

LE NUMÉRIQUE EN EUROPE :

une approche des impacts environnementaux par l'analyse du cycle de vie

Version : 7 décembre 2021



Auteurs par ordre alphabétique :

Sofia Benqassem/Frédéric Bordage/Lorraine de
Montenay/Julie Delmas-Orgelet/Firmin Domon
/Étienne Lees Perasso/Damien Prunel/Caroline Vateau

Table des matières

Les auteurs	3	5. Analyses de sensibilité	44
1. Avant-propos	5	5.1 - Global	44
Avertissement	6	5.1.1 - Analyse de sensibilité sur les dispositifs et réseaux exclus	44
2. Résumé	7	5.2 - Analyses de sensibilité concernant les équipements	49
2.1 - Résumé à l'attention des décideurs politiques	7	5.2.1 - Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements	49
Principales conclusions	9	5.2.2 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements	51
2.2 - Résumé à l'attention du grand public	11	5.2.3 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'énergie des équipements	53
Principales conclusions	13	5.3 - Analyses de sensibilité concernant les réseaux	55
3. Méthodologie	15	5.3.1 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'électricité	55
3.1 - Méthodologie de l'ACV	15	5.3.2 - Analyse de sensibilité sur l'extrapolation à l'UE-28	55
3.1.1 - Principes généraux de l'ACV	15	5.4 - Analyse de sensibilité concernant les centres de données	57
3.1.2 - Approche méthodologique de l'ACV	16	5.4.1 - Analyse des incertitudes sur la consommation d'énergie	57
3.1.3 - Définition de l'objectif et du périmètre d'action	17	5.5 - Analyse de sensibilité cumulées	58
3.1.4 - Périmètre de l'étude	18	6. Conclusions	59
3.1.5 - Traitement des données manquantes	27	Principaux résultats de l'analyse multicritère du cycle de vie	59
4. Résultats de l'étude de l'ACV	29	Limites de l'étude	60
4.1 - Évaluation globale	29	Limites liées au périmètre de l'étude	61
4.1.1 - Évaluation globale sur un an des services numériques en Europe	29	Limites liées à l'inventaire du cycle de vie et à la collecte de données	61
4.1.2 - Résultats normalisés et pondérés	30	Limites liées aux indicateurs	62
4.1.3 - Limites planétaires	33	Annexes	64
4.1.4 - Impact environnemental moyen pour un Européen	33		
4.2 - NIVEAU 1 - Focus sur chaque domaine de service numérique	37		
4.2.1 - NIVEAU 1 - Terminaux utilisateurs	37		
4.2.2 - NIVEAU 2 - Réseaux	42		
4.2.3 - NIVEAU 3 - Centres de données	44		

Les auteurs (1/2)

Cette étude a été préparée sous la direction de Frédéric Bordage, fondateur de GreenIT.fr.

La maîtrise d'œuvre de l'étude a été assurée par Lorraine de Montenay, consultante indépendante et membre du collectif GreenIT.fr.

L'analyse du cycle de vie (ACV) a été réalisée par Étienne Lees-Perasso et Damien Prunel du Département CODDE de Bureau Veritas LCIE, avec les contributions de Caroline Vateau, et Sofia Benqassem de Neutreo by APL Data centre, Lorraine de Montenay, consultante indépendante et membre de GreenIT.fr, Frédéric Bordage, fondateur de GreenIT.fr et Julie Orgelet, consultante indépendante chez DDemain.



Frédéric Bordage **greenIT.fr**

Depuis 2004, GreenIT.fr réunit des experts de la sobriété numérique, de l'informatique durable, des TIC durables et de l'éco-conception des services numériques. Depuis plus de 17 ans, GreenIT.fr crée des méthodologies, des méthodes d'évaluation, des guides de bonnes pratiques, des repères et d'autres outils. En tant que groupe d'experts, GreenIT.fr conseille les autorités publiques et les grandes organisations et réalise des benchmarks publics et des études basées sur une méthodologie ACV normés.

Notre état d'esprit : le plus haut niveau d'expertise disponible en France et en Europe ; constructif et sans clivage ; fort engagement sur le sujet ; apolitique.



Lorraine de Montenay **ion conseil**

Ion conseil, marque indépendante de conseil de Lorraine de Montenay, accompagne les organisations dans leurs projets et transformations numériques responsables. Ion conseil accompagne les managers, les équipes et les individus depuis la définition des besoins jusqu'à la mise en œuvre. Notre objectif commun : construire une organisation efficace, à taille humaine et résiliente au changement, tout en réduisant son empreinte environnementale.

En tant que membre de GreenIT.fr, Lorraine de Montenay participe à la diffusion de l'expertise et des bonnes pratiques en matière de sobriété numérique.

Les auteurs (2/2)



Etienne Lees-Perasso | Damien Prunel | Firmin Domon

Bureau Veritas LCIE est le centre d'expertise en éco conception et en ACV du groupe Bureau Veritas, avec 20 ans d'expérience. Notre société a établi des partenariats avec de nombreuses entreprises dans différents secteurs tels que les équipements électroniques et électriques, les services numériques, le textile, les biens de consommation durables, l'industrie alimentaire et l'ameublement.

Bureau Veritas LCIE fait partie du groupe Bureau Veritas, une entreprise de services professionnels de premier plan au niveau mondial. Nous proposons des solutions pour aider les organisations à atteindre, maintenir et démontrer leur conformité aux obligations de qualité, de santé, de sécurité, d'environnement et de responsabilité sociale.



Caroline Vateau | Sofia Benqassem

Créé en 1983, APL DATA CENTER est le premier cabinet de conseil et d'ingénierie spécialisé dans la conception et la construction de data centers en France.

Notre département informatique durable participe au développement de méthodologies et de normes pour évaluer l'impact environnemental à l'aide de méthodologies ACV et aide les acteurs du numérique à réduire leur empreinte environnementale.

Nos domaines d'expertise : audit environnemental et éco-conception, stratégie informatique verte, accompagnement à la certification (30 normes), formation et communication.



Julie Orgelet 

En tant que consultante expérimentée en ACV, Julie Orgelet par sa marque DDemain contribue à l'application pragmatique et efficace de l'ACV dans le domaine des services numériques.

L'appropriation et l'application correctes des résultats de l'ACV sont au cœur du travail de DDemain. Par son expertise indépendante, DDemain a développé des formations et des transferts de compétences pour permettre à l'écosystème des praticiens de l'ACV des services numériques de se développer.

Avant-propos

Le premier quart du ^{xxi}^e siècle a été marqué par une augmentation sans précédent du nombre d'incendies de forêt, d'inondations et de phénomènes météorologiques extrêmes. Le constat que notre modèle de développement actuel a atteint ses limites et constitue désormais une menace directe pour notre civilisation et notre planète est clair. Les rapports scientifiques se précisent et sont de plus en plus alarmants.

Une augmentation constante et incontrôlée de nos émissions de gaz à effet de serre fera advenir dans notre réalité un changement climatique cataclysmique et irréversible.

La biodiversité subit une attaque sans précédent avec la sixième extinction de masse en cours. À l'ère de l'Anthropocène, les preuves que notre modèle industriel « extractiviste » et notre société de « consommation » perturbent les cycles naturels de la Terre sont indiscutables. Nous devons agir.

Cette étude met en évidence l'impact retentissant du numérique et du secteur informatique sur notre environnement. Elle déconstruit l'idée que le monde numérique est léger et dématérialisé - « virtuel », « dans les nuages » - et qu'il n'a aucun impact sur le monde physique.

La pandémie du COVID-19 a mis en évidence la forte dépendance de l'Union européenne à l'égard de ressources critiques pour la production de nos appareils numériques. Il ne s'agit pas seulement d'une menace environnementale, mais d'une menace pour la souveraineté numérique de l'Union Européenne. Comment pouvons-nous assurer notre résilience numérique pour les temps à venir ?

Pour faire face aux enjeux, il est fondamental d'adopter une approche systémique. La révolution industrielle qui a vu la capacité mécanique et énergétique de l'humanité décupler a aussi entraîné un sacrifice environnemental dont nous avons mis plusieurs siècles à prendre la mesure. La révolution numérique est en train d'entraîner des mutations tout aussi fondamentales, qu'elles soient écologiques, sociales, écono-

miques, démocratiques ou géopolitiques. Nous devons nous assurer que la révolution industrielle numérique ne devienne pas un nouveau cheval de Troie.

Les données seront essentielles pour que les transitions numérique et climatique ne s'entravent pas mutuellement. Connaître le coût environnemental exact d'une technologie est une condition préalable à l'innovation numérique verte. Afin de prendre des décisions politiques fortes pour l'avenir, il est urgent d'évaluer l'impact écologique des technologies numériques et leur contribution au Pacte Vert européen. Cela doit être soutenu par des actions dans la législation européenne : nous avons besoin de normes environnementales pour les technologies, les réseaux et les infrastructures numériques pour l'ensemble de leur cycle de vie et conditionner nos décisions stratégiques numériques à leurs coûts/bénéfices en termes d'impact environnemental.

La Commission européenne, sous la présidence d'Ursula Von der Leyen, a affiché son ambition d'adapter l'économie européenne à l'urgence de notre temps avec ses politiques phares, le Pacte Vert européen et l'Europe adaptée à l'ère numérique. La conciliation de la double transition écologique et numérique sera un pilier essentiel de la future législation européenne.

L'évaluation précise de l'impact de notre technologie numérique encouragera l'innovation numérique durable. C'est le meilleur moyen de s'assurer que les progrès du numérique restent en phase avec le Pacte Vert européen.

Une approche européenne est essentielle pour parvenir à une économie numérique verte et durable. Nous espérons que cette étude contribuera à jeter les bases factuelles des décisions politiques urgentes que nous devons prendre pour relever les défis de notre époque.

David Cormand & Kim van Sparrentak

Clause de non-responsabilité

Ce document a été préparé pour le groupe parlementaire des Verts/ALE au Parlement européen et reflète uniquement les opinions des auteurs. Le groupe parlementaire des Verts/ALE n'est pas responsable des conséquences de la réutilisation de cette publication. Le groupe parlementaire des Verts/ALE ne garantit pas l'exactitude des données incluses dans cette étude.

Manuscrit terminé en septembre 2021



Sauf indication contraire, la réutilisation de ce document est autorisée par une licence Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>). Cela signifie que la réutilisation est autorisée, à condition que le crédit approprié soit donné, que toute modification soit indiquée et que les œuvres dérivées soient publiées sous la même licence que l'original.

La version originale de ce rapport est l'anglais, qui fait foi notamment par rapport aux conclusions et la revue critique.

Comment citer ce rapport :

Bordage, F., de Montenay, L., Benqassem, S., Delmas-Orgelet, J., Domon, F., Prunel, D., Vateau, C. et Lees Perasso, E. GreenIT.fr. 2021. *Digital technologies in Europe: an environmental life cycle approach (Le numérique en Europe : une approche des impacts environnementaux par l'analyse du cycle de vie)*

2. Résumé

2.1 - Résumé à l'attention des décideurs politiques

Le résumé du GIEC à l'intention des décideurs, publié le 9 août 2021, confirme que « le réchauffement planétaire de 1,5°C et 2°C sera dépassé au cours du 21^e siècle, à moins que d'importantes réductions des émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre ne se produisent dans les prochaines décennies »¹. Le même rapport indique clairement que « chaque tonne d'émissions de CO₂ ajoute au réchauffement de la planète »² et que « cette relation implique que l'atteinte d'émissions anthropiques nettes de CO₂ nulles est une exigence pour stabiliser l'augmentation de la température mondiale d'origine humaine à n'importe quel niveau, mais que limiter l'augmentation de la température mondiale à un niveau spécifique impliquerait de limiter les émissions cumulées de CO₂ dans les limites d'un budget carbone »³.

Cela signifie que pour respecter l'Accord de Paris « [de maintenir] l'augmentation de la température moyenne mondiale bien en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre les efforts pour limiter l'augmentation de la température à 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels »⁴, chaque secteur d'activité doit contribuer à limiter et à réduire les émissions de CO₂ et autres gaz à effet de serre.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude était d'évaluer les impacts environnementaux des technologies de l'information et des communications (TIC) à l'échelle de l'Union européenne (UE) à l'attention des décideurs politiques et du public, et de fournir :

1. Une compréhension de données claires et actualisées sur l'impact environnemental du numérique à l'échelle de l'Europe (UE-28).

2. Une méthodologie et un calcul solides, objectifs et scientifiques des impacts environnementaux du numérique, basés sur une analyse du cycle de vie (ACV).

1 GIEC, 2021 : Résumé pour les décideurs politiques. Dans le rapport : *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. Dans la presse. P.18.

2 *Ibid.*, P.38.

3 *Ibid.*, P.39.

4 « *Paris Agreement, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1* » (PDF). Secrétariat de la CCNUCC. Archivé (PDF) à partir de l'original le 12 décembre 2015.

5 Le Royaume-Uni a été inclus dans le périmètre de l'UE pour cette étude, car le Royaume-Uni faisait partie de l'UE en 2019.

3. Des recommandations politiques pour un développement numérique compatible avec le Green Deal.

Cette étude est une **analyse multicritère du cycle de vie**. Cette analyse conforme aux normes ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006, avec une normalisation pour permettre la comparaison avec les limites planétaires.

L'analyse multicritère du cycle de vie permet de représenter les impacts environnementaux du numérique pour l'Union européenne (28, y compris le Royaume-Uni⁵), pour l'année 2019, sur la base des quatre phases du cycle de vie suivantes :

1. Phase de fabrication : de l'extraction des matières premières à la dernière porte de l'usine

2. Phase de transport : de la dernière porte d'usine à l'utilisateur

3. Phase d'utilisation : les impacts liés à l'utilisation, principalement la consommation d'électricité

4. Phase de fin de vie : traitement, recyclage, incinération et/ou mise en décharge des déchets liés au recyclage

Au départ, 19 indicateurs environnementaux ont été sélectionnés, sur la base de la méthodologie de l'empreinte environnementale des produits de l'Union européenne. Afin de les rendre aussi compréhensibles que possible et de concentrer notre recommandation sur les sujets appropriés, les indicateurs les plus importants ont été sélectionnés. Après normalisation et pondération, huit indicateurs environnementaux ont été sélectionnés comme étant les plus importants pour les services numériques, représentant 80% des résultats globaux pondérés.

Les résultats normalisés et pondérés sont les suivants :

Tableau 1 - Résultats normalisés et pondérés

Utilisation des ressources, minéraux et métaux - kg éq. Sb	22,9 %
Utilisation des ressources, fossiles - MJ	17,0 %
Acidification - mol éq. H+	4,5 %
Écotoxicité, eau douce - CTUe	4,7 %
Changement climatique - kg éq. CO ₂	16,2 %
Radiations ionisantes, santé humaine - kBq éq. U235	11,1 %
Émission de particules - Apparition de maladies	4,0 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - kg éq. COVNM	1,8 %

Quatre indicateurs de flux supplémentaires ont été ajoutés pour permettre une meilleure compréhension des flux de matières, de déchets et d'énergie liés aux services numériques :

Tableau 2 - Indicateurs de flux ajoutés

Matières premières - kg
Production de déchets - kg
Consommation d'énergie primaire - MJ
Consommation d'énergie finale (utilisation) - MJ

L'impact global des services numériques dans l'UE-28 a ensuite été évalué comme suit :

Tableau 3 - Impacts globaux des services numériques de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)

		Pourcentage des frontières de l'UE-28 par indicateur
Utilisation des ressources, minéraux et métaux - tonnes éq. Sb	5 760	39,3 %
Utilisation des ressources, fossiles - PJ	3 960	26,4 %
Acidification - mol éq. H+ (en milliards)	1,19	1,8 %
Écotoxicité, eau douce - CTUe	3 090	35,2 %
Changement climatique - Mt éq. CO ₂	185	40,7 %
Radiations ionisantes, santé humaine - GBq éq. U235	278	0,8 %
Émission de particules - Apparition de maladies	8 000	23,2 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - tonnes éq. COVNM	464 000	1,7 %
Matières premières - Mt	571	
Production de déchets - Mt	116	
Consommation d'énergie primaire - PJ	4 230	
Consommation d'énergie finale (utilisation) - PJ	1 020	

Remarque : en raison de l'imprécision des données, les impacts sur l'utilisation des sols et la consommation d'eau n'ont pas été calculés.

Les équivalences sont les suivantes :

- L'utilisation des ressources, minéraux et métaux, équivaut à 111 t d'or en termes de rareté, et à 571 Mt de matériaux déplacés, soit le poids de 9,20 milliards d'êtres humains (62 kg en moyenne). Cela signifie que, chaque année, les matières déplacées liées aux services numériques de l'UE-28 équivalent à peu près au poids de tous les êtres humains vivants.
- L'impact du changement climatique est similaire à 370 000 allers-retours d'un avion équivalent à 500 passagers entre Paris et New York, soit environ 63 années de la liaison actuelle (16 avions par jour).
- La production de déchets équivaut au poids de 1,87 milliard d'êtres humains (62 kg en moyenne).
- La consommation d'électricité est égale à 32 344 000 chauffages (1000 W) alimentés sans interruption pendant un an.

En outre, à l'échelle de l'UE-28 :

- La consommation totale d'électricité pour les services numériques en Europe est de 283 TWh sur un total de 3 054 TWh⁶, ce qui signifie que la consommation d'électricité pour les services numériques pendant la phase d'utilisation représente 9,3 % de la consommation européenne d'électricité.
- Les émissions totales de GES pour les services numériques en Europe sont de 185 Mt éq. CO₂ sur un total de 4 378 Mt éq. CO₂⁷, ce qui signifie que les émissions de GES des services numériques représentent 4,2 % des émissions européennes de GES.

Remarque

Les comparaisons à l'échelle de l'UE-28 visent à fournir une échelle des impacts connexes et ne doivent pas être comprises comme des résultats absolus. Les périmètres sont différents : certaines émissions liées aux services numériques dans l'UE-28 se produisent en dehors de l'UE-28 et sont prises en compte dans le champ de l'étude (fabrication des équipements), tandis que les émissions totales prises en compte pour l'UE par l'AIE sont uniquement des émissions se produisant à l'intérieur des frontières de l'UE.

Pour en savoir plus sur les émissions importées :

<https://www.idhsustainabletrade.com/news/hidden-CO2-emissions-europes-imported-responsibility/>

.....

6 IEA. 2021. *Data & Statistics - IEA*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=EU28&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=TotalElecCons>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

7 EEA. 2021. *Data viewer on greenhouse gas emissions and removals, sent by countries to UNFCCC and the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (EU Member States)*. (Visualiseur de données sur les émissions et les absorptions de gaz à effet de serre, envoyées par les pays à la CCNUCC et au mécanisme de surveillance des gaz à effet de serre de l'UE (États membres de l'UE).) [en ligne] Disponible sur : <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

Les calculs pour un habitant de l'UE-28 sont les suivants :

Table 4 - Impacts globaux des services numériques de l'UE-28 par habitant (indicateurs environnementaux et de flux)

Utilisation des ressources, minéraux et métaux - g éq. Sb	11,2
Utilisation des ressources, fossiles - MJ	7710
Acidification - mol éq. H+	2
Écotoxicité, eau douce - CTUe	6010
Changement climatique - kg éq. CO ₂	361
Radiations ionisantes, santé humaine - kBq éq. U235	541
Émission de particules - Apparition de maladies	0,00156 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - kg éq. COVM	0,91
Matières premières - kg	1 110
Production de déchets - kg	225
Consommation d'énergie primaire - MJ	8 230
Consommation d'énergie finale (utilisation) - MJ	1 980

Pour un Européen, cela équivaut, par an, à ce qui suit :

- Les impacts du changement climatique sont similaires à un aller-retour d'un passager d'avion entre Paris et Athènes.
- Utilisation des ressources, minéraux et métaux : 0,69 kg d'étain en termes de rareté, et 1 110 kg de matériaux déplacés, soit l'équivalent du poids de 18 êtres humains (62 kg en moyenne).
- Production de déchets : 225 kg de déchets dans le monde, soit l'équivalent du poids de 3,6 êtres humains (62 kg en moyenne).
- Consommation d'électricité : 1 radiateur (1 000 W) alimenté sans interruption pendant 23 jours.

Les résultats soulignent la nécessité de prendre en compte de multiples catégories d'impacts environnementaux en ce qui concerne le numérique dans les stratégies climatiques et environnementales et dans l'élaboration des politiques.

L'analyse du cycle de vie est divisée en trois niveaux⁸, ce qui permet d'avoir une vue d'ensemble des impacts environnementaux du numérique à grande échelle :

- Niveau 1** : Terminaux utilisateurs (ordinateurs portables, téléphones, écrans, téléviseurs, imprimantes, etc.)
- Niveau 2** : Réseaux (fixe, mobile, cœur de réseau)
- Niveau 3** : Centres de données (des grands centres de données *hyperscale* aux serveurs des petites entreprises)

Les principaux résultats montrent la répartition suivante des impacts environnementaux par niveau :

.....

⁸ La méthodologie complète est détaillée dans le chapitre Méthodologie.

Tableau 5 - Répartition des impacts des services numériques de l'UE-28 par niveau (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)

	Niveau 1 Terminaux utilisateurs	Niveau 2 Réseau	Niveau 3 Centres de données
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	88,8 %	5,9 %	5,3 %
Utilisation des ressources, fossiles	62,0 %	14,1 %	23,9 %
Acidification	65,8 %	12,1 %	22,1 %
Écotoxicité, eau douce	69,4 %	10,1 %	20,5 %
Changement climatique	65,5 %	11,9 %	22,5 %
Radiations ionisantes, santé humaine	65,5 %	14,4 %	20,2 %
Émission de particules	64,0 %	13,0 %	22,9 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	67,3 %	11,4 %	21,3 %
Matières premières	66,7 %	12,2 %	21,2 %
Production de déchets	78,6 %	8,6 %	12,8 %
Consommation d'énergie primaire	58,2 %	15,6 %	26,2 %
Consommation d'énergie finale (utilisation)	53,8 %	17,9 %	28,2 %

Principales conclusions

I. « L'utilisation des ressources, minéraux et métaux » est de loin l'indicateur environnemental le plus important concernant les impacts environnementaux du numérique, avant le « changement climatique » et « l'utilisation des ressources, fossiles. » Les évaluations multicritères sont donc essentielles pour fournir une vue d'ensemble systémique des impacts environnementaux et éviter les transferts d'impact.

II. La phase de fabrication est la catégorie qui a le plus d'impact sur « l'utilisation des ressources, minéraux et métaux », ainsi que sur les indicateurs de production de matières premières et de déchets.

La phase d'utilisation est la catégorie qui a le plus d'impact sur les autres indicateurs à l'échelle de l'Europe.

III. Les terminaux utilisateurs sont ceux qui ont le plus d'impact, représentant entre 90 % et 54 % des impacts, selon l'indicateur. Cela est dû au grand nombre d'appareils dans toutes les catégories.

IV. La catégorie Téléviseur représente à elle seule une grande partie des impacts environnementaux sur tous les indicateurs évalués, notamment « Utilisation des ressources, minéraux et métaux » (20 %) pour les indicateurs environnementaux et la production de déchets (21,5 %) pour les indicateurs de flux.

V. Bien que la catégorie « objets connectés IoT » contienne un mélange d'équipements et de configurations, la montée en puissance de l'IoT est perceptible, notamment en ce qui concerne la consommation d'énergie finale.

VI. De nombreuses catégories d'équipements, telles que les ordinateurs de bureau, les ordinateurs portables, les téléviseurs, les smartphones, les imprimantes, les consoles de jeux et les tablettes, contribuent de manière importante aux impacts environnementaux du numérique, liés aux utilisateurs finaux.

VII. Les centres de données contribuent à entre 5 % et 23 % selon les indicateurs, aux impacts environnementaux du numérique ; et représentent entre 13 % et 28 % des flux.

Nous observons une inversion des « tendances » entre les indicateurs environnementaux les plus impactants pour le numérique, à savoir, l'impact sur le changement climatique et la contribution à l'épuisement des ressources (minéraux et métaux). Cela montre qu'il est impossible d'atténuer efficacement le changement climatique sans s'attaquer en même temps aux autres problèmes environnementaux liés à des activités telles que la fabrication et l'utilisation des technologies numériques. Ceci doit être envisagé à la lumière de la dépendance des ressources technologiques : chaque ressource non renouvelable spécifique utilisée peut devenir un problème distinct en soi en cas de pénurie de flux ou si un matériau se raréfie.

Au vu des résultats, le numérique semble déjà bénéficier, dans une certaine mesure, des avantages des énergies renouvelables dans le mix électrique de l'UE-28. Cependant, en ce qui concerne les ressources utilisées pour la phase de fabrication, des intérêts contradictoires sont en jeu dans l'utilisation des ressources en minéraux et métaux nécessaires d'une part à la fabrication des technologies de l'information et de la communication et d'autre part aux technologies nécessaires à la transition écologique, qui représentent une demande beaucoup plus importante quantitativement – demande qui est appelée à croître fortement dans les années à venir⁹ (par exemple pour les batteries des véhicules électriques ou les panneaux solaires photovoltaïques). Si l'on considère l'impact environnemental au niveau des ressources, il existe des limites physiques à ne pas dépasser, dans un secteur d'activité où le recyclage n'est que partiellement possible.

.....

9 2019. *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers And Environmental Consequences*. [ebook] OCDE. Disponible sur : <https://www.oecd.org/environment/waste/highlights-global-material-resources-outlook-to-2060.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

Transparence des données

Malgré les nombreuses possibilités offertes aujourd'hui par l'Internet et l'informatique, il est encore très difficile d'obtenir des données librement accessibles et fiables pour réaliser un inventaire parfaitement solide. Dans la mesure du possible et dans les délais impartis, cette étude a utilisé les meilleures informations disponibles et, dans la mesure du possible, des informations publiques. Nous avons observé de fréquentes difficultés à faire une estimation précise d'un certain nombre d'équipements ou d'éléments d'infrastructure qui composent l'inventaire. Conformément à la logique itérative de la norme ISO-14040-44, cette étude est à répéter pour être progressivement plus précise et limiter les incertitudes.

Compte tenu de l'intérêt collectif de l'ouverture de ces informations pour mesurer les impacts environnementaux et éclairer la prise de décision, ainsi que pour mesurer et réduire plus efficacement les impacts environnementaux, nous exhortons les différents acteurs publics et privés à se saisir de cette question pour permettre aux Européens – mais aussi plus globalement aux citoyens du monde – d'accéder à des recherches solides grâce à une plus grande transparence facilitant les inventaires.



**LE NUMÉRIQUE EST
UNE RESSOURCE
NON RENOUVELABLE**

ÉCONOMISONS-LE !

2.2 - Résumé à l'attention du grand public

Les activités humaines ont un impact sur l'environnement et le polluent de nombreuses façons (changement climatique, perte de biodiversité, acidification des océans, santé humaine, etc.) Depuis plus de trente ans, les scientifiques ont évalué et confirmé les différents impacts de nos activités sur l'environnement, avec des signaux d'alertes de plus en plus pressants en ce qui concerne notamment le changement climatique, qui est d'origine humaine. En 2016, l'Union européenne a signé l'Accord de Paris avec 190 autres États, s'engageant à « *maintenir l'augmentation de la température moyenne mondiale bien en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et à poursuivre les efforts pour limiter l'augmentation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels* »¹⁰.

Chaque secteur est concerné lorsqu'il s'agit de limiter et de réduire les émissions de CO₂ et autres gaz à effet de serre afin d'atténuer le changement climatique. Pour ce faire, il est important de tenir compte du changement climatique, mais également de réduire les autres impacts environnementaux et d'éviter les transferts de pollution.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude était d'évaluer les impacts environnementaux des technologies de l'information et des communications (TIC) à l'échelle de l'Union européenne (UE) à l'attention des décideurs politiques et du public, et de fournir :

1. Des données claires et actualisées sur l'impact environnemental du numérique à l'échelle européenne (UE-28) ;
2. Une méthodologie et un calcul solides, objectifs et scientifiques des impacts environnementaux du numérique, basés sur une analyse du cycle de vie (ACV) ;
3. Des recommandations politiques pour un développement numérique compatible avec le Green Deal.

Cette étude est une **analyse multicritère du cycle de vie**. Cette analyse tend vers la conformité aux normes ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006, avec une normalisation pour permettre la comparaison avec les limites planétaires.

L'analyse multicritère du cycle de vie permet de décrire les impacts environnementaux du numérique pour

l'Union européenne (28, incluant le Royaume-Uni¹¹) pour l'année 2019, sur la base des quatre phases du cycle de vie suivantes :

1. **Phase de fabrication** : de l'extraction des matières premières à la dernière porte de l'usine
2. **Phase de transport** : de la dernière porte d'usine à l'utilisateur
3. **Phase d'utilisation** : les impacts liés à l'utilisation, principalement la consommation d'électricité
4. **Phase de fin de vie** : traitement, recyclage, incinération et/ou mise en décharge des déchets liés au recyclage

Au départ, 19 indicateurs d'impact ont été sélectionnés, sur la base de la méthodologie de l'empreinte environnementale des produits de l'Union européenne. Afin de les rendre aussi compréhensibles que possible et de concentrer notre recommandation sur les sujets appropriés, les indicateurs les plus importants ont été sélectionnés. Après normalisation et pondération, huit indicateurs d'impact environnemental ont été sélectionnés comme étant les plus importants pour les services numériques, représentant 80 % des résultats globaux pondérés.

