

EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA DIGITALISATION DES SERVICES CULTURELS

RAPPORT FINAL

**Nov.
2022**

REMERCIEMENTS

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

Membres du Comité de pilotage et de relecture

Erwann FANGEAT (ADEME)
Raphaël GUASTAVI (ADEME)
David MARCHAL (ADEME)
Marine SCHENFELE (Canal Plus)
Fabienne BLANQUART (Canal Plus)
Amélien DELAHAIE (Canal Plus)
Benjamin GUINCESTRE (Deezer)
Anne-Claire TRAN (Fnac-Darty)
Charlotte ALIX (Fnac-Darty)
Thomas PLANQUES (Game Impact)
Guillaume LE BRIS (Game Impact)
Arnaud CHAPALAIN (Game Impact)
Stéphane RAPPENEAU (Game Impact)
Nicolas ROBIN (Imago)
Perry STULTZ (Microsoft)
Jean-Marc DUPUIS (Rakuten Kobo)
Joshua ASLAN (Sony PlayStation)
Jade DESCOURTIEUX (Ubisoft)
Nicolas HUNSINGER (Ubisoft)
Philippe BAYLE (Ubisoft)
Philippe MAESEN (Vivendi)

Membres du panel de revue critique

Etienne LEES-PERASSO (TIDE)
Eric FOURBOUL (Hubblo)
Laurent ESKENAZI (Hubblo)

CITATION DE CE RAPPORT

Auteurs : MEYER Julia (ADEME), NICO Tom (I Care), BURGUBURU Alexis (I Care), RIGAL Margot (I Care), LIZON Benjamin (I Care), GENIN Léo (I Care), CATALAN Caroline (I Care), ADAM Isaure (I Care). 2022. Evaluation de l'impact environnemental de la digitalisation des services culturels.

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

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2021AC000067

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : I Care

Coordination technique - ADEME : Julia MEYER

Direction/Service : Service Ecoconception et Recyclage de la Direction Economie Circulaire de l'ADEME

SOMMAIRE

SOMMAIRE	4
RÉSUMÉ	8
ABSTRACT	9
INTRODUCTION	10
1. LIRE UN LIVRE	14
1.1. CHAMPS DE L'ETUDE	14
1.1.1. Description des systèmes à l'étude	14
1.1.2. Fonction et unité fonctionnelle.....	14
1.1.3. Frontières du système	14
1.1.4. Représentativité géographique et temporelle.....	15
1.1.5. Règles de coupure	15
1.1.6. Règles d'allocation.....	16
1.2. INVENTAIRES DU CYCLE DE VIE	17
1.2.1. Données d'inventaires	17
1.2.1.1. Données principales de modélisation des scénarios	17
1.2.1.2. Inventaire du cycle de vie d'un livre papier	18
1.2.1.3. Inventaire du cycle de vie d'une liseuse	23
1.2.1.4. Inventaire du cycle de vie d'une tablette	25
1.2.1.5. Inventaire du cycle de vie des datacenters	25
1.2.1.6. Inventaire du cycle de vie des réseaux fixe et mobile.....	25
1.2.2. Qualité des données	26
1.3. EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	28
1.3.1. Méthode d'évaluation des impacts environnementaux et indicateurs	28
1.3.2. Analyse de contribution.....	29
1.3.3. Outil de calcul	29
1.4. RESULTATS DE L'ETUDE	30
1.4.1. Résultats des impacts environnementaux.....	30
1.4.1.1. Résultats du service au format physique	30
1.4.1.2. Résultats du service au format numérique	31
1.4.2. Comparaison des différents scénarios étudiés	34
1.4.2.1. Comparaison des différents scénarios étudiés sur tous les indicateurs.....	34
1.4.2.2. Zoom sur l'indicateur de changement climatique.....	35
1.4.2.3. Zoom sur l'indicateur d'épuisement des ressources minérales et métalliques.....	38
1.5. CONCLUSIONS	40
2. ECOUTER DE LA MUSIQUE	42
2.1. CHAMPS DE L'ETUDE	42
2.1.1. Description des systèmes à l'étude	42
2.1.2. Fonction et unité fonctionnelle	42
2.1.3. Frontières du système.....	43
2.1.4. Représentativité géographique et temporelle	43

2.1.5. Règles de coupure.....	44
2.1.6. Règles d'allocation	44
2.2. INVENTAIRES DU CYCLE DE VIE	45
2.2.1. Données d'inventaires.....	45
2.2.1.1. Données principales de modélisation des scénarios.....	45
2.2.1.2. Inventaire du cycle de vie d'un CD physique	46
2.2.1.3. Inventaire du cycle de vie d'une chaîne hi-fi.....	50
2.2.1.4. Inventaire du cycle de vie d'un smartphone.....	52
2.2.1.5. Inventaire du cycle de vie d'une enceinte connectée	53
2.2.1.6. Inventaire du cycle de vie des datacenters.....	53
2.2.1.7. Inventaire du cycle de vie des réseaux fixe et mobile	53
2.2.2. Qualité des données.....	53
2.3. EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	55
2.3.1. Méthode d'évaluation des impacts environnementaux et indicateurs.....	55
2.3.2. Analyse de contribution	56
2.3.3. Outil de calcul	56
2.4. RESULTATS DE L'ETUDE	57
2.4.1. Résultats des impacts environnementaux	57
2.4.1.1. Résultats du service au format physique.....	57
2.4.1.2. Résultats du service au format numérique.....	58
2.4.2. Comparaison des différents scénarios étudiés.....	64
2.5. CONCLUSIONS	67
3. REGARDER UN FILM.....	69
3.1. CHAMPS DE L'ETUDE	69
3.1.1. Description des systèmes à l'étude	69
3.1.2. Fonction et unité fonctionnelle	69
3.1.3. Frontières du système.....	70
3.1.4. Représentativité géographique et temporelle	70
3.1.5. Règles de coupure.....	70
3.1.6. Règles d'allocation	71
3.2. INVENTAIRES DU CYCLE DE VIE	72
3.2.1. Données d'inventaires.....	72
3.2.1.1. Données principales de modélisation des scénarios.....	72
3.2.1.2. Inventaire du cycle de vie d'un DVD.....	73
3.2.1.3. Inventaire de cycle de vie d'un lecteur DVD	73
3.2.1.4. Inventaire de cycle de vie d'une box TV.....	73
3.2.1.5. Inventaire de cycle de vie d'une TV	74
3.2.1.6. Inventaire de cycle de vie d'un ordinateur portable	74
3.2.1.7. Inventaire du cycle de vie d'un smartphone.....	75
3.2.1.8. Inventaire du cycle de vie des datacenters.....	75
3.2.1.9. Inventaire du cycle de vie des réseaux fixe et mobile	75
3.2.2. Qualité des données.....	75
3.3. EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	77
3.3.1. Méthode d'évaluation des impacts environnementaux et indicateurs.....	77
3.3.2. Analyse de contribution	78
3.3.3. Outil de calcul	78

3.4. RESULTATS DE L'ETUDE	79
3.4.1. Résultats des impacts environnementaux	79
3.4.1.1. Résultats du service au format physique.....	79
3.4.1.2. Résultats du service au format numérique.....	80
3.4.2. Comparaison des différents scénarios étudiés.....	85
3.5. CONCLUSIONS	89
4. JOUER A UN JEU VIDEO	90
4.1. CHAMPS DE L'ETUDE	90
4.1.1. Description des systèmes à l'étude	90
4.1.2. Fonction et unité fonctionnelle	90
4.1.3. Frontières du système.....	91
4.1.4. Représentativité géographique et temporelle	91
4.1.5. Règles de coupure.....	91
4.1.6. Règles d'allocation	91
4.2. INVENTAIRES DU CYCLE DE VIE	93
4.2.1. Données d'inventaires.....	93
4.2.1.1. Données principales de modélisation des scenarios.....	93
4.2.1.2. Inventaire de cycle de vie d'une TV	94
4.2.1.3. Inventaire de cycle de vie d'une box TV.....	94
4.2.1.4. Inventaire de cycle de vie d'une console.....	95
4.2.1.5. Inventaire du cycle de vie d'un disque de jeu.....	95
4.2.1.6. Inventaire de cycle de vie d'un ordinateur portable	95
4.2.1.7. Inventaire de cycle de vie d'un ordinateur fixe	95
4.2.1.8. Inventaire de cycle de vie d'un écran d'ordinateur	96
4.2.1.9. Inventaire du cycle de vie des datacenters.....	96
4.2.1.10. Inventaire du cycle de vie du réseau fixe	97
4.2.2. Qualité des données.....	98
4.3. EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	99
4.3.1. Méthode d'évaluation des impacts environnementaux et indicateurs.....	99
4.3.2. Analyse de contribution	100
4.3.3. Outil de calcul	100
4.4. RESULTATS DE L'ETUDE	101
4.4.1. Résultats des impacts environnementaux	101
4.4.1.1. Résultats du service au format physique.....	101
4.4.1.2. Résultats du service au format numérique.....	104
4.4.2. Comparaison des différents scénarios étudiés.....	112
4.4.2.1. Comparaison des différents scénarios étudiés sur tous les indicateurs.....	112
4.4.2.2. Zoom sur l'indicateur de changement climatique	113
4.4.2.3. Zoom sur l'indicateur d'épuisement des ressources minérales et métalliques	116
4.5. CONCLUSIONS	120
5. LIMITES DE L'ETUDE	122
6. CONCLUSIONS DE L'ETUDE / PERSPECTIVES	124
6.1. Messages-clés à retenir	124
6.2. Focus sur l'effet rebond	125

6.2.1. Illustration de l'effet rebond entre le visionnage de DVD et le visionnage de vidéos sur internet, de 2012 à 2020.....	126
6.3. Vision prospective des services numériques.....	128
7. RECOMMANDATIONS.....	131
7.1. Recommandations utilisateurs de services numériques.....	131
7.2. Recommandations à destination des fournisseurs.....	134
7.3. Recommandations à destination des décideurs politiques.....	136
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	137
TABLE DES TABLEAUX.....	138
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	141
GLOSSAIRE.....	145
ANNEXES.....	147

RÉSUMÉ

L'émergence du numérique a considérablement transformé l'accès des français à la culture. En l'espace d'une génération, les services culturels (écouter de la musique, lire, voir un film, jouer aux jeux vidéo) se sont largement digitalisés, passant de supports physiques comme le CD, le DVD ou le livre, à des versions numériques. Si la vente des livres papier a pu rester constante malgré l'arrivée du livre audio et du ebook, la numérisation des films a fait s'effondrer la vente des DVD/BluRay et de CD ; par exemple en 2002, les Français ont acheté 150 millions de CD pour 24 millions en 2018 selon le Syndicat national de l'édition phonographique (SNEP). Les effets de ce mouvement d'ampleur sont néanmoins contrastés en termes d'impacts environnementaux.

Nous pouvons, d'une part, profiter aujourd'hui quasi-instantanément de films, jeux, musiques que nous téléchargeons ou « streamons » sur nos smartphone, tablette ou écran et se passer d'une collection de supports matériels consommant des ressources pour leur fabrication, difficiles à recycler en fin de vie et non rattachés à aucune filière REP à ce jour. Pourtant, d'autre part, le streaming vidéo, qui captera bientôt 80 % du trafic internet mondial, a également des impacts environnementaux. La numérisation accrue a fait exploser la demande autrefois limitée par l'accès aux supports physiques. Une récente étude de l'Université de Glasgow (« Music Consumption Has Unintended Economic and Environmental Costs » 2019) montre qu'en 2016, la production de GES par le stockage et la transmission de fichiers de musique numérique était estimée entre 200 et 350 millions de kgCO₂eq pour les Etats-Unis.

En plus d'avoir accru nos usages, ces nouveaux services numériques sont accompagnés d'équipements physiques multi-usages qui nécessitent d'être connectés aux réseaux de télécommunication et Internet pour le transit continu des données vers les centres de stockage et de calcul. Pour le cloud gaming par exemple la puissance de calcul est déportée dans des serveurs hébergés à distance qui font tourner les jeux évitant ainsi à leurs utilisateurs de posséder des équipements physiques performants. Mais cette digitalisation peut également complexifier les équipements nécessaires à ces nouveaux services. Le streaming musical peut se faire par exemple sur un smartphone, enceinte connectée ou ordinateur portable. Ces équipements sont bien plus complexes qu'une simple chaîne hi-fi ou lecteur de DVD/BR, et nécessitent une large variété de matières premières, de métaux notamment. Ainsi, l'évaluation des impacts environnementaux de la digitalisation doit intégrer l'impact des équipements numériques utilisés dans une approche cycle de vie.

Aucune étude à l'échelle nationale n'a encore été menée permettant de démontrer de façon systémique que la digitalisation de ces services culturels réduit leur impact environnemental et d'en mesurer l'ordre de grandeur. Dans ce contexte, l'ADEME a souhaité réaliser une étude qui apporterait ces éléments, via une évaluation environnementale multicritère et sur tout le cycle de vie des services culturels physiques et numériques.

En synthèse, les résultats de cette étude montrent que :

- la lecture sur liseuse peut être moins impactante que sur papier à partir d'un grand nombre de livres lus, d'autant plus en comparaison de livres papiers utilisés qu'à une seule occasion.
- l'écoute de musique en streaming peut être supérieure à l'écoute d'un CD dès lors que des équipements type enceinte ou matériel Hi Fi sont mis en œuvre.
- le visionnage de vidéos en streaming sur des écrans de petite taille est le moins impactant. Le visionnage sur téléviseur d'un film en DVD versus un streaming « haute définition » représente plus d'impacts sur le changement climatique, mais sensiblement moins d'impacts sur les ressources.
- jouer sur un écran et une console avec un jeu sur support physique ou téléchargé en amont ont des impacts environnementaux assez similaires. Cependant, jouer en basse résolution à des jeux en cloud gaming sans rajouter de console permet un gain environnemental... annulé dès lors que les résolutions augmentent.

ABSTRACT

The emergence of digital technology has considerably transformed French people's access to culture. In the space of a generation, cultural services (listening to music, reading, watching a film, playing video games) have largely been dematerialized, moving from physical media such as CDs, DVDs or books to digital versions. The effects of this large-scale movement are nevertheless contrasted. While the sale of paper books has remained constant despite the arrival of the audio book and the ebook, the digitization of films has caused the sale of DVDs and BluRays to plummet: in 2004 the French bought 1,960 million of them, the CNC counted 58 million in 2019. The volume of CD sales has also fallen: in 2002, the French bought 150 million CDs for 24 million in 2018 according to the Syndicat national de l'édition phonographique (SNEP).

The environmental impact of the transition from a physical medium to a digital service seems ambivalent, however. On the one hand, we can now enjoy almost instantaneously films, games, music that we download or stream on our smartphones, tablets or screens and do without a collection of material supports that consume resources for their manufacture, are difficult to recycle at the end of their life and are not attached to any EPR channel to date. However, on the other hand, video streaming, which will soon capture 80% of the world's Internet traffic, also has environmental impacts. Increased digitization has led to an explosion in demand that was once contained by physical media. A recent study by the University of Glasgow shows that in 2016, GHG production from the storage and transmission of digital music files was estimated at between 200 and 350 million kgCO₂eq for the United States.

