurations type d'ordinateurs portables utilisées dans le modèle	69
Tableau 36 : Caractéristiques techniques des configurations type d'ordinateurs de bureau utilisées dans le modèle	71
Tableau 37 : Description des catégories d'imprimantes.....	73
Tableau 38 : Description des catégories d'écrans.....	75
Tableau 39 : Caractéristiques des configurations de moniteurs utilisées dans le modèle.....	76
Tableau 40 : Répartition des quantités de moniteurs selon leur taille.....	77
Tableau 41 : Caractéristiques des configurations de téléviseurs utilisées dans le modèle	78
Tableau 42 : Répartition des consoles de jeux par type ainsi que les quantités de ventes	82
Tableau 43 : Regroupement la répartition des consoles de jeux par type portable ou salon	82
Tableau 44 : Caractéristiques des configurations de consoles de jeux utilisées dans le modèle.....	83
Tableau 45 : Nombre d'abonnés et quantité de données transférées en 2023 sur les réseaux fixes et mobiles	84
Figure 11 : Modélisation des services numériques en 3 Tiers Schéma du périmètre de l'étude sur les impacts environnementaux des réseaux en France	85
Tableau 46 : Caractéristiques des serveurs pris en compte dans la modélisation des centre informatiques	87
Tableau 47 : Caractéristiques des équipements non-IT pris en compte dans la modélisation des centres informatiques.....	87
Tableau 48 : Synthèse des limites par Tiers et recommandations	89



Association Green IT, 2025 (EENM 2025),
<https://t.ly/greeniteco.IENM2025>