Les résultats normalisés et pondérés sont les suivants :

Tableau 6 - Résultats normalisés et pondérés

Utilisation des ressources, minéraux et métaux - kg éq. Sb	22,9 %
Utilisation des ressources, fossiles - MJ	17,0 %
Acidification - mol éq. H+	4,5 %
Écotoxicité, eau douce - CTUe	4,7 %
Changement climatique - kg éq. CO ₂	16,2 %
Radiations ionisantes, santé humaine - kBq éq. U235	11,1 %
Émission de particules - Apparition de maladies	4,0 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - kg éq. COVNM	1,8 %

Quatre indicateurs de flux supplémentaires ont été ajoutés pour permettre une meilleure compréhension des flux de matières, de déchets et d'énergie liés aux services numériques :

Matières premières - kg
Production de déchets - kg
Consommation d'énergie primaire - MJ
Consommation d'énergie finale (utilisation) - MJ

10 « [Paris Agreement, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1](#) » (PDF). Secrétariat de la CCNUCC. Archivé (PDF) à partir de l'original le 12 décembre 2015.

11 Le Royaume-Uni a été inclus dans le périmètre de l'UE pour cette étude, car le Royaume-Uni faisait partie de l'UE en 2019.

L'impact global des services numériques de l'UE-28 a ensuite été évalué comme suit :

Tableau 7 - Impacts globaux des services numériques de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)

Utilisation des ressources, minéraux et métaux - tonnes éq. Sb	5 760
Utilisation des ressources, fossiles - PJ	3 960
Acidification - mol éq. H+ (en milliards)	1,19
Écotoxicité, eau douce - CTUe	3 090
Changement climatique - Mt éq. CO ₂	185
Radiations ionisantes, santé humaine - GBq éq. U235	278
Émission de particules - Apparition de maladies	8 000
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - tonnes éq. COVNM	464 000
Matières premières - Mt	571
Production de déchets - Mt	116
Consommation d'énergie primaire - PJ	4 230
Consommation d'énergie finale (utilisation) - PJ	1 020

En outre, à l'échelle de l'UE-28 :

- La consommation totale d'électricité pour les services numériques en Europe est de 283 TWh sur un total de 3 054 TWh¹², ce qui signifie que la consommation d'électricité pour les services numériques pendant la phase d'utilisation représente 9,3 % de la consommation européenne d'électricité.
- Les émissions totales de GES pour les services numériques en Europe sont de 185 Mt éq. CO₂ sur un total de 4 378 Mt éq. CO₂,¹³ ce qui signifie que les émissions de GES des services numériques représentent 4,2 % des émissions européennes de GES.

Remarque

Les comparaisons à l'échelle de l'UE-28 visent à fournir une échelle des impacts connexes et ne doivent pas être comprises comme des résultats absolus. Les périmètres sont différents : certaines émissions liées aux services numériques dans l'UE-28 se produisent en dehors de l'UE-28 et sont prises en compte dans le champ de l'étude (fabrication des dispositifs), tandis que les émissions totales prises en compte pour l'UE par l'AIE sont uniquement des émissions se produisant à l'intérieur des frontières de l'UE.

Pour en savoir plus sur les émissions importées : <https://www.idhsustainabletrade.com/news/hidden-CO2-emissions-europes-imported-responsibility/>

Les calculs pour un habitant de l'UE-28 sont les suivants :

Tableau 8 - Impacts des services numériques par habitant de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)

Utilisation des ressources, minéraux et métaux - g éq. Sb	11,2
Utilisation des ressources, fossiles - MJ	7 710
Acidification - mol éq. H+	2
Écotoxicité, eau douce - CTUe	6 010
Changement climatique - kg éq. CO ₂	361
Radiations ionisantes, santé humaine - kBq éq. U235	541
Émission de particules - Apparition de maladies	0,00156 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - kg éq. COVNM	0,91
Matières premières - kg	1 110
Production de déchets - kg	225
Consommation d'énergie primaire - MJ	8 230
Consommation d'énergie finale (utilisation) - MJ	1 980

Les équivalences sont les suivantes :

- Les impacts du changement climatique sont similaires à un aller-retour d'un passager d'avion entre Paris et Athènes.
- Utilisation des ressources, minéraux et métaux : 0,69 kg d'étain en termes de rareté, et 1 110 kg de matériaux déplacés, soit l'équivalent du poids de 18 êtres humains (62 kg en moyenne).

12 IEA. 2021. *Data & Statistics - IEA*. [en ligne] Disponible sur : <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=EU28&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=TotElecCons> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

13 EEA. 2021. *Data viewer on greenhouse gas emissions and removals, sent by countries to UNFCCC and the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (EU Member States)*. (Visualiseur de données sur les émissions et les absorptions de gaz à effet de serre, envoyées par les pays à la CCNUCC et au mécanisme de surveillance des gaz à effet de serre de l'UE (États membres de l'UE).) [en ligne] Disponible sur : <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

- Production de déchets : 225 kg de déchets dans le monde, soit l'équivalent du poids de 3,6 êtres humains (62 kg en moyenne).

- Consommation d'électricité : 1 radiateur (1000 W) alimenté sans interruption pendant 23 jours.

Les résultats soulignent la nécessité de prendre en compte de multiples catégories d'impacts environnementaux en ce qui concerne le numérique dans les stratégies climatiques et environnementales et dans l'élaboration des politiques.

L'analyse du cycle de vie est divisée en trois niveaux¹⁴, ce qui permet d'avoir une vision large des impacts environnementaux du numérique à grande échelle :

- Niveau 1** : Terminaux utilisateurs (ordinateurs portables, téléphones, écrans, téléviseurs, imprimantes, etc.)

- Niveau 2** : Réseaux (fixe, mobile, cœur de réseau)

- Niveau 3** : Centres de données (des grands centres de données *hyperscale* aux serveurs des petites entreprises)

Les principaux résultats montrent la répartition suivante des impacts environnementaux par niveau :

Tableau 9 - Répartition des impacts par niveau

	Niveau 1 Terminaux utilisateurs	Niveau 2 Réseau	Niveau 3 Centres de données
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	88,8 %	5,9 %	5,3 %
Utilisation des ressources, fossiles	62,0 %	14,1 %	23,9 %
Acidification	65,8 %	12,1 %	22,1 %
Écotoxicité, eau douce	69,4 %	10,1 %	20,5 %
Changement climatique	65,5 %	11,9 %	22,5 %
Radiations ionisantes, santé humaine	65,5 %	14,4 %	20,2 %
Émission de particules	64,0 %	13,0 %	22,9 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	67,3 %	11,4 %	21,3 %
Matières premières	66,7 %	12,2 %	21,2 %
Production de déchets	78,6 %	8,6 %	12,8 %
Consommation d'énergie primaire	58,2 %	15,6 %	26,2 %
Consommation d'énergie finale (utilisation)	53,8 %	17,9 %	28,2 %

.....

14 La méthodologie complète est détaillée dans le chapitre Méthodologie.

Principales conclusions

I. « L'utilisation des ressources, minéraux et métaux » est de loin l'indicateur environnemental le plus important concernant les impacts environnementaux du numérique, avant le « changement climatique » et « l'utilisation des ressources, fossiles. » Les évaluations multicritères sont donc essentielles pour fournir une vue d'ensemble systémique des impacts environnementaux et éviter les transferts d'impact.

II. La phase de fabrication est la catégorie qui a le plus d'impact sur « l'utilisation des ressources, minéraux et métaux », ainsi que sur les indicateurs de production de matières premières et de déchets.

La phase d'utilisation est la catégorie qui a le plus d'impact sur les autres indicateurs à l'échelle de l'Europe.

III. Les terminaux utilisateurs sont ceux qui ont le plus d'impact, représentant entre 90 % et 54 % des impacts, selon l'indicateur. Cela est dû au grand nombre d'appareils dans toutes les catégories.

IV. La catégorie Téléviseur représente à elle seule une grande partie des impacts environnementaux sur tous les indicateurs évalués, notamment « Utilisation des ressources, minéraux et métaux » (20 %) pour les indicateurs environnementaux et la production de déchets (21,5 %) pour les indicateurs de flux.

V. Bien que la catégorie « objets connectés IoT » contienne un mélange d'équipements et de configurations, la montée en puissance de l'IoT est perceptible, notamment en ce qui concerne la consommation d'énergie finale.

VI. De nombreuses catégories d'équipements, telles que les ordinateurs de bureau, les ordinateurs portables, les téléviseurs, les smartphones, les imprimantes, les consoles de jeux et les tablettes, contribuent de manière importante aux impacts environnementaux du numérique, liés aux utilisateurs finaux.

VII. Les centres de données contribuent à entre 5 % et 23 % selon les indicateurs, aux impacts environnementaux du numérique ; et représentent entre 13 % et 28 % des flux.

Nous observons une inversion des « tendances » entre les indicateurs environnementaux les plus impactants pour le numérique, à savoir, l'impact sur le changement climatique et la contribution à l'épuisement des ressources (minéraux et métaux). Cela montre qu'il est impossible d'atténuer efficacement le changement climatique sans s'attaquer en même temps aux autres problèmes environnementaux liés à des activités telles

que la fabrication et l'utilisation des technologies numériques. Ceci doit être envisagé à la lumière de la dépendance des ressources technologiques : chaque ressource non renouvelable spécifique utilisée peut devenir un problème distinct en soi en cas de pénurie de flux ou si un matériau se raréfie.

Au vu des résultats, le numérique semble déjà bénéficier, dans une certaine mesure, des avantages des énergies renouvelables dans le mix électrique de l'UE-28. Cependant, en ce qui concerne les ressources utilisées pour la phase de fabrication, des intérêts contradictoires sont en jeu dans l'utilisation des ressources en minéraux et métaux nécessaires d'une part à la fabrication des technologies de l'information et de la communication et d'autre part aux technologies nécessaires à la transition écologique, qui représentent une demande beaucoup plus importante quantitativement – demande qui est appelée à croître fortement dans les années à venir¹⁵ (par exemple pour les batteries des véhicules électriques ou les panneaux solaires photovoltaïques). Si l'on considère l'impact environnemental au niveau des ressources, il existe des limites physiques à ne pas dépasser, dans un secteur d'activité où le recyclage n'est que partiellement possible.

Transparence des données

Malgré les nombreuses possibilités offertes aujourd'hui par l'Internet et l'informatique, il est encore très difficile d'obtenir des données librement accessibles et fiables pour réaliser un inventaire parfaitement solide. Dans la mesure du possible et dans les délais impartis, cette étude a utilisé les meilleures informations disponibles et, dans la mesure du possible, des informations publiques. Nous avons observé de fréquentes difficultés à faire une estimation précise d'un certain nombre d'équipements ou d'éléments d'infrastructure qui composent l'inventaire. Conformément à la logique itérative de la norme ISO-14040-44, cette étude est à répéter pour être progressivement plus précise et limiter les incertitudes.

Compte tenu de l'intérêt collectif de l'ouverture de ces informations pour mesurer les impacts environnementaux et éclairer la prise de décision, ainsi que pour mesurer et réduire plus efficacement les impacts environnementaux, nous exhortons les différents acteurs publics et privés à se saisir de cette question pour permettre aux Européens – mais aussi plus globalement aux citoyens du monde – d'accéder à des recherches solides grâce à une plus grande transparence facilitant les inventaires.



**LE NUMÉRIQUE EST
UNE RESSOURCE
NON RENOUVELABLE**

ÉCONOMISONS-LE !

.....
¹⁵ 2019. *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers And Environmental Consequences*. [ebook] OCDE. Disponible sur : <https://www.oecd.org/environment/waste/highlights-global-material-resources-outlook-to-2060.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

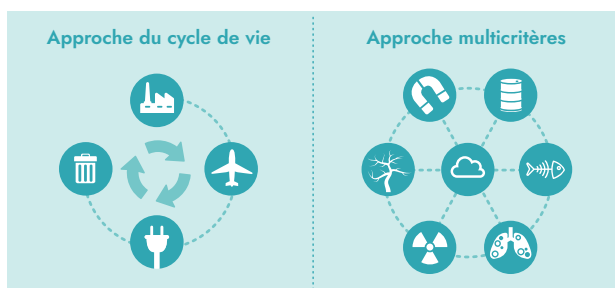
3. Méthodologie

3.1 - Méthodologie de l'ACV

3.1.1 - Principes généraux de l'ACV

L'analyse du cycle de vie est une méthode utilisée pour évaluer l'impact environnemental des 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. Mais 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 14040:2006¹⁶ et ISO 14044:2006¹⁷, 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.

➤ **Fonction** : L'objet d'étude est défini par la fonction qu'il remplit afin de comparer différentes solutions techniques.

➤ **Une unité fonctionnelle définie** :

• **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'UIT, par le consortium NegaOctet pour les services numériques ou par le pôle éco-conception 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 utilisateurs,

16 ISO. 2006. ISO 14040:2006 - Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.iso.org/fr/standard/37456.html>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

17 ISO. 2006. ISO 14044:2006 - Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.iso.org/fr/standard/37456.html>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

18 2014. Environmental Engineering (EE); Methodology for environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Information and Communication Technology (ICT) goods, networks and services. [en ligne] ETSI. Disponible sur : <https://www.etsi.org/deliver/etsi_es/203100_203199/203199/01.03.00_50/es_203199v010300m.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

réseaux, centres de données) qui composent le service numérique et lui permettent de fonctionner.

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 utilisateurs ne seront pas compensés par des impacts supplémentaires sur le réseau.

3.1.2 - Approche méthodologique de l'ACV

3.1.2.1 - Quelles sont les différentes phases d'une ACV ?

Comme le présente la norme ISO 14040:2006¹⁹, 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.

3.1.2.2 - 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.

3.1.2.3 - Analyse de l'inventaire du cycle de vie

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 cli-

¹⁹ ISO. 2006. ISO 14040:2006 - Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.iso.org/fr/standard/37456.html>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

matique), ou des ensembles de données hétérogènes. Dans ce projet, nous avons utilisé la base de données NegaOctet (publication prévue en décembre 2021). La base de données NegaOctet est un projet de trois ans cofinancé par l'Agence française de l'environnement (ADEME) qui était encore en cours de développement au moment de l'étude (mi-2021). Cette base de données faisait l'objet d'un processus de revue critique par un institut de recherche scientifique au même moment que le processus de revue critique de la présente étude. Pour cette raison, la base de données ICV a été exclue du scope de la revue critique de cette étude.

Nous avons choisi cette base de données pour de multiples raisons :

- 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 EF 3.0
- Comme nous développons la base de données, nous avons le contrôle sur sa conception.

L'utilisation de la base de données NegaOctet avant sa publication n'a pas permis de fournir une évaluation complète de la qualité des données ; cependant, les données utilisées sont les seules disponibles. Néanmoins, un résumé de l'évaluation de la qualité des données (DQR) est fourni dans les annexes afin d'être aussi transparent que possible.

3.1.2.4 - Analyse de l'impact du cycle de vie

3.1.2.4.1 - 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.

3.1.2.4.2 - 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 méthode solide permettant d'effectuer une telle évaluation.

3.1.2.5 - 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.

3.1.2.5.1 - 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.

3.1.3 - Définition de l'objectif et du périmètre d'action

3.1.3.1 - 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 de l'UE-28 ;**
- 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 en Europe afin de :

1. faire la lumière sur les impacts environnementaux du numérique pour informer les décideurs ;
2. réunir les décideurs et la communauté scientifique pour aborder les transitions environnementale et numérique ;

3. généraliser la prise de conscience collective et responsabiliser les citoyens européens et les acteurs stratégiques européens.

Cette étude fournira donc des informations et des points de référence clés pour :

1. reconnaître les secteurs d'activité sensibles ;
2. harmoniser l'accès à des résultats solides ;
3. préparer le terrain pour l'élaboration d'indicateurs clairs de durabilité du numérique.

3.1.3.2 - Cadre de travail

Ce travail est conforme avec les normes ISO 14040:2006 et 14044:2006.

Dans la mesure du possible et en fonction de notre contexte, le choix méthodologique fera également référence à des normes complémentaires telles que :

► ITU L1410 - 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)²⁰

► PEF Guidelines²¹ and PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules Guidance)²² relative to IT equipment²³

3.1.3.3 - 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, des questionnaires de collecte de données, 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 européen en utilisant la méthodologie de l'analyse du cycle de vie.

.....

20 Itu.int. 2014. L.1410: Methodology for environmental life cycle assessments of information and communication technology goods, networks and services. [en ligne] Disponible sur : <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.1410/en> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

21 2017. PEFCR Guidance document, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3. [en ligne] Commission européenne. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf [Dernier accès le 30 septembre 2021].

22 PEFCRs (Product Environmental Footprint Category Rules Guidances), «fournissent des orientations spécifiques pour le calcul des impacts environnementaux potentiels du cycle de vie des produits. Des règles analogues aux PEFCRs existent dans les normes pour d'autres types de déclarations de produits basées sur le cycle de vie, comme la norme ISO 14025:2006 (déclarations environnementales de type III). Les PEFCRs ont été nommés différemment afin d'éviter toute confusion avec d'autres règles analogues et d'identifier de manière unique les règles relevant du guide PEF.» Définition de 2017. PEFCR Guidance document, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3. [en ligne] Commission européenne. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf [Dernier accès le 30 septembre 2021].

23 2017. PEFCR Guidance document, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3. [en ligne] Commission européenne. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► L'ACV

► L'interprétation

Une présentation a été faite au comité de pilotage à la fin de chaque phase et une revue par les praticiens de revue critique a été organisée pour présenter la méthodologie et vérifier la conformité de l'étude aux normes ISO 14040:2006 et 14044:2006 et sa solidité.

3.1.3.4 - Public visé

Le public visé est principalement composé de :

- Décideurs politiques
- Citoyens européens

L'étude sera également utile à la communauté scientifique au sens large.

L'étude finale et les données finales générées sont placées sous une licence Creative Commons (CC BY-SA) 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.

3.1.3.5 - 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.

3.1.4 - Périmètre de l'étude

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

Seuls les impacts directs seront pris en compte. Les impacts indirects, positifs et négatifs (tels que les effets rebonds directs ou indirects, la substitution, les changements structurels), 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
- Quantification de l'impact environnemental, méthodes de caractérisation
- Types et sources de données
- Exigences en matière de qualité des données.

3.1.4.1 - Système de produit à étudier

3.1.4.1.1 - Limites technologiques

Cette étude porte sur les services numériques à l'échelle européenne. Le champ d'application des services numériques couvrirait trois catégories d'équipements également appelées « niveaux » :

- **Niveau 1 - Terminaux utilisateurs** : Cette catégorie comprend les terminaux utilisés par les utilisateurs finaux, tels que les ordinateurs, les écrans et les objets connectés (pour les objets connectés, seuls les capteurs et les composants connectés sont inclus, ce qui signifie par exemple que pour les appareils électroménagers, seuls les parties connectées et les capteurs des appareils électroménagers connectés sont pris en compte et que les autres composants et dispositifs des appareils électroménagers sont exclus).
- **Niveau 2 - Réseau** : Cette catégorie comprend les infrastructures de réseau pour l'échange de données entre les terminaux des utilisateurs et les centres de données. Le réseau se compose du réseau fixe, du réseau mobile et du cœur de réseau (*core network*). Cette catégorie comprend les routeurs des utilisateurs finaux.
- **Niveau 3 - Centres de données** : Cette catégorie comprend les équipements liés à l'hébergement et au traitement des données (commutateur, pare-feu, routeur, stockage, etc.).



3.1.4.1.2 - Limites temporelles

Cette étude couvre tous les services numériques en Europe en 2019. Par conséquent, les données sélectionnées sont aussi représentatives que possible de l'année 2019. Si des données manquent, elles ont été remplacées et extrapolées autant que possible avec des données ne datant pas d'avant 2015.

3.1.4.1.3 - Limites géographiques

Le périmètre géographique considéré dans cette étude couvre les équipements informatiques situés dans l'Union européenne (28 États membres, dont le Royaume-Uni au moment considéré (2019)).

Les équipements et infrastructures informatiques situés géographiquement à l'étranger sont exclus.

3.1.4.2 - 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 l'UE-28 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 en Europe en unités fonctionnelles.

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

« Équipements et systèmes liés aux services numériques basés dans l'Union européenne (28 États membres) sur un an. »

Et au niveau d'un habitant de l'UE

« Équipements et systèmes liés aux services numériques basés dans l'Union européenne (28 États membres) pendant un an et rapportés à un habitant. »

3.1.4.3 - Limites du système

3.1.4.3.1 - 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.

3.1.4.3.2 - Inclusion

Comme présenté précédemment, l'étude couvre les infrastructures et les dispositifs de services numériques situés dans toute l'Europe à travers les trois niveaux.

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

Niveau 1 - Terminaux utilisateurs et IoT
Smartphones
Téléphone portable, téléphone (ligne terrestre via box), tablettes
Ordinateur portable, ordinateur de bureau
Moniteur / écran, moniteur / écran par taille, projecteur
Téléviseur, Téléviseur par taille, box TV, console de jeux
Imprimantes
Objets connectés (partie communicante uniquement (tag, RFID, etc.)), enceintes connectées
Niveau 2 - Réseau
Équipements informatiques impliqués dans les réseaux mobiles (2G, 3G, 4G, 5G) et fixes (FTTX, ADSL)
Équipements non-informatiques impliqués dans les réseaux mobiles (2G, 3G, 4G, 5G) et fixes (FTTX, ADSL)
Niveau 3 - Centres de données
Équipement informatique (calcul, stockage, réseau)
Les équipements non-informatiques impliqués dans l'infrastructure (systèmes de refroidissement, générateurs, UPS, batteries, etc.)

3.1.4.3.3 - Exclusion

Les flux suivants ont été exclus de l'étude :

- L'éclairage, le chauffage, l'assainissement et le nettoyage des installations produisant le matériel, en raison du manque de données.
- Le transport des employés, considéré comme hors des limites
- La fabrication et la maintenance des outils de production, en raison du manque de données
- La construction et l'entretien des infrastructures, en raison d'un manque de données
- Les flux des services administratifs, de gestion et de R&D, considérés en dehors des limites.
- Le marketing produit, considéré comme hors des limites
- Les installations de restauration du personnel, considérées comme hors des limites
- Les activités informatiques de maintenance, de réparation, de refabrication, en raison du manque de données.
- L'impact des employés du secteur IT : transport, bureau, déjeuner, etc., considéré comme hors périmètre par convention (ces aspects sont générale-

ment pris en compte dans les approches ISO 14001 basées sur les sites).

- Les centres de données exploitant des données consultées en Europe mais situées à l'étranger, car le périmètre de l'étude ne concerne que les équipements utilisés sur le sol de l'UE-28.
- Les réseaux de télévision/radio, en raison du manque d'informations concernant les équipements constitutifs.
- Les réseaux d'entreprise, en raison du manque d'informations sur les équipements qui les composent.
- Le RTPC (réseau téléphonique public commuté), en raison du manque d'informations concernant les équipements constitutifs.
- Certains dispositifs électroniques grand public tels que les lecteurs multimédias, les dispositifs photo, les GPS, en raison du manque d'informations concernant les équipements constitutifs.

Tous les éléments ci-dessus sont considérés comme n'entrant pas dans le périmètre de l'étude.

Pour certains des flux exclus (réseaux TV/radio, RTPC, réseaux d'entreprise, électronique grand public), une analyse de sensibilité a été effectuée pour inclure leur consommation d'électricité.

3.1.4.3.4 - 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.

Cependant, pour les services numériques, la vérification de ces règles de coupure est difficile. Dans le cadre de l'étude, toutes les informations disponibles ont été prises en considération, en tenant compte des exclusions spécifiées ci-dessus concernant le périmètre de l'étude. 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.

3.1.4.4 - Procédures d'allocation

3.1.4.4.1 - Répartitions générales

Sauf pour la fin de vie, aucune répartition générale n'a été effectuée. Des allocations spécifiques ont été

effectuées pour certains dispositifs. Voir l'annexe Données utilisées dans le modèle d'ACV pour obtenir plus de détails.

3.1.4.4.2 - Allocation concernant la fin de vie

Aux fins de l'analyse du cycle de vie dans ce rapport, le recyclage et la récupération des matériaux à la fin de leur cycle de vie sont considérés en utilisant la formule développée par Ecosystem dans leur base de données²⁴, en choisissant l'approche « sans bénéfice ». Cette méthode part du principe que le recyclage ou la valorisation énergétique des matériaux en fin de vie n'apporte aucun bénéfice lié à la substitution de matériaux vierges ou de sources d'énergie primaire.

La méthode, telle qu'elle est appliquée avec l'approche « sans bénéfice », est la suivante :

- Impacts du recyclage des matériaux :

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

Avec :

A : coefficient d'attribution des coûts et crédits de distribution entre le fournisseur et l'utilisateur de matériaux recyclés. Dans l'approche par Ecosystem, A=0.

R₂ : c'est la proportion de la matière du produit qui sera recyclée (ou réutilisée) dans un système ultérieur.

E_{recyclingEoL} : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) résultant du processus de recyclage lors de la fin de vie, y compris le processus de collecte, de tri et de transport.

- Impacts de la récupération d'énergie :

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

Avec :

B : coefficient d'attribution pour les processus de valorisation énergétique : il s'applique à la fois aux coûts et aux crédits. Dans l'approche d'Ecosystem, B=0.

R₃ : c'est la proportion de la matière du produit qui est utilisée pour la récupération d'énergie à l'EoL.

E_{ER} : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) résultant du processus de valorisation énergétique (par exemple, incinération avec valorisation énergétique, mise en décharge avec valorisation énergétique,...).

- Impacts de l'élimination des déchets :

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

Avec :

R₂ : c'est la proportion de la matière du produit qui sera recyclée (ou réutilisée) dans un système ultérieur.

R₃ : c'est la proportion de la matière du produit qui est utilisée pour la récupération d'énergie lors de la fin de vie.

E_D : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité fonctionnelle) résultant de l'élimination des déchets en fin de vie du produit analysé, sans récupération d'énergie.

3.1.4.5 - La méthodologie AICV et les types d'impacts

3.1.4.5.1 - Sélection, classification et caractérisation des impacts

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

Dans notre contexte, nous baserons notre analyse sur les indicateurs proposés par la Commission européenne dans le cadre du projet Product Environmental Footprint (PEF), en utilisant PEF 3.0.²⁵

.....

24 n.d. À propos de la base de données LCI des DEEE d'Ecosystem. [en ligne] Ecosystem. Disponible sur : <https://www.ecosystem.eco/upload/media/default/0001/02/91508a37f34b3a821e4cdf070c4f7483625421c.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

25 Eplca.jrc.ec.europa.eu. 2019. Plate-forme européenne sur l'analyse du cycle de vie - Empreinte environnementale Développeur (EF). [en ligne] Disponible sur : <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developperEF.xhtml> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

Tableau 10 - L'ensemble des indicateurs d'impacts environnementaux recommandés dans la méthodologie PEF

Catégorie d'impact	Modèle	Unité	Niveau de recommandation de la méthode AICV
Changement climatique	GIEC 2013, GWP 100	kg éq. CO ₂	I
Appauvrissement de la couche d'ozone	Organisation météorologique mondiale (OMM), 1999	kg de CFC-11 éq.	I
Émission de particules	Fantke et al., 2016	incidence des maladies	I
Acidification	Posch et al., 2008 ; Seppälä et al. 2006	mol éq. H ⁺	II
Eutrophisation, eau douce	Struijs et al, 2009	kg P éq	II
Eutrophisation, marine	Struijs et al, 2009	kg N éq	II
Eutrophisation, terrestre	Posch et al, 2008 ; Seppälä et al. 2006	mol N éq	II
Radiations ionisantes, santé humaine	Frischknecht et al. 2000	kBq éq. U235	II
Formation d'ozone photochimique, santé humaine	Van Zelm et al., 2008, tel qu'appliqué dans ReCiPe, 2008	kg éq. COVNM	II
Toxicité humaine, non cancéreuse	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUh	III
Utilisation des sols	Indice de qualité du sol (basé sur Beck et al. 2010 ; LANCA, Bos et al., 2016)	pt	III
Utilisation des ressources, fossiles	ADP pour les vecteurs énergétiques, d'après van Oers et al. 2002 tel que mis en œuvre dans CML, v. 4.8 (2016)	MJ	III
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	ADP pour les ressources (minéraux et métaux), basé sur van Oers et al. 2002 tel que mis en œuvre dans CML, v. 4.8 (2016)	kg Sb éq	III
Utilisation des ressources en eau	AWARE 100 (d'après Boulay et al., 2018)	globale m ³ éq	III
Écotoxicité, eau douce	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUe	III/Interim
Toxicité humaine, cancéreuse	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUh	III/Interim

Afin de rendre ces indicateurs aussi compréhensibles que possible et de concentrer nos recommandations sur les sujets clés, il est largement admis de réduire l'ensemble des indicateurs à une sélection appropriée. Dans notre cas, l'ensemble limité d'indicateurs est issu de l'approche de normalisation et de pondération. Nous

avons sélectionné les indicateurs les plus pertinents sur la base des résultats normalisés et pondérés (voir section Résultats normalisés et pondérés). Les indicateurs suivants ont été sélectionnés, représentant plus de 80 % des résultats globaux pondérés :

Tableau 11 - Sélection d'indicateurs en fonction de leur normalisation et de leur pondération

Catégorie d'impact	Modèle	Unité	Niveau de recommandation de la méthode ÉICV
Changement climatique	GIEC 2013, GWP 100	kg éq. CO ₂	I
Émission de particules	Fantke et al., 2016	incidence des maladies	I
Acidification	Posch et al., 2008	mol éq. H ⁺	II
Radiations ionisantes, santé humaine	Frischknecht et al. 2000	kBq éq. U235	II
Formation d'ozone photochimique, santé humaine	Van Zelm et al., 2008, tel qu'appliqué dans ReCiPe, 2008	kg éq. COVNM	II
Utilisation des ressources, fossiles	ADP pour les vecteurs énergétiques, d'après van Oers et al. 2002 tel que mis en œuvre dans CML, v. 4.8 (2016)	MJ	III
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	ADP pour les ressources (minéraux et métaux), basé sur van Oers et al. 2002 tel que mis en œuvre dans CML, v. 4.8 (2016)	kg Sb éq	III
Écotoxicité, eau douce	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUe	III/Interim

L'indicateur « utilisation de l'eau », qui représentait 16,8% des impacts pondérés, a été supprimé : un problème de comptabilisation des flux d'eau dans les données de fin de vie de l'ESR a été identifié. Après discussion avec les responsables de l'ESR, les aspects suivants ont été identifiés :

- Les processus de fin de vie consomment peu d'eau
- La majeure partie de la consommation d'eau provient de l'utilisation de l'électricité. Dans ce cas, la majeure partie de l'eau utilisée doit être prélevée dans l'eau douce et rejetée dans l'eau douce (correspondant à l'eau de refroidissement). Mais dans les données de l'ESR, l'eau est prélevée dans l'eau douce et rejetée dans l'eau de mer. Cette émission n'est pas prise en compte par l'indicateur d'utilisation de l'eau. Cela conduit à des résultats artificiellement élevés pour la fin de vie. Ce problème n'a pas pu être corrigé dans le

décali de l'étude ; par conséquent, cet indicateur a été supprimé.