In addition to having increased our usage, these new digital services are accompanied by multi-use physical equipment that requires connection to telecommunication and Internet networks for the continuous transit of data to storage and computing centers. On the one hand, the digitization of these services can avoid the need for users to own high-performance physical equipment. For example, for cloud gaming, the computing power is deported to remotely hosted servers that run the games. Gamers no longer need to own a computer with a graphics card and a latest generation processor to enjoy the best gaming experience. On the other hand, this digitalization can actually make the equipment needed for these new services more complex. For example, music streaming is done on a smartphone or a laptop. This equipment is much more complex than a simple hi-fi system or DVD/BR player, as it requires a wide variety of raw materials, particularly metals. Thus, the evaluation of the environmental impacts of digitalization must integrate the impact of the digital equipment used in a life cycle approach.

In this context, ADEME wished to carry out a study that would provide these elements, via a multi-criteria environmental assessment and on the entire life cycle of physical and digital cultural services.

The study was conducted in two phases: the first phase consisted of a literature review and interviews with professionals in the sector, with the development of a first list of best practices to reduce the environmental impact of the sector and services studied, while the second phase consisted of a comparative Life Cycle Assessment (LCA) in accordance with ISO 14044 of 4 main cultural services. The study should lead to recommendations of good practices for users, digital service providers, actors of the value chain of the latter and decision makers.

INTRODUCTION

- **Une forte « digitalisation » des services culturels au cours de cette dernière décennie mais des impacts environnementaux toujours aussi matériels**

Les changements apportés par le secteur du numérique ont révolutionné le secteur de la culture. L'arrivée de nouveaux services numériques a provoqué une rupture avec les canaux traditionnels et a permis une démocratisation de l'accès à la culture. Le numérique permet de transporter de l'information très rapidement et ainsi d'avoir une visibilité accrue.

En France, l'étude Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France (ADEME et ARCEP 2022), basée sur une approche Analyse de Cycle de Vie (ACV), a permis d'établir que :

- des trois briques qui constituent le périmètre de l'étude, ce sont les terminaux (et en particulier les écrans et téléviseurs) qui sont à l'origine de 65 à 90 % de l'impact environnemental, selon l'indicateur environnemental considéré,
- à côté des impacts environnementaux liés à la consommation énergétique (incluant entre autres l'empreinte carbone, les radiations ionisantes et l'épuisement des ressources abiotiques fossiles qui décrivent environ 64 % de l'impact) qui sont des impacts communs à de nombreux secteurs, l'épuisement des ressources abiotiques naturelles (minéraux & métaux) ressort comme un critère pertinent pour décrire (de l'ordre de 27 %) l'impact environnemental du numérique,
- de toutes les étapes du cycle de vie des biens et services considérées, la fabrication et l'utilisation concentrent souvent jusqu'à 100 % de l'impact environnemental.

Ainsi, le numérique représenterait aujourd'hui 2,5 % de l'empreinte carbone au niveau national (phases de fabrication et d'utilisation comprises). En outre, selon le rapport de la mission d'information sur l'empreinte environnementale du numérique du Sénat, l'empreinte carbone de celui-ci pourrait augmenter de manière significative si rien n'est fait pour la limiter (+ 60 % d'ici à 2040 soit 6,7 % de l'empreinte carbone nationale).

La consommation de biens électroniques nationale connaît par ailleurs une croissance de plus en plus soutenue. Ainsi, d'après la dernière version du « *Rapport annuel du registre des déchets d'équipements électriques et électroniques* » de l'ADEME publié en janvier 2021 (ADEME 2021b), plus de 1,2 milliard d'équipements électriques et électroniques ont été mis sur le marché en 2019, en croissance de 25 % par rapport à 2018.

Cette tendance participe à la croissance de la pression exercée sur les ressources naturelles et représente une menace importante à l'égard des différents enjeux environnementaux.

Alors qu'il permet en apparence de réduire l'impact environnemental de nombreux processus par la « dématérialisation », le numérique n'est pas non plus exempt de tout impact sur l'environnement. Les processus numériques s'appuient en effet sur un certain nombre d'équipements (terminaux utilisateurs, data centers incluant des serveurs et d'autres équipements associés, réseaux de transmission des données) dont la matérialité est bien réelle et dont l'impact sur l'environnement peut être significatif sur l'ensemble de leur cycle de vie : émissions de GES, utilisation de ressources non-renouvelables et d'énergie, eutrophisation des sols, production de déchets... Ces impacts ne sont pas toujours visibles par l'utilisateur mais ils sont pourtant bien existants. Il est alors nécessaire de mettre en balance les gains environnementaux permis par l'utilisation de ces outils numériques (avec la disparition de certains supports physiques) avec l'impact qu'ils ont par ailleurs (apparition de nouveaux supports, notamment de stockage des données et multiplication des terminaux d'utilisation).

- **Une matérialité des impacts qui se déplace, entre les formats traditionnels et les formats numériques**

Pour en revenir aux services culturels, il est important de noter que l'essentiel des données consommées sur Internet correspond à des contenus culturels. Comme le souligne The Shift Project dans son Plan de Transformation de l'Economie Française pour le secteur de la culture (The Shift Project 2021), « sur 100 Go consommés en ligne, 30 correspondent à de la vidéo à la demande, 9 environ au jeu vidéo, 0,5 environ au streaming musical, 10 environ aux Tubes et 22 environ à la pornographie ». La culture serait alors le premier poste mondial de consommation de données selon le think-tank, et la consommation de données culturelles représenterait à elle seule plus de 1% des émissions mondiales de gaz à effet de serre.

Or, on note que ces usages sont de plus en plus importants, avec des formats de plus en plus lourds comme le montre le graphique ci-dessus tiré du PTEF du Shift Project.

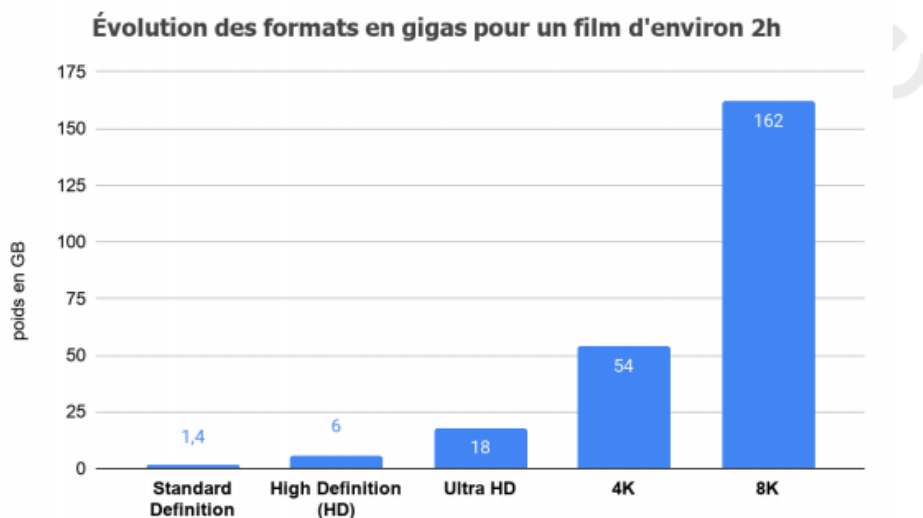


Figure 1 - Évolution des formats en gigas pour un film d'environ 2h (Source : Sandvine et le rapport The Global Internet), issu du PTEF culture du Shift Project

Au-delà de la consommation de données, il faut prendre en compte l'ensemble des impacts tout au long du cycle de vie de ces services culturels, et la partie fabrication des terminaux reste majeure. Par ailleurs, le nombre d'équipements connectés par personne est en constante augmentation, et ce partout dans le monde, comme le montre la carte ci-dessous.

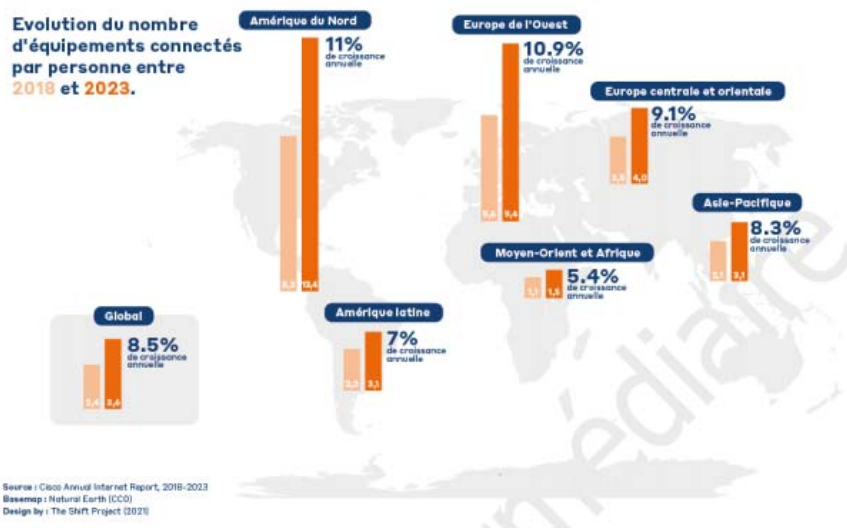


Figure 2 - Nombre d'équipements par habitant (Source : Cisco, 2020), issu du rapport PTEF culture du Shift Project

Enfin, il ne faut pas oublier tous les impacts dus à la transmission de données sur le réseau, au stockage des données sur data centers pour les contenus « on-demand » ou en « streaming ». En effet, la croissance des formats et des usages amène une saturation des réseaux existants qui justifie désormais un renouvellement des infrastructures numériques. D'ailleurs, il est important de noter que l'approche utilisée dans le cadre de cette étude est une approche « d'allocation moyenne » (méthode attributionnelle moyenne), or il serait possible d'affecter l'ensemble des impacts réseaux à ces consommations supplémentaires, puisque ces dernières nécessitent que des nouvelles infrastructures soient construites (méthode conséquentielle).

- Focus sur 4 services numériques culturels : regarder un film, écouter de la musique, lire un livre et jouer aux jeux vidéo

De manière générale, pour estimer les impacts liés à un service ou un produit, il faut réaliser une Analyse de Cycle de Vie (ACV). Les impacts proviennent de l'ensemble du cycle de vie d'un produit qui se décompose en plusieurs étapes : l'extraction des matières premières, leur transport, la fabrication du produit, sa distribution, son utilisation et sa fin de vie.

Dans le cas particulier des services numériques, la phase d'utilisation mobilise un ensemble d'infrastructures dont l'impact est inconnu pour beaucoup d'utilisateurs. Pour permettre d'afficher un contenu numérique (vidéo, audio...), les données, stockées sur data centers, sont ensuite transmises par un ensemble de réseaux Internet, dont les réseaux fixe et mobile opérés par les fournisseurs d'accès Internet. Dans le cas du réseau fixe, ces données arrivent ensuite jusqu'à votre box Internet qui transmet ensuite ces informations à votre périphérique (box TV, console...). Ce dernier se charge alors de transmettre les données à un support pour permettre d'afficher le contenu. Dans le cas du réseau mobile, la transmission se fait directement entre une antenne (3G/4G/5G) et votre périphérique.

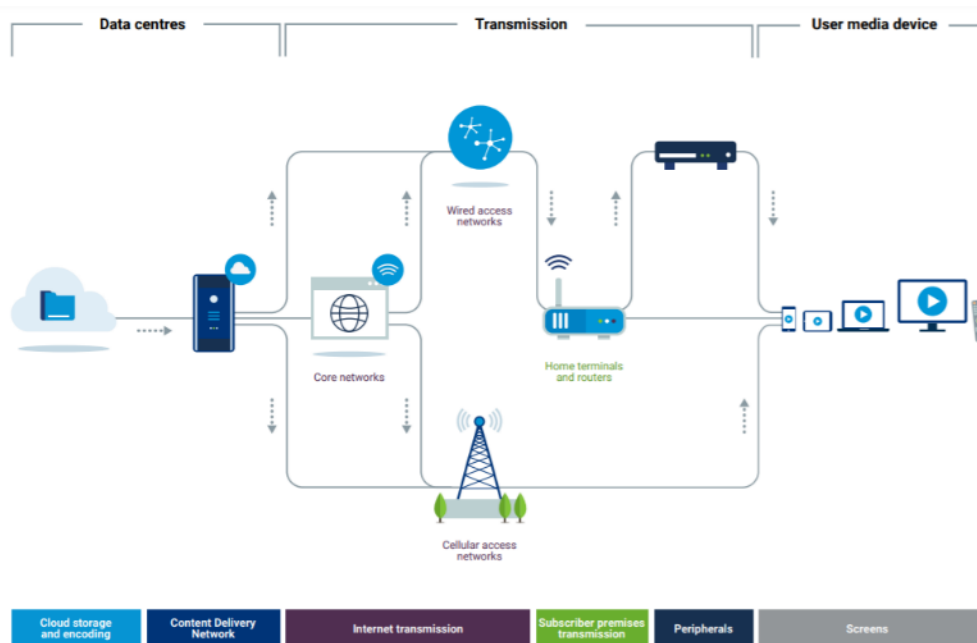


Figure 3 – Chaîne de transmission des données lors de l'utilisation d'un service numérique (Fletcher et al. 2021)

Lire un livre

Si le livre papier reste le support classique de lecture, les lecteurs se tournent aujourd'hui de plus en plus vers la lecture numérique, que ce soit sur liseuse, tablette ou smartphone. Selon un rapport publié par l'ARCEP en 2021 (ADEME et ARCEP 2022), 17% des personnes interrogées déclarent lire des livres sur des écrans numériques, contre 8% en 2018.

Ecouter de la musique

Pendant très longtemps, le support utilisé pour écouter de la musique était le CD, tandis qu'aujourd'hui le streaming est le moyen principal pour écouter de la musique. Nous en serions d'ailleurs de gros consommateurs : selon un rapport publié par la Fédération internationale de l'industrie phonographique en 2018, les Français écouteront en moyenne 15 heures de musique par semaine (IFPI 2019). Comme pour la vidéo, notre manière de consommer ce service numérique pèse tout particulièrement dans notre bilan environnemental. La résolution audio de la musique, le réseau utilisé, le

format de la musique (audio ou vidéo), ou encore son mode d'accès (téléchargement direct ou streaming) sont autant de paramètres qui font varier nos impacts environnementaux.

Regarder un film

Les modes de visionnage d'un film ont fortement évolué au cours de la dernière décennie : si les supports historiques étaient les DVDs (et bien avant, les cassettes VHS), c'est désormais sur ordinateur ou sur télévision connectée que les films et les vidéos sont regardés. Le visionnage de vidéos est devenu une habitude quotidienne des français, notamment chez les jeunes. En effet, chez les 18-24 ans, le temps passé à regarder des vidéos sur internet dépasse les 11 heures par semaine en moyenne (ADEME et ARCEP 2022). Minimiser les impacts liés à cette utilisation de plus en plus fréquente devient alors nécessaire, ces impacts dépendant tout particulièrement de nos habitudes de visionnage (durée de visionnage, résolution de la vidéo, type de réseau utilisé...). Toutefois, ces leviers sont mal connus puisque par exemple, selon le Baromètre du numérique de l'ARCEP publié en 2021 (ADEME et ARCEP 2022), un internaute utilisant le réseau fixe sur deux (51%) n'a jamais modifié la résolution d'un contenu vidéo, ce chiffre atteignant 73% chez les retraités. Il devient indispensable de savoir paramétrer votre vidéo pour réduire l'impact au minimum tout en continuant à profiter de votre contenu.

Jouer à un jeu vidéo

Tout comme pour les autres services évoqués plus haut, notre manière de jouer aux jeux vidéo a changé significativement lors de la dernière décennie. Si selon Ubisoft près d'un tiers des joueurs de consoles utilisent toujours un disque pour accéder à leur jeu, de plus en plus d'utilisateurs s'orientent vers le téléchargement direct selon le studio. Plus récemment, les développeurs de jeux vidéo ont mis au point une nouvelle technique pour jouer : le cloud gaming. Le principe est simple : l'exécution du jeu se fait directement à partir d'un data center où le jeu est stocké sur un puissant serveur. A terme, les utilisateurs n'auront potentiellement plus besoin d'une console dotée d'un processeur performant pour faire tourner leur jeu, mais simplement d'un écran pour l'afficher et d'une connexion internet suffisamment puissante. Cette nouvelle utilisation du jeu vidéo entraîne une diminution importante de l'extraction des ressources nécessaires à la fabrication des terminaux utilisateurs, puisque l'achat d'une console pourrait ne plus être obligatoire à terme pour jouer. En contrepartie, le recours plus important aux data centers et à une infrastructure plus développée, la généralisation de la haute définition (HD et 4K) nécessitant un nombre croissant de données ou encore l'augmentation de la demande en jeux vidéo induite par une accessibilité accrue au gaming sont autant de facteurs impactant directement la consommation d'électricité. De manière générale, les impacts liés à l'utilisation d'un jeu vidéo vont principalement dépendre de son format (disque, téléchargement direct ou cloud gaming), de sa taille et de la durée totale de jeu. En connaissant vos habitudes de jeu, vous pouvez choisir le mix optimal qui vous est le plus adapté pour minimiser vos impacts.

Les objectifs de cette étude sont donc de :

- Obtenir des informations quantitatives pertinentes sur l'impact de la numérisation des services culturels ;
- Définir des bonnes pratiques aux utilisateurs de service culturels en fonction des habitudes ;
- Communiquer ces informations au grand public, aux pouvoirs publics ainsi qu'aux entreprises proposant des services culturels digitaux.

A noter que cette étude a été réalisée conformément aux normes ISO 14040 et ISO 14044 et soumise à revue critique externe suivant ces mêmes normes. Elle s'appuie également sur le PCR « Services Numériques » de l'ADEME (ADEME 2021a).

Pour plus de facilité de lecture, les services culturels historiques (lire un livre papier, regarder un DVD, écouter de la musique sur chaîne hi-fi ou jouer à un jeu vidéo sur Blu-Ray) sont appelés « services physiques » tandis que les services culturels récents (lire un livre sur liseuse, regarder un film en streaming, écouter de la musique en streaming ou jouer à un jeu vidéo en téléchargement direct ou cloud gaming) sont appelés « services numériques ».

1. LIRE UN LIVRE

1.1. CHAMPS DE L'ETUDE

1.1.1. Description des systèmes à l'étude

L'étude présentée dans cette section analyse et compare les impacts environnementaux de plusieurs scénarios pour lire un livre :

- Service au format physique : lire un livre au format papier ;
- Service au format numérique :
 - Lire un livre sur une liseuse numérique ;
 - Lire un livre sur une tablette ;
 - Lire un livre sur une tablette uniquement dédiée à la lecture.

Parmi ces scénarios, la lecture sur livre papier et sur liseuse numérique sont supposés être les plus utilisés par les usagers. Le scénario de lecture sur tablette a été ajouté pour couvrir plus d'usage numérique. Le scénario sur tablette dédiée a été ajouté pour investiguer l'influence de la multifonctionnalité de la tablette, en considérant une utilisation mono-fonction de la tablette dans ce dernier scénario.

Concernant les caractéristiques du livre pris en compte, l'étude se focalise sur le genre roman, pour lequel la version « e-book » numérique et la version papier offre un service comparable (peu d'image, nombre de pages relativement peu variable). Un roman de 300 pages a été considéré, représentant un roman de moyenne taille. Ce nombre de pages a surtout un sens pour le format papier, moins pour le format numérique. Il peut également être interprété comme un nombre de 80 000 mots (environ 266 mots par page).

Les scénarios au format numérique diffèrent par le terminal utilisé et l'usage qui en est fait. La liseuse numérique ne peut être utilisée que pour lire des livres (mono-fonction). La tablette, en revanche, permet de lire des livres numériques, mais rend également de nombreuses autres fonctions, proches d'un ordinateur portable. Le 2^{ème} scénario numérique étudie la situation où la tablette est utilisée pour lire, parmi de multiples autres usages. Il est également intéressant de comprendre quel serait l'impact environnemental dans le cas où la tablette est utilisée de la même façon que la liseuse : uniquement pour lire (3^{ème} scénario numérique). Ce scénario permet de comparer l'utilisation d'une liseuse ou d'une tablette, à usage équivalent.

1.1.2. Fonction et unité fonctionnelle

L'analyse environnementale, et plus particulièrement l'analyse du cycle de vie (ACV) repose sur l'étude d'une fonction et non d'un produit, et définit une « unité fonctionnelle » qui représente une quantification de la fonction rendue par un produit ou un service (performances et durée de vie). A ce titre, elle sert d'unité de référence pour comparer plusieurs systèmes selon une base commune. L'unité fonctionnelle utilisée comme référence dans cette section pour évaluer les systèmes est la suivante :

Lire un roman de 300 pages en France en 2020

L'objectif principal de l'unité fonctionnelle est donc de fournir une référence qui servira à la quantification des différentes données d'entrée et de sortie des systèmes à l'étude. Cette référence permet d'assurer la comparabilité entre résultats d'ACV dans le cadre d'une comparaison de produits / services.

Cette unité fonctionnelle sera appliquée sur les quatre scénarios étudiés afin de les comparer.

1.1.3. Frontières du système

Les frontières des systèmes étudiés définissent toutes les activités pertinentes à considérer dans l'ACV, afin que celle-ci soit cohérente avec les objectifs de l'étude.

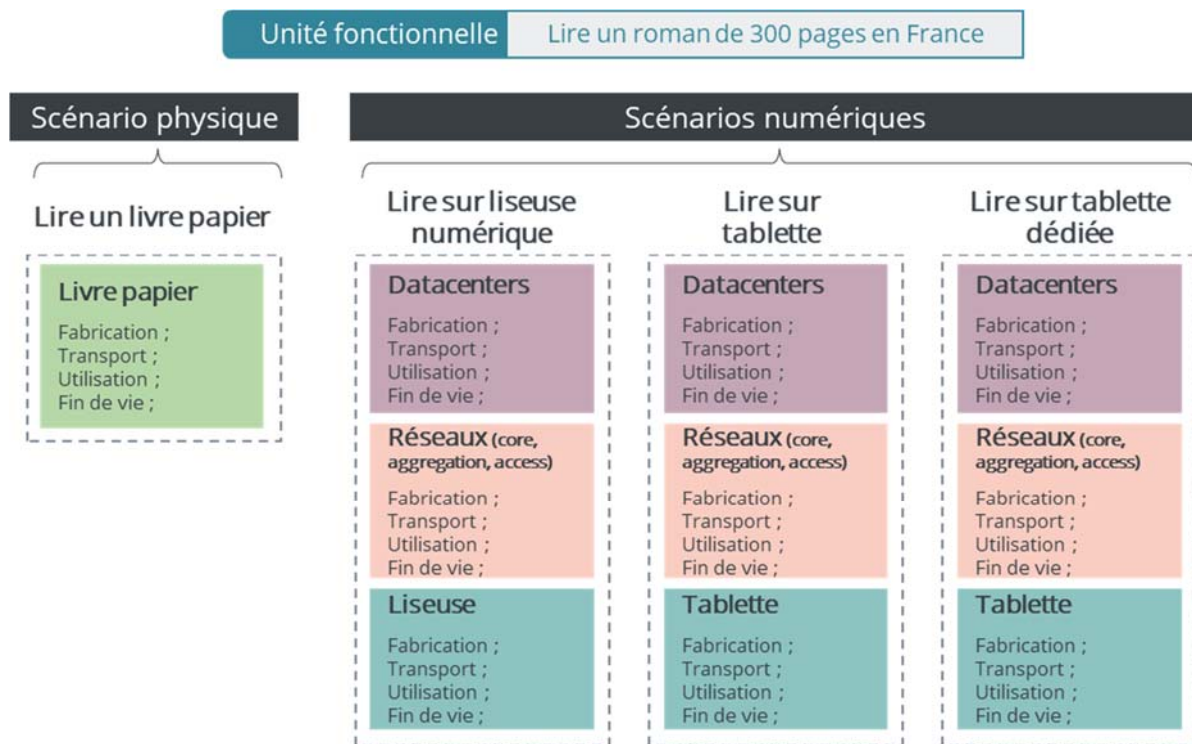


Figure 4 – Frontières des systèmes étudiés pour le service « Lire un livre »

Quatre scénarios sont comparés pour ce service culturel. Pour le scénario physique, seul un livre papier est nécessaire pour remplir la fonction de l'UF. Pour les scénarios numériques plusieurs éléments sont nécessaires. La box internet, les réseaux et les datacenters pour la transmission des données (livre au format numérique) sont des éléments communs aux trois scénarios numériques. Les terminaux de consultation sont en revanche différents : liseuse numérique pour le premier et tablette pour les deux derniers scénarios. Le terminal est identique entre ces deux scénarios mais l'usage qui en est fait (et donc leur impact environnemental) est différent.

Pour chaque élément, les étapes du cycle de vie suivantes ont été considérées dans la modélisation :

- **Production** : production des matières premières (papier, encres, ... pour le livre papier | composants électroniques pour les équipements) et assemblage du produit fini ;
- **Transport** : emballage et distribution du produit fini vers le consommateur ;
- **Utilisation** : consommation d'énergie lors de l'utilisation ;
- **Fin de vie** : gestion de la fin de vie (recyclage, incinération, mise en décharge, réutilisation).

1.1.4. Représentativité géographique et temporelle

L'analyse environnementale menée dans cette étude est représentative des services culturels utilisés en 2020 en France.

1.1.5. Règles de coupure

Tous les éléments identifiés comme pertinents dans les frontières des systèmes à l'étude, et dont les données associées étaient disponibles ou raisonnablement estimables par des hypothèses, ont été intégrés à l'analyse. Les étapes suivantes ont été exclues de l'étude :

- L'étape d'écriture du roman ;
- Les infrastructures pour l'étape d'impression du livre ;
- Les infrastructures de stockage entre les étapes de transport des éléments ;
- Les besoins en électricité pour la phase d'usage (éclairage) ;
- Les besoins en meubles et/ou pièces dédiées pour stocker le livre chez le consommateur.

1.1.6. Règles d'allocation

Les procédés utilisés pour la modélisation de cette étude sont issus de deux bases de données : ecoinvent V3.8 et NegaOctet. Les procédés issus d'ecoinvent v3.8 sont construits sur la base de la méthode « cut-off », tandis que les procédés de NegaOctet sont construits sur la base de la méthode des « stocks ». Ces deux approches sont identiques et consistent à considérer les impacts du recyclage d'un matériau à l'utilisateur de matières recyclées. De fait, lorsqu'un déchet est envoyé en recyclage aucun impact ni crédit n'est alloué à cette étape.

1.2. INVENTAIRES DU CYCLE DE VIE

1.2.1. Données d'inventaires

1.2.1.1. Données principales de modélisation des scénarios

Le tableau suivant présente les données principales de modélisation des scénarios à l'étude. Les données en *orange* sont utilisées en analyse de sensibilité.

Tableau 1 – Données principales de modélisation des scénarios étudiés dans le service « Lire un livre »

Composants	Donnée	Scénario physique	Scénarios numériques		
		Lire un livre papier	Lire sur liseuse numérique	Lire sur tablette	Lire sur tablette dédiée
Datacenters			Données NegaOctet		
Réseaux	Type de connexion		Réseau fixe. <i>Réseau mobile</i>		
	Poids du livre numérique (équivalent 300 pages)		3 Mo		
	Consommation moyenne de données par ligne		220 Go / mois		
Livre papier	Nombre d'utilisation du livre sur durée de vie	Par défaut : 2 utilisations <i>1 usage unique (min); 5 répétitions (max)</i>			
Liseuse numérique	Durée de vie et intensité d'usage (nombre de livres lus par an)		5 ans ; 4,44 livres / an <i>1 livre / an (min); 20 livres / an (max)</i>		
Tablette	Durée de vie et intensité d'usage			3 ans ; 0,39 h / jour	
Tablette dédiée	Durée de vie et intensité d'usage : nombre de livres lus par an (identique au E-reader)				3 ans ; 4,44 livres / an <i>1 livre / an (min); 20 livres / an (max)</i>

Plus d'information sur ces données et les sources associées sont indiquées en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios & ANNEXE D – Informations et sources des données de débit binaire et taille de fichiers numérique.

Les données présentées dans ce tableau permettent notamment de ramener les impacts des datacenters, réseaux, et terminaux à l'unité fonctionnelle étudiée. Différentes méthodes d'allocation sont utilisées pour cela.

Pour le livre papier, celui-ci a une durée de vie théorique très grande et pourrait être réutilisé au moins pendant une dizaine d'année. Mais en pratique, un livre acheté par un particulier aura sûrement un nombre limité d'utilisation. Pour ramener les impacts du cycle de vie d'un livre neuf à l'UF, il faut diviser par ce nombre d'utilisations. On peut s'attendre à ce que l'utilisateur, sauf exception, ne lise lui-même qu'une ou deux fois le livre. L'utilisateur peut cependant facilement acheter ou vendre ce livre d'occasion, ou le prêter, dans ce cas le nombre d'utilisation sera probablement bien plus élevé. La location de livre en bibliothèque est également une situation commune, où les livres peuvent être réutilisés plusieurs dizaines de fois. Par manque de donnée sur ce paramètre, nous avons utilisé dans notre analyse du livre une estimation par défaut de 2 utilisations (le livre sera entièrement lu deux fois) sur sa durée de vie. En analyse de sensibilité, nous avons considéré un cas correspondant à une unique utilisation, et un cas correspondant à 5 utilisations du livre.

Concernant la liseuse, celle-ci a également une durée de vie théorique grande (parfois au-delà de 10 ans), mais le nombre d'utilisation de la liseuse pendant sa durée de vie peut être très variable d'un utilisateur à l'autre. En moyenne, les utilisateurs du service de liseuse numérique lisent 4,5 livres par an. Les impacts sur le cycle de vie de la liseuse numérique sont donc divisés par le nombre de lectures sur la durée de vie de la liseuse (= durée de vie [ans] x intensité d'usage [livres / an]). Afin de prendre en compte cette importante variabilité de l'intensité d'usage, nous étudions dans la partie 4 l'analyse des points de bascule sur ce paramètre, entre les différents supports de lecture étudiés.