L'indicateur « utilisation des sols » n'a pas été jugé pertinent : de nombreuses données relatives à l'extraction minérale ne tiennent pas compte des flux d'utilisation des sols. Cette limitation est donc toujours présente dans les données des équipements. Par conséquent, la prise en compte des impacts de l'utilisation des sols serait au mieux incomplète et ne peut être rapportée sans un haut degré d'incertitude.

En outre, nous proposons de compléter cet ensemble par quatre indicateurs plus compréhensibles, à savoir l'apport de matière par unité de service (MIPS), la production de déchets, l'énergie primaire et l'énergie finale. Ces indicateurs ne peuvent pas être normalisés et pondérés, mais fournissent une compréhension supplémentaire des impacts environnementaux.

Tableau 12 - Addition de quatre indicateurs de débit

Catégorie d'impact	Modèle	Unité	Niveau de recommandation de la méthode AICV
Apports matériels par services	MIPS, Schmidt-Bleek, 1994 et Ritthoff et al., 2002	kg	N/A
Production de déchets (non limitée aux déchets électroniques)	<p>Une compilation de 3 types de déchets :</p> <ol style="list-style-type: none"> déchets non dangereux (inertes) déchets dangereux (toxiques, inflammables, explosifs, irritants, etc.) radioactifs <p>La catégorie des déchets non dangereux représente la majeure partie de la masse des déchets produits par les TIC.</p>	kg	N/A
Énergie primaire	Énergie cumulée	MJ	N/A
Énergie finale		MJ	N/A

Afin d'avoir une meilleure compréhension des indicateurs sélectionnés, le tableau suivant détaille chacun d'entre eux avec une explication des aspects environnementaux associés :

Tableau 13 - Description des indicateurs d'impact et de flux

Indicateurs d'impacts environnementaux	
<p>Épuisement des ressources abiotiques (minéraux et métaux)</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact axé sur les problèmes (point médian) Unité : kg équivalent Sb (kg éq. Sb) Méthode d'évaluation : CML 2002 Définition : L'exploitation industrielle entraîne une diminution des ressources disponibles dont les réserves sont limitées. Cet indicateur évalue la quantité de ressources (minéraux et métaux) retirées de la nature comme si elles étaient de l'antimoine. 	<p>Changement climatique</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact axé sur les problèmes (point médian) Unité : équivalent kg CO₂ (kg éq. CO₂) Méthode d'évaluation : Méthode du GIEC 2013 Définition : Les gaz à effet de serre (GES) sont des composés gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre contribue au réchauffement de la planète.
<p>Acidification</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact axé sur les problèmes (point médian) Unité : mol éq. H⁺ Méthode d'évaluation : Dépassement cumulé (Seppälä et al. 2006, Posch et al. 2008) Définition : L'acidification de l'air est liée aux émissions d'oxydes d'azote, d'oxydes de soufre, d'ammoniac et d'acide chlorhydrique. Ces polluants se transforment en acides en présence d'humidité, et leurs retombées peuvent endommager les écosystèmes ainsi que les bâtiments. 	<p>Émission de particules</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact axé sur les problèmes (point médian) Unité : Incidence des maladies Méthode d'évaluation : Méthode PM recommandée par le PNUÉ (PNUÉ 2016) Définition : La présence dans l'air de particules fines de petit diamètre - en particulier celles dont le diamètre est inférieur à 10 microns - représente un problème de santé humaine, car leur inhalation peut entraîner des problèmes respiratoires et cardiovasculaires.
<p>Rayonnements ionisants</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact axé sur les problèmes (point médian) Unité : kBq éq. U235 Méthode d'évaluation : Modèle des effets sur la santé humaine tel que développé par Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al. 2000) Définition : Les radionucléides peuvent être libérés lors d'un certain nombre d'activités humaines. Lorsque les radionucléides se désintègrent, ils libèrent des rayonnements ionisants. L'exposition humaine aux rayonnements ionisants endommage l'ADN, ce qui peut entraîner divers types de cancer et de malformations congénitales. 	<p>Formation d'ozone photochimique, santé humaine</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact axé sur les problèmes (point médian) Unité : kg éq. COVNM Méthode d'évaluation : Van Zelm et al., 2008, tel qu'appliqué dans ReCiPe, 2008 Définition : L'ozone troposphérique se forme dans la basse atmosphère à partir de composés organiques volatils (COVs) et d'oxydes d'azote, sous l'effet du rayonnement solaire. L'ozone est un oxydant très puissant connu pour ses effets sur la santé car il pénètre facilement dans les voies respiratoires.
<p>Épuisement des ressources abiotiques (fossiles)</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact axé sur les problèmes (point médian) Unité : MJ Méthode d'évaluation : CML 2002 Définition : L'indicateur représente la consommation d'énergie primaire provenant de différentes sources non renouvelables (pétrole, gaz naturel, etc.). Les calculs sont basés sur le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des types d'énergie considérés, exprimé en MJ/kg. Par exemple, 1 kg d'huile contribuera à 41,87 MJ pour l'indicateur considéré. 	<p>Écotoxicité, eau douce</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur d'impact axé sur les problèmes (point médian) Unité : CTUe Méthode d'évaluation : USEtox (Rosenbaum et al., 2008) Définition : Ces indicateurs permettent de suivre l'ensemble de la chaîne d'impact, depuis l'émission d'un composant chimique jusqu'à l'impact final sur l'homme et les écosystèmes. Cela comprend la modélisation de la dispersion et du devenir dans l'environnement, de l'exposition des populations humaines et des écosystèmes, et des effets de la toxicité associés à l'exposition.
Indicateurs de débit	
<p>Masse des déchets générés</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur de flux Unité : kg Définition : Quantité de déchets générés tout au long du cycle de vie, y compris les DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques), ainsi que les déchets générés liés à l'extraction de matières premières qui devront virtuellement être retraitées. 	<p>Consommation d'énergie primaire</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur de flux Unité : MJ Définition : L'énergie primaire est la première forme d'énergie directement disponible dans la nature avant toute transformation : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent, rayonnement solaire, énergie hydraulique ou géothermique, etc.
<p>Consommation d'énergie finale</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur de flux Unité : MJ Définition : Désigne l'énergie directement utilisée par l'utilisateur final, sous forme d'électricité ou de carburant. 	<p>Matières premières</p> <ul style="list-style-type: none"> Type d'indicateur : Indicateur de consommation des ressources Unité : kg Méthode d'évaluation : MIPS - apport de matière par unité de service Définition : L'indicateur MIPS calcule les ressources utilisées pour produire une unité de produit ou de service en utilisant une approche d'analyse du cycle de vie (Schmidt-Bleek, 1994). Cinq types de ressources sont considérés : les ressources abiotiques (matériaux, énergie fossile, etc.), la biomasse, les mouvements de terrain mécaniques ou érosifs, l'eau et l'air (Ritthoff et al., 2002). Ces consommations sont simplement additionnées, ce qui donne un indicateur de la consommation de ressources (matières premières extraites et matières premières énergétiques).

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

Tableau 14 - Facteurs de normalisation proposés par le JRC

Catégorie d'impact	Facteur de normalisation	Unité
Changement climatique	8.10E+03	kg CO ₂ /personne éq.
Appauvrissement de la couche d'ozone	5.36E-02	kg éq. CFC-11/personne
Émission de particules	5.95E-04	Incidences de la maladie/personne
Acidification	5.56E+01	mol éq. H ⁺ /personne
Eutrophisation, eau douce	1.61E+00	kg P éq./personne
Eutrophisation, marine	1.95E+01	kg N éq./personne
Eutrophisation, terrestre	1.77E+02	mol N éq./personne
Radiations ionisantes, santé humaine	4.22E+03	kBq U-235 éq./personne
Formation d'ozone photochimique, santé humaine	4.06E+01	kg COVNM/personne éq.
Toxicité humaine, non cancéreuse	2.30E-04	CTUh/personne
Utilisation des sols	8.19E+05	pt/personne
Utilisation des ressources, fossiles	6.50E+04	MJ/personne
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	6.36E-02	kg éq. Sb/personne
Utilisation des ressources en eau	1.15E+04	m ³ eau éq. dépourvue/personne
Écotoxicité, eau douce	4.27E+04	CTUe/personne
Toxicité humaine, cancéreuse	1.69E-05	CTUh/personne

Tableau 15 - Facteurs de pondération proposés par le JRC

Catégorie d'impact	Facteur de pondération (%)
Changement climatique	21,06
Appauvrissement de la couche d'ozone	6,31
Émission de particules	8,96
Acidification	6,20
Eutrophisation, eau douce	2,80
Eutrophisation, marine	2,96
Eutrophisation, terrestre	3,71
Radiations ionisantes, santé humaine	5,01
Formation d'ozone photochimique, santé humaine	4,78
Toxicité humaine, non cancéreuse	1,84
Utilisation des sols	7,94
Utilisation des ressources, fossiles	8,32
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	7,55
Utilisation des ressources en eau	8,51
Écotoxicité, eau douce	2,8
Toxicité humaine, cancéreuse	2,13

3.1.4.6 - 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 en Europe et la quantité d'électricité consommée par les smartphones). Pour ce projet, ces données proviennent d'une statistique et d'une référence interne.
- Données relatives aux **impacts du cycle de vie** des équipements informatiques ou des flux énergétiques qui entrent dans le système étudié. Ces données proviennent des bases de données disponibles dans le logiciel EIME grâce au projet NegaOctet.

Données relatives aux caractéristiques physiques

La diversité des ressources couvertes a permis une couverture à la fois large et précise des impacts environnementaux des technologies et infrastructures numériques, en couvrant l'un de ces dix secteurs : TIC (transversales), TIC (équipements), DEEE, pratiques numériques, composants, médias/divertissements, EEE, TIC (centres de données), TIC (réseaux), IoT.

Nos ressources bibliographiques, collectées et mises à jour tout au long de la phase de collecte de données de notre étude, nous ont permis de rassembler un inventaire 2019-2020 à jour décrivant les impacts environnementaux des services numériques en Europe.

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

Données relatives aux impacts du cycle de vie

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

Données primaires (également appelées « données spécifiques au site ») – données recueillies dans l'usine de fabrication où sont réalisés les processus spécifiques au produit – et données provenant d'autres parties du cycle de vie remontant jusqu'au système de produit spécifique étudié, par exemple 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.

.....

26 NegaOctet <https://negaoctet.org/>

27 LCIE Département CODDE Bureau Veritas <https://codde.fr/en/our-services/software-tools>

Les données secondaires sont divisées en :

- **données secondaires sélectionnées** : 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 (qui ne remplissent pas toutes les caractéristiques de qualité des « données secondaires sélectionnées »).

Conformément aux objectifs et aux limites du système, aucune donnée spécifique n'a été privilégiée. La plupart des données ont été extraites des bases de données disponibles dans le logiciel EIME (données secondaires sélectionnées) : Bases de données NegaOctet²⁶ et CODDE²⁷.

3.1.4.7 - 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** : représentatif des technologies entre 2015 et 2020.
- **Représentativité géographique** : données spécifiques correspondant aux équipements liés aux services numériques situés dans l'Union européenne (28 États membres) pendant leur utilisation, étant donné que certaines des phases de leur cycle de vie, telles que la fabrication, peuvent avoir lieu à l'étranger (approche fondée sur le marché). Si les données sont manquantes, des hypothèses sont justifiées lorsque cela est possible.
- **Représentativité dans le temps** : données de 2019-2020. Lorsque les données datent de plus de cinq ans (avant 2015), elles ont été mises à jour 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** : méthodologie utilisée : ISO 14040-44. Application cohérente de la méthodologie de collecte des données pour toutes les composantes étudiées.

3.1.4.8 - Outil de modélisation d'ACV

Pour chaque dispositif, le flux de ressources matérielles et énergétiques depuis l'environnement vers le système technique et les émissions du système technique dans l'air, le sol et l'eau sont pris en compte par le logiciel EIME version 5.9.1. et sa base de données. EIME est conforme au manuel ILCD (niveau d'entrée-I).

L'évaluation de l'ensemble des services numériques européens pour un an a été réalisée en compilant toutes les données relatives aux équipements dans un outil Excel.

3.1.4.9 - Considérations relatives à la revue critique

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

- Les incohérences entre l'objectif, la collecte des données et les résultats de l'étude.
- La communication de conclusions non fondées

Dans notre contexte, la revue critique vise également à :

- Identifier les éléments importants et les limites de l'étude pour établir qu'elle n'est pas déformée et que sa communication n'est pas biaisée.
- S'assurer de la pertinence et de la fiabilité des informations données.

La revue critique de l'étude réalisée pour les Verts/ALE afin de valider les hypothèses, les données et les procédures utilisées pour réaliser l'étude, est effectué par :

- **Ana Belen MORAL BALANDIN**, Consultante en développement durable chez Quantis
- **Sébastien HUMBERT**, Cofondateur, directeur scientifique et consultant en développement durable chez Quantis,

La revue critique a été effectuée de manière continue et s'est déroulé en plusieurs étapes :

- Revue 1 de la portée de l'étude et des principales hypothèses - avril 2021
- Revue 2 de l'inventaire du cycle de vie et des hypothèses - juillet 2021
- Revue 3 des résultats, interprétation et rapport final - août/septembre 2021

Cette revue comprenait :

- la méthodologie,
- le rapport préliminaire,
- l'analyse du cycle de vie,
- les résultats et analyse de sensibilité,
- le rapport final.

Le rapport de revue critique est disponible sur demande auprès des auteurs à l'adresse suivante info@greenit.fr.

3.1.5 - Traitement des données manquantes

3.1.5.1 - Approche générique

En cas de données manquantes ou de difficultés à choisir entre certaines sources de données (une fois la pertinence de la source évaluée), l'approche méthodologique choisie consiste à attribuer le scénario le plus défavorable : en pénalisant les données. En effet, en raison de la nature itérative de l'analyse du cycle de vie, une telle approche permet d'identifier si les données sont sensibles ou non et, le cas échéant, d'effectuer une analyse d'incertitude.

3.1.5.2 - Durée de vie

Actuellement, il n'existe pas de définition harmonisée du concept de durée de vie²⁸. Cette notion est comprise et interprétée différemment selon les acteurs impliqués (fabricants, utilisateurs, opérateurs de traitement en fin de vie). On peut donc proposer quatre concepts différents :

- **Durée de vie normative** : durée de vie moyenne mesurée dans des conditions d'essai spécifiques, définies dans des normes établies par des organismes tels que l'AFNOR, le CENELEC ou la CEI, par exemple, ou, à défaut, par des essais non normalisés dont la méthodologie est explicite, transparente et reconnue.

.....

28 2012. *Étude Sur La Durée De Vie Des Équipements Électriques Et Électroniques - Rapport Final*. [en ligne] ADEME. Disponible sur : <https://bibliothèque.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/3516-etude-sur-la-duree-de-vie-des-equipements-electriques-et-electroniques.html> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► **Durée de vie utile** : période pendant laquelle le produit est utilisé, c'est-à-dire en état de fonctionnement et prêt à l'emploi, par un utilisateur donné. Il est spécifique aux utilisateurs et aux ménages. La durée de vie totale est la somme des durées de vie.

► **Durée de vie de propriété** : le temps écoulé entre la date d'entrée dans le ménage (pas nécessairement dans un état neuf) et la date de sortie du ménage (en état de marche ou non). Cela inclut le temps de stockage. Il est spécifique aux utilisateurs et aux ménages. Il comprend les réparations éventuelles. La période de détention totale est la somme des périodes de détention. Elle correspond à la période entre l'achat d'un appareil neuf et son passage au statut de déchet, quel que soit l'état de l'appareil (en état de marche ou non). Elle inclut la possibilité de réparation et de réutilisation. La durée totale de possession est donc supérieure ou égale à la durée totale d'utilisation, en raison du stockage éventuel des appareils dans les ménages.

► **Durée de vie d'existence** : la période entre la fin de la fabrication du produit et son élimination, sa récupération ou son recyclage. Elle diffère de la période de propriété totale dans la mesure où elle inclut la réutilisation éventuelle d'un produit après qu'il soit devenu un déchet, ainsi que le temps écoulé entre la fin de la fabrication et le nouvel achat.

Ainsi, dans l'idéal, les équipements devraient être caractérisés en fonction de leur durée de vie utile. Cependant, le manque de transparence des sources, quant à la méthodologie utilisée pour définir la durée de vie, ne nous permet pas d'identifier avec précision cette durée de vie pour chaque équipement. En effet, il est extrêmement complexe de connaître la proportion et la durée des secondes vies des équipements.

3.1.5.3 - Déchets électroniques

Les données relatives à la fin de vie effective des dispositifs sont extrêmement difficiles à trouver, voire impossibles, en raison de l'absence de suivi des déchets électroniques.

Bien que certains projets tels que l'Urban Mine Platform²⁹ existent et ont été financés par l'Union européenne afin de décrire plus précisément les flux réels de déchets électroniques, ces projets sont limités à la fois dans le temps et par de grandes incertitudes. En effet, ces projets souffrent beaucoup du manque de données harmonisées entre les États membres et

.....

ne décrivent qu'une petite partie des flux réels, à un moment donné : le projet Urban Mine Platform ne fournit pas de données plus récentes que 2015 pour les flux de déchets électroniques.

Nous avons également examiné très attentivement le rapport Global E-Waste Monitor 2020, qui est intéressant car il offre une vue d'ensemble des problèmes liés aux déchets électroniques, même s'il ne peut apporter de réponses aux flux spécifiques de déchets électroniques par appareil dans l'UE.

Comme aucune donnée n'a été trouvée concernant les taux de collecte et de recyclage des déchets électroniques par appareil dans l'UE, le seul scénario de fin de vie suffisamment précis pour être modélisé à notre niveau de connaissance est un scénario théorique dans lequel la directive DEEE de l'UE est pleinement respectée par tous les États membres.

Sur cette base, nous avons considéré tous les déchets comme s'ils étaient traités dans des filières réglementées. Bien que cela conduise à une sous-estimation probable des impacts en fin de vie, la seule alternative possible aurait été de ne pas considérer tous les flux sortant des voies réglementées.

Certaines informations sont également décrites par la base de données Ecosystem utilisée dans ce rapport : « Les données produites et diffusées ont vocation à représenter la gestion de la fin de vie des couples de flux matières/déchets étudiés dans le cadre du dispositif français de reprise des DEEE, sans exclure que certaines opérations en aval des opérations de dépollution et de traitement de rang 1 soient réalisées dans d'autres pays européens ou en Asie. Il s'agit de représenter une gestion nationale moyenne pour la France. Les données produites n'ont cependant pas vocation à représenter un contexte géographique local spécifique tel que la gestion des DEEE collectés dans un département donné (ex : Loire), dans une collectivité donnée (par exemple, Mâcon), dans les départements et territoires d'outre-mer, etc. Un contexte local est susceptible de différer sensiblement de la gestion moyenne nationale. »

Considérant que les déchets électroniques constituent une question croissante et complexe concernant les impacts environnementaux du numérique, et pour donner un aperçu plus pratique et global du sujet, nous avons réalisé une étude de cas intitulée **Déchets électroniques & économie circulaire**.

²⁹ Urbanmineplatform.eu. 2015. *Jaco Huisman, Pascal Leroy, François Tertre, Maria Ljunggren Söderman, Perrine Chancerel, Daniel Cassard, Amund N. Løvik, Patrick Wäger, Duncan Kushnir, Vera Susanne Rotter, Paul Mähltz, Lucía Herrerias, Johanna Emmerich, Anders Hallberg, Hina Habib, Michelle Wagner, Sarah Downes. Prospecting Secondary Raw Materials in the Urban Mine and mining wastes (ProSUM) - Final Report, ISBN: 978-92-808-9060-0 (imprimé), 978-92-808-9061-7 (électronique), 21 décembre 2017, Bruxelles, Belgique. [en ligne] Disponible sur : <<http://www.urbanmineplatform.eu/homepage>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].*

4. Résultats de l'ACV

Dans les tableaux comprenant des pourcentages, le total peut ne pas toujours être égal à 100 % en raison des arrondis.

Les résultats de l'ACV sont des expressions relatives et ne prédisent pas les impacts sur les paramètres de la catégorie, le dépassement des seuils, les marges de sécurité ou les risques.

4.1 - Évaluation globale

4.1.1 - Évaluation globale pour un an de services numériques en Europe

4.1.1.1 - Résultats totaux


Les résultats globaux des impacts environnementaux pour 1 an de services numériques en Europe (EU-28), sont présentés dans le tableau suivant :


Tableau 16 - Impacts globaux des services numériques de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)


Utilisation des ressources, minéraux et métaux - tonnes éq. Sb	5 760
Utilisation des ressources, fossiles-PJ	3 960
Acidification - mol éq. H ⁺ (en milliards)	1,19
Écotoxicité, eau douce - CTUe	3 090
Changement climatique - Mt éq. CO ₂	185
Radiations ionisantes, santé humaine - GBq éq. U235	278
Émission de particules - Apparition de maladies	8 000
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - tonnes éq. COVNM	464 000
Matières premières - Mt	571
Production de déchets - Mt	116
Consommation d'énergie primaire - PJ	4 230
Consommation d'énergie finale (utilisation) - PJ	1 020


Spécifiquement, le changement climatique est de 185 Mt éq. CO₂.

Afin de fournir un élément de comparaison avec des valeurs communes, certains impacts peuvent être exprimés par des équivalents compréhensibles :


 **L'utilisation des ressources, minéraux et métaux**, équivaut à 111 t d'or en termes de rareté, et à 571 Mt de matériaux déplacés, soit le poids de 9,2 milliards d'êtres humains (62 kg en moyenne). Cela signifie que, chaque année, les matières déplacées liées aux services numériques de l'UE-28 équivalent à peu près au poids de tous les êtres humains vivants.

 **L'impact sur le changement climatique** est similaire à 370 000 allers-retours d'un avion de 500 passagers entre Paris et New York, soit environ 63 années de la liaison actuelle (16 avions par jour)

 **La production de déchets** équivaut au poids de 1,87 milliard d'êtres humains (62 kg en moyenne)

 **La consommation d'électricité** est égale à 32 344 000 radiateurs (1 000 W) alimentés sans interruption pendant un an.

En outre, à l'échelle de l'UE-28 :

 **La consommation totale d'électricité** pour les services numériques en Europe est de 283 TWh sur un total de 3 054 TWh³⁰, ce qui signifie que la consommation d'électricité pour les services numériques pendant la phase d'utilisation représente 9,3 % de la consommation européenne d'électricité.

 **Les émissions totales de GES** pour les services numériques en Europe sont de 185 Mt éq. CO₂ sur un total de 4 378 Mt éq. CO₂³¹, ce qui signifie que les émissions de GES des services numériques représentent 4,2 % des émissions européennes de GES.

30 IEA. 2021. *Données et statistiques - AIE*. [en ligne] Disponible sur : <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=EU28&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=TotElecCons> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

31 EEA. 2021. *Data viewer on greenhouse gas emissions and removals, sent by countries to UNFCCC and the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (EU Member States)*. (Visualiseur de données sur les émissions et les absorptions de gaz à effet de serre, envoyées par les pays à la CCNUCC et au mécanisme de surveillance des gaz à effet de serre de l'UE (États membres de l'UE).) [en ligne] Disponible sur : <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

Remarque

Les comparaisons à l'échelle de l'UE-28 visent à fournir une échelle des impacts connexes et ne doivent pas être comprises comme des résultats absolus.

Les périmètres sont différents : certaines émissions liées aux services numériques dans l'UE-28 se produisent en dehors de l'UE-28 et sont prises en compte dans le champ de l'étude (fabrication des dispositifs), tandis que les émissions totales prises en compte pour l'UE par l'AIE sont uniquement des émissions se produisant à l'intérieur des frontières de l'UE.

Pour en savoir plus sur les émissions importées : <https://www.idhsustainabletrade.com/news/hidden-CO2-emissions-europes-imported-responsibility/>

Les résultats normalisés sont les suivants :

Tableau 17 - Résultats normalisés

Habitants dans le monde	
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	90 586 462
Utilisation des ressources, fossiles	60 890 581
Acidification	21 502 337
Écotoxicité, eau douce	72 343 598
Changement climatique	22 884 595
Radiations ionisantes, santé humaine	65 819 104
Émission de particules	13 442 000
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	11 440 400

4.1.2 - Résultats normalisés et pondérés

Afin de déterminer l'importance relative de chaque impact par rapport aux autres, les méthodes de normalisation et de pondération ont été employées, sur la base de la méthode EF 3.0.

Seuls les indicateurs d'impacts environnementaux peuvent être évalués. Les autres indicateurs (matières premières, production de déchets, consommation d'énergie primaire et consommation d'énergie finale) ne sont pas affichés.

4.1.2.1 - Normalisation

La première étape est la normalisation, visant à quantifier chaque impact en termes d'équivalent de population mondiale. Par exemple, une valeur de 50 pour l'indicateur de changement climatique signifie que l'impact du changement climatique est égal aux émissions annuelles de 50 habitants moyens de la planète.

Les résultats normalisés permettent de comprendre l'ampleur des impacts des services numériques pour chaque catégorie d'impact. Plus le chiffre est élevé, plus les services numériques en Europe contribuent à l'enjeu global lié à chaque catégorie.

4.1.2.2 - Pondération

Enfin, les résultats normalisés sont pondérés, ce qui signifie que leur importance relative est déterminée sur la base d'une méthodologie développée par le JRC³², fondée sur des enquêtes auprès du public et des experts ainsi que sur des avis d'experts

fondés sur des preuves³³. Pour cette partie, tous les indicateurs d'impact ont été évalués, car les résultats pondérés sont utilisés pour distinguer les impacts significatifs des impacts négligeables (voir chapitre *Sélection, classification et caractérisation des impacts*). Les résultats sont les suivants :

Tableau 18 - Résultats pondérés

	NIVEAU 1 Terminaux utilisateurs	NIVEAU 2 Réseau	NIVEAU 3 Centres de données	Total	Total hors catégories d'impact liées à la toxicité
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	20,4 %	1,4 %	1,2 %	22,9 %	24,2 %
Utilisation des ressources, fossiles	10,5 %	2,4 %	4,1 %	17,0 %	17,9 %
Acidification	2,9 %	0,5 %	1,0 %	4,5 %	4,7 %
Écotoxicité, eau douce	3,2 %	0,5 %	1,0 %	4,7 %	N/A
Toxicité humaine, cancéreuse	0,2 %	0,0 %	0,0 %	0,2 %	N/A
Toxicité humaine, non cancéreuse	0,3 %	0,0 %	0,1 %	0,5 %	N/A
Eutrophisation, eau douce	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Eutrophisation marine	0,6 %	0,1 %	0,2 %	0,8 %	0,9 %
Eutrophisation, terrestre	0,8 %	0,2 %	0,3 %	1,3 %	1,3 %
Changement climatique	10,6 %	1,9 %	3,6 %	16,2 %	17,1 %
Radiations ionisantes, santé humaine	7,2 %	1,6 %	2,2 %	11,1 %	11,7 %
Appauvrissement de la couche d'ozone	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %
Émission de particules	2,6 %	0,5 %	0,9 %	4,0 %	4,3 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	1,2 %	0,2 %	0,4 %	1,8 %	1,9 %

32 Centre commun de recherche <https://ec.europa.eu/jrc/en>

33 Pour obtenir plus de détails, reportez-vous à l'année 2018. *Development of a weighting approach for the Environmental Footprint*. [en ligne] JRC. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/documents/2018_JRC_Weighting_FF.pdf [Dernier accès le 30 septembre 2021].

En conformité avec les directives PEFCR v.6.3³⁴ : « Les catégories d'impact les plus pertinentes sont identifiées comme étant toutes les catégories d'impact qui contribuent cumulativement à au moins 80% de l'impact environnemental total (à l'exclusion des catégories d'impact liées à la toxicité). L'ordre devrait aller des contributions les plus importantes aux plus petites. »

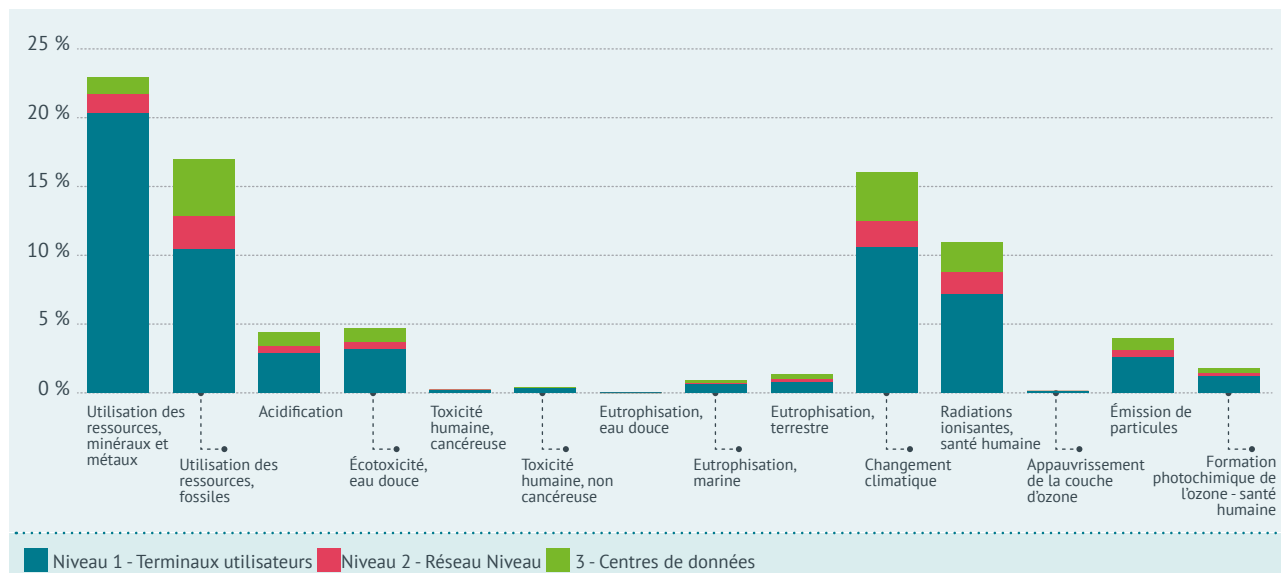
Les impacts les plus importants, représentant 80 % des impacts, sont par ordre décroissant :

- Utilisation des ressources, minéraux et métaux.
- Utilisation des ressources, fossiles.
- Le changement climatique.
- Les radiations ionisantes, santé humaine.
- L'acidification.
- L'émission de particules.
- La formation d'ozone photochimique - santé humaine.

L'indicateur « Écotoxicité, eau douce » a été rajouté malgré l'incertitude qui y est liée afin de fournir un aperçu d'une question environnementale importante liée aux services numériques. En effet, les équipements électroniques nécessitent des ressources qui ont des impacts toxiques importants sur l'environnement et la vie humaine. Par exemple, l'extraction du lithium pour les batteries, ou le traitement illégal des déchets. Bien que cet indicateur présente encore un niveau élevé d'incertitude, cette question devrait être abordée plus précisément dans les mises à jour futures.

Les autres indicateurs sont donc considérés comme négligeables et ne représentent pas un aspect environnemental significatif pour les services numériques.

Figure 1 - Distribution normalisée et pondérée de l'impact le long des 3 niveaux



34 2017. PEFCR Guidance document - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3. [en ligne] Commission européenne. Disponible sur : https://ec.europa.eu/environment/eussd/smmp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf [Dernier accès le 30 septembre 2021].

4.1.3 - Limites planétaires

Les impacts peuvent être comparés aux limites planétaires, afin de donner un aperçu supplémentaire de l'importance relative de chaque indicateur.

L'approche par les limites planétaires est un concept qui permet de comparer les impacts environnementaux aux limites planétaires, qui est un cadre permettant d'estimer dans quelle mesure les activités humaines respectent ou dépassent un espace de fonctionnement soutenable et sûr pour l'humanité.

Les limites planétaires ne sont pas une méthode totalement intégrée dans les approches ACV, et certaines discussions au niveau scientifique sont toujours en cours. Néanmoins, le Joint Research Center a fourni des facteurs reliant les résultats de l'ACV et les limites planétaires³⁵. Ces facteurs sont utilisés dans ce chapitre et adaptés pour considérer le budget au niveau de l'UE-28 (ratio utilisant le nombre d'habitants).

Tableau 19 - Résultats des limites planétaires

	Frontières de l'UE-28 par indicateur	Pourcentage des frontières de l'UE-28 par indicateur
Utilisation des ressources, minéraux et métaux - kg éq. Sb	14 700 000	39,3%
Utilisation des ressources, fossiles - MJ	15 000 000 000 000	26,4%
Acidification - kg mol éq. H+	66 900 000 000	1,8%
Écotoxicité, eau douce - CTUe	8 770 000 000 000	35,2%
Toxicité humaine, cancer - CTUh	64 400	0,1%
Toxicité humaine, non cancéreuse - CTUh	274 000	0,6%
Eutrophisation, eau douce - kg éq. P	389 000 000	0,2%
Eutrophisation marine - kg éq. N	13 500 000 000	1,2%
Eutrophisation, terrestre - mol éq. N	410 000 000 000	0,4%
Changement climatique - kg éq. CO ₂	456 000 000 000	40,7%
Radiations ionisantes, santé humaine - kBq éq. U235	35 300 000 000 000	0,8%
Appauvrissement de la couche d'ozone - kg CFC-11 éé.	36 100 000	0,1%
Émission de particules - apparition de maladies	34 500	23,2%
Formation d'ozone photochimique, santé humaine - kg éq. COVNM	27 200 000 000	1,7%

Les résultats doivent être compris comme suit, par exemple : les impacts sur le changement climatique causés par les services numériques de l'UE-28 sont équivalents à 40,7% du budget de l'UE-28 des limites planétaires.

Les catégories d'impact présentant le pourcentage le plus élevé d'utilisation du budget des limites planétaires sont, dans l'ordre :

- Changement climatique
- Utilisation des ressources, minéraux et métaux,
- Écotoxicité, eau douce
- Utilisation des ressources, fossiles
- Émission de particules

À l'exception de l'importance plus grande de l'écotoxicité, les indicateurs pertinents sont proches de l'approche de normalisation et de pondération.

4.1.4 - Impact environnemental moyen pour un Européen

Ce chapitre vise à donner un aperçu des impacts environnementaux globaux pour un habitant de l'Europe.

La population totale de l'UE-28 a été définie en considérant une population de l'UE-28 de 513 500 000 personnes en 2019³⁶.

Les impacts pour un habitant de l'Europe sont donc les suivants :

Tableau 20 - Impact des services numériques par habitant de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)

Utilisation des ressources, minéraux et métaux - g éq. Sb	11,2
Utilisation des ressources, fossiles - MJ	7 710
Acidification - mol éq. H+	2
Écotoxicité, eau douce - CTUe	6 010
Changement climatique - kg éq. CO ₂	361
Radiations ionisantes, santé humaine - kBq éq. U235	541
Émission de particules - Apparition de maladies	0,00156%
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - kg éq. COVNM	0,91
Matières premières - kg	1 110
Production de déchets - kg	225
Consommation d'énergie primaire - MJ	8 230
Consommation d'énergie finale (utilisation) - MJ	1 980

.....

35 2019. Consumption and Consumer Footprint: methodology and results - Indicators and assessment of the environmental impact of European consumption. [en ligne] JRC. Disponible sur : <<https://op.europa.eu/fr/publication-detail/-/publication/fa4e68e9-1b69-11ea-8c1f-01aa75ed71a1>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

36 2019. Communiqué de presse d'Eurostat. (La population de l'UE en hausse à plus de 513 millions d'habitants au 1er janvier 2019) [en ligne] Disponible sur : <<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9967990/3-10072019-BP-FR.pdf/eb54774b-b431-4d02-b230-9de4aea40d17>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

Spécifiquement, le changement climatique représente 361 kg éq. CO₂

Afin de fournir un élément de comparaison avec des valeurs communes, certains impacts peuvent être exprimés en équivalents compréhensibles :

- Les impacts du changement climatique sont similaires à un aller-retour d'un passager d'avion entre Paris et Athènes.
- Utilisation des ressources, minéraux et métaux : 0,69 kg d'étain en termes de rareté, et 1 110 kg de matériaux déplacés, soit l'équivalent du poids de 18 êtres humains (62 kg en moyenne).
- Production de déchets : 225 kg de déchets dans le monde, soit l'équivalent du poids de 3,6 êtres humains (62 kg en moyenne).
- Consommation d'électricité : 1 radiateur (1 000 W) alimenté sans interruption pendant 23 jours.

4.1.4.1 - Répartition des impacts par domaines de services numériques

Ce chapitre vise à fournir un premier niveau de répartition de l'impact, le long des trois niveaux : terminaux utilisateurs, réseau et centres de données.

Tableau 21 - Distribution de l'impact le long des trois niveaux

	Niveau 1 Terminaux utilisateurs	Niveau 2 Réseau	Niveau 3 Centres de données
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	88,8 %	5,9 %	5,3 %
Utilisation des ressources, fossiles	62,0 %	14,1 %	23,9 %
Acidification	65,8 %	12,1 %	22,1 %
Écotoxicité, eau douce	69,4 %	10,1 %	20,5 %
Changement climatique	65,5 %	11,9 %	22,5 %
Radiations ionisantes, santé humaine	65,5 %	14,4 %	20,2 %
Émission de particules	64,0 %	13,0 %	22,9 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	67,3 %	11,4 %	21,3 %
Matières premières	66,7 %	12,2 %	21,2 %
Production de déchets	78,6 %	8,6 %	12,8 %
Consommation d'énergie primaire	58,2 %	15,6 %	26,2 %
Consommation d'énergie finale (utilisation)	53,8 %	17,9 %	28,2 %

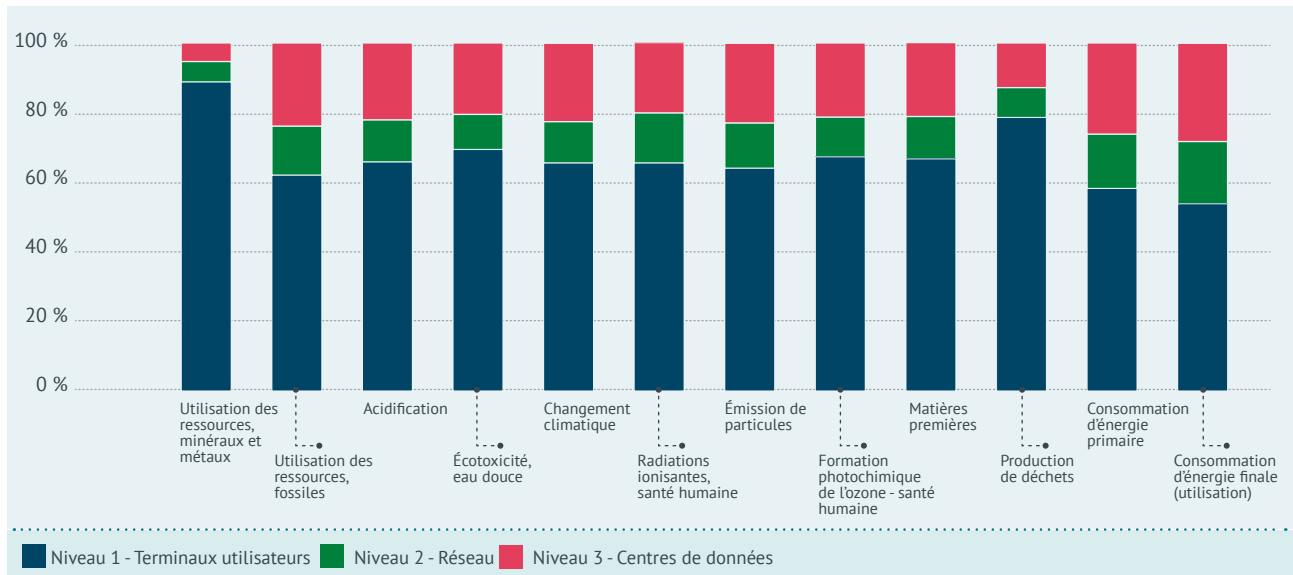
Il montre que les terminaux utilisateurs sont responsables de la plupart des impacts pour chaque indicateur (de 58 % à 89 %), suivis par les centres de données (de 5 % à 29 %) et le réseau (de 6 % à 18 %).

Les équipements de niveau 1 d'une part, et les équipements de niveau 2 et 3 d'autre part, ont des profils d'utilisation différents :

- Les équipements de niveau 1 ont une faible intensité d'utilisation, la plupart du temps les appareils sont en veille ou éteints. Cela conduit à un profil d'impact mettant davantage l'accent sur la phase de fabrication et les impacts qui y sont liés (utilisation des ressources, minéraux et métaux, production de déchets).
- Les équipements des « niveaux » 2 et 3 ont une utilisation plus intensive. La plupart d'entre eux sont utilisés en permanence, ou pendant une grande partie de leur durée de vie. Cela conduit à un profil d'impact qui met davantage l'accent sur la phase d'utilisation et les impacts qui y sont liés.

Dans l'ensemble, le niveau 1 contient le plus grand nombre d'équipements, et même s'ils ne sont pas autant utilisés que les équipements des niveaux 2 et 3, ils représentent la plupart des impacts. Cette situation est également accentuée par l'effort important réalisé par les fabricants et les opérateurs pour optimiser les réseaux et les centres de données d'un côté, par rapport à la multiplication des dispositifs du côté des consommateurs.

Figure 2 - Distribution des impacts le long des 3 niveaux



4.1.4.2 - Répartition par étape du cycle de vie

Ce chapitre vise à fournir un deuxième seuil de distribution de l'impact, sur les trois niveaux :

terminaux utilisateurs, réseau et centres de données, et des phases du cycle de vie (fabrication, transport, utilisation et fin de vie).

Tableau 22 - Distribution de l'impact le long des phases du cycle de vie

	Utilisation des ressources, minéraux et métaux	Utilisation des ressources, fossiles	Acidification	Écotoxicité, eau douce	Changement climatique	Radiations ionisantes, santé humaine	Émission de particules	Formation d'ozone photochimique - santé humaine	Matières premières	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (utilisation)
NIVEAU 1 - Fabrication	88,6%	23,2%	31,7%	30,7%	32,8%	33,5%	27,4%	34,0%	41,7%	69,0%	15,0%	0,0%
NIVEAU 1 - Transport	0,0%	0,6%	1,8%	0,0%	1,0%	0,0%	1,5%	3,8%	0,1%	0,1%	0,6%	0,0%
NIVEAU 1 - Utilisation	0,1%	37,6%	31,0%	24,8%	31,0%	32,0%	34,3%	28,6%	24,2%	9,5%	42,2%	53,8%
NIVEAU 1 - Fin de vie	0,1%	0,5%	1,3%	13,9%	0,8%	0,0%	0,9%	1,0%	0,7%	0,1%	0,5%	0,0%
NIVEAU 2 - Fabrication	5,9%	1,5%	1,6%	1,2%	1,5%	3,7%	1,5%	1,7%	4,1%	5,3%	1,5%	0,0%
NIVEAU 2 - Transport	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
NIVEAU 2 - Utilisation	0,0%	12,5%	10,3%	8,3%	10,3%	10,7%	11,4%	9,5%	8,1%	3,2%	14,1%	17,9%
NIVEAU 2 - Fin de vie	0,0%	0,0%	0,1%	0,6%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%
NIVEAU 3 - Fabrication	5,3%	4,0%	5,6%	6,3%	5,9%	3,4%	4,7%	5,7%	8,3%	7,8%	4,1%	0,0%
NIVEAU 3 - Transport	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,2%	0,0%	0,2%	0,5%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
NIVEAU 3 - Utilisation	0,0%	19,8%	16,3%	13,0%	16,4%	16,8%	18,0%	15,0%	12,7%	5,0%	22,1%	28,2%
NIVEAU 3 - Fin de vie	0,0%	0,0%	0,1%	1,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
TOTAL - Fabrication	99,8%	28,7%	38,9%	38,3%	40,1%	40,5%	33,5%	41,3%	54,1%	82,1%	20,5%	0,0%
TOTAL - Transport	0,0%	0,8%	2,0%	0,0%	1,2%	0,0%	1,8%	4,4%	0,2%	0,1%	0,7%	0,0%
TOTAL - Utilisation	0,1%	69,9%	57,6%	46,0%	57,8%	59,4%	63,7%	53,1%	44,9%	17,7%	78,4%	100,0%
TOTAL - Fin de vie	0,1%	0,6%	1,5%	15,7%	0,9%	0,1%	1,0%	1,1%	0,9%	0,2%	0,6%	0,0%

Les phases de fabrication et d'utilisation apparaissent comme étant être les plus pertinentes pour les trois niveaux. Les impacts de la fabrication représentent la majorité de l'utilisation des ressources, des minéraux et des métaux, et des impacts des matières premières. Ces deux impacts sont liés à l'extraction des matières premières, qui survient principalement pendant la phase de fabrication. La phase d'utilisation est celle qui a le plus d'impact sur les autres indicateurs environnementaux, car la consommation d'électricité des équipements numériques est importante, et le mix électrique de l'UE-28 est encore fortement basé sur les énergies fossiles (36 % de la production).

En ce qui concerne la fabrication, les impacts liés aux équipements sont importants pour deux raisons principales :

- Les équipements du numérique, et plus particulièrement les circuits intégrés, demandent une forte intensité énergétique lors de leur fabrication. Cette énergie est principalement produite dans les pays où le mix électrique est fortement basé sur les énergies fossiles (Asie). Elle entraîne des impacts élevés sur la plupart des indicateurs.
- Les équipements du numérique utilisent une grande quantité et variété de matériaux rares (or, argent, cuivre, terres rares, etc.). Ces matériaux nécessitent également d'importantes ressources et consommations d'énergie et génèrent beaucoup de déchets (principalement des déchets de minéraux extraits).

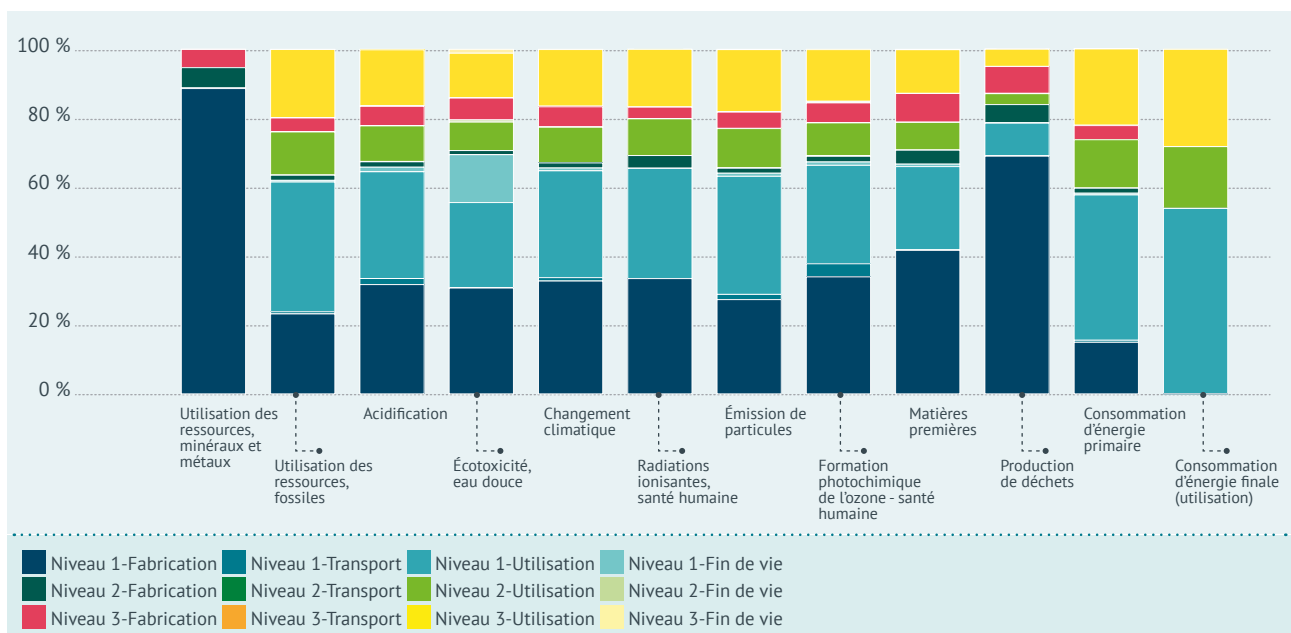
Cela explique les impacts élevés sur l'utilisation des ressources et la production de déchets.

Le transport et la fin de vie ont un impact moindre, mais non négligeable (de 0 % à 16 % tous niveaux confondus). L'impact le plus important provient de l'écotoxicité, liée aux processus de fin de vie, libérant des substances polluantes dans la nature.

On peut noter qu'en cas de transport par avion (smartphones, tablettes), les impacts du transport sont plus élevés.

On peut également noter que les impacts de la production de déchets semblent négligeables pour la fin de vie. Cela est dû au fait qu'une plus grande quantité de déchets est produite pendant la fabrication et l'utilisation (par exemple, un ordinateur de 3,7 kg génère 225 kg de déchets pendant la fabrication et 53 kg pendant l'utilisation) qu'en fin de vie (où une grande partie est recyclée). Cela s'explique également par l'hypothèse faite lors de la modélisation de la fin de vie, qui est, pour rappel, basée sur une conformité à 100 % avec la directive européenne DEEE par tous les États membres, ce qui signifie que la fin de vie modélisée dans cette étude considère tous les flux de déchets sortant par les voies réglementées ³⁷.

Figure 3 - Distribution de l'impact le long des phases du cycle de vie



37 Eur-lex.europa.eu. 2020. La législation européenne sur la gestion des déchets. [en ligne] Disponible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM.ev0010&from=FR> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

4.2 - Focus spécifique sur chaque domaine de service numérique

Les chapitres suivants visent à fournir des détails approfondis sur la cause des impacts liés aux services numériques en Europe. Chaque niveau : terminaux utilisateurs, réseau et centres de données, fait l'objet d'une analyse individuelle.

4.2.1 - NIVEAU 1 - Terminaux utilisateurs

4.2.1.1 - Analyse des contributions

Les terminaux utilisateurs représentent une grande variété d'appareils, avec des impacts environnementaux et des quantités différentes. Ce chapitre détaille les résultats pour montrer quels dispositifs sont responsables de la plupart des impacts.

Tableau 23 - Distribution détaillée de l'impact - Terminaux utilisateurs

	Utilisation des ressources, minéraux et métaux	Utilisation des ressources, fossiles	Acidification	Écotoxicité, eau douce	Changement climatique	Radiations ionisantes, santé humaine	Émission de particules	Formation d'ozone photo-chimique - santé humaine	Matières premières	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (utilisation)
Ordinateurs portables	14,3%	6,5%	8,5%	10,2%	8,7%	4,7%	7,6%	9,0%	3,5%	4,2%	3,7%	3,0%
Tablettes	4,0%	2,5%	3,3%	3,6%	3,4%	1,2%	2,9%	3,9%	3,5%	7,9%	2,5%	1,1%
Smartphones	9,7%	5,8%	8,3%	9,0%	9,0%	1,4%	7,1%	9,6%	1,3%	1,9%	1,2%	0,7%
Téléphones portables basiques	1,0%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,0%	0,2%	0,2%	0,3%	1,0%	0,1%	0,0%
Ordinateurs de bureau	10,0%	6,1%	6,3%	8,50%	6,1%	9,5%	6,1%	6,2%	9,7%	10,7%	6,4%	4,6%
Moniteurs	1,8%	1,2%	1,1%	1,0%	1,1%	1,3%	1,2%	1,1%	1,0%	1,0%	1,2%	1,3%
Téléviseurs	19,8%	13,2%	11,9%	10,3%	11,7%	13,3%	12,4%	11,8%	14,9%	21,5%	14,3%	14,3%
Projecteurs	0,2%	0,4%	0,3%	0,3%	0,3%	0,6%	0,4%	0,3%	0,3%	0,2%	0,4%	0,5%
Boîtier TV	7,3%	4,7%	4,6%	4,5%	4,5%	8,5%	4,7%	4,3%	6,6%	7,1%	5,1%	5,4%
Téléphones fixes	0,8%	1,6%	1,5%	1,3%	1,4%	1,7%	1,6%	1,4%	1,9%	1,4%	1,8%	2,0%
Consoles de jeux de salon	6,6%	2,1%	2,4%	2,8%	2,3%	5,7%	2,3%	2,3%	3,9%	5,4%	2,2%	1,8%
Consoles de jeux portables	0,5%	0,4%	0,5%	0,6%	0,6%	0,5%	0,4%	0,5%	0,6%	0,6%	0,4%	0,1%
Enceintes connectées	0,4%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,4%	0,4%	0,3%	0,3%
Disques durs externes HDD	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,0%	0,0%
Disques durs externes SSD	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%
Clés USB et Micro SD	0,3%	0,3%	0,5%	0,5%	0,6%	0,1%	0,4%	0,5%	0,6%	0,4%	0,3%	0,0%
Imprimantes	3,8%	4,5%	4,5%	5,5%	4,1%	4,0%	4,6%	4,7%	4,9%	4,4%	4,7%	4,1%
Autres écrans	4,7%	4,1%	3,6%	3,0%	3,6%	4,0%	3,9%	3,5%	4,1%	5,3%	4,5%	4,8%
Stations d'accueil	1,7%	0,1%	0,2%	0,4%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,7%	0,6%	0,1%	0,0%
IoT	1,6%	8,1%	7,5%	7,4%	7,4%	8,3%	7,9%	7,3%	8,2%	4,5%	8,9%	9,8%

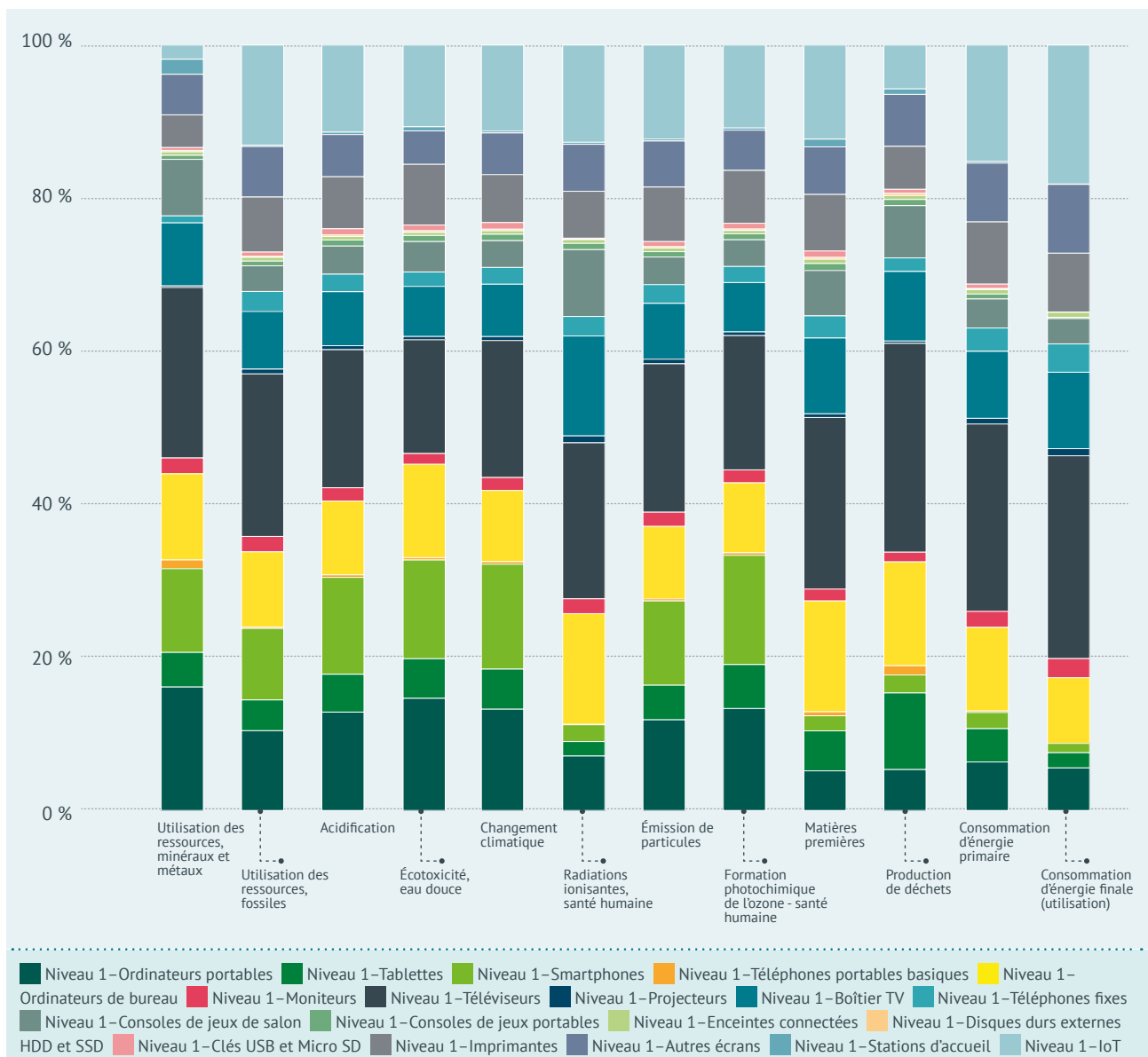
Tous les indicateurs montrent que, même s'il n'y a pas un seul ou quelques types d'équipements responsables de la plupart des impacts, il est possible de sélectionner une courte liste d'équipements causant le plus d'impacts :

- Téléviseurs
- Ordinateurs portables
- Tablettes
- Smartphones
- Ordinateurs de bureau
- Boîtiers TV
- Consoles de jeux
- Imprimantes
- Autres écrans
- IoT

D'autres dispositifs ont un impact moindre, soit en raison de leur petit nombre et/ou de leur faible impact individuel.

De façon générale, la multiplication des équipements au niveau des consommateurs, particuliers ou entreprises, est responsable d'une grande partie des impacts. Des actions telles que la mutualisation des équipements, l'allongement de leur durée de vie et la réduction de leur impact environnemental individuel constituent un levier important pour réduire les impacts.

Figure 4 - Distribution détaillée de l'impact - Terminaux utilisateurs



4.2.1.2 - Focus spécifique sur la fabrication, le transport et la fin de vie des terminaux utilisateurs

La fabrication, le transport et la fin de vie des équipements sont les impacts liés aux choix d'ac-

quisition et de mise au rebut de l'utilisateur (par opposition à la phase d'utilisation qui est liée au comportement de l'utilisateur pendant l'utilisation). Il est donc intéressant de les séparer.