Les impacts sur le cycle de vie de la tablette sont ramenés par heure d'utilisation en calculant son temps d'utilisation total sur leur durée de vie (= durée de vie [ans] x intensité d'usage [h / jour] x 365 [jour/an]), comme pour tous les terminaux analysés plus loin dans cette étude (TV, lecteur DVD, box TV, ordinateur, smartphone). Nous multiplions ensuite par le nombre d'heures de lecture estimé à 6,2 h pour un roman de 300 pages.

Concernant la tablette dédiée uniquement à la lecture, ses impacts de production, transport et fin de vie sont les mêmes que pour la tablette. En revanche, ceux-ci ne sont pas ramenés de la même façon à l'unité fonctionnelle. Son usage est mono-fonction (lecture) et considéré identique à la liseuse numérique, c'est-à-dire un nombre d'utilisation de 4,5 livres par an, et aucune autre fonction en dehors. Les impacts sont donc divisés par le nombre de lectures sur la durée de vie de la tablette dédiée (= durée de vie [ans] x intensité d'usage [livres / an]).

Les impacts du réseau fixe sont exprimés par ligne et par an dans les données NegaOctet. Ramener ces impacts par heure d'utilisation ne prendrait pas en compte le fait que plusieurs terminaux peuvent utiliser la ligne en même temps. L'allocation utilisée pour le réseau fixe est donc une allocation par gigaoctet de données transmises sur la ligne sur un an (intensité d'usage en [Go / mois] x 12 [mois/an]).

Pour les datacenters, une allocation par gigaoctet de données transmises a également été utilisée.

La modélisation du cycle de vie des différents éléments des scénarios est décrite dans les paragraphes suivants.

1.2.1.2. Inventaire du cycle de vie d'un livre papier

Le cycle de vie entier d'un livre papier a été modélisé pour cette étude, de la production des matières premières à la fin de vie du produit. Les caractéristiques du livre étudié sont référencées dans le tableau suivant :

Tableau 2 – Caractéristiques du livre étudié

Caractéristiques du livre	Valeur	Unité
Nombre de pages	300	pages
Poids final	441,5	g
Poids des pages	425,2	g
Poids de la couverture	16,3	g
Surface des pages	0,15 x 0,21	m ²
Surface d'impression	0,12 x 0,17	m ²
Nombre de tirages	5 000	tirages

Ces données sont tirées de la publication du JRC « *Revision of European Ecolabel Criteria for printed paper products* » (Konstantas et al. 2018) où un livre de 96 pages est modélisé. Le fichier Excel d'inventaire de cycle de vie fourni en annexe de ce rapport détaille les étapes de calcul pour utiliser les données d'un livre de 96 pages à un livre de 300 pages.

1.2.1.2.1. Etape de production d'un livre de 300 pages

Production des matières premières

La matière principale d'un livre physique est le papier. Deux types de papier sont identifiés, un papier pour le corps du livre, où le roman est imprimé, et un papier pour la couverture.

Le corps du livre est imprimé sur du papier non couché, de faible grammage. Il est considéré que les fibres de papier sont recyclables plusieurs fois mais pas indéfiniment. Selon le type de bois, une feuille de papier peut être recyclée entre 5 et 7 fois avant de trop perdre en qualité. Pour cette étude il est donc considéré qu'un taux de 16,7% de fibres vierges sont incorporées afin de garder une certaine qualité en papier (Konstantas et al. 2018). La production de papier non couché vierge est modélisé via le procédé ecoinvent v3.8 suivant « *Paper, woodfree, uncoated {RER} paper production, woodfree, uncoated, at non-integrated mill | Cut-off, U* » tandis que le papier non couché recyclé est modélisé via « *Paper, woodfree, uncoated {CA-QC} paper production, woodfree, uncoated, 100% recycled content, at non-integrated mill | Cut-off, U* ».

La couverture du livre est imprimée sur du papier couché, de grammage plus élevé. Dans cette étude il est considéré que la couverture est exclusivement produite à partir de papier vierge et est modélisée via le procédé ecoinvent v3.8 suivant « *Paper, woodfree, coated {RER} paper production, woodfree, coated, at integrated mill | Cut-off, U* ».

Tableau 3 – Caractéristiques du papier utilisé pour le livre étudié

Pages	Type de papier	Grammage	Taux de recyclé
Corps du livre	Papier non couché	90 g/m ²	83,3%
Couverture	Papier couché	250 g/m ²	0%

De l'encre est également utilisée afin d'écrire le texte. Il est considéré que pour un roman de 300 pages, 12,4g d'encre sont nécessaires (Konstantas et al. 2018). Le Tableau 4 suivant décrit la modélisation de l'encre considérée dans cette étude :

Tableau 4 – Modélisation de l'encre utilisée

Composants	%	Procédé ecoinvent v3.8
Noir de carbone	7,0%	Carbon black {GLO} market for Cut-off, U
PET – plastique	7,0%	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {GLO} market for Cut-off, U
Bitume	9,5%	Bitumen adhesive compound, hot {GLO} market for Cut-off, U
Résine alkyde	19,0%	Alkyd resin, long oil, without solvent, in 70% white spirit solution state {RER} market for alkyd resin, long oil, without solvent, in 70% white spirit solution state Cut-off, U
Huile minérale	47,5%	Light fuel oil {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U
Huiles de palme/soja	5,0%	Vegetable oil, refined {GLO} palm oil, refined, to generic market for vegetable oil Cut-off, U
Calcaire	5,0%	Limestone, crushed, washed {CH} market for limestone, crushed, washed Cut-off, U

Toutes ces données sont issues de la publication du JRC et retraitée pour un livre de 300 pages quand nécessaire.

Le pigment utilisé pour l'encre est du noir de carbone, impliquant une impression en noir et blanc uniquement. Cette hypothèse peut être considérée comme une limite pour l'impression de la couverture du livre, souvent colorée.

Etape d'impression

L'étape d'impression est l'étape permettant de mettre en forme le livre en imprimant le texte sur les feuilles du livre. La modélisation de cette étape est explicitée dans le Tableau 5 suivant :

Tableau 5 – Modélisation de l'étape d'impression, pour une UF

Composants	Valeur	Unité	Procédé ecoinvent v3.8
INTRANTS			
Papier	520,2	g	Cf Tableau 3
Encre	12,4	g	Cf Tableau 4
Plaque gravée	0,0084	Pièces	Cf ANNEXE B – Modélisation de l'étape d'impression du livre papier
Solution liquide	0,0064	L	Cf ANNEXE B – Modélisation de l'étape d'impression du livre papier
Caoutchouc	0,075	g	Synthetic rubber {GLO} market for Cut-off, U
Electricité	0,0091	kWh	Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, U
Eau	0,0053	L	Tap water {RER} market group for Cut-off, U
SORTANTS			
Plaque gravée	0,0084	Pièces	Cf ANNEXE B – Modélisation de l'étape d'impression du livre papier
Chutes de papier	10,4	g	Waste graphical paper {FR} market for waste graphical paper Cut-off, U
Caoutchouc	0,075	g	Waste plastic, mixture {FR} market for waste plastic, mixture Cut-off, U

Selon la publication du JRC, 8 pages peuvent être imprimées par plaque gravée. Le texte d'un roman étant considéré imprimé entièrement en noir, 38 plaques sont nécessaires pour 300 pages (nombre entier). En ce qui concerne la couverture, il est supposé que l'impression est réalisée en couleur (quadrichromie) et une plaque par couleur est nécessaire. La couverture d'un livre comprenant 2 pages, 4 plaques sont nécessaires. Au total, pour un livre de 300 pages, 42 plaques sont nécessaires. Enfin, une plaque est utilisée pour imprimer plusieurs fois le même livre. Il est considéré dans cette étude qu'une plaque permet en moyenne l'impression de 5 000 livres¹.

Le nettoyage est la dernière étape de l'impression. Sa modélisation est explicitée dans le Tableau 6 suivant :

¹ <http://www.ecoute-ecrit.fr/les-chiffres-du-livre-en-france.html#:~:text=Le%20tirage%20moyen%20d'un,par%20titre%20repr%C3%A9sente%204,090%20exemplaires.> Consulté le 01/06/2022

Tableau 6 – Modélisation de l'étape de nettoyage, pour une UF

Composants	Valeur	Unité	Procédé ecoinvent v3.8
INTRANTS			
Solvant	0,001	g	Solvent, organic {GLO} market for Cut-off, U
Dégraissant	0,0005	g	Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, U
Chiffons	0,001	g	Textile, jute {GLO} market for Cut-off, U
Nettoyant concentré	0,001	g	Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, U
SORTANTS			
Chiffons sales	0,001	g	Waste textile, soiled {CH} market for waste textile, soiled Cut-off, U

Etape d'assemblage

Cette dernière étape consiste à assembler les pages et la couverture du livre final.

Tableau 7 – Modélisation de l'étape d'assemblage final pour le livre étudié

Composants	Valeur	Unité	Procédé ecoinvent v3.8
Electricité	0,625	Wh	Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, U
Fil végétal	0,156	g	Yarn, cotton {GLO} market for yarn, cotton Cut-off, U
Colle	3,125	g	Polyurethane adhesive {GLO} market for polyurethane adhesive Cut-off, U
Polypropylène	1,969	g	Polypropylene, granulate {RER} production Cut-off, U

1.2.1.2.2. Etape de conditionnement d'un roman de 300 pages

Etape d'emballage

Une fois mis en forme, le livre va être emballé puis transporté vers son lieu de vente. En utilisant les données du JRC (une boîte en carton de 795g contenant 50 livres de 96 pages), il est considéré qu'un roman de 300 pages est transporté dans une boîte en carton de 49,7g, modélisée via le procédé ecoinvent v3.8 « *Corrugated board box {RER}| market for corrugated board box | Cut-off, U* ».

Etape de transport jusqu'au point de vente

Le livre va ensuite être transporté jusqu'à son point de vente. Le PEF a publié un rapport nommé « *PEF / OEF : Default data to be used to model distribution and storage* » (PEF 2015) dans le but de fournir des données moyennes pour le transport des produits. Ainsi, cette publication recommande pour les produits manufacturés une distance de 200 km entre le lieu de production et le point de vente. Le transport utilisé est le suivant : « *Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U* ».

L'utilisation d'un semi-remorque peut être considérée comme une hypothèse limitante de la modélisation, des camionnettes pouvant être préférées pour l'approvisionnement de certaines zones (en centre-ville par exemple). A défaut de sources fiables, les données du PEF seront préférées.

Etape de transport jusqu'chez le consommateur

La même publication du PEF fournit des distances moyennes des produits de leur point de vente vers le consommateur. Ainsi, 62% du produit est considéré être transporté par voiture sur 4,8 km et le trajet est considéré être réalisé pour l'achat de 20 produits, soit 1/20^e des impacts sont donc alloués au livre étudié. 5% du produit est transporté par camionnette sur 4,8 km, en considérant le poids du livre transporté avec son emballage et 33% via bus, pied ou vélo.

Tableau 8 – Modélisation de l'étape de distribution du livre jusqu'à chez le consommateur

Transport	Valeur	Unité	Procédé ecoinvent v3.8
Voiture	0,1488	km	Transport, passenger car, EURO 5 {RER} transport, passenger car, EURO 5 Cut-off, U
Camionnette	0,1179	kgkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U
Bus, vélo, à pied	x	x	Négligé

1.2.1.2.3. Etape d'utilisation d'un roman de 300 pages

La phase d'utilisation d'un livre physique est considérée sans impact. En effet, la consommation d'électricité pour l'éclairage n'est pas considérée dans le périmètre de l'étude.

1.2.1.2.4. Etape de fin de vie d'un roman de 300 pages

Très peu d'informations sont disponibles sur la gestion de la fin de vie des livres en France. A défaut de meilleures données, il est supposé que les livres sont gérés de la même manière que la filière papier/carton. Pour l'emballage en carton du livre, les chiffres de la filière carton sont utilisés. Ainsi, les chiffres CITEO de ces commodités en France en 2020 (CITEO 2020) sont retenus et présentés dans le Tableau 9 suivant :

Tableau 9 – Modélisation de la fin de vie du livre et de son emballage

Traitement	%	Procédé ecoinvent v3.8
Recyclage – livre	60,50%	Paper (waste treatment) {GLO} recycling of paper Cut-off, U
Incineration / Mise en décharge – livre	39,50%	Waste graphical paper {FR} market for waste graphical paper Cut-off, U

Recyclage – carton	64,50%	Core board (waste treatment) {GLO} recycling of core board Cut-off, U
Incinération / Mise en décharge – carton	35,50%	Waste paperboard {FR} market for waste paperboard Cut-off, U

Le livre physique considéré par défaut est supposé être lu 2 fois donc rempli deux fois la fonction de l'unité fonctionnelle « Lire un roman de 300 pages en France en 2020 ».

Toutes les données ecoinvent utilisées dans cette modélisation sont des données « market » afin de bien prendre en compte le transport des matières premières vers l'usine de production.

1.2.1.3. Inventaire du cycle de vie d'une liseuse

1.2.1.3.1. Etape de production d'une liseuse

Dans cette étude, l'étape de production de la liseuse a été modélisée à l'aide de données directement collectées auprès du producteur Rakuten Kobo sur le modèle de leur liseuse eBook Kobo Clara HD 8 Go². Toutefois, ces données sont confidentielles et ne sont pas détaillées dans ce rapport.

Les données collectées concernent notamment l'inventaire des composants de la liseuse, ainsi que leurs masses et matériaux, les distances de transport des composants vers l'usine d'assemblage, et la consommation d'énergie lors de l'assemblage.

La liseuse est produite en Chine et à Taiwan.

1.2.1.3.2. Etape de conditionnement d'une liseuse

Etape d'emballage

Une fois assemblée, la liseuse va être emballée puis transportée vers son lieu de vente. Il est supposé ici que l'emballage utilisé pour une liseuse est identique à celui d'une chaîne hifi, décrit plus loin (cf page 50). Un ratio massique entre une chaîne hifi et une liseuse est appliqué.

Etape de transport jusqu'au point de vente

La liseuse va ensuite être transportée jusqu'à son point de vente. Le PEF a publié un rapport nommé « *PEF / OEF : Default data to be used to model distribution and storage* » (PEF 2015) dans le but de fournir des données moyennes pour le transport des produits. Cette publication recommande pour les produits manufacturés hors Europe une distance de 500 km en camion (pour la somme des distances reliant les usines de production aux ports/aéroports ainsi que des ports/aéroports vers les centres de distribution/stockage) plus la distance en bateau de 21 550 km depuis la Chine (calculée à partir du site www.searates.com).

² <https://fr.shopping.rakuten.com/offer/buy/3085754588/liseuse-e-book-kobo-clara-hd-8-go-6-pouces-noir.html>, consulté le 03.08.2022

Le transport en camion utilisé est le suivant : « *Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RER}/ transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U* ».