Tableau 24 - Distribution détaillée de l'impact - Dispositifs de l'utilisateur final - Phases de fabrication, de transport et de fin de vie

	Utilisation des ressources, minéraux et métaux	Utilisation des ressources, fossiles	Acidification	Écotoxicité, eau douce	Changement climatique	Radiations ionisantes, santé humaine	Émission de particules	Formation d'ozone photo-chimique - santé humaine	Matières premières	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (utilisation)
Ordinateurs portables	16,1%	17,9%	19,3%	19,7%	20,1%	8,6%	19,1%	19,0%	5,0%	5,3%	8,4%	0,0%
Tablettes	4,5%	7,2%	7,6%	6,9%	8,2%	1,8%	7,4%	8,5%	7,1%	11,1%	10,5%	0,0%
Smartphones	10,9%	21,9%	22,8%	19,4%	24,9%	3,1%	22,3%	23,9%	2,4%	2,5%	4,5%	0,0%
Téléphones portables basiques	1,1%	0,5%	0,6%	0,5%	0,6%	0,1%	0,6%	0,6%	0,8%	1,4%	0,7%	0,0%
Ordinateurs de bureau	11,2%	11,7%	10,6%	14,2%	10,0%	20,1%	10,5%	9,6%	17,8%	14,2%	17,1%	0,0%
Moniteurs	2,1%	1,3%	1,1%	0,8%	1,0%	1,4%	1,1%	1,1%	1,0%	1,1%	1,0%	0,0%
Téléviseurs	22,3%	13,1%	10,5%	8,4%	10,2%	14,5%	11,2%	10,9%	20,1%	27,4%	19,2%	0,0%
Projecteurs	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,9%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,0%
Boîtier TV	8,2%	3,8%	4,4%	4,6%	4,0%	16,0%	4,2%	3,8%	9,9%	9,0%	5,5%	0,0%
Téléphones fixes	0,9%	0,9%	1,0%	0,9%	0,8%	1,4%	1,0%	0,9%	2,4%	1,5%	1,3%	0,0%
Consoles de jeux de salon	7,4%	3,4%	4,0%	4,3%	3,7%	13,9%	4,0%	3,6%	7,4%	7,3%	5,1%	0,0%
Consoles de jeux portables	0,5%	1,3%	1,3%	1,1%	1,4%	1,4%	1,3%	1,2%	1,3%	0,9%	1,9%	0,0%
Enceintes connectées	0,5%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,5%	0,5%	0,4%	0,0%
Disques durs externes HDD	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,3%	0,1%	0,0%
Disques durs externes SSD	0,0%	0,3%	0,3%	0,2%	0,3%	0,0%	0,3%	0,3%	0,2%	0,1%	0,4%	0,0%
Clés USB et Micro SD	0,4%	1,4%	1,5%	1,2%	1,6%	0,3%	1,4%	1,3%	1,3%	0,6%	2,0%	0,0%
Imprimantes	4,3%	6,4%	6,0%	8,0%	5,0%	4,6%	6,5%	6,3%	7,2%	5,3%	9,3%	0,0%
Autres écrans	5,3%	2,9%	2,4%	1,8%	2,2%	3,4%	2,6%	2,5%	4,6%	6,5%	4,2%	0,0%
Stations d'accueil	2,0%	0,4%	0,6%	0,8%	0,4%	0,5%	0,5%	0,5%	1,6%	0,8%	0,6%	0,0%
IoT	1,8%	5,2%	5,4%	6,5%	5,0%	7,5%	5,5%	5,4%	9,0%	4,0%	7,5%	0,0%

Les résultats sont similaires aux observations faites au chapitre 4.2.1.1., mais l'importance des téléviseurs est réduite par rapport aux autres catégories d'appareils. Cela est dû à la forte consommation d'énergie de la télévision par rapport à d'autres types d'appareils, ainsi qu'à l'importance des composants électroniques dans les équipements informatiques, principalement les processeurs, la mémoire vive et les disques SSD en raison de la couche de silicium.

Environ 70% des impacts sont causés par cinq types d'équipements :

- Ordinateurs portables
- Tablettes
- Smartphones
- Ordinateurs de bureau
- Téléviseurs

Un autre aspect est que les écrans LCD entraînent une consommation d'électricité plus élevée en phase

d'utilisation, de sorte que les dispositifs dotés d'un grand écran LCD (téléviseurs, moniteurs, autres écrans) ont un impact relatif plus faible lorsque la phase d'utilisation n'est pas incluse.

L'impact de la « Consommation d'énergie finale » (utilisation) est nul, car il ne concerne que la consommation d'électricité en phase d'utilisation.

4.2.1.3 - Focus spécifique sur la phase d'utilisation des terminaux utilisateurs

La phase d'utilisation ne comprend que la consommation d'électricité, car les mises à niveau et les réparations potentielles (par exemple, le remplacement de l'écran des smartphones, l'ajout de nouveaux composants ou le remplacement de composants de bureau, etc.) ne sont pas prises en compte.

La répartition de l'impact entre tous les indicateurs d'impact est donc la même.

Tableau 25 - Distribution détaillée de l'impact - Dispositifs d'utilisation finale - Phase d'utilisation

	Utilisation des ressources, minéraux et métaux	Utilisation des ressources, fossiles	Acidification	Écotoxicité, eau douce	Changement climatique	Radiations ionisantes, santé humaine	Émission de particules	Formation d'ozone photochimique - santé humaine	Matières premières	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (utilisation)	Consommation totale d'énergie par an (TWh)
Ordinateurs portables	5,6%	5,6%	5,6%	5,6%	5,6%	5,6%	5,6%	5,6%	5,6%	5,6%	5,6%	5,6%	8,46
Tablettes	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	3,03
Smartphones	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,85
Téléphones portables basiques	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,004
Ordinateurs de bureau	8,6%	8,6%	8,6%	8,6%	8,6%	8,6%	8,6%	8,6%	8,6%	8,6%	8,6%	8,6%	13,1
Moniteurs	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	3,81
Téléviseurs	26,5%	26,5%	26,5%	26,5%	26,5%	26,5%	26,5%	26,5%	26,5%	26,5%	26,5%	26,5%	40,4
Projecteurs	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	1,42
Boîtier TV	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	15,2
Téléphones fixes	3,7%	3,7%	3,7%	3,7%	3,7%	3,7%	3,7%	3,7%	3,7%	3,7%	3,7%	3,7%	5,65
Consoles de jeux de salon	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	5,03
Consoles de jeux portables	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,266
Enceintes connectées	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,982
Disques durs externes HDD	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0095
Disques durs externes SSD	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0007
Clés USB et Micro SD	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,021
Imprimantes	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	11,7
Autres écrans	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	9,0%	13,7
Stations d'accueil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0698
IoT	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	27,7

Les résultats sont une image directe de la consommation d'électricité pour chaque appareil. Cette consommation pour chaque catégorie est indiquée dans la dernière colonne, pour information.

Les téléviseurs sont la catégorie d'équipements qui consomme le plus d'énergie. Ils représentent un grand nombre d'unités ainsi qu'une consommation individuelle élevée.

La deuxième cause d'impact la plus importante est l'IoT. Bien que les objets connectés unitairement présentent des impacts plus faibles, ils constituent la catégorie avec le plus d'objets connectés unitairement, notamment en ce qui concerne les contrôles des bâtiments commerciaux (624 589 079 unités estimées) et les compteurs intelligents (223 067 528 unités estimées). En effet, les contrôles des bâtiments commerciaux et les compteurs intelligents représentent au total plus de 56 % des objets connectés et plus de 12,1 TWh sur les 27,7 TWh consommés par les objets connectés de l'IoT.

Pour ces deux catégories d'objets connectés de l'IoT (les contrôles de bâtiments commerciaux et les compteurs intelligents semblent être principalement alimentés en continu par le réseau électrique), l'hypothèse envisagée par l'AIE tient compte d'un mode veille qui ne dépense pas moins d'énergie qu'un mode actif. Cette configuration et les résultats associés s'écartent de la conception selon laquelle les objets connectés consommeraient majoritairement très peu d'électricité en mode veille pour préserver leur batterie. Bien que nous parlions ici d'une consommation de 1,5 à 2 W par appareil (selon l'hypothèse de l'AIE), le nombre déjà important d'unités de ces objets connectés pèse considérablement dans les impacts.

Il faut noter que les dispositifs portables (smartphones, tablettes, ordinateurs portables...) présentent une consommation électrique plus faible. La demande des clients pour une autonomie accrue incite directement les constructeurs à travailler sur la consommation d'électricité. On peut l'observer en comparant les versions portable et fixe d'un appareil, par exemple :

- Ordinateur portable (30,96 kWh/an) contre ordinateur de bureau (104,39 kWh/an)
- Console portable (5,15 kWh/an) contre console de salon (55,88 kWh/an)
- Téléphone à fonctions (0,09 kWh/an) contre téléphone fixe (17,57 kWh/an)

Remarque : valeurs uniquement à titre d'illustration, l'utilisation et les performances peuvent varier.

4.2.2 - NIVEAU 2 - Réseaux

4.2.2.1 - Analyse des contributions

Les réseaux peuvent être divisés en lignes fixes (xDSL, FTTx) et mobiles (2G, 3G, 4G, 5G). Bien que la séparation entre les deux réseaux ne soit pas complète, car certains équipements sont partagés³⁸, ce chapitre présente l'impact des deux types de réseaux séparément (voir le Tableau 26 ci-dessous).

Le réseau fixe a un impact environnemental plus important que le réseau mobile. Il nécessite une plus grande quantité d'équipements (principalement des routeurs domestiques, des câbles d'accès en cuivre et des fibres optiques) ainsi qu'une plus grande consommation d'énergie.

Néanmoins, il faut noter que la quantité de données transférées et les abonnés ne sont pas non plus les mêmes. Les impacts peuvent être rapportés à :

- La quantité de Go transférés pour chaque réseau :
 - 64 EO (Exabyte = 10⁹ Gigaoctet) pour le réseau mobile.
 - 518 EO pour le réseau fixe.

- Le nombre d'abonnés à chaque réseau :
 - 623 540 000 pour le réseau mobile.
 - 195 969 905 abonnés pour le réseau fixe.

Remarque

Ces chiffres ne constituent pas une échelle, ils représentent seulement une moyenne de tout ce qui se passe dans un réseau entier au fil du temps. **Ces chiffres ne peuvent en aucun cas être utilisés pour comprendre l'impact environnemental lié à un Go par exemple.** Les impacts sur le réseau ne sont pas nécessairement proportionnels au nombre d'abonnés ou de Go transférés. Les résultats présentés ci-dessous ne présentent qu'une répartition de ces impacts pour mieux appréhender l'ampleur de ceux causés par les réseaux.

Pour visualiser les résultats, voir le Tableau 27 (ci-dessous).

Tableau 26 - Distribution détaillée de l'impact - Réseau

	Utilisation des ressources, minéraux et métaux	Utilisation des ressources, fossiles	Acidification	Écotoxicité, eau douce	Changement climatique	Radiations ionisantes, santé humaine	Émission de particules	Formation d'ozone photochimique - santé humaine	Matières premières	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (utilisation)
Réseau fixe	84,1%	71,8%	72,2%	73,0%	72,2%	74,3%	71,9%	72,6%	75,1%	79,5%	71,6%	70,1%
Réseau mobile	15,9%	28,2%	27,8%	27,0%	27,8%	25,7%	28,1%	27,4%	24,9%	20,5%	28,4%	29,9%

Tableau 27 - Comparaison des impacts par Go et par abonné

		Utilisation des ressources, minéraux et métaux - éq. mg Sb	Utilisation des ressources, fossiles - MJ	Acidification - mol éq. H+	Écotoxicité, eau douce - CTUe	Changement climatique - kg éq. CO ₂	Radiations ionisantes, santé humaine - kBq éq. U235	Particules - fréquence des maladies/1 milliard d'habitants	Formation d'ozone photochimique - santé humaine - éq. mg COVNM	Matières premières - kg	Production de déchets - kg	Consommation d'énergie primaire - MJ	Consommation d'énergie finale (utilisation) - MJ
Par Go de données transférées	Réseau fixe	0,557	0,773	0,000202	0,439	0,0307	0,0572	1,45	74,5	0,101	0,0153	0,909	0,248
	Réseau mobile	0,851	2,460	0,000629	1,320	0,096	0,16	4,57	227	0,271	0,0318	2,910	0,853
Par abonné	Réseau fixe	1 470	2 040	0,533	1 160	81,20	151	3 820	197000	266	40,4	2 400	654
	Réseau mobile	87,3	252	0,0645	135	9,85	16,4	469	23 300	27,8	3,27	299	87,6

38 Les hypothèses de séparation sont présentées en [annexe Données utilisées dans le modèle ACV - Fabrication, transport et fin de vie](#)

4.2.2.2 - Focus spécifique sur le réseau mobile

Les impacts du réseau mobile sont répartis entre trois couches principales :

- Couche d'accès : relie les terminaux utilisateurs au réseau.
- Couche d'agrégation ou de distribution : relie la couche d'accès à la colonne vertébrale du réseau (*backbone*).
- *Backbone*, ou coeur de réseau : permet de transférer une grande quantité de données à grande vitesse sur de longues distances.

Dans cette analyse, seules les phases de fabrication, de transport et de fin de vie sont prises en compte. Les données collectées pour la consommation d'électricité en phase d'utilisation n'ont pas pu être différenciées entre l'accès, l'agrégation et le backbone.

Pour visualiser les résultats, voir le tableau 28 (ci-dessous).

La couche d'accès est responsable d'une majorité des impacts, en raison du nombre de stations de base et de l'impact individuel. Comme les antennes couvrent la majeure partie du territoire, le nombre de stations de base est important. L'agrégation et le backbone sont mutualisés, avec des dispositifs très performants.

4.2.2.3 - Focus spécifique sur le réseau fixe

Les impacts du réseau fixe peuvent être répartis sur trois couches principales :

- Couche d'accès : relie les terminaux utilisateurs au réseau.
- Couche d'agrégation ou de distribution : relie la couche d'accès à la colonne vertébrale du réseau (*backbone*).
- *Backbone*, ou coeur de réseau : permet de transférer une grande quantité de données à grande vitesse sur de longues distances.

Dans cette analyse, seules les phases de fabrication, de transport et de fin de vie sont prises en compte. Les données recueillies pour la consommation d'électricité en phase d'utilisation n'ont pas pu être différenciées entre l'accès, l'agrégation et le backbone.

Pour visualiser les résultats, voir le tableau 29 (ci-dessous).

La couche d'accès est responsable d'une majorité d'impacts, en raison du nombre de modems disponibles. Comme chaque abonné dispose d'un modem installé dans son bâtiment, cette fonction est importante. L'agrégation et le backbone sont mutualisés, avec des dispositifs très performants.

Tableau 28 - Distribution des impacts du réseau mobile - sans phase d'utilisation

	Utilisation des ressources, minéraux et métaux	Utilisation des ressources, fossiles	Acidification	Écotoxicité, eau douce	Changement climatique	Radiations ionisantes, santé humaine	Émission de particules	Formation d'ozone photochimique - santé humaine	Matières premières	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire
Accès	83,5 %	80,8 %	89,2 %	87,2 %	86,9 %	83,0 %	86,0 %	88,8 %	88,4 %	81,8 %	80,1 %
Agrégation	9,6 %	15,5 %	6,6 %	7,6 %	8,1 %	13,4 %	10,1 %	7,2 %	6,9 %	10,7 %	16,3 %
Backbone	6,9 %	3,6 %	4,2 %	5,2 %	4,9 %	3,6 %	3,8 %	4,0 %	4,7 %	7,5 %	3,6 %

Tableau 29 - Distribution des impacts du réseau fixe - sans phase d'utilisation

	Utilisation des ressources, minéraux et métaux	Utilisation des ressources, fossiles	Acidification	Écotoxicité, eau douce	Changement climatique	Radiations ionisantes, santé humaine	Émission de particules	Formation d'ozone photochimique - santé humaine	Matières premières	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire
Accès	76,3 %	65,8 %	81,1 %	81,3 %	78,8 %	73,5 %	74,5 %	81,3 %	83,2 %	74,9 %	65,0 %
Agrégation	13,2 %	28,7 %	11,9 %	10,9 %	13,6 %	21,4 %	19,3 %	12,4 %	9,6 %	14,3 %	29,7 %
Backbone	10,5 %	5,5 %	7,0 %	7,8 %	7,6 %	5,1 %	6,2 %	6,3 %	7,2 %	10,9 %	5,4 %

4.2.3 - NIVEAU 3 - Centres de données

4.2.3.1 - Analyse des contributions - Par type de centres de données

Les centres de données sont divisés en plusieurs types : le cloud, traditionnels et edge. Chaque type nécessite un nombre différent de centres de données présentant des caractéristiques spécifiques. Pour visualiser les résultats, voir le tableau 30 (ci-dessous).

Par ordre d'importance, les centres de données qui ont le plus d'impact sont les centres traditionnels, suivis par les centres de type cloud et les centres de données dit en edge.

Les centres de données traditionnels restent les plus courants dans l'UE-28, malgré la croissance des data centers cloud. Ils représentent la plus grande surface, le plus grand nombre de serveurs et la plus grande consommation d'énergie.

La demande en data centers de type cloud est en hausse, car les solutions basées sur le cloud sont de plus en plus utilisées par les entreprises et les particuliers. Néanmoins, ils sont généralement plus efficaces que les centres de données traditionnels (PUE plus faible).

Enfin, les centres de données de type edge ne représentaient qu'une frange de l'impact en 2019, mais le développement du réseau 5G devrait conduire à une augmentation de leur nombre.

4.2.3.2 - Analyse des contributions - Par type d'équipement et de consommation

Les centres de données sont constitués de différents types d'équipements :

- De calcul (computing) : serveurs fournissant la puissance de calcul
- Stockage : à la fois les disques SSD et HDD utilisés pour stocker les données.
- Réseau : commutateurs et routeurs utilisés pour diriger les données.
- Équipements de soutien architectural et technique.

Ils impliquent également des types de consommation d'énergie :

- Pour le calcul et le stockage
- Pour les équipements d'assistance technique
- Fuites de réfrigérant provenant des systèmes de refroidissement.

Tableau 30 - Distribution détaillée de l'impact - Centres de données par type

	Utilisation des ressources, minéraux et métaux	Utilisation des ressources, fossiles	Acidification	Écotoxicité, eau douce	Changement climatique	Radiations ionisantes, santé humaine	Émission de particules	Formation d'ozone photo-chimique - santé humaine	Matières premières	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (utilisation)
Cloud	38,3%	37,3%	37,3%	37,3%	37,3%	37,3%	37,3%	37,3%	37,4%	37,8%	37,3%	37,2%
Traditionnel	58,9%	59,9%	59,9%	59,9%	59,9%	59,9%	59,9%	59,9%	59,8%	59,4%	59,9%	60,0%
Edge	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%

Pour visualiser les résultats, voir le tableau 31 (ci-dessous).

En général, la consommation d'énergie représente la plus grande part des impacts sur la plupart des indicateurs.

Comme le PUE (*Power Usage Effectiveness*, c'est-à-dire un indicateur de mesure de l'efficacité énergétique) a diminué au fil des ans, grâce à des centres de données plus économes en énergie, les impacts liés à la consommation d'énergie pour les équipements d'assistance technique diminuent.

Ensuite, les équipements de calcul et de stockage sont responsables de la plupart des impacts en raison de leur grand nombre et de leur impact individuel. Les équipements de calcul nécessitent beaucoup d'énergie et de matériaux lors de leur fabrication.

En troisième position vient l'architecture et les équipements techniques qui supportent les équipements informatiques. Bien qu'ils représentent la grande majorité du volume d'un centre de données, ils ont un impact individuel bien moindre, car il s'agit d'un type d'équipement beaucoup plus simple. Leur durée de vie est également supérieure à celle des équipements informatiques.

En quatrième position, on trouve les équipements de réseau. Si le nombre d'appareils est important, les équipements de réseau ont un impact individuel moindre que les serveurs ou les équipements de stockage dans un centre de données.

Les autres éléments sont négligeables.

Tableau 31 - Distribution détaillée de l'impact pour les centres de données - type d'équipement et de consommation

	Utilisation des ressources, minéraux et métaux	Utilisation des ressources, fossiles	Acidification	Écotoxicité, eau douce	Changement climatique	Radiations ionisantes, santé humaine	Émission de particules	Formation d'ozone photochimique - santé humaine	Matières premières	Production de déchets	Consommation d'énergie primaire	Consommation d'énergie finale (utilisation)
Matériel informatique	67,0%	12,8%	20,0%	25,1%	20,8%	9,4%	15,8%	20,8%	24,8%	34,1%	11,4%	0,0%
Matériel de stockage	12,8%	2,1%	3,4%	3,8%	3,6%	0,5%	2,8%	3,5%	4,0%	7,5%	1,9%	0,0%
Équipement de réseau	2,8%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,2%	0,4%	1,0%	0,1%	0,0%
Architecture et équipement de support technique	16,7%	2,4%	3,0%	7,5%	2,5%	6,8%	2,8%	4,9%	10,9%	18,3%	2,1%	0,0%
Consommation d'énergie en matière de calcul, de stockage et de réseau	0,4%	47,7%	42,5%	36,7%	41,7%	48,1%	45,3%	40,8%	34,6%	22,6%	48,8%	57,8%
Consommation énergétique des équipements d'assistance technique	0,3%	34,8%	31,0%	26,8%	30,5%	35,1%	33,1%	29,8%	25,3%	16,5%	35,6%	42,2%
Fuites de réfrigérant	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

5. Analyses de sensibilité

5.1 - Global

5.1.1 - Analyse de sensibilité sur les équipements et réseaux exclus

Comme indiqué dans la section Exclusion, pour certaines exclusions (réseaux TV/radio, RTPC, réseaux d'entreprise, électronique grand public), une analyse de sensibilité est effectuée pour inclure leur consommation d'électricité.

Les consommations d'électricité associées sont les suivantes :

Tableau 32 - Analyse de sensibilité - Dispositifs et réseaux exclus - Données d'entrée

Exclusion	Consommation d'électricité (TWh)
TV satellite et terrestre	1,8 ⁱ
RTPC (réseau téléphonique commuté public)	6,5 ⁱⁱ
Réseaux d'entreprise	5 ⁱⁱ
Lecteurs de DVD	0,7 ⁱⁱⁱ
Tableau blanc interactif	0,25 ^{iv}
Les lecteurs MP3	0,05 ^v
Équipement audio domestique autonome	11,6 ^{vi}
Distributeur automatique de billets	0,17 ^{vii}
Caisses enregistreuses et terminaux de paiement	2,35 ^{vii}
Distributeurs de billets	0,04 ^{vii}
Points d'accès WLAN publics	4,79 ^{vii}
TIC liées au péage	0,03 ^{vii}
Caméras de sécurité	6,53 ^{vii}
Total	48,01

ⁱ 2020. Étude sur l'impact des TIC préparée par VHK et Viegand Maagøe pour la Commission européenne, Assistance à la Commission européenne - Étude sur l'impact des TIC - RAPPORT FINAL. [en ligne] Commission européenne - Énergie, p.VII. Disponible sur : <https://circabc.europa.eu/sd/a/8b7319ba-ce4f-49ea-a6e6-b28df00b20d1/ICT%20impact%20study%20final.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

ⁱⁱ Malmodin, J., & Lundén, D. 2018. *The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015*. Sustainability, 10(9), 3027. doi:10.3390/su10093027

ⁱⁱⁱ 2020. Étude sur l'impact des TIC préparée par VHK et Viegand Maagøe pour la Commission européenne, Assistance à la Commission européenne - Étude sur l'impact des TIC - RAPPORT FINAL. [en ligne] Commission européenne - Énergie, p.85. Disponible sur : <https://circabc.europa.eu/sd/a/8b7319ba-ce4f-49ea-a6e6-b28df00b20d1/ICT%20impact%20study%20final.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

^{iv} Ibid, p.95

^v Ibid, p.98

^{vi} Ibid, p.101

^{vii} Ibid, p.153

En outre, les impacts de la fabrication, du transport et de la fin de vie ont été extrapolés, en considérant l'impact moyen des trois phases, lié à la consommation de 1 TWh.

Remarque

Cette approche, tout en permettant une comptabilité plus complète, introduit un grand degré d'incertitude. En effet, les impacts de la fabrication, du transport et de l'utilisation de certains dispositifs ou réseaux ne se répercutent pas nécessairement sur d'autres dispositifs ou réseaux. Par exemple, les impacts de la fabrication de réseaux de satellites ont un profil différent de celui du numérique dans leur ensemble.

Le calcul des impacts de la fabrication, du transport et de la fin de vie pour 1 TWh est mesuré à partir des impacts totaux.

Pour visualiser les impacts globaux, voir le tableau 33 (ci-dessous).

Pour une consommation de 1 TWh, voir le tableau 34 (ci-dessous).

Pour visualiser les résultats, voir le tableau 35 (ci-dessous).

Tableau 33 - Impacts globaux des services numériques de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)

Utilisation des ressources, minéraux et métaux - tonnes éq. Sb	5 760
Utilisation des ressources, fossiles - PJ	3 960
Acidification - mol éq. H+ (en milliards)	1,19
Écotoxicité, eau douce - CTUe	3 090
Changement climatique - Mt éq. CO ₂	185
Radiations ionisantes, santé humaine - GBq éq. U235	278
Émission de particules - Apparition de maladies	8 000
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - tonnes éq. COVNM	464 000
Matières premières - Mt	571
Production de déchets - Mt	116
Consommation d'énergie primaire - PJ	4 230
Consommation d'énergie finale (utilisation) - PJ	1 020

Tableau 34 - Impacts totaux - ratio pour 1 Twh

Utilisation des ressources, minéraux et métaux - kg éq. Sb	20 300
Utilisation des ressources, fossiles - MJ	4 200 000 000
Acidification - mol éq. H+	1 790 000
Écotoxicité, eau douce - CTUe	5 890 000 000
Changement climatique - kg éq. CO ₂	276 000 000
Radiations ionisantes, santé humaine - kBq éq. U235	398 000 000
Émission de particules - Apparition de maladies	10
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - kg éq. COVNM	770 000
Matières premières - kg	1 110 000 000
Production de déchets - kg	336 000 000
Consommation d'énergie primaire - MJ	3 230 000 000
Consommation d'énergie finale (utilisation) - MJ	0,00

Tableau 35 - Analyse de sensibilité - Équipements et réseaux exclus - Résultats

	Cas de base	Impacts supplémentaires - Fabrication, transport, fin de vie	Impacts supplémentaires - Utilisation
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	100,0 %	16,9 %	0,0 %
Utilisation des ressources, fossiles	100,0 %	5,1 %	13,0 %
Acidification	100,0 %	7,2 %	10,6 %
Écotoxicité, eau douce	100,0 %	9,2 %	8,8 %
Changement climatique	100,0 %	7,2 %	11,9 %
Radiations ionisantes, santé humaine	100,0 %	6,9 %	0,1 %
Émission de particules	100,0 %	6,2 %	9,0 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	100,0 %	8,0 %	9,9 %
Matières premières	100,0 %	9,3 %	8,4 %
Production de déchets	100,0 %	13,9 %	3,7 %
Consommation d'énergie primaire	100,0 %	3,7 %	14,3 %
Consommation d'énergie finale (utilisation)	100,0 %	0,0 %	17,0 %

La prise en compte des dispositifs et du réseau exclus ajoute un total de 7% à 19% aux impacts. Les impacts exacts devront être évalués plus précisément, car certains dispositifs ou réseaux pourraient avoir un impact beaucoup plus ou moins important que prévu. Par exemple, le réseau de satellites présente des impacts associés à la fois à la conception et au lancement.

Spécifiquement, pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

Tableau 36 - Analyse de sensibilité - Équipements et réseaux exclus - Changement climatique

	Impacts du cas de base	Impacts supplémentaires - Fabrication, transport, fin de vie	Impacts supplémentaires - Utilisation
Changement climatique total pour l'UE-28 (kg éq. CO ₂)	185	13	22
Changement climatique pour un habitant de l'UE-28 (kg éq. CO ₂)	361	25,8	43

5.2 - Analyse de sensibilité concernant l'équipement

5.2.1 - Analyse de sensibilité sur le nombre d'équipements

Le nombre de chaque unité d'équipement varie en fonction des sources sélectionnées. Par exemple, le

nombre de smartphones varie de 452 745 000 à environ 500 000 000. Cette analyse de sensibilité présente une modification des résultats dans une fourchette, de la valeur la plus basse à la plus haute.

Les sources utilisées sont décrites dans l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV. Lorsqu'aucune autre source n'a été trouvée, un taux de +/- 20 % est appliqué par défaut.

Tableau 37 - Analyse de sensibilité - Nombre de dispositifs - Données d'entrée

Terminaux utilisateurs	Numéro de base	Nombre minimum	Nombre maximum	Commentaire
Ordinateurs portables	273 333 333	232 311 000	328 000 000	+ 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur maximale
Tablettes	156 091 954	135 863 000	187 310 345	+ 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur maximale
Smartphones	473 567 151	470 678 600	500 000 000	
Téléphones portables basiques	41 179 752	32 942 802	44 068 346	- 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
Ordinateurs de bureau	125 266 207	99 227 000	150 319 448	+ 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur maximale
Moniteurs	54 397 952	43 518 362	93 861 325	- 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
TV	225 514 952	180 411 962	493 700 000	- 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
Projecteurs	7 084 138	5 403 000	8 500 966	+ 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur maximale
Boîtiers TV	208 328 200	133 000 000	249 993 840	+ 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur maximale
Téléphones fixes	321 382 299	285 937 000	385 658 759	+ 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur maximale
Consoles de jeux de salon	90 010 347	72 008 278	108 012 416	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Consoles de jeux portables	51 730 218	41 384 174	62 076 262	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Enceintes connectées	42 691 700	28 700 000	51 230 040	+ 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur maximale
Disques durs externes HDD	32 515 000	26 012 000	39 018 000	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Disques durs externes SSD	7 031 100	5 624 880	8 437 320	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Clés USB	586 740 000	469 392 000	704 088 000	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Imprimantes	127 667 700	102 134 160	130 304 000	- 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
Autres écrans	32 616 349	26 093 079	50 506 275	- 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
Stations d'accueil	6 930 050	5 544 040	8 316 060	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
IoT	1 873 767 237	1 499 013 790	2 248 520 684	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut

Les résultats sont les suivants :

Tableau 38 - Analyse de sensibilité - Nombre d'équipements - Résultats

	Cas de base	Min.	Max.
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	100,0 %	89,3 %	112,8 %
Utilisation des ressources, fossiles	100,0 %	89,1 %	112,3 %
Acidification	100,0 %	89,2 %	112,2 %
Écotoxicité, eau douce	100,0 %	88,9 %	112,2 %
Changement climatique	100,0 %	89,4 %	112,1 %
Radiations ionisantes, santé humaine	100,0 %	87,9 %	112,5 %
Émission de particules	100,0 %	89,1 %	112,2 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	100,0 %	89,4 %	112,1 %
Matières premières	100,0 %	88,6 %	112,0 %
Production de déchets	100,0 %	89,1 %	112,1 %
Consommation d'énergie primaire	100,0 %	88,7 %	112,3 %
Consommation d'énergie finale (utilisation)	100,0 %	88,3 %	112,8 %

La modification du nombre de dispositifs change les résultats sur une plage allant de 88 % à 113 % au total. Le nombre de terminaux utilisateurs est un facteur clé de l'impact des services numériques dans l'UE-28.

Plus précisément, pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

Tableau 39 - Analyse de sensibilité - Nombre d'équipements - Changement climatique

	Impacts du cas de base	Min.	Max.
Changement climatique total pour l'UE-28 (kg éq. CO ₂)	185	166	208
Changement climatique pour un habitant de l'UE-28 (kg éq. CO ₂)	361	323	404

5.2.2 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie des équipements

La durée de vie de chaque équipement varie en fonction des sources sélectionnées. Par exemple, la durée de vie des ordinateurs portables varie de 4 à 5 ans. Cette

analyse de sensibilité présente la variation des valeurs de la fourchette la plus basse à la fourchette la plus haute.

Les sources utilisées sont décrites dans l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV. Lorsqu'aucune autre source n'a été trouvée, un taux de +/- 20 % a été appliqué par défaut.

Tableau 40 - Analyse de sensibilité - Durée de vie des équipements - Données d'entrée

Terminaux utilisateurs	Durée de vie de base (années)	Durée de vie minimale (années)	Durée de vie maximale (années)	Commentaire
Ordinateurs portables	4	3,2	5	- 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
Tablettes	3	2,4	4,6	- 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
Smartphones	2,5	2	3	+ 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur maximale
Téléphones portables basiques	2,5	2	3	+ 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur maximale
Ordinateurs de bureau	5,5	4,4	6	- 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
Moniteurs	6	4,8	7,2	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
TV	8	6	9,6	+ 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur maximale
Projecteurs	5	4	6	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Boîtiers TV	5	4	6	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Téléphones fixes	8	7	10	
Consoles de jeux de salon	6,5	5,2	7,8	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Consoles de jeux portables	6,5	5,2	7,8	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Enceintes connectées	5	4	6	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Disques durs externes HDD	5	4	6	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Disques durs externes SSD	5	4	6	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Clés USB	5	4	6	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
Imprimantes	5	4	6	- 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
Autres écrans	6	4,8	7	- 20 % a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
Stations d'accueil	5	4	6	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut
IoT	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Objets connectés IoT	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Objets connectés IoT	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Objets connectés IoT	Aucune autre source, un +/- 20 % a été appliqué par défaut

Les résultats sont les suivants :

Tableau 41 - Analyse de sensibilité - Durée de vie des équipements - Résultats

	Cas de base	Max.	Min.
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	100,0 %	123,7 %	84,9 %
Utilisation des ressources, fossiles	100,0 %	103,8 %	93,2 %
Acidification	100,0 %	106,9 %	91,7 %
Écotoxicité, eau douce	100,0 %	109,8 %	90,6 %
Changement climatique	100,0 %	106,8 %	91,7 %
Radiations ionisantes, santé humaine	100,0 %	106,6 %	92,6 %
Émission de particules	100,0 %	105,4 %	92,4 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	100,0 %	108,1 %	91,1 %
Matières premières	100,0 %	109,6 %	91,3 %
Production de déchets	100,0 %	118,1 %	87,2 %
Consommation d'énergie primaire	100,0 %	101,4 %	94,4 %
Consommation d'énergie finale (utilisation)	100,0 %	96,4 %	96,4 %

La modification de la durée de vie des équipements modifie les résultats sur une fourchette allant de 85 % à 124 % dans l'ensemble. La durée de vie des terminaux utilisateurs est un facteur clé de l'impact des services numériques dans l'UE-28. Plus la durée de vie d'un équipement est longue, plus les impacts sont répartis dans le temps et donc sont réduits.

Plus précisément, pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

Tableau 42 - Analyse de sensibilité - Durée de vie des équipements - Changement climatique

	Impacts du cas de base	Max.	Min.
Changement climatique total pour l'UE-28 (kg éq. CO ₂)	185	198	170
Changement climatique pour un habitant de l'UE-28 (kg éq. CO ₂)	361	385	331

5.2.3 - Analyse de sensibilité sur la consommation d'énergie des équipements

La consommation d'énergie de chaque équipement varie en fonction des sources sélectionnées. Par exemple, la consommation électrique des tablettes

varie de 10 kWh/an à 18,6 kWh/an. Cette analyse de sensibilité présente la variation des valeurs de la fourchette la plus basse à la fourchette la plus haute.

Les sources utilisées sont décrites dans l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV. Lorsqu'aucune autre source n'a été trouvée, un taux de +/- 20 % a été appliqué par défaut.

Tableau 43 - Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des équipements - Données d'entrée

	Consommation électrique de base (kWh/an)	Consommation électrique minimale (kWh/an)	Consommation électrique maximale (kWh/an)	Commentaire
Ordinateurs portables	30,96	24,768	56	- 20% a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
Tablettes	19,4	10	23,28	+ 20% a été appliqué par défaut pour la valeur maximale
Smartphones	3,9	3,12	4,68	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Téléphones portables basiques	0,09	0,624	1,5	- 20% a été appliqué par défaut pour la valeur minimale
Ordinateurs de bureau	104,39	83,512	125,268	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Moniteurs	70	56	84	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
TV	179	143,2	214,8	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Projecteurs	200	160	240	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Boîtiers TV	73	58,4	87,6	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Téléphones fixes	17,57	14,056	21,084	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Consoles de jeux de salon	55,88	44,704	67,056	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Consoles de jeux portables	5,15	4,12	6,18	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Enceintes connectées	23	18,4	27,6	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Disques durs externes HDD	0,29	0,232	0,348	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Disques durs externes SSD	0,1	0,08	0,12	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Clés USB	0,04	0,032	0,048	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Imprimantes	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Imprimantes	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Imprimantes	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Imprimantes	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Autres écrans	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Affichages électroniques	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Affichages électroniques	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Affichages électroniques	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
Stations d'accueil	1,28	1,024	1,536	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut
IoT	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Objets connectés IoT	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Objets connectés IoT	Dépend du dispositif, voir l'annexe Données utilisées dans le modèle ACV > Objets connectés IoT	Aucune autre source, un +/- 20% a été appliqué par défaut

Les résultats sont les suivants :

Tableau 44 - Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des équipements - Résultats

	Cas de base	Min.	Max.
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	100,0%	100,0%	100,0%
Utilisation des ressources, fossiles	100,0%	91,1%	109,9%
Acidification	100,0%	92,7%	108,2%
Écotoxicité, eau douce	100,0%	94,1%	106,5%
Changement climatique	100,0%	92,7%	108,2%
Radiations ionisantes, santé humaine	100,0%	92,4%	108,4%
Émission de particules	100,0%	91,9%	109,0%
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	100,0%	93,2%	107,5%
Matières premières	100,0%	94,3%	106,4%
Production de déchets	100,0%	97,8%	102,5%
Consommation d'énergie primaire	100,0%	90,0%	111,1%
Consommation d'énergie finale (utilisation)	100,0%	87,3%	114,2%

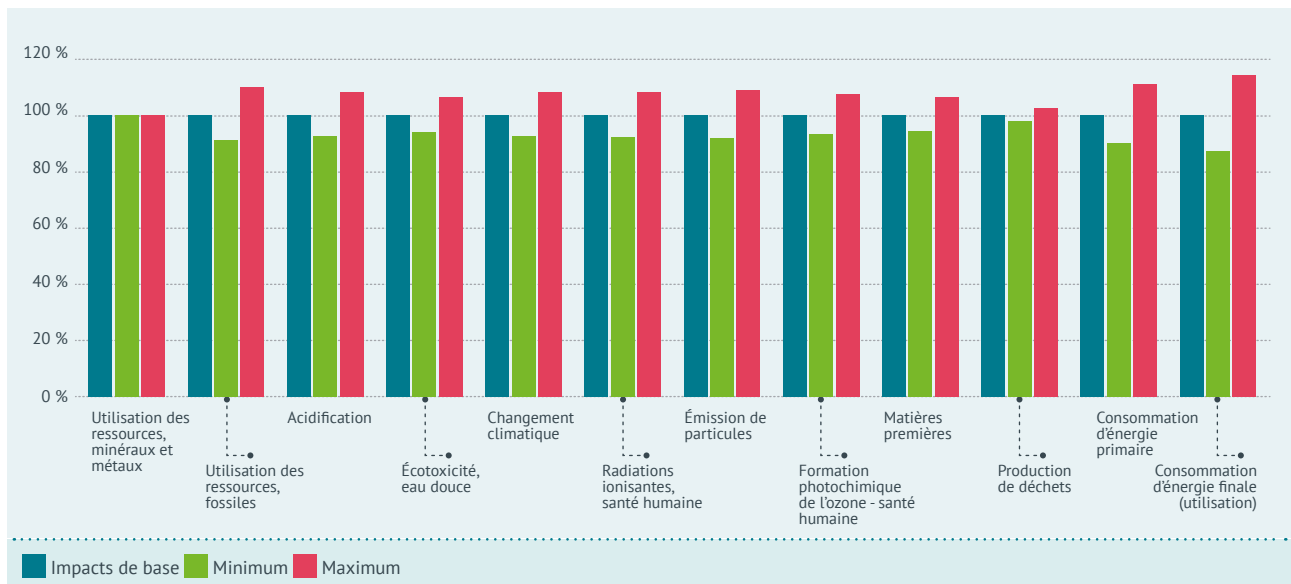
La modification de la consommation électrique des réseaux modifie les résultats sur une fourchette allant de 87% à 114% au total. La consommation d'électricité des terminaux utilisateurs est un facteur clé de l'impact des services numériques dans l'UE-28.

Plus précisément, pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

Tableau 45 - Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des équipements - Changement climatique

	Impacts du cas de base	Min.	Max.
Changement climatique total pour l'UE-28 (Mt éq. CO ₂)	185	172	200
Changement climatique pour un habitant de l'UE-28 (kg éq. CO ₂)	361	334	390

Figure 5 - Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des équipements



5.3 - Analyses de sensibilité concernant les réseaux

5.3.1 - Analyse de sensibilité sur la consommation électrique

La consommation électrique des réseaux est encore en discussion. Il y a trois valeurs dans ce rapport :

- Consommation d'électricité du réseau mobile : la valeur de base est de 15,17 TWh. Des valeurs de plus ou moins 20% ont été considérées comme une hypothèse, soit 12,14 TWh à 18,2 TWh.
- Consommation d'électricité du réseau fixe, du backbone et de l'agrégation : la valeur de base est de 17,7 TWh. Des valeurs de plus ou moins 20% ont été considérées comme une hypothèse, soit 14,16 TWh à 21,24 TWh.
- Consommation d'électricité des réseaux fixes et des modems des utilisateurs finaux : la valeur de base est de 17,92 TWh. La valeur minimale est basée sur l'étude d'impact des TIC³⁹ à 14,28 TWh, et la valeur maximale considère une augmentation de 20% comme hypothèse de base, ce qui signifie jusqu'à 21,5 TWh.

Les résultats sont les suivants :

Tableau 46 - Analyse de sensibilité - Consommation d'électricité des réseaux - Résultats

	Impacts de base	Min.	Max.
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	100.0 %	100.0 %	100.0 %
Utilisation des ressources, fossiles	100.0 %	97.5 %	102.5 %
Acidification	100.0 %	97.9 %	102.1 %
Écotoxicité, eau douce	100.0 %	98.3 %	101.7 %
Changement climatique	100.0 %	97.9 %	102.1 %
Radiations ionisantes, santé humaine	100.0 %	97.9 %	102.1 %
Émission de particules	100.0 %	97.7 %	102.3 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	100.0 %	98.1 %	101.9 %
Matières premières	100.0 %	98.4 %	101.6 %
Production de déchets	100.0 %	99.4 %	100.6 %
Consommation d'énergie primaire	100.0 %	97.2 %	102.8 %
Consommation d'énergie finale (utilisation)	100.0 %	96.4 %	103.6 %

La modification du nombre de dispositifs change les résultats sur une plage allant de 96% à 103% globalement. Elle montre que la consommation d'électricité des réseaux a un effet limité sur l'impact numérique de l'UE-28 dans son ensemble.

Plus précisément, pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

Tableau 47 - Analyse de sensibilité - Consommation d'électricité des réseaux - Changement climatique

	Impacts de base	Min.	Max.
Changement climatique total pour l'UE-28 (Mt éq. CO ₂)	185	181	189
Changement climatique pour un habitant de l'UE-28 (kg éq. CO ₂)	361	353	368

5.3.2 - Analyse de sensibilité sur l'extrapolation à l'UE-28

L'extrapolation d'un scénario français à un scénario UE-28 était basée sur deux paramètres (voir Annexe, Approche de modélisation, p.39 du document Annexes du rapport) :

- Nombre d'abonnés au réseau fixe
- Volume de données transférées

Cette extrapolation peut donner lieu à des discussions, et d'autres règles d'extrapolation pourraient être envisagées. Cette partie vise à tester d'autres règles d'extrapolation :

- PIB : Le PIB est un indicateur des biens et services produits dans un pays ou une région. Les activités numériques sont des biens et des services, par conséquent, le PIB pourrait être considéré comme une règle d'extrapolation. En 2019, le PIB de l'UE-28 était de 15 634 milliards de dollars⁴⁰, et la même année, le PIB français était de 2 716 milliards de dollars⁴¹.
- Nombre d'habitants : en définitive, les habitants de l'UE-28 sont les utilisateurs et les utilisateurs potentiels du réseau, qui est conçu pour répondre à leurs besoins. Il y avait au total 513 500 000 habitants

³⁹ 2020. Étude sur l'impact des TIC préparée par VHK et Viegand Maagøe pour la Commission européenne, Assistance à la Commission européenne - Étude sur l'impact des TIC - RAPPORT FINAL. [en ligne] Commission européenne - Énergie, p.VII. Disponible sur : <<https://circabc.europa.eu/sd/a/8b7319ba-ce4f-49ea-a6e6-b28df00b20d1/CT%20impact%20study%20final.pdf>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

⁴⁰ Data.worldbank.org. 2021. PIB (\$ US courants) - Union européenne | Données. [en ligne] Disponible sur : <<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.MKTP.CD?locations=EU>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

⁴¹ Data.worldbank.org. 2021. PIB (\$ US courants) - France | Données. [en ligne] Disponible sur : <<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.MKTP.CD?locations=FR>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

dans l'UE-28 en 2019⁴². En France, on comptait 66 978 000 habitants la même année.⁴³

► Indice relatif à l'économie et à la société numériques (DESI) : cet indicateur est développé par la Commission européenne⁴⁴. C'est un indice composite publié chaque année par la Commission européenne depuis 2014, qui mesure les progrès des pays de l'UE vers une économie et une société numériques. Les valeurs sont considérées en prenant uniquement les paramètres 1. Connectivité, et 3. Prise en compte de l'utilisation de l'Internet. Les résultats cumulés sont : 1,945 % pour l'UE-28 et 1,949 % pour la France. En raison de la différence insignifiante, cette règle d'extrapolation n'a pas été évaluée plus avant.

Les résultats sont les suivants :

Tableau 48 - Analyse de sensibilité - Extrapolation à l'UE-28 - Résultats

	Cas de base	Analyse de sensibilité - PIB	Analyse de sensibilité - Habitants
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	100,0 %	99,3 %	101,0 %
Utilisation des ressources, fossiles	100,0 %	99,9 %	100,1 %
Acidification	100,0 %	99,8 %	100,2 %
Écotoxicité, eau douce	100,0 %	99,8 %	100,3 %
Changement climatique	100,0 %	99,8 %	100,2 %
Radiations ionisantes, santé humaine	100,0 %	99,6 %	100,5 %
Émission de particules	100,0 %	99,8 %	100,2 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	100,0 %	99,8 %	100,2 %
Matières premières	100,0 %	99,5 %	100,6 %
Production de déchets	100,0 %	99,4 %	100,9 %
Consommation d'énergie primaire	100,0 %	99,9 %	100,1 %
Consommation d'énergie finale (utilisation)	100,0 %	100,0 %	100,0 %

En modifiant l'extrapolation en fonction des changements de règles de l'UE-28, on obtient une fourchette allant de 99 % à 101 % au niveau mondial. Pour les réseaux, le choix de l'extrapolation des règles a peu d'impact sur les services numériques au niveau global.

Plus précisément, pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

Tableau 49 - Analyse de sensibilité - Extrapolation à l'UE-28 - Changement climatique

	Impacts du cas de base	PIB	Habitants
Changement climatique total pour l'UE-28 (Mt éq. CO ₂)	185	185	186
Changement climatique pour un habitant de l'UE-28 (kg éq. CO ₂)	361	360	361

42 2019. Communiqué de presse d'Eurostat. *La population de l'UE en hausse à plus de 513 millions d'habitants au 1er janvier 2019*. [en ligne] Disponible sur : <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9967990/3-10072019-BP-FR.pdf/eb54774b-b431-4d02-b230-9de4aea40d17> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

43 Insee.fr. 2020. *Bilan démographique 2019 - Insee Première - 1789*. [en ligne] Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4281618> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

44 Commission européenne - Commission européenne. 2019. *Coin presse*. [en ligne] Disponible sur : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/MEMO_19_2933 [Dernier accès le 30 septembre 2021].

5.4 - Analyse de sensibilité concernant les centres de données

5.4.1 - Analyse des incertitudes sur la consommation d'énergie

La consommation totale d'énergie des centres de données est sujette à discussion, car différentes sources fournissent des valeurs différentes. Elle peut être la conséquence soit d'une approche différente, soit d'une différence de périmètre, entraînant d'éventuelles incertitudes (par exemple, l'inclusion des salles de serveurs).

Les valeurs minimales et maximales trouvées dans la littérature sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 50 - Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des centres de données - Données d'entrée

Cas	Cas de base	Minimum	Maximum
Sources	Borderstep (UE-28 en 2019) ⁱ	Étude d'impact des TIC (UE-27 en 2020) ⁱⁱ	Interpolée par JRC de 2015-2020 pour obtenir 2019 (UE-28) ⁱⁱⁱ
Consommation d'électricité des centres de données (TWh)	79,98	39,54	98

ⁱ Hintemann, R., Hinterholzer, S., Montevicchi, F., & Stickler, T. (2020). *Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market*. Institut Borderstep et Agence pour l'environnement de l'Autriche.

ⁱⁱ 2020. *Étude sur l'impact des TIC préparée par VHK et Viegand Maagøe pour la Commission européenne, Assistance à la Commission européenne - Étude sur l'impact des TIC - RAPPORT FINAL*. [en ligne] Commission européenne - Énergie, p.VII. Disponible sur : <https://circabc.europa.eu/sd/a/8b7319ba-ce4f-49ea-a6e6-b28df00b20d1/ICT%20impact%20study%20final.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

ⁱⁱⁱ Dodd, N., Alfieri, F., Maya-Drysdale, L., Viegand, J., Flucker, S., Tozer, R., Whitehead, B., Wu, A., Brocklehurst F., *Development of the EU Green Public Procurement (GPP) Criteria for Data Centres Server Rooms and Cloud Services, Final Technical Report*, EUR 30251 EN, Office des publications de l'Union européenne

Les résultats sont les suivants :

Tableau 51 - Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des centres de données - Résultats

	Cas de base	Min.	Max.
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	100.0 %	100.0 %	100.0 %
Utilisation des ressources, fossiles	100.0 %	90.0 %	116.0 %
Acidification	100.0 %	91.8 %	112.9 %
Écotoxicité, eau douce	100.0 %	93.4 %	110.2 %
Changement climatique	100.0 %	91.8 %	113.0 %
Radiations ionisantes, santé humaine	100.0 %	91.5 %	113.4 %
Émission de particules	100.0 %	90.9 %	114.5 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	100.0 %	92.4 %	111.9 %
Matières premières	100.0 %	93.6 %	109.9 %
Production de déchets	100.0 %	97.5 %	103.7 %
Consommation d'énergie primaire	100.0 %	88.8 %	118.2 %
Consommation d'énergie finale (utilisation)	100.0 %	85.7 %	124.1 %

La modification du nombre de dispositifs change les résultats sur une plage allant de 86 % à 124 % au total. La réduction de la consommation d'électricité entraîne une réduction directe et significative des impacts. La consommation d'électricité des centres de données pourrait être surveillée à l'échelle de l'UE-28 afin d'avoir une vision plus précise.

Plus précisément, pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

Tableau 52 - Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des centres de données - Changement climatique

	Impacts du cas de base	Min.	Max.
Changement climatique total pour l'UE-28 (Mt éq. CO ₂)	185	170	192
Changement climatique pour un habitant de l'UE-28 (kg éq. CO ₂)	361	331	374

5.5 - Analyse de sensibilité cumulées

Cette partie regroupera toutes les analyses de sensibilité afin de donner une vue d'ensemble des impacts. Il permettra de considérer les impacts environnementaux minimaux et maximaux avec une plus grande précision.

Les résultats sont les suivants :

Tableau 53 - Analyse de sensibilité - Analyse de sensibilité cumulée - Résultats

	Cas de base	Min.	Max.
Utilisation des ressources, minéraux et métaux	100,0%	76,0%	156,7%
Utilisation des ressources, fossiles	100,0%	69,8%	156,1%
Acidification	100,0%	71,0%	155,4%
Écotoxicité, eau douce	100,0%	71,9%	155,4%
Changement climatique	100,0%	71,1%	156,6%
Radiations ionisantes, santé humaine	100,0%	70,3%	145,2%
Émission de particules	100,0%	70,3%	153,1%
Formation d'ozone photochimique - santé humaine	100,0%	71,5%	155,3%
Matières premières	100,0%	72,5%	154,4%
Production de déchets	100,0%	74,5%	155,6%
Consommation d'énergie primaire	100,0%	68,9%	156,0%
Consommation d'énergie finale (utilisation)	100,0%	66,2%	156,3%

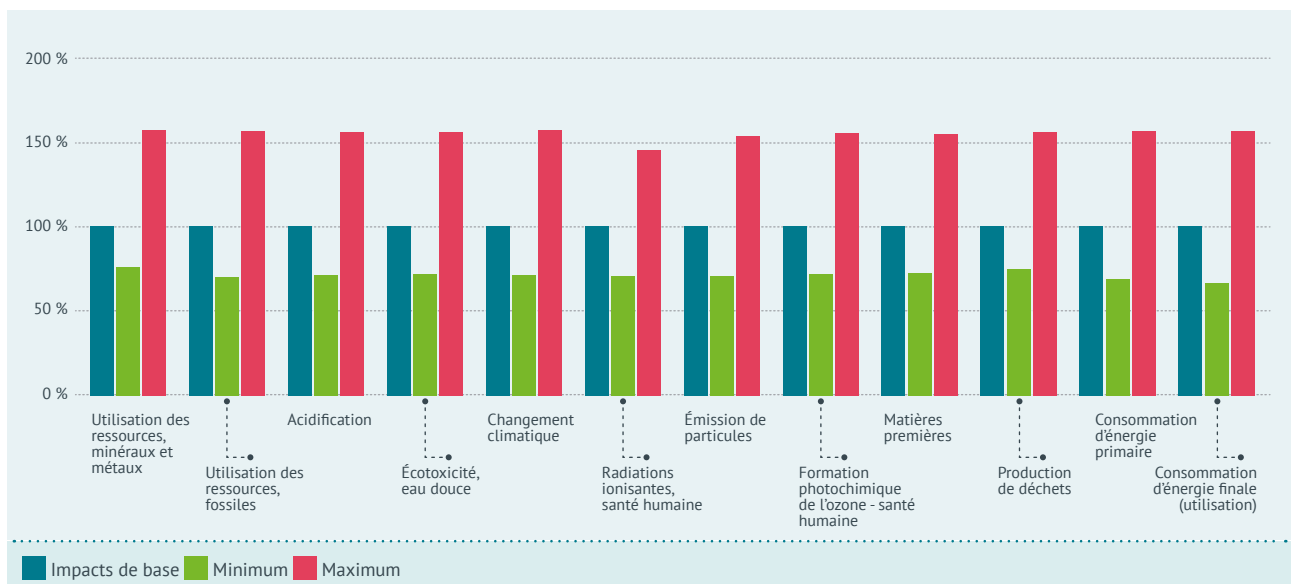
L'analyse de sensibilité cumulée modifie les résultats sur une fourchette allant de 66 % à 157 % au total. Il montre l'étendue des impacts possibles des services numériques, dans le cadre prévu pour cette étude.

Plus précisément, pour le changement climatique, les impacts totaux sont les suivants :

Tableau 54 - Analyse de sensibilité - Analyse de sensibilité cumulée - Changement climatique

	Impacts du cas de base	Min.	Max.
Changement climatique total pour l'UE-28 (Mt éq. CO ₂)	185	132	290
Changement climatique pour un habitant de l'UE-28 (kg éq. CO ₂)	361	257	565

Figure 6 - Analyse de sensibilité - Analyse de sensibilité cumulée



6. Conclusions

L'objectif de cette étude était d'évaluer les impacts environnementaux du numérique à l'échelle de l'Union européenne pour porter ces connaissances à l'attention des décideurs politiques et du public.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude était de fournir aux Verts / ALE, aux citoyens européens, ainsi qu'aux principales parties prenantes :

1. Des données claires et actualisées sur l'impact environnemental du numérique à l'échelle de l'Europe
2. Une méthodologie et un calcul solides, objectifs et scientifiques des impacts environnementaux du numérique, reposant sur une analyse du cycle de vie.
3. Des recommandations politiques pour un développement numérique compatible avec le Green Deal européen.

Pour répondre au mieux à cette demande, notre étude propose une analyse multicritère du cycle de vie, respectant autant que possible les normes ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006, et avec une normalisation pour permettre une comparaison avec les limites planétaires.

Principaux résultats de l'analyse multicritère du cycle de vie

En ce qui concerne le premier point, les résultats globaux des impacts environnementaux d'une année de services numériques en Europe, UE-28, sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 55 - Impacts globaux des services numériques de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)

Utilisation des ressources, minéraux et métaux - tonnes éq. Sb	5 760
Utilisation des ressources, fossiles- PJ	3 960
Acidification - mol éq. H+ (en milliards)	1,19
Écotoxicité, eau douce - CTUe	3 090
Changement climatique - Mt éq. CO ₂	185
Radiations ionisantes, santé humaine - GBq éq. U235	278
Émission de particules - Apparition de maladies	8 000
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - tonnes éq. COVNM	464 000
Matières premières - Mt	571
Production de déchets - Mt	116
Consommation d'énergie primaire - PJ	4 230
Consommation d'énergie finale (utilisation) - PJ	1 020

Spécifiquement, l'impact sur le changement climatique équivaut à 185 Mt éq. CO₂.

C'est l'équivalent de :

- 111 t d'or en termes de rareté pour l'utilisation des ressources, de minéraux et de métaux, et 571 Mt de matériaux déplacés, soit l'équivalent du poids de 9,20 milliards d'êtres humains (en moyenne 62 kg). Cela signifie que chaque année, les matières déplacées liées aux services numériques de l'UE-28 équivalent à peu près au poids de tous les êtres humains.
- Les impacts sur le changement climatique sont comparables à 370 000 allers-retours d'un avion équivalent à 500 passagers entre Paris et New-York, soit environ 63 ans de liaison réelle (16 avions par jour).
- La production de déchets équivaut au poids de 1,87 milliard d'êtres humains (soit 62 kg en moyenne).
- La consommation d'électricité est égale à 32 344 000 radiateurs (1 000 W) alimentés sans interruption pendant un an.

En outre, à l'échelle de l'UE-28 :

- La consommation totale d'électricité pour les services numériques en Europe est de 283 TWh sur un total de 3 054⁴⁵ TWh, ce qui signifie que la consommation d'électricité pour les services numériques pendant la phase d'utilisation représente 9,3 % de la consommation européenne d'électricité.
- Les émissions totales de GES pour les services numériques en Europe sont de 185 Mt éq. CO₂ sur un total de 4 378 Mt éq. CO₂⁴⁶, ce qui signifie que les émissions de GES des services numériques représentent 4,2 % des émissions européennes de GES.

.....

45 IEA. 2021. *Données et statistiques - AIE*. [en ligne] Disponible sur : <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=EU28&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=TotElecCons> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

46 EEA. 2021. *Data viewer on greenhouse gas emissions and removals, sent by countries to UNFCCC and the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (EU Member States)*. (Visualiseur de données sur les émissions et les absorptions de gaz à effet de serre, envoyées par les pays à la CCNUCC et au mécanisme de surveillance des gaz à effet de serre de l'UE (États membres de l'UE).) [en ligne] Disponible sur : <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

Remarque

Les comparaisons à l'échelle de l'UE-28 visent à fournir une échelle des impacts connexes et ne doivent pas être comprises comme des résultats absolus. Les périmètres sont différents : certaines émissions liées aux services numériques dans l'UE-28 se produisent en dehors de l'UE-28 et sont prises en compte dans le champ de l'étude (fabrication des dispositifs), tandis que les émissions totales prises en compte pour l'UE par l'AIE sont uniquement des émissions se produisant à l'intérieur des frontières de l'UE.