Le transport en bateau utilisé est le suivant : « *Transport, freight, sea, container ship {GLO}/ market for transport, freight, sea, container ship | Cut-off, U* ».

L'utilisation d'un semi-remorque peut être considérée comme une hypothèse limitante de la modélisation, des camionnettes pouvant être préférées pour l'approvisionnement de certaines zones (en centre-ville par exemple). A défaut de sources fiables, les données du PEF seront préférées.

Etape de transport jusqu'chez le consommateur

La même publication du PEF fournit des distances moyennes des produits de leur point de vente vers le consommateur. Ainsi, 62% du produit est considéré être transporté par voiture sur 4,8km et le trajet est considéré être réalisé pour l'achat de 3 produits, soit 1/3^e des impacts sont donc alloués à la liseuse étudiée. 5% du produit est transporté par camionnette sur 4,8km, en considérant le poids de la liseuse transportée avec son emballage et 33% via bus, pied ou vélo.

Tableau 10 – Modélisation de l'étape de distribution de la liseuse jusqu'à chez le consommateur

Transport	Valeur	Unité	Procédé ecoinvent v3.8
Voiture	0,992	km	Transport, passenger car, EURO 5 {RER}/ transport, passenger car, EURO 5 Cut-off, U
Camionnette	0,0583	kg.km	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER}/ transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U
Bus, vélo, à pied	x	x	Négligé

1.2.1.3.3. Etape d'utilisation d'une liseuse numérique

La phase d'utilisation de la liseuse numérique est modélisée à l'aide des données directement collectées auprès du producteur Rakuten Kobo sur le modèle de leur liseuse eBook Kobo Clara HD 8 Go³. Toutefois, ces données sont confidentielles et ne sont pas détaillées dans ce rapport.

Ces données concernent notamment les données de consommation d'énergie de la liseuse (indirectement, via la recharge de sa batterie une fois celle-ci déchargée).

1.2.1.3.4. Etape de fin de vie d'une liseuse numérique

Pour modéliser la fin de vie de la liseuse numérique, le procédé ecoinvent v3.8 suivant est utilisé, en considérant bien le poids correspondant à la liseuse étudiée : « *Used smartphone {GLO}/ market for used smartphone | Cut-off, U* ».

Pour l'emballage de la liseuse, les mêmes données que pour l'emballage de la chaîne hifi sont utilisées et présentées page 51.

Toutes les données ecoinvent utilisées dans cette modélisation sont des données « market » afin de bien prendre en compte le transport des matières premières vers l'usine de production.

³ <https://fr.shopping.rakuten.com/offer/buy/3085754588/liseuse-e-book-kobo-clara-hd-8-go-6-pouces-noir.html>, consulté le 03.08.2022

1.2.1.4. Inventaire du cycle de vie d'une tablette

Le cycle de vie entier d'une tablette a été modélisé pour cette étude à l'aide des données NegaOctet. Plusieurs configurations de tablette ont été considérées.

Pour la production des tablettes, les données NegaOctet suivantes ont été utilisées :

- NEGA-0490 : Tablet; 10.2 inches display LCD, 1 CPU 125 mm² 16 nm lithography, 4 GB RAM, 32 GB SSD
- NEGA-0491 : Tablet; 10.3 inches display LCD, 1 CPU 125 mm² 16 nm lithography, 4 GB RAM, 256 GB SSD
- NEGA-0492 : Tablet; 11.1 inches display LCD, 1 CPU 83,27 mm² 7 nm lithography, 6 GB RAM, 512 GB SSD

Pour la fin de vie des tablettes, les données suivantes ont été utilisées :

- NEGA-0513 : Tablet; 10.2 inches display LCD, 1 CPU 125 mm² 16 nm lithography, 4 GB RAM, 32 GB SSD
- NEGA-0514 : Tablet; 10.3 inches display LCD, 1 CPU 125 mm² 16 nm lithography, 4 GB RAM, 256 GB SSD
- NEGA-0515 : Tablet; 11.1 inches display LCD, 1 CPU 83,27 mm² 7 nm lithography, 6 GB RAM, 512 GB SSD

Le mix de configuration utilisé pour modéliser une tablette représentative du marché⁴ est le suivant :

- 17,4% Tablet; 10.2 inches display LCD, 1 CPU 125 mm² 16 nm lithography, 4 GB RAM, 32 GB SSD
- 28,2% Tablet; 10.3 inches display LCD, 1 CPU 125 mm² 16 nm lithography, 4 GB RAM, 256 GB SSD
- 54,4% Tablet; 11.1 inches display LCD, 1 CPU 83,27 mm² 7 nm lithography, 6 GB RAM, 512 GB SSD

Pour la phase de transport, les données NegaOctet de transport par camion, bateau, ou avion ont été utilisées (ADEME et ARCEP 2022). Les distances et mode de transport considérés sont les mêmes que celles précisées dans le rapport ADEME-ARCEP 2022 (ADEME et ARCEP 2022).

Pour la phase d'utilisation, le mix électrique français a été considéré. La donnée NegaOctet associée est : « CODDE-2548 : Electricity Mix; Production mix; Low voltage; FR ». La consommation d'énergie de la tablette considérée est précisée en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios.

1.2.1.5. Inventaire du cycle de vie des datacenters

Le cycle de vie entier des datacenters a été modélisé à partir de la donnée NegaOctet : NEGA-0902 - Download or upload; 1 GB of data, via a mobile connection, end-user equipment not included; FR. Cette donnée représente le transfert de fichier sur le réseau mobile, et couvre la partie datacenters et la partie réseau. Les impacts sont exprimés par Go, sur tout le cycle de vie. En soustrayant à cette donnée les impacts du cycle de vie du réseau mobile (modélisé tel que détaillé ci-dessous), nous obtenons uniquement les impacts liés à la partie Datacenters de ce service numérique, exprimé par Go transféré.

1.2.1.6. Inventaire du cycle de vie des réseaux fixe et mobile

Le cycle de vie entier des réseaux (core, aggregation, et access) a été modélisé pour cette étude.

La phase de fabrication des réseaux a été modélisée à l'aide des données NegaOctet suivantes :

- **Réseau fixe**, NEGA-0866 : Fixed-line network; at consumer; xDSL, FFTx average mix ; FR
- **Réseau mobile**, NEGA-0887 : Mobile network; at consumer; 2G, 3G, 4G, 5G average mix ; FR

⁴ Données de NegaOctet

La phase de fin de vie des réseaux a été modélisée à l'aide des données NegaOctet suivantes :

- **Réseau fixe**, NEGA-0878 : Fixed-line network; at consumer; xDSL, FFTx average mix ; FR
- **Réseau mobile**, NEGA-0879 : Mobile network; at consumer; 2G, 3G, 4G, 5G average mix ; FR

Pour la phase de transport des réseaux, les données NegaOctet de transport par camion, bateau, ou avion ont été utilisées. Les distances et mode de transport considérés sont les mêmes que celles précisées dans le rapport ADEME-ARCEP 2022 (ADEME et ARCEP 2022).

Pour la phase d'utilisation des réseaux, le mix électrique français a été considéré. La donnée NegaOctet associée est : CODDE-2548 - Electricity Mix; Production mix; Low voltage; FR. Les consommations d'énergie considérés⁵ pour les réseaux sont :

- Réseau fixe : 180,9 kWh / an
- Réseau mobile : 0,24 kWh / Go

Les résultats obtenus sur le cycle de vie du réseau fixe à partir des données NegaOctet sont exprimés par an. Ceux-ci sont alloués par Go en considérant la consommation moyenne de données par ligne fixe : 220 Go/mois (ADEME-ARCEP 2022). Comme détaillé dans le rapport ADEME-ARCEP⁶, les impacts environnementaux du réseau fixe ne sont pas directement proportionnels au nombre de Go transférés. En effet, ils sont davantage liés aux stratégies des opérateurs de redimensionnements ou déploiement d'infrastructures en réponse à une augmentation soudaine ou continue du trafic. Cette allocation par Go transférés entraîne donc un biais méthodologique, faisant partie des limites de l'étude (cf. partie 5.). D'autres méthodes existent (Fletcher et al. 2021) mais n'ont pas été étudiées dans ce rapport.

1.2.2. Qualité des données

La fiabilité des résultats de l'ACV et des conclusions qui en découlent dépendent directement des données utilisées pour la modélisation. Ainsi les données utilisées doivent être représentatives de :

- La période sur laquelle l'étude a été conduite (2020) ;
- Le contexte géographique des systèmes étudiés (mix technologique des équipements utilisés en France) ;
- Les caractéristiques technologiques des procédés de fabrication (matières premières nécessaires, assemblage, ...).

Les recommandations pour la qualité des données sont spécifiées dans la norme ISO 14044. La représentativité couvre les 3 premiers critères suivant la norme ISO 14044, à savoir la représentativité temporelle (TiR), la représentativité géographique (GR) et la représentativité technologique (TeR). Les données qualifiées comme représentatives sont celles décrivant correctement la situation étudiée, selon les choix des procédés utilisés pour modéliser le système.

La précision et la fiabilité (P) concernent les sources de données, les moyens de collectes et la vérification des procédés. Les données qualifiées comme fiables.

Chaque critère de qualité des données auquel une note doit être attribuée (TiR, GR, TeR et P) est noté conformément aux cinq niveaux énumérés dans le Tableau 11 :

Tableau 11 – Note de qualité des données (DQR) pour les critères de qualité des données

Note de qualité des données des critères de qualité des données	Niveau de qualité des données
---	-------------------------------

⁵ Données de NegaOctet

⁶ [Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective](#), ADEME-ARCEP, janvier 2022

1	Excellente
2	Très bonne
3	Bonne
4	Acceptable
5	Médiocre

La méthodologie d'attribution des notes pour chaque critère est détaillée en Annexe A.

1.3. EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

1.3.1. Méthode d'évaluation des impacts environnementaux et indicateurs

L'étape d'évaluation des impacts environnementaux permet de classer et de combiner les flux de matières, énergie et émissions issus de l'inventaire par type d'impact, pour chaque système à l'étude.

Dans cette étude, les impacts environnementaux ont été évalués au niveau « mid-point » uniquement. Ceux-ci traduisent les impacts sur l'environnement selon plusieurs catégories d'impact. L'évaluation des impacts environnementaux a été effectuée à l'aide de la méthode de la norme NF EN 15804 + A2 (2019). Cette norme fournit le tronc commun des règles de catégories de produits pour les déclarations environnementales de type III relatives à tout produit ou service de construction. La norme EN 15804 + A2 remplace la version A1 en vigueur depuis 2013. La révision a notamment pour objectif d'être alignée avec le format du PEF (Product Environmental Footprint) de la Commission Européenne. Les facteurs de caractérisation sont donc basés sur les facteurs de la méthode EF3.0, développée et mise à jour par le *Joint Research Center* de la Commission Européenne.

La méthodologie EF3.0 est internationalement reconnue par les experts de l'ACV et largement utilisée. Cette méthode figure parmi les plus récentes méthodes mises à jour. Cette étude évalue certains indicateurs de la méthode EF3.0, listés dans le tableau suivant.

Tableau 12 – Indicateurs d'impact de la méthode EF3.0 du PEF utilisés dans cette étude

EF catégorie d'impact	Acronyme	Catégorie d'impact Indicateur	Unité	Modèle de caractérisation
Changement climatique, total ⁷	CC	Forçage radiatif en tant que potentiel de réchauffement global (GWP100)	kg CO ₂ eq.	Modèle de référence de 100 ans du GIEC (basé sur GIEC 2013)
Particules fines	PM	Cas maladie	Incidence des maladies	Méthode PM recommandée par le PNUE (PNUE 2016)
Radiations ionisantes, santé humaine	IR	Exposition humaine par rapport à l'U235	kBq U ²³⁵ eq.	Modèle des effets sur la santé humaine tel que développé par Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al, 2000)
Acidification	AC	Dépassements accumulés (DA)	Mol H ⁺ eq.	Dépassement cumulé (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
Ecotoxicité eau douce	EC	Unité de toxicité comparée pour les écosystèmes (UTCe)	UTCe	Modèle USEtox 2.1 (Fankte et al, 2017)
Ressources en eau	WU	Potentiel de privation des utilisateurs (consommation d'eau pondérée par la privation)	m ³ eq. mondial	Eau disponible Restant (AWARE) comme recommandé par le PNUE, 2016

⁷ L'indicateur "Changement climatique, total" est constitué de trois sous-indicateurs : Changement climatique, fossile ; Changement climatique, biogénique ; Changement climatique, utilisation des terres et changement d'affectation des terres. Les sous-indicateurs sont décrits plus en détail dans la section 4.4.10 de la méthodologie EF. Les sous-catégories "Changement climatique - fossile", "Changement climatique - biogénique" et "Changement climatique - utilisation des terres et changement d'affectation des terres" doivent être rapportées séparément si elles contribuent chacune pour plus de 5% au score total du changement climatique.

Ressources minérales et métalliques ⁸	RU	Épuisement des ressources abiotiques (réserves ultimes ADP)	Kg Sb eq.	CML 2002 (Guinée et al., 2002) et van Oers et al. 2002.
--	----	---	-----------	---

La sélection des indicateurs de EF3.0 retenus dans cette étude a été contrainte par les indicateurs fournis dans la base de données NegaOctet au format Excel. Les indicateurs les plus pertinents pour une analyse de l'impact environnemental du numérique sont tout de même présents (changement climatique, ressources minérales et métalliques, consommation d'eau, ...).

De plus, les indicateurs retenus sont alignés avec les recommandations du référentiel méthodologique d'évaluation environnementale des services numériques de l'ADEME.

1.3.2. Analyse de contribution

Les analyses de contribution sont réalisées afin de déterminer dans quelle mesure chaque processus modélisé contribue aux impacts environnementaux des systèmes étudiés. Ainsi, dans cette étude, les analyses de contribution effectuées évaluent l'importance relative, en termes d'impacts environnementaux, des différents éléments analysés.

1.3.3. Outil de calcul

Les calculs ont principalement été effectués dans Excel, afin de pouvoir utiliser facilement les données de la base NegaOctet (fournies au format Excel). Cependant, certaines données de la base ecoinvent (v3.8) ont également été utilisées pour la modélisation de certains éléments. Pour cela, le logiciel Simapro 9, développé par Pré Consultants, a été utilisé (la base de données ecoinvent étant intégrée au logiciel), puis les résultats ont été exportés dans Excel.

⁸ Les résultats de cette catégorie d'impact doivent être interprétés avec prudence, car les résultats de l'ADP après normalisation peuvent être surestimés. La Commission européenne a l'intention de développer une nouvelle méthode passant du modèle d'épuisement au modèle de dissipation afin de mieux quantifier le potentiel de conservation des ressources

1.4. RESULTATS DE L'ETUDE

Il est important de rappeler que selon la norme ISO 14044, les résultats de l'ACV sont des expressions relatives et qu'elles ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, les marges de sécurité ou les risques. Il convient également de noter que les résultats de cette étude seront utilisés dans des affirmations comparatives destinées à être divulguées au public.

1.4.1. Résultats des impacts environnementaux

1.4.1.1. Résultats du service au format physique

Les résultats en valeurs absolues pour l'ensemble des indicateurs étudiés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 13 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « lire un roman de 300 pages sur format papier », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Indicateurs	Unité	Production	Transport	Utilisation	Fin de vie	Total
Changement climatique	kg CO ₂ eq	3,41 E-01	5,70 E-02	0,00 E+00	5,25 E-02	4,50 E-01
Acidification	mol H ⁺ eq	1,63 E-03	2,43 E-04	0,00 E+00	3,11 E-05	1,90 E-03
Particules fines	cas maladie	2,01 E-08	3,73 E-09	0,00 E+00	4,38 E-10	2,43 E-08
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	2,82 E-06	4,64 E-07	0,00 E+00	1,00 E-08	3,29 E-06
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	1,30 E+01	1,00 E+00	0,00 E+00	1,47 E+00	1,54 E+01
Radiations ionisantes	kBq U235 eq	2,89 E-02	4,90 E-03	0,00 E+00	1,95 E-04	3,40 E-02
Ressources en eau	m ³ eq	3,06 E-01	1,12 E-02	0,00 E+00	8,82 E-04	3,18 E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « lire un roman de 300 pages sur format papier », avec les paramètres par défaut considérés, est de 0,45 kg CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 3,29 x10⁻⁶ kg Sb eq.

La Figure 5 présente la contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « lire un roman de 300 pages sur format papier », pour tous les indicateurs étudiés :

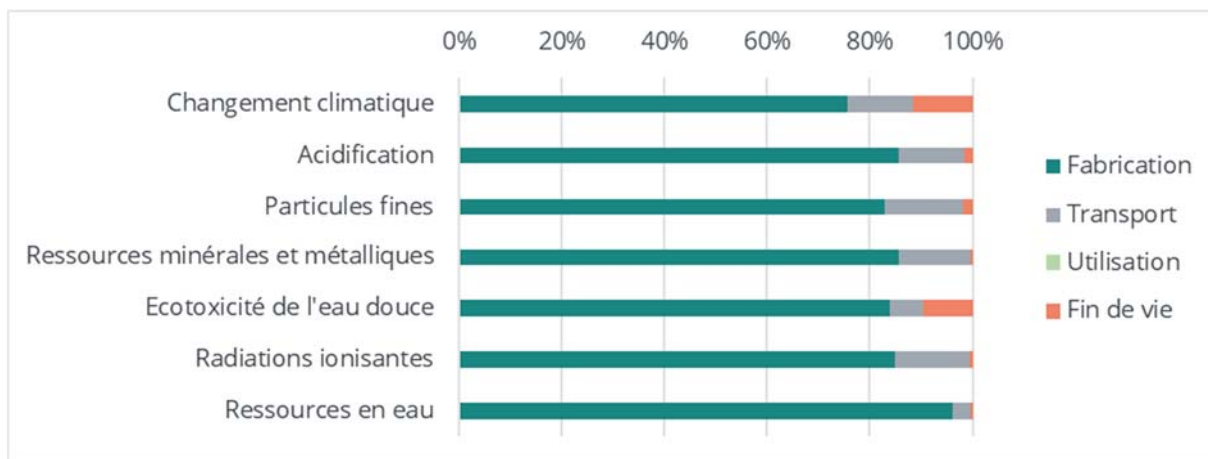


Figure 5 – Analyse de contribution des étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « lire un roman de 300 pages sur format papier », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

L'étape de production est la plus contributrice du cycle de vie pour tous les indicateurs (plus de 70%). Elle comprend les sous-étapes de production du papier, impression et assemblage du livre. La production de papier est la sous-étape la plus contributrice (plus de 80%) sur l'ensemble des indicateurs étudiés dans cette étude. Le format d'un livre de poche est de 0,11 x 0,18 m² et donc nécessite moins de papier qu'un livre au format roman considéré dans cette étude (0,15 x 0,21 m²). De fait, la production d'un livre de poche au lieu d'un livre au format roman permettrait de réduire les impacts de production de papier du livre. Ce scénario n'a toutefois pas été étudié dans cette étude.

L'utilisation a une contribution nulle : cette étape n'a aucun impact (la consommation d'électricité pour l'éclairage n'étant pas incluse dans le périmètre).

L'étape de conditionnement comprend les impacts de l'emballage du livre et du transport du produit fini vers le consommateur. Ces deux sous-étapes contribuent environ de la même intensité sur chaque indicateur, sauf pour l'épuisement des ressources en eau où la production d'emballage contribue pour environ 75% de l'impact tandis que pour l'épuisement des ressources minérales le transport contribue pour environ 75%.

La fin de vie contribue pour environ 10% des impacts sur les indicateurs changement climatique (mise en décharge) et écotoxicité de l'eau douce (incinération).

1.4.1.2. Résultats du service au format numérique

1.4.1.2.1. Résultats sur le scénario numérique : lire un roman de 300 pages sur une liseuse numérique

Les résultats en valeurs absolues pour l'ensemble des indicateurs étudiés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 14 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « lire un roman de 300 pages sur une liseuse numérique », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Indicateurs	Unité	Liseuse	Transmission réseau	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO ₂ eq	2,07E+00	3,63E-05	8,22E-07	2,07E+00
Acidification	mol H ⁺ eq	1,05E-02	2,26E-07	8,43E-09	1,05E-02
Particules fines	cas maladie	7,87E-08	5,38E-12	1,23E-13	7,87E-08

Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	6,12E-05	1,90E-09	3,63E-11	6,12E-05
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	5,31E+01	4,64E-04	1,60E-05	5,31E+01
Radiations ionisantes	kBq U235 eq	2,78E-01	6,04E-04	1,29E-05	2,78E-01
Ressources en eau	m ³ eq	5,62E-01	1,04E-04	2,48E-06	5,62E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « lire un roman de 300 pages sur une liseuse », avec les paramètres par défaut considérés, est de 2,07 kg CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 6,12 x10⁻⁵ kg Sb eq.

La figure suivante présente la contribution aux impacts des éléments du scénario « lire un roman de 300 pages sur une liseuse numérique », sur l'ensemble des indicateurs étudiés.



Figure 6 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « lire un roman de 300 pages sur une liseuse numérique », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

La liseuse est de loin l'élément qui contribue le plus aux impacts environnementaux de ce scénario. Les impacts de la transmission des données (téléchargement du livre) sont négligeables, le fichier numérique étant relativement très léger (3 Mo). L'ANNEXE F – Résultats du cycle de vie des équipements utilisés dans cette étude fournit le détail des contributions des étapes du cycle de vie de la liseuse sur tous les indicateurs étudiés.

1.4.1.2.2. Résultats sur le scénario numérique : lire un roman de 300 pages sur une tablette

Les résultats en valeurs absolues pour l'ensemble des indicateurs étudiés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 15 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette multifonction », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Changement climatique	kg CO ₂ eq	Tablette	Transmission réseau	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO ₂ eq	9,06E-01	3,63E-05	8,22E-07	9,07E-01
Acidification	mol H ⁺ eq	5,90E-03	2,26E-07	8,43E-09	5,90E-03

Particules fines	cas maladie	4,35E-08	5,38E-12	1,23E-13	4,35E-08
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	6,56E-05	1,90E-09	3,63E-11	6,56E-05
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	2,11E+01	4,64E-04	1,60E-05	2,11E+01
Radiations ionisantes	kBq U235 eq	1,89E+00	6,04E-04	1,29E-05	1,89E+00
Ressources en eau	m ³ eq	2,39E+00	1,04E-04	2,48E-06	2,39E+00

L'impact sur le changement climatique du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette », avec les paramètres par défaut considérés, est de 0,91 kg CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 6,56 x10⁻⁵ kg Sb eq.

La figure suivante présente la contribution aux impacts des éléments du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette », sur l'ensemble des indicateurs étudiés.



Figure 7 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette multifonction », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

La tablette est de loin l'élément qui contribue le plus aux impacts environnementaux de ce scénario. Les impacts de la transmission des données (téléchargement du livre) sont négligeables, le fichier numérique étant relativement très léger (3 Mo). L'ANNEXE F – Résultats du cycle de vie des équipements utilisés dans cette étude fournit une analyse de contribution des étapes du cycle de vie de la tablette.

1.4.1.2.3. Résultats sur le scénario numérique : lire un roman de 300 pages sur une tablette dédiée uniquement à la lecture

Les résultats en valeurs absolues pour l'ensemble des indicateurs étudiés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 16 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette uniquement dédiée à la lecture », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Indicateurs	Unité	Tablette dédiée	Transmission réseau	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO ₂ eq	4,43E+00	3,63E-05	8,22E-07	4,43E+00

Acidification	mol H ⁺ eq	2,90E-02	2,26E-07	8,43E-09	2,90E-02
Particules fines	cas maladie	1,73E-07	5,38E-12	1,23E-13	1,73E-07
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	3,37E-04	1,90E-09	3,63E-11	3,37E-04
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	1,07E+02	4,64E-04	1,60E-05	1,07E+02
Radiations ionisantes	kBq U235 eq	3,86E+00	6,04E-04	1,29E-05	3,86E+00
Ressources en eau	m ³ eq	1,23E+01	1,04E-04	2,48E-06	1,23E+01

L'impact sur le changement climatique du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette dédiée uniquement à la lecture », avec les paramètres par défaut considérés, est de 4,43 kg CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 3,37x10⁻⁴ kg Sb eq.

La figure suivante présente la contribution aux impacts des éléments du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette dédiée uniquement à la lecture », sur l'ensemble des indicateurs étudiés



Figure 8 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette dédiée à la lecture », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

La tablette est de loin l'élément qui contribue le plus aux impacts environnementaux de ce scénario. Les impacts de la transmission des données (téléchargement du livre) sont négligeables, le fichier numérique étant relativement très léger (3 Mo). L'ANNEXE F – Résultats du cycle de vie des équipements utilisés dans cette étude fournit le détail des contributions des étapes du cycle de vie de la tablette sur tous les indicateurs étudiés.

1.4.2. Comparaison des différents scénarios étudiés

1.4.2.1. Comparaison des différents scénarios étudiés sur tous les indicateurs

Le graphique suivant présente une comparaison des impacts des différents scénarios pour l'UF « lire un roman de 300 pages », sur tous les indicateurs.

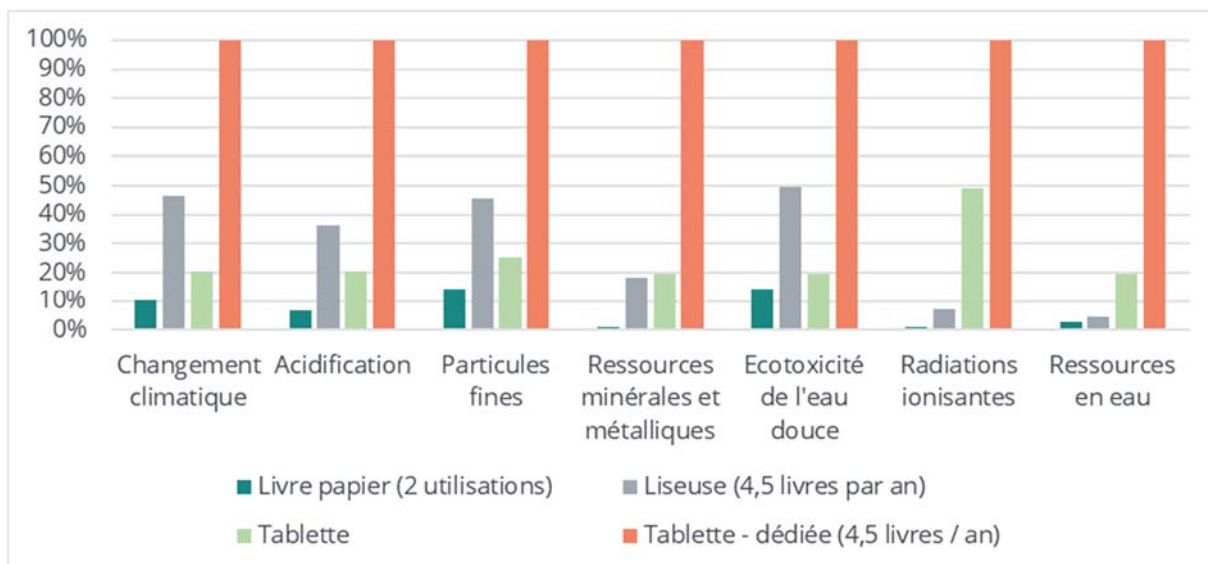


Figure 9 – Comparaison des résultats environnementaux des différents scénarios pour l'UF « lire un roman de 300 pages en France en 2020 »⁹

On observe tout d'abord que le scénario du livre papier, avec les paramètres par défaut considérés, possède moins d'impact que tous les autres scénarios, sur tous les indicateurs étudiés. Il est important de noter que ces résultats sont très dépendants des hypothèses sur le nombre d'utilisation du livre, de la liseuse, de la tablette, au cours de leur durée de vie. Ces paramètres peuvent beaucoup varier d'un utilisateur à l'autre. L'analyse des points de bascule, présentée ci-après, permet de mieux appréhender la comparaison entre ces scénarios.

Le scénario de lecture du livre sur tablette dédiée uniquement à la lecture est le scénario le plus impactant sur tous les indicateurs étudiés. Ce scénario n'est pas complètement représentatif de l'utilisation des tablettes répandue chez les utilisateurs : la plupart des tablettes sont utilisées pour de multiples fonctions. Ce scénario a plutôt un intérêt théorique : il montre qu'à usage égal (mono-fonction, uniquement dédiée à la lecture), l'utilisation d'une tablette serait pire environnementalement parlant que l'utilisation d'une liseuse.

Selon les indicateurs analysés, lire un livre sur une liseuse a des impacts supérieurs à la lecture d'un livre sur tablette. Cela s'explique par les impacts de chaque équipement d'une part et l'allocation considérée d'autre part. En effet, comme présenté dans la partie précédente, plus de 99% des impacts sont dus au cycle de vie de l'équipement considéré (liseuse ou tablette). A l'échelle du cycle de vie, la tablette a des impacts plus élevés que la liseuse sur l'ensemble des indicateurs (notamment sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques, les radiations ionisantes et l'épuisement des ressources en eau). Toutefois, les impacts sont ramenés par unité fonctionnelle (lire un livre) en divisant par la durée de vie [ans] et l'intensité d'usage [livre/an ou h/an]. Les données considérées par défaut dans cette étude sont de 4,5 livres par an pour la liseuse et 142 h/an pour la tablette (plus de détails en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios). La tablette est bien plus souvent utilisée (cohérent avec son aspect multifonctionnel), son impact est donc dilué sur de plus nombreux usages. Ramené à la lecture d'un livre, il est ainsi plus faible que celui de la liseuse sur tous les indicateurs, sauf ressources minérales et métalliques, radiations ionisantes et ressources en eau.