Pour en savoir plus sur les émissions importées : <https://www.idhsustainabletrade.com/news/hidden-CO2-emissions-europes-imported-responsibility/>

Les impacts rapportés à un habitant européen sont :

Tableau 56 - Impact des services numériques par habitant de l'UE-28 (indicateurs environnementaux et indicateurs de flux)

Utilisation des ressources, minéraux et métaux - g éq. Sb	11,2
Utilisation des ressources, fossiles - MJ	7 710
Acidification - mol éq. H+	2
Écotoxicité, eau douce - CTUe	6 010
Changement climatique - kg éq. CO ₂	361
Radiations ionisantes, santé humaine - kBq éq. U235	541
Émission de particules - Apparition de maladies	0,00156 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - kg éq. COVNM	0,91
Matières premières - kg	1 110
Production de déchets - kg	225
Consommation d'énergie primaire - MJ	8 230
Consommation d'énergie finale (utilisation) - MJ	1 980

Le changement climatique, en particulier, équivaut à 361 kg de CO₂ pour un habitant de l'UE-28.

C'est l'équivalent de :

- En termes d'impact sur le changement climatique : similaire à un aller-retour d'un passager d'avion entre Paris et Athènes.
- Utilisation des ressources, minéraux et métaux : 0,69 kg d'étain en termes de rareté, et 1 110 kg de matériaux déplacés, soit l'équivalent du poids de 18 êtres humains (62 kg en moyenne).
- Production de déchets : 225 kg de déchets dans le monde, soit l'équivalent du poids de 3,6 êtres humains (62 kg en moyenne).

- Consommation d'électricité : 1 radiateur (1 000 W) alimenté sans interruption pendant 23 jours.

Les résultats de cette étude montrent l'importance d'utiliser une approche multicritère pour étudier les impacts environnementaux dans le cas des technologies du numérique. En effet, on observe que si les impacts sur le changement climatique sont importants (éq. 185 MtCO₂), d'autres indicateurs présentent également des taux très élevés, notamment l'utilisation des ressources (minéraux, métaux et fossiles). D'autant plus qu'ils restent prépondérants après normalisation et pondération des impacts, ils doivent donc être pris en compte en priorité dans toutes les stratégies de réduction des impacts environnementaux, et ce, afin d'éviter les transferts d'impacts, qui ne peuvent être négligés dans une recherche de durabilité environnementale.

Le tableau ci-dessous détaille les résultats normalisés et pondérés :

Tableau 57 - Résultats pondérés

Utilisation des ressources, minéraux et métaux - kg éq. Sb	22,9 %
Utilisation des ressources, fossiles - MJ	17,0 %
Acidification - mol éq. H+	4,5 %
Écotoxicité, eau douce - CTUe	4,7 %
Changement climatique - kg éq. CO ₂	16,2 %
Radiations ionisantes, santé humaine - kBq éq. U235	11,1 %
Émission de particules - Apparition de maladies	4,0 %
Formation d'ozone photochimique - santé humaine - kg éq. COVNM	1,8 %
Matières premières - kg	Pas de facteurs de pondération
Production de déchets - kg	
Consommation d'énergie primaire - MJ	
Consommation d'énergie finale (utilisation) - MJ	

Limites de l'étude

Fournir une évaluation environnementale exhaustive et précise des services numériques dans l'Union européenne au niveau institutionnel est un exercice complexe qui se heurte à certaines limites. Elles sont dues à :

- une évolution constante du développement et de l'utilisation des technologies aux niveaux individuel et industriel, ainsi que des terminaux, des réseaux et des centres de données (par exemple, changement des technologies d'écran, développement de nouveaux

types de réseaux tous les 5 à 7 ans, développement de nouvelles technologies et utilisation : IoT, *cloud computing*, *edge computing*...)

- un accès limité à des données de qualité,
- un manque de transparence dans le périmètre des données communiquées. Les services numériques sont une partie récente de l'économie actuelle et la prise de conscience des questions environnementales liées à la technologie numérique est à la fois récente et non soumise à des exigences de rapport,
- des divergences dans les sources de données (institutionnelles et industrielles) qui génèrent des incertitudes non qualifiables.

Par conséquent, ces chapitres visent à identifier et à qualifier les limitations afin de les reconnaître et d'anticiper les futures mises à jour potentielles. En effet, cette étude est un premier pas pour contribuer à enrichir nos connaissances lorsqu'il s'agit de qualifier les impacts environnementaux des services numériques. Elle vise également à proposer des recommandations pour mieux gérer l'empreinte des services numériques européens.

Limites associées au périmètre de l'étude

Services numériques en dehors de l'Union européenne

L'étude prend en compte les dispositifs installés sur le sol de l'UE-28 : terminaux utilisateurs, réseaux et centres de données.

En ce qui concerne les réseaux et les centres de données, elle ne tient pas compte des équipements étrangers utilisés pour les services numériques au sein de l'UE-28, mais prend en compte tous les équipements à l'intérieur des frontières, même pour les services numériques utilisés en dehors de l'UE-28. Nous avons considéré que l'équilibre entre les équipements installés à l'étranger et à l'intérieur était juste.

Pour aller plus loin, un travail de recherche complémentaire devrait être mené.

Prise en compte de la maintenance, de la mise à niveau et du réusinage

Pendant la phase d'utilisation, certains équipements nécessitent une maintenance (changement de pièces, nettoyage, etc.), et d'autres peuvent être mis à niveau (par exemple les ordinateurs de bureau). Les impacts des activités de pièces détachées et de maintenance n'ont pas été intégrés.

En outre, dans cette étude, nous avons considéré un modèle d'économie linéaire (produire, utiliser, jeter) qui est prédominant dans le secteur du numérique. En effet, les activités de remanufacturation et de réparation au niveau du secteur du numérique ne sont pas largement déployées actuellement. Par conséquent, ce phénomène a été considéré comme une partie négligeable de l'industrie.

Cependant, l'augmentation de la durée de vie des dispositifs ainsi que le développement des activités de maintenance constituent une priorité stratégique pour réduire l'impact global du numérique. En conséquence, ces activités devraient être réintégrées dans le cadre d'une étude future.

Énergie verte, obligations vertes, autoconsommation, compensation carbone, neutralité carbone

Le mix électrique appliqué est le mix électrique moyen de l'UE-28 fourni par l'AIE dans son dernier rapport (2018). La même combinaison électrique a été appliquée sans distinction à tous les équipements de chaque niveau du numérique (terminaux utilisateurs, réseau, centres de données). Certaines entreprises revendiquent une réduction de leurs impacts grâce à l'utilisation de mécanismes de production d'électricité verte ou de mécanismes financiers. Si certains n'ont pas été pris en compte en raison de l'approche méthodologique (comme les obligations vertes et les compensations de carbone), d'autres ne l'ont pas été par manque de données, comme l'autoconsommation.

La neutralité carbone n'est pas une approche valable en dehors du niveau international (selon l'ADEME⁴⁷ et l'UNEP⁴⁸) et n'a donc pas été prise en compte.

.....

47 ADEME, 2021. AVIS de l'ADEME - La neutralité carbone. [en ligne] Disponible sur : <<https://bibliothèque.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/4524-avis-de-l-ademe-la-neutralite-carbone.html>> <<https://bibliothèque.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/4524-avis-de-l-ademe-la-neutralite-carbone.html>> [Dernier accès le 1^{er} octobre 2021].

48 2021. Les compensations carbone ne nous sauveront pas. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.unep.org/fr/actualites-et-recits/recit/les-compensations-carbone-ne-nous-sauveront-pas>> [Dernier accès le 1^{er} octobre 2021].

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

Accessibilité et évaluation de la qualité des données

La qualité d'une étude ACV dépend fortement de la qualité des données d'entrée. Une proportion plus élevée de données primaires garantit une meilleure qualité des résultats et une réduction de l'incertitude des résultats. Compte tenu de l'ampleur du périmètre d'étude et de la durée de l'étude, il n'a pas été possible d'organiser une collecte de données sur place ni de systématiser le questionnement de l'ensemble des acteurs de la filière numérique.

Par conséquent, la présente étude est basée sur une compilation des données actuelles disponibles, évaluées par des experts qualifiés, ou basées sur des données fournies par les parties prenantes européennes, lorsque cela est possible. Afin de limiter et de gérer les disparités dans les données, les principes suivants ont été appliqués en relation avec 5 paramètres (voir la section Exigences en matière de qualité des données) :

- **Représentativité technologique** : représentative des technologies entre 2015 et 2020.
- **Représentativité géographique** : données spécifiques correspondant aux équipements liés aux services numériques situés dans l'Union européenne (28 États membres) pendant leur utilisation, étant donné que certaines des phases de leur cycle de vie, comme la fabrication, peuvent se dérouler à l'étranger (approche fondée sur le marché). Si les données sont manquantes, des hypothèses sont justifiées autant que possible.
- **Représentativité dans le temps** : données de 2019-2020. Si les données datent de plus de 5 ans (avant 2015), celles-ci ont été mises à jour avec des hypothèses et justifiées autant que 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.
- **Incertaineté des paramètres** : pour la plupart des données, une seule source était disponible, ce qui donne un degré élevé d'incertitude. Dans la mesure du possible, les données ont été recoupées avec des sources supplémentaires.
- **Pertinence et cohérence méthodologiques** : méthodologie utilisée : ISO 14040-44. Application uniforme

de la méthodologie de collecte des données pour tous les éléments étudiés.

Cette limitation s'applique à l'inventaire des dispositifs, à l'estimation de leur durée de vie et à leur consommation d'énergie.

Afin d'accroître la qualité des données d'une telle étude à l'avenir, il convient d'envisager d'organiser le suivi de l'industrie numérique et de fédérer les acteurs du secteur : fabricants, distributeurs, fournisseurs d'accès à Internet et fournisseurs de services pourraient tous participer à l'organisation de la remontée d'informations précises. Ces informations peuvent être utilisées pour mieux suivre le déploiement de la technologie numérique en Europe.

Manque de données collectées

Des équipements et réseaux ont été identifiés comme faisant partie du périmètre du numérique mais n'ont pas été intégrés dans le périmètre de l'étude, faute de données accessibles. C'est le cas de la télévision par satellite et terrestre, du RTPC (réseau téléphonique public commuté), des lecteurs DVD, des tableaux blancs interactifs, des lecteurs MP3, des équipements audio domestiques autonomes, des distributeurs automatiques de billets, des caisses enregistreuses et des terminaux de paiement, des points d'accès WLAN publics, des TIC liées au péage et des caméras de sécurité.

Compte tenu de l'impact élevé des terminaux utilisateurs (niveau 1) dans les résultats de notre étude par rapport aux deux autres niveaux (réseau et centres de données), nous pouvons supposer que l'impact de ces dispositifs n'est pas négligeable, comme indiqué dans l'analyse de sensibilité.

Certains équipements ont certainement été sous-estimés, comme le réseau de satellites, puisque la conception et le lancement des satellites et des fusées génèrent des impacts importants.

Tous ces éléments conduisent potentiellement à une sous-estimation des résultats. L'intégration de ces technologies et équipements devrait être prévue dans les études futures.

Durée de vie estimée, consommation d'énergie

La durée de vie et la consommation d'énergie dépendent fortement de l'application du service final, du comportement de l'utilisateur final et de la politique de numérisation du pays ou du secteur considéré.

Par conséquent, de grandes variations peuvent être observées. La présente étude vise à pré-

senter une vision globale des impacts environnementaux du numérique. Ainsi, une approche moyenne a été envisagée dans les scénarios d'utilisation considérés.

Différencier les typologies d'usages aurait pu permettre des résultats plus précis, mais ce n'était pas l'objectif de cette étude.

Limites associées aux indicateurs

Les bases de données du cycle de vie de l'utilisation des sols et de l'eau sont deux indicateurs intéressants pour les impacts des TIC, mais les bases de données du cycle de vie ne sont pas encore suffisamment matures pour évaluer les impacts avec un degré de certitude suffisant. En effet, les résultats actuels sont souvent liés à des erreurs de qualification des flux élémentaires plutôt qu'à des impacts environnementaux établis.

Il est donc important de continuer à suivre et à stimuler le développement de ces indicateurs, bien qu'à ce jour, aucune conclusion n'a pu être établie concernant ces indicateurs. ■

Annexes

A-Bibliographie

- GIEC, 2021 : Résumé pour les décideurs politiques. Dans le rapport : *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu et B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. Dans la presse.
- Accord de Paris, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1 (PDF). Secrétariat de la CCNUCC. Archivé (PDF) à partir de l'original le 12 décembre 2015.
- IEA. 2021. *Données et statistiques - AIE*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=EU-28&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=TotElecCons>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- EEA. 2021. *Data viewer on greenhouse gas emissions and removals, sent by countries to UNFCCC and the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (EU Member States)*. (Visualiseur de données sur les émissions et les absorptions de gaz à effet de serre, envoyées par les pays à la CCNUCC et au mécanisme de surveillance des gaz à effet de serre de l'UE (États membres de l'UE).) [en ligne] Disponible sur : <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- 2019. *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers And Environmental Consequences*. [PDF] OCDE. Disponible sur : <<https://www.oecd.org/environment/waste/highlights-global-material-resources-outlook-to-2060.pdf>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- ISO. 2006. *ISO 14040:2006 - Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.iso.org/standard/37456.html>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- ISO. 2006. *ISO 14044:2006 - Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.iso.org/standard/37456.html>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- 2014. Environmental Engineering (EE); *Methodology for environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Information and Communication Technology (ICT) goods, networks and services*. [en ligne] ETSI. Disponible sur : <https://www.etsi.org/deliver/etsi_es/203100_203199/203199/01.03.00_50/es_203199v010300m.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- 2017. PEFCR Guidance document, - *Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs)*, version 6.3. [en ligne] Commission européenne. Disponible sur : <https://ec.europa.eu/environment/eusssd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- n.d. À propos de la base de données LCI des DEEE d'Ecosystem. [en ligne] Ecosystem. Disponible sur : <<https://www.ecosystem.eco/upload/media/default/00/01/02/91508a37f34b3a821e4cddf070c4f7483625421c.pdf>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- Eplca.jrc.ec.europa.eu. 2019. *Plate-forme européenne sur l'analyse du cycle de vie - Empreinte environnementale Développeur (EF)*. [en ligne] Disponible sur : <<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- NegaOctet <https://negaoctet.org/>
- LCIE Département CODDE Bureau Veritas <https://codde.fr/en/our-services/software-tools>
- 2012. *Étude Sur La Durée De Vie Des Équipements Électriques Et Électroniques - Rapport Final*. [en ligne] ADEME. Disponible sur : <<https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/3516-etude-sur-la-duree-de-vie-des-equipements-electriques-et-electroniques.html>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- Urbanmineplatform.eu. 2015. *Jaco Huisman, Pascal Leroy, François Tertre, Maria Ljunggren Söderman, Perrine Chancerel, Daniel Cassard, Amund N. Løvik, Patrick Wäger, Duncan Kushnir, Vera Susanne Rotter, Paul Mähltitz, Lucía Herrerias, Johanna Emmerich, Anders Hallberg, Hina Habib,*

Michelle Wagner, Sarah Downes. *Prospecting Secondary Raw Materials in the Urban Mine and mining wastes (ProSUM) - Final Report*, ISBN: 978-92-808-9060-0 (imprimé), 978-92-808-9061-7 (électronique), 21 décembre 2017, Bruxelles, Belgique. [en ligne] Disponible sur : <<http://www.urbanmineplatform.eu/homepage>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Centre commun de recherche <https://ec.europa.eu/jrc/en>

► 2018. *Development of a weighting approach for the Environmental Footprint*. [en ligne] JRC. Disponible sur : <https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/documents/2018_JRC_Weighting_EF.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► 2019. *Consumption and Consumer Footprint: methodology and results - Indicators and assessment of the environmental impact of European consumption*. [en ligne] JRC. Disponible sur : <<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fa4e68e9-1b69-11ea-8c1f-01aa75ed71a1/language-en>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► 2019. Communiqué de presse d'Eurostat. *La population de l'UE en hausse à plus de 513 millions d'habitants au 1er janvier 2019* [en ligne] Disponible sur : <<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9967985/3-10072019-BP-EN.pdf/e152399b-cb9e-4a42-a155-c5de-6dfe25d1>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Eur-lex.europa.eu. 2020. La législation européenne sur la gestion des déchets. [en ligne] Disponible sur : <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:ev0010&from=FR>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► 2020. *Étude sur l'impact des TIC préparée par VHK et Viegand Maagøe pour la Commission européenne, Assistance à la Commission européenne - Étude sur l'impact des TIC - RAPPORT FINAL*. [en ligne] Commission européenne - Énergie. Disponible sur : <<https://circabc.europa.eu/sd/a/8b7319ba-ce4f-49ea-a6e6-b28df00b20d1/ICT%20impact%20study%20final.pdf>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Malmodin, J., & Lundén, D. 2018. The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015. *Sustainability*, 10(9), 3027. doi:10.3390/su10093027

► Data.worldbank.org. 2021. PIB (\$ US courants) - Union européenne | Données. [en ligne] Disponible sur : <<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.MKTP.CD?locations=EU>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Data.worldbank.org. 2021. PIB (\$ US courants) - France | Données. [en ligne] Disponible sur : <<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.MKTP.CD?locations=FR>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Insee.fr. 2020. *Bilan démographique 2019 - Insee Première - 1789*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.insee.fr/fr/statistiques/4281618>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Commission européenne - Commission européenne. 2019. *Coin presse*. [en ligne] Disponible sur : <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_19_2933> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Hintemann, R., Hinterholzer, S., Montevecchi, F., & Stickler, T. (2020). *Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market*. Institut Borderstep et Agence pour l'environnement de l'Autriche.

► Dodd, N., Alfieri, F., Maya-Drysdale, L., Viegand, J., Flucker, S., Tozer, R., Whitehead, B., Wu, A., Brocklehurst F., *Development of the EU Green Public Procurement (GPP) Criteria for Data Centres Server Rooms and Cloud Services, Final Technical Report*, EUR 30251 EN, Publications Office of the European Union

► EcoTransIT World. 2021. *Calculateur d'émissions - EcoTransIT World* [en ligne] Disponible sur : <<https://www.ecotransit.org/fr/calculateur-demissions/>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Lenovo.com. 2021. *Conformité réglementaire | Éco-déclarations | Lenovo France*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.lenovo.com/fr/fr/compliance/eco-declaration/>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Nationalreview.com. 2021. *TSMC: The World's Most Important Company* | National Review. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.nationalreview.com/2021/04/tsmc-the-worlds-most-important-company/>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Commission européenne. 2020. *Indice relatif à l'économie et à la société numériques (DESI) 2020*. [en ligne] Commission européenne. ► Disponible sur : <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=67086> [Accessed 30 September 2021].

► Eurostat. 2021. *Évolution de la population - Bilan démographique et taux bruts au niveau national* [en ligne] Disponible sur : <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=demo_gind&lang=fr> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

- Gsmarena.com. n.d. *Battery life tests - GSMArena.com*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.gsmarena.com/battery-test.php3>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- Globalwebindex.com. 2020. *Consumer Trends in Digital Device Usage - GlobalWebIndex*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.globalwebindex.com/reports/device>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- Club Green IT. 2021. *GreenIT.fr Benchmark 2021 (professionals)*. [en ligne] Disponible sur : <<https://club.greenit.fr/benchmark2021.html>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- CREDOC. 2021. *Baromètre du numérique 2021*. [en ligne] CREDOC. Disponible sur : <<https://www.credoc.fr/publications/barometre-du-numerique-edition-2021>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- GSMA, 2020. *The Mobile Economy 2020*. [en ligne] Disponible sur : <https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_Global.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- IDC, 2020. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46865120>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- Singhal, P., 2005. *Integrated Product Policy Pilot Project Stage I Final Report: Life Cycle Environmental Issues of Mobile Phones*. [en ligne] Disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/239545987_Integrated_Product_Policy_Pilot_Project_Stage_I_Final_Report_Life_Cycle_Environmental_Issues_of_Mobile_Phones> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- Dr Lutz Stobbe, Marina Proske, Hannes Zedel (Fraunhofer IZM) ; Dr Ralph Hintemann, Dr Jens Clausen, Dr Severin Beucker (Borderstep), 2015. *Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland*. [en ligne] Disponible sur : <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=3> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- Maagøe, V., 2018. *Internal modelling files that supports the computer regulation*.
- Statista. 2021. *Key Market Indicators - Tablet reach in CEE region 2021 | Statista*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.statista.com/statistics/1134069/tablet-reach-in-cee-region/>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- AdWorld.ie. 2016. *Ireland ranks 5th in Europe for tablet ownership - AdWorld.ie*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.adworld.ie/2016/04/08/ireland-ranks-5th-europe-tablet-ownership/>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- Ons.gov.uk. 2021. *Dataset - Internet users | Office for National Statistics*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.ons.gov.uk/businessindustryandtrade/itandinternetindustry/datasets/internetusers>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- Internetworldstats.com. 2021. *European Union Internet Usage and Population Stats | Internet World Stats*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.internetworldstats.com/europa.htm>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- Maagøe, V. et VITO, 2018. *Preparatory study on the Review of Regulation 617/2013 (Lot 3) Computers and Computer Servers, Task 7 report Policy measures and scenario analyses, Final Version*. [en ligne] Disponible sur : <<https://computerregulationreview.eu/sites/computerregulationreview.eu/files/Preparatory%20study%20on%20review%20computer%20regulation%20-%20Task%207%20VM%2019072018.pdf>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- GlobalWebIndex, 2020. *GlobalWebIndex's flagship report on device ownership and usage*. [en ligne] p.10. Disponible sur : <<http://globalwebindex.com>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- Recherche Nester, 2020. *Global Docking Station Market 2018–2020*.
- AEA with Intertek, 2010. *Lot 3 – Sound and imaging equipment, Ecodesign preparatory study for EC DG Grow*.
- Commission européenne, 2019. *Règlement (UE) 2019/2021 de la Commission du 1er octobre 2019 établissant des exigences d'écoconception applicables aux affichages électroniques conformément à la directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil, modifiant le règlement (CE) n° 1275/2008 de la Commission et abrogeant le règlement (CE) n° 642/2009 de la Commission (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)*. [en ligne] Disponible sur : <<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/648e809d-1729-11ea-8c1f-01aa75ed71a1/language-en/format-HTML/source-118558953>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].
- IDC, 2021. *PC monitor unit shipments by quarter 2021 | IDC*. [en ligne] Statista. Disponible sur : <<https://www.statista.com/statistics/352891/global-pc-moni>>

[tor-shipments-by-quarter/](#) [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• TrendForce, WitsView et Statista, 2020. Global TV market share by type 2020 | TrendForce; WitsView; Statista. [en ligne] Statista. Disponible sur : <<https://www.statista.com/statistics/818389/world-tv-market-share-by-type/>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• ADEME, Lhotellier, J., Lees, E., Bossanne, E. et Pesnel, S., 2018. *Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipements – Rapport*. [en ligne] ADEME. Disponible sur : <<https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/1189-modelisation-et-evaluation-des-impacts-environnementaux-de-produits-de-consommation-et-biens-d-equipement.html>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• International Video Federation, 2020. *Video market: Total Europe key data 2019*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.ivf-video.org/market-information>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• Eurostat. 2021. Lits d'hôpital en soins curatifs | *data.europa.eu*. [en ligne] Disponible sur : <<https://data.europa.eu/data/datasets/vswul3c6ykoyahrvirvew?locale=fr>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• Eurostat. 2021. *Nombre d'établissements, chambres et places-lits* | Eurostat. [en ligne] Disponible sur : <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tour_cap_nat/default/table?lang=fr> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• VAU.NET. 2021. *Fernsehnutzung in Europa auch 2019 auf hohem Niveau* | VAU.NET. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.vau.net/tv-nutzung/content/fernsehnutzung-europa-2019-hohem-niveau>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• Eurostat. 2021. *Nombre de ménages privés par composition du ménage, nombre d'enfants et âge du plus jeune enfant* | Eurostat. [en ligne] Disponible sur : <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/lfst_hhnhtych/default/table?lang=fr> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• Efficientgaming.eu. 2021. *EFFICIENT GAMING*. [en ligne] Disponible sur : <<http://www.efficientgaming.eu/>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• VGChartz. 2021. *Yearly Hardware Comparisons - Europe* - VGChartz. [en ligne] Disponible sur : <https://www.vgchartz.com/tools/hw_date.php?reg=Europe&ending=Yearly> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• buildcomputers.net. n.d. *SSD vs HDD - Is a Solid State Drive or Hard Disk Drive Better?*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.buildcomputers.net/ssd-vs-hdd.html>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• GFU et Future source, 2019. *Global smart speaker unit sales by region 2019* | GFU; Futuresource;. [en ligne] Statista. Disponible sur : <<https://www.statista.com/statistics/1006189/worldwide-smart-speaker-unit-sales-by-region/>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• Canalys, 2021. *Smart speaker shipments worldwide by vendor 2020* | Canalys; Statista estimates. [en ligne] Statista. Disponible sur : <<https://www.statista.com/statistics/796349/worldwide-smart-speaker-shipment-by-vendor/>> [Dernier accès le 30 septembre 2021]

• Canalys, 2021. *Smart Speaker Analysis*. [en ligne] Canalys. Disponible sur : <<https://www.canalys.com/analysis/smart+speaker+analysis>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• Citoyenneté, 2020. *Empreinte carbone du numérique en France*. [en ligne] Sénat. Disponible sur : <http://www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/commission/Developpement_durable/MI_empreinte_environnementale/r19-555-annexe.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• IoT Analytics. 2021. *Our Coverage*. [en ligne] Disponible sur : <<https://iot-analytics.com/our-coverage/>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• IEA, 2019. *Total Energy Model for Connected Devices*. IEA 4E EDNA. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/publications/2019/06/A2b_-_EDNA_TEM_Report_V1.0.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• Data Brigde Market Research, 2020. *Global Industrial IoT Market - Industry Trends and Forecast to 2027*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-industrial-iot-market>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• CBI.eu. 2021. *The European market potential for (Industrial) Internet of Things* | CBI. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.cbi.eu/market-information/outsourcing-itobpo/industrial-internet-things/market-potential/>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

• Données Banque mondiale, 2021. *PIB (\$ US courants) - European Union, Turkey, Russian Federation, World* [en ligne] Data.worldbank.org. Disponible sur : <<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.MKTP>>

[CD?end=2020&locations=EU-TR-RU-1W&start=2017>](#) [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Eurostat. 2021. *Internet des objets - utilisation*. [en ligne] Disponible sur : <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ISOC_IHOT_USE_custom_766794/default/table?lang=en> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Pirson, T. et Bol, D., 2021. *Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach*. [en ligne] Disponible sur : <<https://www.semanticscholar.org/paper/Assessing-the-embodied-carbon-footprint-of-iot-edge-Pirson-Bol/49ac45f5d59ac2047548fd168eff62393dfdd2ed>> [Accessed 30 September 2021].

► Eurostat. 2021. *Ménages - niveau d'accès à l'Internet* | Eurostat. [en ligne] Disponible sur : <https://ec.europa.eu/eurostat/product?code=isoc_ci_in_h&mode=view&language=EN> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► CENELEC, 2019. *EN 50600-1:2019 - Information technology - Data centre facilities and infrastructures - Part 1: General concepts*. CLC/TC 215 - Electrotechnical aspects of telecommunication equipment. [en ligne] Disponible sur : <<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/clc/a5141043-2dcd-4dbf-acc6-576a94a2cddc/en-50600-1-2019>> [Dernier accès le 1er octobre 2021].

► Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., et J.G. Koomey (2020) « Recalibrating global data centre energy use estimates. » *Science*, vol 367, ISS 6481.

► Hintemann, R., Hinterholzer, S., Montevecchi, F., & Stickler, T. (2020). *Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market*. Institut Borderstep et Agence pour l'environnement de l'Autriche. Disponible sur : <<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/energy-efficient-cloud-computing-technologies-and-policies-eco-friendly-cloud-market>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Cisco, 2018. *Cisco Global Cloud Index : Forecast and Methodology, 2016-2021*. Livre blanc. [en ligne] Disponible sur : <https://virtualization.network/Resources/Whitepapers/Ob75cf2e-0c53-4891-918e-b542a5d364c5_white-paper-c11-738085.pdf> [Dernier accès le 1er octobre 2021].

► Règlement de la Commission Union européenne, 2019. *Règlement (UE) 2019/424 de la Commission du 15 mars 2019 établissant des exigences d'écoconception applicables aux serveurs et aux produits de stockage de*

données conformément à la directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil et modifiant le règlement (UE) n° 617/2013 de la Commission. [en ligne] Disponible sur : <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0424>> [Dernier accès le 1er octobre 2021].

► RMON Networks. 2018. *What's the Difference between a Switch, a Router, and a Firewall?*. [en ligne] Disponible sur : <<https://rmonnetworks.com/whats-the-difference-between-a-switch-a-router-and-a-firewall/>> [Dernier accès le 1er octobre 2021].

► Malmodin, J. et Lundén, D., 2018. *The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015*. *Sustainability*, [online] 10(9), p.3027. Disponible sur : <<https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3027/htm>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► GreenIT.fr, 2020. *The environmental footprint of the digital world*. [en ligne] Disponible sur : <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/11/GREENIT_EENM_etude_EN_accessible.pdf> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► Belkhir, L. et Elmelligi, A., 2018. *Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations*. *Journal of Cleaner Production*, [online] 177, pp.448-463. Disponible sur : <<https://www.semanticscholar.org/paper/Assessing-ICT-global-emissions-footprint%3A-Trends-to-Belkhir-Elmelligi/c85484e0074fd774e1e1b026a16d4ed92a2bc23b>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

► GreenIT.fr, 2020. *Impacts environnementaux du numérique en France*. [en ligne] GreenIT.fr. Disponible sur : <<https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2020/06/2020-06-iNum-etude-impacts-numerique-France-rapport.pdf>> [Dernier accès le 30 septembre 2021].