1.4.2.2. Zoom sur l'indicateur de changement climatique

⁹ Les résultats d'impact sur les différents indicateurs sont exprimés dans des unités différentes : afin d'afficher cette comparaison entre les scénarios, pour chaque indicateur, l'impact le plus haut est défini à 100% et les autres impacts sont définis relativement à cet impact maximum.

Dans cette partie, certains paramètres préalablement fixés sont modifiés afin d'évaluer leur influence sur les résultats d'impact sur le changement climatique.

Le graphique suivant analyse l'impact par UF (lire un roman de 300 pages) de la liseuse numérique, selon le nombre de livres lus par an par l'utilisateur de la liseuse. A titre de comparaison, l'impact de la lecture sur livre papier est également affiché, en considérant une utilisation unique des livres papier au cours de leur vie (c'est-à-dire un livre neuf produit à chaque lecture, jamais réutilisé).

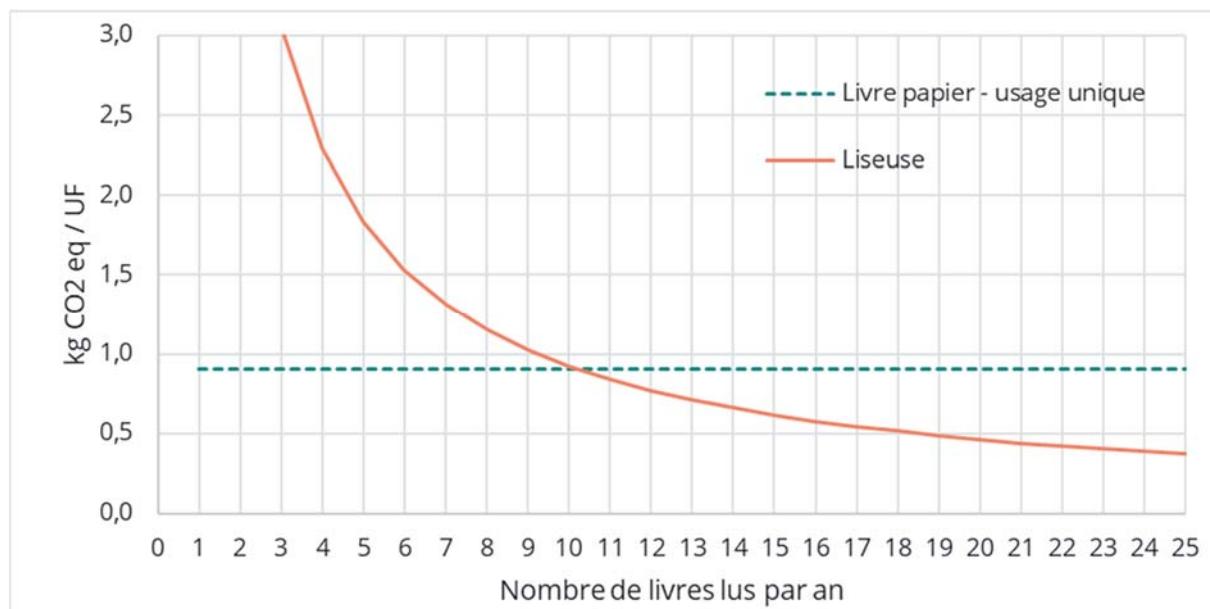


Figure 10 – Comparaison des impacts sur le changement climatique par UF entre les scénarios livre papier et liseuse selon le nombre de livres lus par an

Le paramètre du nombre de livres lus par an sur liseuse était fixé par défaut à 4,5, ce qui résultait en un impact d'environ 2 kg CO2 eq / UF, que l'on retrouve sur ce graphique. On remarque que plus le nombre de lecture par an augmente, plus l'impact par UF est faible : l'amortissement de l'impact de fabrication de la liseuse est meilleur quand l'utilisateur lit un nombre important de livres. Il est important de noter que l'impact du cycle de vie total de la liseuse reste toujours le même (environ 45 kg CO2 eq), mais c'est bien l'impact calculé par UF qui diminue.

Concernant le format papier, l'impact par UF est indépendant du nombre de lectures par an : à chaque lecture, un livre neuf est produit, transporté et traité en fin de vie (environ 0,9 kgCO2eq / usage unique).

Lorsque l'on compare les deux scénarios, on observe que pour un usage supérieur à 10 lectures par an, utiliser une liseuse numérique a des impacts sur le changement climatique plus faibles que de lire sur format papier (dans l'hypothèse où les livres papier sont neufs et jamais réutilisés). Le point de bascule est de 10 lectures par an.

Dans l'hypothèse où les livres papier sont potentiellement achetés ou vendus d'occasion, ou prêtés, les conclusions peuvent changer. L'impact sur le cycle de vie est divisé par 2 si l'on considère 2 utilisations du livre, par 5 si l'on en considère 5, etc. Le graphique suivant ajoute à l'analyse ces deux hypothèses sur le format papier.

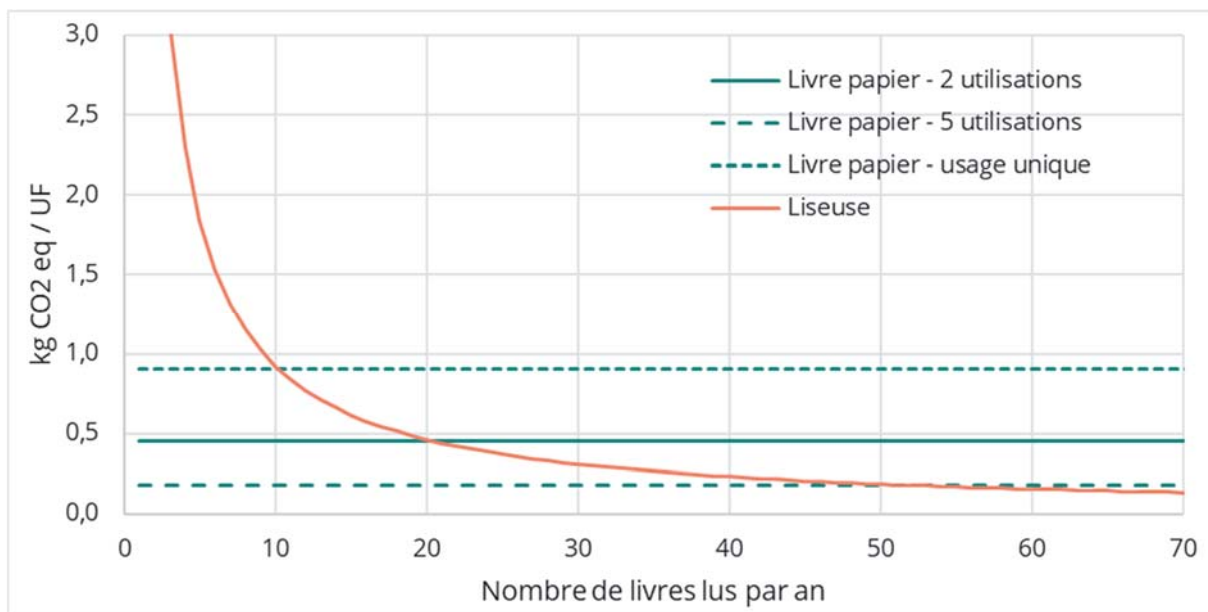


Figure 11 – Comparaison des impacts sur le changement climatique par UF entre les scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations) et liseuse selon le nombre de livres lus par an

Dans l'hypothèse d'une réutilisation des livres papier (2 utilisations au total), le point de bascule entre le format papier et la liseuse se situe cette fois-ci à 20 lectures par an. Avec une hypothèse de 5 réutilisations des livres papier, le point de bascule se situe à 53 livres par an !

Le paramètre du nombre de livres lus par an sur tablette dédiée était fixé par défaut à 4,5 (comme la liseuse), ce qui résultait en un impact d'environ 4,4 kg CO₂ eq / UF, que l'on retrouve sur ce graphique. Tout comme la liseuse, plus le nombre de lectures par an augmente et plus l'impact par UF est faible. A nouveau, l'impact du cycle de vie total de la tablette reste toujours le même (environ 62 kg CO₂ eq), mais c'est l'impact calculé par UF qui diminue.

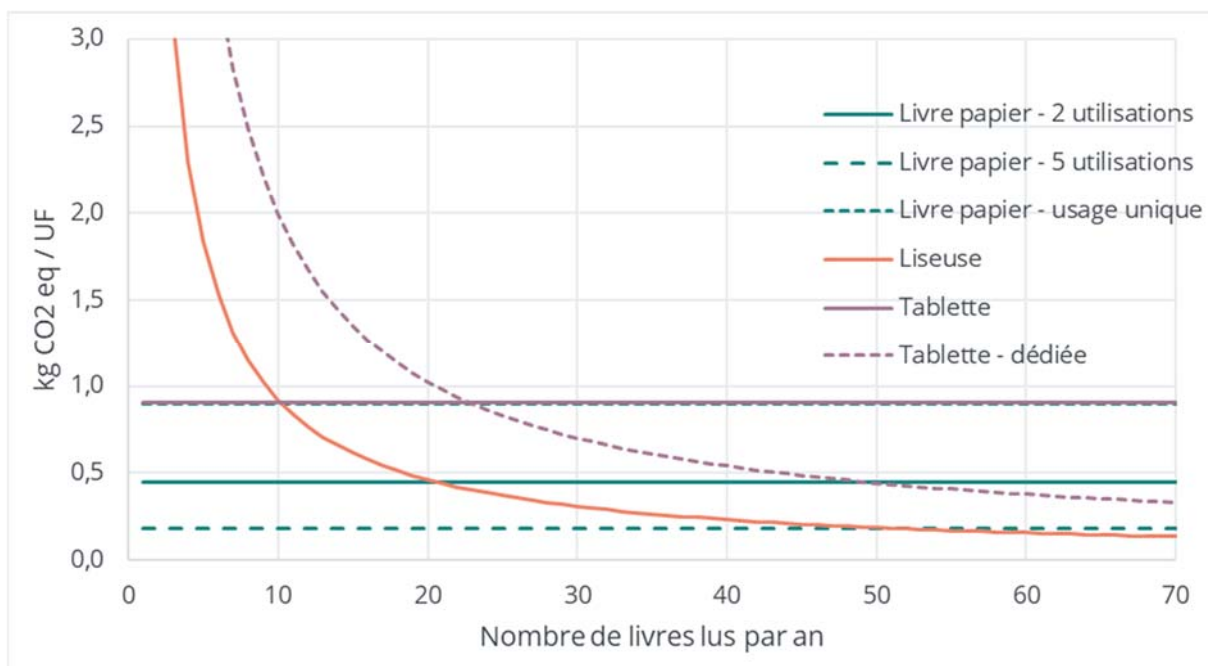


Figure 12 - Comparaison des impacts sur le changement climatique par UF entre les scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations), liseuse, tablette et tablette dédiée selon le nombre de livres lus par an

Concernant la tablette (pour un usage multifonction), son impact par UF est indépendant du nombre de lectures par an (environ 0,91 kgCO₂eq / UF). En effet, le calcul prend uniquement en compte l'intensité d'usage (tout usage confondu) de la tablette, considérée de 142 h, quelle que soit la part de lecture parmi ces usages. Entre ce scénario et la tablette, le point de bascule sur l'impact changement climatique se trouve à 10 livres lus par an. Ce scénario est également équivalent en impact au scénario du livre papier en usage unique, et 2 et 5 fois plus impactant aux scénarios livres papier avec 2 et 5 utilisations, respectivement.

Concernant la tablette dédiée, son impact est calculé de la même façon que la liseuse, la courbe suit donc la même tendance que celle du scénario sur liseuse. Plus le nombre de livres lu est grand, plus l'impact est amorti. Cependant, l'impact cycle de vie d'une tablette étant plus grand que celui d'une liseuse (62 kg CO₂ eq / tablette vs 45 kg CO₂ eq / liseuse), l'impact par UF de ce scénario reste supérieur à celui de la liseuse quel que soit le nombre de lectures par an. Les points de bascule sur l'impact changement climatique entre ce scénario et les scénarios livre papier en usage unique ou à 2 utilisations se situent respectivement à 22 et 50 livres lus par an.

1.4.2.3. Zoom sur l'indicateur d'épuisement des ressources minérales et métalliques

Dans cette partie la même analyse est portée cette fois-ci sur l'indicateur d'épuisement des ressources minérales et métalliques. De fait, les points de bascule identifiés sur le changement climatique diffèrent dans cette analyse, présentée dans le graphique suivant.

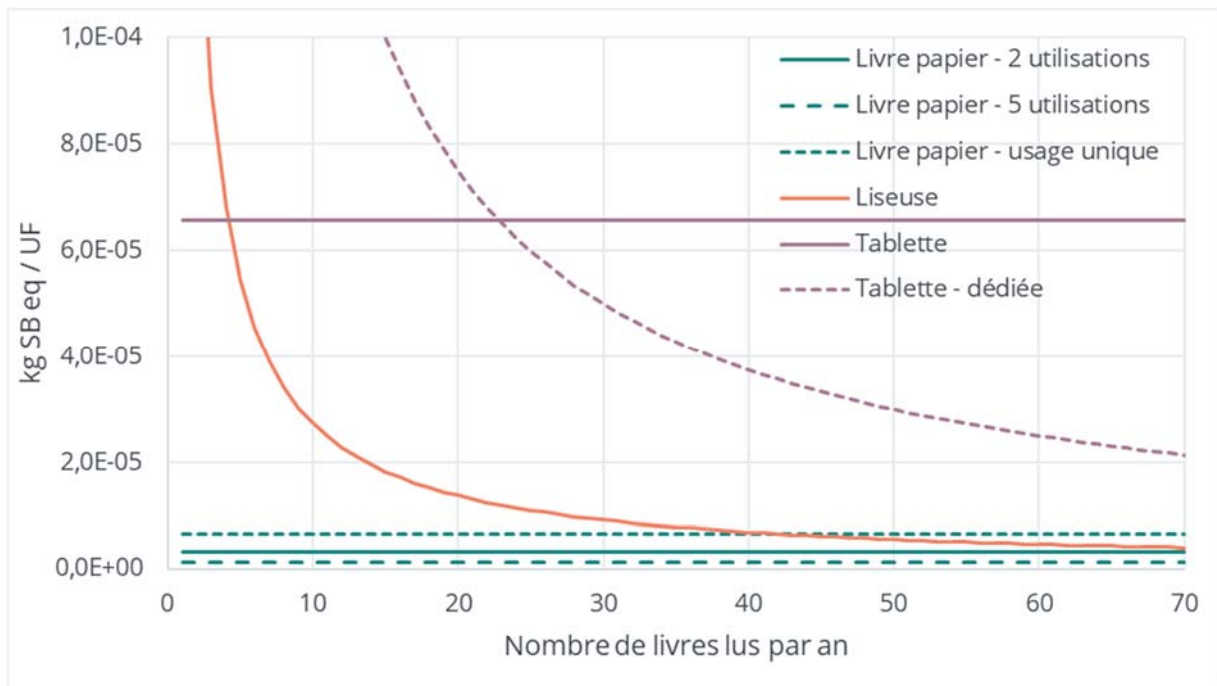


Figure 13 - Comparaison des impacts sur les ressources minérales et métalliques par UF entre les scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations), liseuse, tablette et tablette dédiée selon le nombre de livres lus par an

Sur cet indicateur, les scénarios numériques (liseuse, tablette, et tablette dédiée) ont des impacts plus importants par rapport au scénario sur livre papier. Le point de bascule entre le scénario liseuse et le scénario livre papier (usage unique) se situe à 41 livres lus par an. Le point de bascule entre le scénario liseuse et le scénario livre papier (2 utilisations) se situe à 85 livres lus par an.