B-Glossaire

Acidification

Bien que l'acidification des océans soit également causée par d'autres ajouts et retraits chimiques, le CO₂ est le principal facteur affectant le pH. Une fois que le CO₂ est dissous dans l'eau de mer, il devient un acide faible qui affecte principalement la chimie des carbonates. Le CO₂ dissous augmente la concentration d'ions bicarbonate (HCO₃⁻), de carbone inorganique dissous (CT) et abaisse le pH. L'eau douce absorbe également le CO₂ atmosphérique, ce qui peut aussi faire baisser le pH. Outre le CO₂, les valeurs de pH des réservoirs d'eau douce sont modifiées par les pluies acides, le ruissellement des nutriments et d'autres polluants anthropiques. L'eau douce absorbe le CO₂ selon le même mécanisme que l'eau de mer. Toutefois, l'alcalinité de l'eau douce est beaucoup plus faible que celle de l'eau de mer, en raison de l'absence d'un tampon de sel. En raison de l'absence de tampon salé, les changements de pH dans l'eau douce ont tendance à être beaucoup plus importants que dans l'eau de mer, car les ions H⁺ nouvellement libérés ne sont pas tamponnés par autant d'ions de bicarbonate (HCO₃⁻) que l'eau de mer. [Wikipedia]

Changement climatique

Modifications à grande échelle des régimes climatiques dues aux émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine. Le principal facteur de réchauffement est l'émission de dioxyde de carbone et de méthane. La combustion de combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) pour la consommation d'énergie est la principale source de ces émissions. [Auteurs]

Cloud computing

Le *cloud computing* est la mise à disposition sur demande des ressources d'un système informatique, notamment le stockage des données et la puissance de calcul, sans gestion active directe par l'utilisateur. Ce terme est généralement utilisé pour décrire les centres de données accessibles à de nombreux utilisateurs via l'Internet. Les *hyperscalers*, qui prédominent aujourd'hui, ont souvent des fonctions réparties sur plusieurs sites à partir de serveurs centraux. Si la connexion avec l'utilisateur est relativement proche, il peut être désigné comme un serveur *edge*. Le *cloud* peut être limité à une seule organisation (*cloud* d'entreprise), ou être disponibles pour de nombreuses organisations (*cloud* public). Le *cloud computing* repose sur le partage des ressources pour assurer la cohérence et les économies d'échelle. [Cisco]

Copieur laser couleur

Un produit d'imagerie disponible dans le commerce dont la seule fonction est la production de duplicatas sur papier à partir d'originaux graphiques sur papier, en plusieurs couleurs. [Étude sur l'impact des TIC]

Imprimante laser couleur multifonction

Une imprimante multifonctionnelle, qui peut copier, numériser et imprimer, qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électrophotographique) pour imprimer en plusieurs couleurs. [Étude sur l'impact des TIC]

Imprimante laser couleur

Imprimante qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électrophotographique) pour imprimer en plusieurs couleurs. [Étude sur l'impact des TIC]

Objets connectés

Les objets qui deviennent compatibles avec l'Internet (dispositifs IoT) interagissent généralement par le biais de systèmes intégrés, d'une certaine forme de communication réseau, ainsi que d'une combinaison d'*edge computing* et de *cloud computing*. Les données des dispositifs connectés à l'IoT sont souvent (mais pas exclusivement) utilisées pour créer de nouvelles applications pour les utilisateurs finaux. [IoT Analytics]

Enceinte connectée

Une enceinte connectée ou enceinte intelligente est un type de haut-parleur et de dispositif de commande vocale. Il intègre un assistant virtuel offrant une activation vocale et une interaction par l'utilisation de mots clés. Les enceintes connectées s'appuient sur les normes Wi-Fi, Bluetooth et d'autres protocoles pour proposer des interactions, par exemple avec des dispositifs de domotique ou l'Internet. [Auteurs]

Centre de données

Structures ou groupe de structures dédiées à l'hébergement, à l'interconnexion et à l'exploitation centralisés d'équipements de technologie de l'information et de télécommunications en réseau fournissant des services de stockage, de traitement et de transport de données, ainsi que les installations et infrastructures de distribution d'énergie et de contrôle de l'environnement, avec les niveaux de résilience et de sécurité nécessaires pour assurer la disponibilité du service souhaité. [EN 50600-1]

Ordinateur de bureau

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. [Étude sur l'impact des TIC]

Station d'accueil

Un dock dans lequel l'ordinateur portable est branché pour offrir un moyen simplifié de connecter des équipements différents et multiples (signalisation électrique, souris sans fil, smartphones,...). Il peut permettre à certains ordinateurs portables de se substituer à un ordinateur de bureau, sans sacrifier la fonction mobile de la machine. [Auteurs]

Affichages électroniques

Écran d'affichage et électronique associée dont la fonction principale est d'afficher des informations visuelles provenant de sources câblées ou sans fil [RÈGLEMENT DE LA COMMISSION EUROPÉENNE 2019-2021].

Eutrophisation

Le processus par lequel une masse d'eau entière, ou des parties de celle-ci, s'enrichit progressivement en minéraux et en nutriments. L'eutrophisation des écosystèmes d'eau douce est presque toujours causée par un excès de phosphore. Avant l'intervention de l'homme, il s'agissait, et il s'agit toujours, d'un processus naturel très lent au cours duquel les nutriments, en particulier les composés phosphorés et les matières organiques, s'accumulent dans les masses d'eau. L'eutrophisation anthropique ou culturelle est souvent un processus beaucoup plus rapide. L'effet visible de l'eutrophisation est souvent la prolifération d'algues nuisibles qui peuvent causer une dégradation écologique importante dans les masses d'eau et les cours d'eau associés. Ce processus peut entraîner un appauvrissement en oxygène de la masse d'eau après la dégradation bactérienne des algues. [Wikipedia]

Disques durs externes

Les disques durs externes sont des équipements utilisés pour stocker et récupérer des données lorsqu'ils sont connectés à un ordinateur. Il existe 2 types de technologies de disques durs externes : HDDs (Hard Disk Drive) et SSD (Solid-State Drive). [Auteurs]

Téléphone à fonctions

Un téléphone à fonctions qui conserve la forme des générations précédentes de téléphones mobiles, ayant généralement un bouton-poussoir, un petit écran LCD non tactile, un microphone, un appa-

reil photo orienté vers l'arrière, des services GPS. Pour les comparer aux smartphones, on les appelle parfois des téléphones muets. Les téléphones à fonctions offrent des fonctions d'appel vocal et de messagerie textuelle ainsi que certaines applications mobiles de base : calendrier, calculatrice, applications multimédias et navigateur Web mobile de base. [Auteurs]

Console de jeu

Une console de jeux est un dispositif informatique dont la fonction principale est de jouer à des jeux vidéo. Les consoles de jeux partagent un grand nombre des caractéristiques et des composants de l'architecture matérielle que l'on trouve dans les ordinateurs personnels généraux (par exemple, unité(s) centrale(s) de traitement, mémoire système, architecture vidéo, lecteurs optiques et/ou disques durs ou autres formes de mémoire interne). [SRI]

Disque dur (HDD)

Dispositif de stockage de données électromécanique utilisant un stockage magnétique et un ou plusieurs plateaux rigides à rotation rapide revêtus d'un matériau magnétique. [Auteurs]

Chauffage, ventilation et climatisation (CVC)

Le terme CVC désigne la technologie standard de l'industrie qui fournit des services de chauffage, de refroidissement et de qualité de l'air aux bâtiments et aux véhicules. [Étude sur l'impact des TIC]

Toxicité pour la santé humaine

La toxicité est le degré auquel une substance chimique ou un mélange particulier de substances peut endommager un organisme. Les types de toxicité où les substances peuvent causer la létalité pour le corps entier, la létalité pour des organes spécifiques, des dommages majeurs/mineurs, ou causer le cancer. Il s'agit de définitions mondialement acceptées de ce qu'est la toxicité. La toxicité d'une substance peut être affectée par de nombreux facteurs, tels que la voie d'administration (application cutanée, ingestion, inhalation, injection), la durée d'exposition (brève ou longue), le nombre d'expositions (dose unique ou doses multiples), la forme physique de la substance toxique (solide, liquide, gaz), le patrimoine génétique de l'individu, son état de santé général, etc. [Wikipedia]

Imprimante multifonction à jet d'encre

Une imprimante multifonctionnelle, qui peut copier, numériser et imprimer, qui utilise la technologie de marquage à jet d'encre pour imprimer en plusieurs couleurs. [Étude sur l'impact des TIC]

Imprimante à jet d'encre

Une imprimante qui utilise la technologie de marquage à jet d'encre pour imprimer en plusieurs couleurs. [Étude sur l'impact des TIC]

Internet des objets (IoT)

L'IoT désigne le réseau mondial des périphériques, de véhicules, de bâtiments et d'autres objets intelligents dotés de logiciels et de capteurs intelligents qui permettent à ces éléments de communiquer et de collecter des données. [Étude sur l'impact des TIC]

Radiations ionisantes

Les rayonnements ionisants sont constitués de particules subatomiques ou d'ondes électromagnétiques qui ont une énergie suffisante pour ioniser des atomes ou des molécules en leur détachant des électrons. Les rayonnements ionisants ne sont pas détectables par les sens humains, c'est pourquoi des instruments tels que les compteurs Geiger doivent être utilisés pour les détecter et les mesurer. L'exposition aux rayonnements ionisants provoque des dommages cellulaires dans les tissus vivants. À des doses aiguës élevées, elles provoquent des brûlures et des maladies dues aux radiations, et des doses plus faibles sur une longue période peuvent provoquer des cancers. [Wikipedia]

Téléphone fixe

Un téléphone qui est connecté à une ligne fixe. Il peut s'agir soit d'un combiné fixe parce qu'il est relié par câble, soit d'un combiné sans fil (généralement un téléphone DECT) qui doit être rechargé dans un support, qui peut également faire office de base assurant la connexion entre le combiné et le téléphone fixe. [Étude sur l'impact des TIC]

Utilisation des sols

Le changement d'affectation des sols peut être un facteur de la concentration atmosphérique de CO₂ (dioxyde de carbone), et contribue donc au changement climatique mondial. L'impact du changement d'affectation des sols sur le climat est de plus en plus reconnu par la communauté climatique. En outre, l'utilisation des sols est d'une importance capitale pour la biodiversité. L'étendue et le type d'utilisation des sols ont une incidence directe sur l'habitat de la faune et de la flore et, par conséquent, sur la biodiversité locale et mondiale. L'altération par l'homme des paysages de la végétation naturelle (par exemple, la nature sauvage) à toute autre utilisation peut entraîner la perte, la dégradation et la fragmentation des habitats, qui peuvent toutes avoir des effets dévastateurs sur la biodiversité. La conversion des sols est la principale cause d'extinction des espèces terrestres. [Wikipedia]

Ordinateur portable

Également désigné sous le nom d'ordinateur portable, 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. [Étude sur l'impact des TIC]

Centre de données des fournisseurs de services gérés (MSP)

Un centre de données offrant des services de serveur et de stockage de données où le client paie pour un service et le fournisseur gère le matériel/logiciel TIC et l'équipement du centre de données requis. [JRC]

Téléphone portable

Un téléphone portable ou cellulaire est un téléphone portable qui peut émettre et recevoir des appels par liaison radiofréquence lorsque l'utilisateur se déplace dans une zone de service téléphonique. Il existe deux types de téléphones mobiles : les smartphones et les téléphones à fonctions. Dans les pays développés, les smartphones ont désormais dépassé l'usage des anciens téléphones portables. [Auteurs]

Copieur laser mono

Un produit d'imagerie disponible dans le commerce dont la seule fonction est la production de duplicatas sur papier à partir d'originaux graphiques sur papier, en une seule couleur. [Étude sur l'impact des TIC]

Imprimante laser mono MDF

Imprimante multifonctionnelle, capable de copier, de numériser et d'imprimer, qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électro-photographique) pour imprimer en une seule couleur. [Étude sur l'impact des TIC]

Imprimante laser mono

Une imprimante qui utilise la technologie de marquage laser (parfois appelée électrophotographique) pour imprimer en une seule couleur. [Étude sur l'impact des TIC]

Réseau

Un réseau est un groupe de systèmes informatiques reliés entre eux. Les types de réseaux comprennent le réseau local (LAN), le réseau étendu (WAN), le réseau local sans fil (WLAN), le réseau de stockage (SAN) et le réseau métropolitain (MAN). Les réseaux peuvent encore être classés en fonction de leur topologie, de leur protocole et de leur architecture. [Étude sur l'impact des TIC]

Appauvrissement de la couche d'ozone

Phénomène observé depuis la fin des années 1970, comprenant à la fois une diminution constante de la quantité totale d'ozone dans l'atmosphère terrestre (couche d'ozone) et une diminution de l'ozone stratosphérique autour de la région polaire de la Terre, appelée le trou d'ozone. Les produits chimiques manufacturés, en particulier les réfrigérants à base d'halocarbures, les solvants, les agents propulseurs et les agents de gonflement, sont les principales causes de l'appauvrissement de la couche d'ozone et sont appelés substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO). [Auteurs]

Émission de particules

Également appelées particules, particules d'aérosols atmosphériques ou particules en suspension (SPM), les particules microscopiques de matière solide ou liquide en suspension dans l'air. Leur impact sur le climat et les précipitations affecte la santé humaine, en plus de l'inhalation directe. [Auteurs]

Formation d'ozone photochimique

L'ozone troposphérique ou au niveau du sol est créé par des réactions chimiques entre les oxydes d'azote (gaz NOx) et les composés organiques volatils (COVs). La combinaison de ces produits chimiques en présence de la lumière du soleil forme l'ozone. Sa concentration augmente avec la hauteur au-dessus du niveau de la mer, avec une concentration maximale à la tropopause. Environ 90 % de l'ozone total de l'atmosphère se trouve dans la stratosphère, et 10 % dans la troposphère. Bien que l'ozone troposphérique soit moins concentré que l'ozone stratosphérique, il est préoccupant en raison de ses effets sur la santé. L'ozone dans la troposphère est considéré comme un gaz à effet de serre, et peut contribuer au réchauffement de la planète. [Wikipedia]

Efficacité de l'utilisation de l'énergie (PUE)

Le PUE est une mesure d'efficacité énergétique développée par un consortium connu sous le nom de « *The Green Grid* ». Il mesure le rapport entre l'énergie totale consommée par un centre de données et l'énergie utilisée pour faire fonctionner ses équipements informatiques. [Étude sur l'impact des TIC]

Imprimantes professionnelles/multifonction

Une imprimante professionnelle/multifonction dont le grammage est supérieur à 141 g/m², capable d'imprimer en A3, dont les IPM sont supérieurs ou égaux à 86 si elle imprime uniquement en monochrome et supérieurs ou égaux à 50 si elle imprime en couleur, dont la résolution d'impression est supérieure ou égale à 600 x 600 dpi, dont le poids du modèle de base est supé-

rieur à 180 kg, et qui dispose de plusieurs autres fonctions telles que la perforation et la reliure à anneaux. [Étude sur l'impact des TIC]

Projecteur

Un projecteur est un dispositif optique permettant de traiter des informations d'images vidéo analogiques ou numériques, dans n'importe quel format de diffusion, de stockage ou de mise en réseau, afin de moduler une source de lumière et de projeter l'image résultante sur un écran externe. Les informations audio, au format analogique ou numérique, peuvent être traitées en tant que fonction optionnelle du projecteur. [Étude sur l'impact des TIC]

Rack

Un châssis à cadre métallique qui contient, sécurise et organise une pile verticale de matériel de réseau et de serveur, y compris des routeurs, des commutateurs, des points d'accès, des dispositifs de stockage et des modems. Également connu sous le nom d'armoire. [Étude sur l'impact des TIC]

Énergie renouvelable

L'énergie utile est collectée à partir de ressources renouvelables (ce qui signifie que ces ressources se renouvellent naturellement à l'échelle humaine). Les ressources renouvelables comprennent la lumière du soleil, le vent, la pluie, les marées, les vagues et la chaleur géothermique. [Auteurs]

Utilisation des ressources, fossiles, minéraux et métaux

L'extraction de ressources implique toute activité qui retire des ressources de la nature. En ce qui concerne les ressources naturelles, l'épuisement est une préoccupation pour le développement durable car il a la capacité de dégrader les environnements actuels et le potentiel d'avoir un impact sur les besoins des générations futures. L'épuisement des ressources naturelles est causé par des « facteurs directs de changement » tels que l'exploitation minière et l'extraction pétrolière. [Wikipedia]

Scanner

Un produit dont la fonction principale est de convertir des originaux papier en images électroniques qui peuvent être stockées, éditées, converties ou transmises. [Étude sur l'impact des TIC]

Smartphone

Un téléphone portable qui remplit un grand nombre des fonctions d'un ordinateur, avec généralement une interface tactile, un accès à l'Internet à partir de

réseaux Wi-Fi et mobiles, une connexion GPS et un système d'exploitation (OS) capable d'exécuter des applications téléchargées. [Auteurs]

Lecteur à semi-conducteurs

Un dispositif de stockage de données électromécanique utilisant des ensembles de circuits intégrés pour stocker des données dans des cellules semi-conductrices. [Auteurs]

Tablette

Un produit qui est un type d'ordinateur portable qui comprend à la fois un écran tactile attaché et peut avoir un clavier physique attaché. [Étude sur l'impact des TIC]

Boîtier TV

Un boîtier spécifique à l'utilisateur final utilisé pour décoder les signaux de télévision, à proximité du téléviseur. L'entrée peut se faire par câble, IPTV, terrestre ou satellite. [Auteurs]

Alimentation sans interruption (ASI)

Un ASI est un dispositif qui fournit une alimentation de secours en cas de défaillance de la source d'alimentation principale, ce qui permet aux équipements de continuer à fonctionner pendant un temps limité. Il peut également fournir une protection contre les surtensions. [Étude sur l'impact des TIC]

Clé USB

Une clé USB à mémoire, ou clé USB flash, utilise des assemblages de circuits intégrés pour stocker des données dans des cellules semi-conductrices comme les SSD, mais avec des capacités inférieures. [Auteurs]

Utilisation des ressources en eau

Les conséquences environnementales de la consommation d'eau, en ce qui concerne la description des flux de transport entre les compartiments d'eau (par exemple, de la rivière à l'atmosphère via l'évaporation) et les régions. [Auteurs]

Climatiseurs de salles des ordinateurs (CRAC)

Les climatiseurs de salles des ordinateurs (CRACs) assurent le refroidissement périphérique des salles de centres de données et des salles de serveurs. Plus d'une unité CRAC peut être installée dans la zone et les unités peuvent être disposées dans une configuration parallèle/redondante N+X pour fournir une résilience supplémentaire. Les unités CRAC utilisent un réfri-

gérant comme moyen de refroidissement. Les unités de traitement de l'air pour les salles des ordinateurs (CRAHs) peuvent être installées dans un type d'installation similaire à celui des unités CRAC, mais utilisent de l'eau glacée comme moyen de refroidissement. Des ventilateurs et des serpentins de refroidissement internes sont utilisés pour fournir de l'air frais dans l'environnement du centre de données. D'autres technologies peuvent inclure le refroidissement adiabatique indirect (IAC) et le refroidissement par air libre, et peuvent être plus personnalisées que les gammes de produits manufacturés standard. [Server Room Environment¹]

C-Acronymes

2G : réseau cellulaire de deuxième génération

3G : réseau cellulaire de troisième génération

4G : réseau cellulaire de quatrième génération

5G : réseau cellulaire de cinquième génération

ADP: abiotic depletion potential

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line

AI: Artificial Intelligence

ATM: Automated teller machine

BBU: BaseBand Unit

BTS: Base Transceiver Station

CC-BY-SA: Creative Commons - Attribution - ShareAlike

CFC: Chlorofluorocarbon

CFF: circular footprint formula

CML: Institute of Environmental Sciences of the Faculty of Science of Leiden University

CML: the methodology of the Centre for Environmental Studies (CML)

of the University of Leiden

CO2: Carbon dioxide

¹ <https://www.serverroomenvironments.co.uk/computer-room-air-conditioners>

CPE: Customer Premise Equipment	GtCO2 eq.: GigaTonne of Carbon dioxide equivalent
CPU: Central processing unit	GWP: Global warming potential
CTUe: comparative toxic unit ecotoxicity : exprime l'estimation de la fraction d'espèces potentiellement affectées (FAP) intégrée dans le temps et le volume du compartiment d'eau douce	HDD: Hard disk drive
CTUh: exprime l'augmentation estimée de la morbidité (le nombre de cas de maladie) dans la population humaine totale	HLR: Home Location Register
DNS: Domain Name System	HPC: Hyperscale Computers
DSLAM: Digital Subscriber Line Access Multiplexer	HSP: Hardware Specification Level
DVD: Digital Video Disc	HSS: Home Subscriber Server
EB: Exabyte	IAD: Integrated Access Device
EFA: European Free Alliance	ICT: Information and communications technology
EoL: End of Life	IDU: InDoor Unit
eq.: equivalent	ILO: International Labour Organisation
ETSI: European Telecommunications Standards Institute	IoT: Internet of Things
UE : l'Union européenne	IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change, GIEC en Français
EU-28 : Union européenne (comprenant 28 membres)	ISO: International Organization for Standardization
FTTx : L'une des différentes fibres optiques jusqu'à la [destination], telles que : Fibre jusqu'aux locaux (FTTP), Fibre jusqu'au domicile (FTTH) et Fibre jusqu'au bâtiment (FTTB).	IT: Information technology
FW: FireWall	ITU: International Telecommunication Union
GAFAM: Google Amazon Facebook Apple Microsoft	JRC: Joint Research Centre
GB: Gigabyte	kBq: kilobecquerel
GDP: Gross domestic product	kg: kilogram
GGSN: Gateway GPRS Support Node	km: kilometres
GHG: Greenhouse gas	KPI: Key performance indicator
Gi: Gateway-Internet	kWh: KiloWatt-hour
GPRS: General Packet Radio Service	LAN: Local Area Network
GPS: Global Positioning System	LCA: Life cycle assessment
GPU: Graphics processing unit	LCD: Liquid-Crystal Display
	LCI: Life cycle inventory analysis
	LCIA: Life cycle impact assessment
	LCIE CODDE Bureau Veritas : Laboratoire Central Industries Electriques, COncption Développement Durable Environnement, Bureau Veritas
	LED: Light-Emitting Diodes

MFD: Main Distribution Frame

Mj: Mega Joule

MME: Mobility Management Entity

mol éq. H+ : mole d'équivalent hydron. Un hydron est un atome d'hydrogène sans électron, également connu sous le nom de proton. Il joue un rôle important dans les réactions chimiques à base d'acide.

MP3 : MPEG-1 Audio Layer III ou MPEG-2 Audio Layer III

MSP: Managed Services Providers

Mt : Méga Tonne

NMVOG: Non-methane volatile organic compound

OAN: Optical Access Node

ODU: OutDoor Unit

OLED: Organic Light-Emitting Diodes

OLT: Optical Line Termination

ONT: Optical Network Termination

OS: Operating System

PCB: Process control block

PCRF: Policy and Charging Rules Function

PEF: Product Environmental Footprint

PEFCR: Product Environmental Footprint Category Rules

Pj: Peta Joule

POS: Point Of Sale

PSTN: Public Switched Telephone Network

pt: points

PUE: Power Usage Effectiveness

QLED: Quantum-dot Light-Emitting Diodes

R&D: Research & Development

ReCiPe: Remote Encryptor Configuration Information Protocol

RF: Radio Frequency

RFID: Radio Frequency IDentification

RRH: Remote Radio Head

RRU: Remote Radio Unit

Sb: Stibium, latin name of Antimony

SD: Secure Digital

SFP: Small Form-factor-Pluggable

SGSN: Serving GPRS support node

SP-GW: Serving/PDN-Gateway

SSD: Solid-state drive

SUV: Sport utility vehicle

T: Tonne (metric)

TSMC: Taiwan Semiconductor Manufacturing Company

TV: Television

TWh: TeraWatt-hour

U235: Uranium-235

UPS: Uninterruptible Power Supply

USA: United States of America

USB: Universal Serial Bus

W: Watt

WDM: Wavelength Division Multiplexing

WEEE: Waste Electrical and Electronic Equipment, also known as e-waste

WLAN: Wireless LAN

WMO: World Meteorological Organisation

xDSL : L'une des diverses technologies de ligne d'abonnement numérique, telles que l'ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), le HDSL (High-bit-rate digital subscriber line) et le VDSL (Very high-speed digital subscriber line).

D-Index des tableaux

Tableau 1	8	Tableau 19	33
Résultats normalisés et pondérés		Résultats des limites planétaires	
Tableau 2	8	Tableau 20	33
Indicateurs de flux ajoutés		Impact des services numériques par habitant de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)	
Tableau 3	8	Tableau 21	34
Impacts globaux des services numériques de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)		Distribution de l'impact le long des trois niveaux	
Tableau 4	9	Tableau 22	35
Digital services impacts per EU-28 inhabitant (environmental impacts & flow indicators)		Distribution de l'impact le long des phases du cycle de vie	
Tableau 5	9	Tableau 23	37
Répartition des impacts des services numériques de l'UE-28 par niveau (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)		Distribution détaillée de l'impact - Terminaux utilisateurs	
Tableau 6	11	Tableau 24	39
Résultats normalisés et pondérés		Distribution détaillée de l'impact - Dispositifs de l'utilisateur final - Phases de fabrication, de transport et de fin de vie	
Tableau 7	12	Tableau 25	40
Impacts globaux des services numériques de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)		Distribution détaillée de l'impact - Dispositifs d'utilisation finale - Phase d'utilisation	
Tableau 8	12	Tableau 26	42
Impacts des services numériques par habitant de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)		Distribution détaillée de l'impact - Réseau	
Tableau 9	13	Tableau 27	42
Répartition des impacts par niveau		Comparaison des impacts par GB et par abonné	
Tableau 10	22	Tableau 28	43
L'ensemble des indicateurs d'impact recommandés dans la méthodologie PEF		Distribution des impacts du réseau mobile - sans phase d'utilisation	
Tableau 11	22	Tableau 29	43
Sélection d'indicateurs en fonction de leur normalisation et de leur pondération		Distribution des impacts du réseau fixe - sans phase d'utilisation	
Tableau 12	23	Tableau 30	44
Addition de quatre indicateurs de débit		Distribution détaillée de l'impact - Centres de données par type	
Tableau 13	24	Tableau 31	44
Description des indicateurs d'impact et de flux		Distribution détaillée de l'impact pour les centres de données -Type d'équipement et de consommation	
Tableau 14	25	Tableau 32	46
Facteurs de normalisation proposés par le JRC		Analyse de sensibilité - Dispositifs et réseaux exclus - Données d'entrée	
Tableau 15	25	Tableau 33	47
Facteurs de pondération proposés par le JRC		Impacts globaux des services numériques de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)	
Tableau 16	29	Tableau 34	47
Impacts globaux des services numériques de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)		Impacts mondiaux - Rapport à 1 TWh	
Tableau 17	30	Tableau 35	47
Résultats normalisés		Analyse de sensibilité - Dispositifs et réseaux exclus - Résultats	
Tableau 18	31		
Résultats pondérés			

Tableau 36	48	Tableau 52	57
Analyse de sensibilité - Dispositifs et réseaux exclus - Changement climatique		Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des centres de données - Changement climatique	
Tableau 37	49	Tableau 53	58
Analyse de sensibilité - Nombre de dispositifs - Données d'entrée		Analyse de sensibilité - Analyse de sensibilité cumulée - Résultats	
Tableau 38	50	Tableau 54	58
Analyse de sensibilité - Nombre des dispositifs - Résultats		Analyse de sensibilité - Analyse de sensibilité cumulée - Changement climatique	
Tableau 39	50	Tableau 55	59
Analyse de sensibilité - Nombre de dispositifs - Changement climatique		Impacts globaux des services numériques de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)	
Tableau 40	51	Tableau 56	60
Analyse de sensibilité - Durée de vie des équipements - Données d'entrée		Impacts des services numériques par habitant de l'UE-28 (indicateurs d'impacts environnementaux et de flux)	
Tableau 41	52	Tableau 57	60
Analyse de sensibilité - Durée de vie des équipements - Résultats		Résultats pondérés	
Tableau 42	52		
Analyse de sensibilité - Dispositifs et réseaux exclus - Changement climatique			
Tableau 43	53		
Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des équipements - Données d'entrée			
Tableau 44	54		
Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des équipements - Résultats			
Tableau 45	54		
Analyse de sensibilité - Dispositifs et réseaux exclus - Changement climatique			
Tableau 46	55		
Analyse de sensibilité - Consommation d'électricité des réseaux - Résultats			
Tableau 47	55		
Analyse de sensibilité - Consommation d'électricité des réseaux - Changement climatique			
Tableau 48	56		
Analyse de sensibilité - Extrapolation à l'UE-28 - Résultats			
Tableau 49	56		
Analyse de sensibilité - Extrapolation à l'UE-28 - Changement climatique			
Tableau 50	57		
Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des centres de données - Données d'entrée			
Tableau 51	57		
Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des centres de données - Résultats			

E-Index des chiffres

Figure 1	32
Distribution normalisée et pondérée de l'impact le long des 3 niveaux.	
Figure 2	35
Distribution de l'impact le long des 3 niveaux	
Figure 3	36
Distribution de l'impact le long des phases du cycle de vie	
Figure 4	38
Distribution détaillée de l'impact - Dispositifs de l'utilisateur final	
Figure 5	54
Analyse de sensibilité - Consommation énergétique des équipements	
Figure 6	58
Analyse de sensibilité - Analyse de sensibilité cumulée	



THE GREENS/EFA
in the European Parliament

60 rue Wiertz/Wiertzstraat 60
1047 Brussels, Belgium
www.greens-efa.eu
contactgreens@ep.europa.eu