Ces analyses de point de bascule soulèvent l'importance de mener des études multicritères, telles que des ACV, car les conclusions peuvent fortement varier d'un indicateur à un autre. Si les points de bascule entre les scénarios physique et numérique semblent atteignables en termes d'usage sur l'impact changement climatique (à partir de 10 livres lus par an), ceux sur l'impact ressources minérales et métalliques semblent loin des habitudes des usagers (à partir de 41 livres lus par an). De plus, de ces analyses ressort l'intérêt significatif du format papier à posséder une durée de vie potentiellement longue, donc d'être potentiellement achetés ou vendus d'occasion ou prêtés.

Ces deux analyses se focalisent sur les points de bascule du nombre de livre lus par an sur les résultats par UF. Une autre approche consiste à calculer les impacts cumulatifs en fonction du nombre de livres lus (cumulatif). A partir d'un certain seuil, un scénario peut devenir plus intéressant qu'un autre. Cette approche est présentée dans ANNEXE E – Analyse des points de bascule sur le service « lire un livre », approche cumulative.

1.5. CONCLUSIONS

L'évaluation environnementale du service « lire un livre » a été réalisée selon différents scénarios afin de prendre en compte plusieurs usages : lire un livre au format papier, lire un livre sur une liseuse numérique ou sur tablette.

L'analyse a montré que les résultats d'impacts de ces scénarios étaient très dépendants des hypothèses de base de l'étude. En effet, les impacts lors de la phase d'utilisation (lecture du livre papier, ou utilisation de la liseuse) sont nuls ou très faibles. La quasi-totalité des impacts dépend donc de l'amortissement des phases de production, transport et fin de vie des livres papier, de la liseuse ou de la tablette, c'est-à-dire du nombre d'utilisation considéré pour les ramener à l'UF. En effet, un livre papier a une durée de vie importante et peut être utilisé à de nombreuses reprises, d'autant plus s'il est prêté, acheté, vendu d'occasion ou loué. Considérer un livre neuf par lecture est une hypothèse majorante, qui peut être discutée. Concernant la liseuse, le nombre de lecture sur sa durée de vie varie beaucoup d'un utilisateur à un autre.

Les paramètres considérés par défaut sont de 2 utilisations du livre papier sur sa durée de vie, et 22 lectures sur la durée de vie de la liseuse (4,5 lectures par an). Avec ces paramètres, les impacts du scénario sur livre papier sont plus faibles que le scénario sur liseuse numérique, sur tous les indicateurs.

Une analyse des points de bascule sur l'impact **changement climatique** selon l'usage (nombre de lectures par an) a également été effectuée pour prendre en compte la variabilité des résultats. Cette analyse a montré que :

- 0 Pour un usage de plus de 10 lectures par an, utiliser une liseuse numérique a des impacts sur le changement climatique plus faibles que de lire sur format papier (dans l'hypothèse où les livres papier sont neufs et jamais réutilisés).
- 0 Dans l'hypothèse d'une réutilisation des livres papier (2 utilisations au total), le point de bascule entre le format papier et la liseuse se situe cette fois-ci à 20 lectures par an.
- 0 Pour un usage de plus de 10 lectures par an, il est plus intéressant d'utiliser une liseuse numérique qu'une tablette en termes d'impact sur le changement climatique. En dessous de cet usage de 10 livres par an, l'impact de la tablette est mieux amorti que la liseuse (aspect multifonctionnel de la tablette).

Une autre analyse des points de bascule sur l'épuisement des **ressources minérales et métalliques** selon l'usage (nombre de lectures par an) a été réalisée. Cette analyse a montré que :

- 0 Il faut un usage d'au moins 41 lectures par an pour que le scénario de la liseuse numérique ait des impacts sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques plus faibles que le scénario sur format papier (dans l'hypothèse où les livres papier sont neufs et jamais réutilisés).
- 0 Pour un usage de plus de 5 lectures par an, il est plus intéressant d'utiliser une liseuse numérique qu'une tablette en termes d'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques.

L'évaluation environnementale de ce service culturel selon les différents scénarios comportent plusieurs limites qu'il convient de rappeler :

- 0 En ce qui concerne la modélisation du livre physique, seul le format roman classique a été étudié. Il pourrait être intéressant de réaliser l'étude avec d'autres formats, notamment le format poche qui permettrait de diminuer les quantités de papier nécessaires pour l'impression. De plus, seule de l'encre noire a été considérée pour l'impression alors qu'il pourrait être tout à fait concevable que de l'encre colorée soit utilisée pour l'impression de la couverture.
- 0 Pour le transport de l'usine de production vers le point de vente du livre papier et de la liseuse, le mode de transport considéré est la semi-remorque. Cette hypothèse pourrait être discutée car elle n'est pas représentative de tous les cas, les points de vente en ville n'étant pas approvisionnés par ce type de camion.
- 0 La modélisation de la liseuse numérique reste imparfaite, notamment en ce qui concerne l'écran, dont la technologie est très peu étudiée dans les bases de données ACV. Le proxy utilisé (écran LCD) surestime les impacts de cet écran, mais celui-ci ne représente pas l'entièreté des impacts de la liseuse.

- 0 Comme discuté tout le long de ce rapport, les intensités d'usage retenues par équipement sont déterminantes sur les résultats présentés. Il faut donc être conscient de la variabilité des résultats de cette étude en fonction des hypothèses de base.
- 0 Les impacts des réseaux fixes et mobiles sont alloués par Go de données transférés. Cependant, la consommation d'énergie des réseaux n'est pas directement proportionnelle au nombre de Go transférés, et le résultat dépend ainsi de la méthode et des hypothèses d'allocation considérées (ADEME et ARCEP 2022). D'autres méthodes existent (Fletcher et al. 2021) mais n'ont pas été étudiées dans ce rapport.

Malgré ces limites, l'étude de ce service permet toutefois d'améliorer la connaissance et la compréhension de ses impacts environnementaux et les résultats présentés dans cette étude doivent être interprétés en connaissance de ces limites.

2. ECOUTER DE LA MUSIQUE

2.1. CHAMPS DE L'ETUDE

2.1.1. Description des systèmes à l'étude

L'étude présentée dans cette section analyse et compare les impacts environnementaux de plusieurs scénarios pour écouter de la musique :

- Service au format physique : Ecouter de la musique à partir d'un CD et d'une chaîne hi-fi ;
- Service au format numérique :
 - Ecouter de la musique en streaming sur un smartphone ;
 - Ecouter de la musique en streaming sur un smartphone, avec une enceinte connectée ;
 - Ecouter de la musique en streaming sur un smartphone, connecté à une chaîne hi-fi ;

Le scénario « physique » représente une situation historiquement très répandue mais moins commune aujourd'hui, même si les ventes de CD repartent à la hausse dans quelques pays. Le service rendu par ce premier scénario n'est pas strictement comparable au service rendu par les scénarios numériques. En effet les services numériques de streaming permettent un plus grand choix de contenus ainsi que la possibilité d'écouter de la musique en se déplaçant (via le smartphone notamment). La sélection des différents contenus est également facilitée (accès direct en ligne), contrairement au format CD qui nécessite de se déplacer en magasin, ou de se faire livrer. Ces scénarios ne sont donc pas tout à fait comparables, néanmoins il est intéressant d'analyser et de comparer les impacts environnementaux de ces différents services, afin de mieux comprendre l'impact environnemental de la digitalisation du service culturel d'écoute de musique.

Dans le premier scénario, la chaîne hi-fi est nécessaire au service, pour lire le CD et diffuser la musique. Un baladeur CD peut également être envisagé, mais ce cas semble marginal et n'a pas été ajouté à l'analyse. Dans le second scénario, le minimum d'équipements est utilisé : uniquement un smartphone pour accéder au service de streaming, la diffusion sonore s'effectuant via le haut-parleur du smartphone (ou via des écouteurs, dont l'impact est considéré négligeable ici, donc exclu de l'analyse). Dans le troisième scénario, une enceinte connectée est ajoutée pour la diffusion sonore. Il s'agit d'une pratique de plus en plus répandue depuis que l'accès au streaming de musique sur smartphone s'est développé. Cet équipement est plus petit et léger qu'une chaîne hi-fi, historiquement utilisée pour l'écoute sur format CD. Dans le dernier scénario, pour se placer dans un scénario équivalent (en termes de qualité d'écoute) au scénario physique, une chaîne hi-fi est utilisée à la place de l'enceinte connectée.

2.1.2. Fonction et unité fonctionnelle

L'analyse environnementale, et plus particulièrement l'analyse du cycle de vie (ACV) repose sur l'étude d'une fonction et non d'un produit, et définit une « unité fonctionnelle » qui représente une quantification de la fonction rendue par un produit ou un service (performances et durée de vie). A ce titre, elle sert d'unité de référence pour comparer plusieurs systèmes selon une base commune. L'unité fonctionnelle utilisée comme référence dans cette section pour évaluer les systèmes est la suivante :

Ecouter 1h de musique en France en 2020

L'objectif principal de l'unité fonctionnelle est donc de fournir une référence qui servira à la quantification des différentes données d'entrée et de sortie des systèmes à l'étude. Cette référence permet d'assurer la comparabilité entre résultats d'ACV dans le cadre d'une comparaison de produits / services.

Cette unité fonctionnelle sera appliquée sur les quatre scénarios étudiés afin de les comparer.

2.1.3. Frontières du système

Les frontières des systèmes étudiés définissent toutes les activités pertinentes à considérer dans l'ACV, afin que celle-ci soit cohérente avec les objectifs de l'étude.

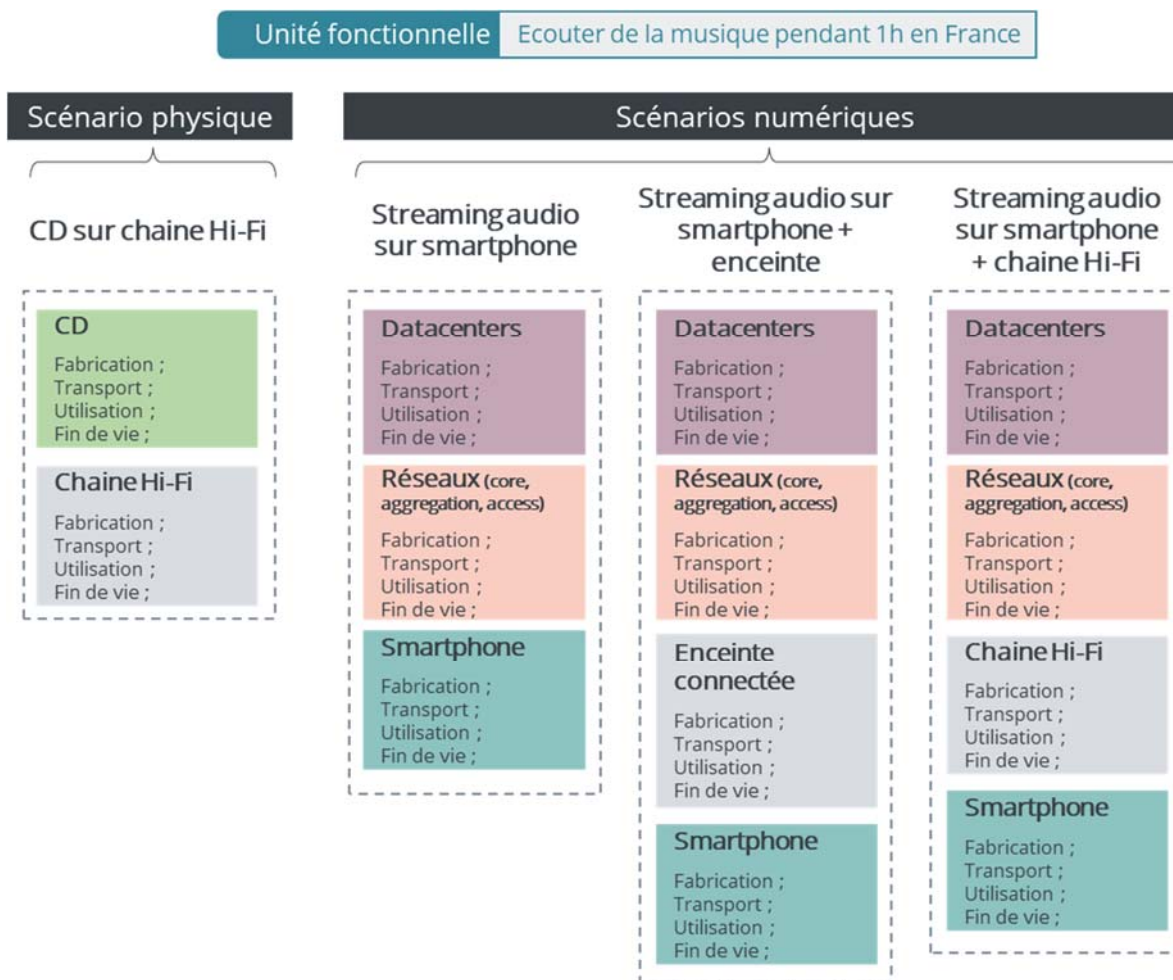


Figure 14 – Frontières du système étudié pour le service « Ecouter de la musique »

En plus des équipements utilisateurs nécessaires au service sur les différents scénarios (chaine hi-fi, smartphone, enceinte connectée), des réseaux et datacenters pour le stockage et la transmission des données sont ajoutés aux trois scénarios numériques. Dans le cas d'une connexion sur le réseau fixe (connexion considérée par défaut), une box internet (Wi-Fi) est également nécessaire.

Pour chaque élément de chaque scénario, les étapes du cycle de vie suivantes ont été considérées dans la modélisation :

- **Production de l'élément** : production des matières premières et assemblage du produit fini ;
- **Transport** : emballage et distribution du produit fini vers le consommateur ;
- **Utilisation** : consommation d'énergie des éléments lors de leur utilisation ;
- **Fin de vie** : gestion de la fin de vie des éléments (recyclage, incinération, mise en décharge, réutilisation).

2.1.4. Représentativité géographique et temporelle

L'analyse environnementale menée dans cette étude est représentative des services culturels en 2020 en France.

2.1.5. Règles de coupure

Tous les éléments identifiés comme pertinents dans les frontières des systèmes à l'étude, et dont les données associées étaient disponibles ou raisonnablement estimables par des hypothèses, ont été intégrés à l'analyse. Les étapes suivantes ont été exclues de l'étude :

- L'étape de composition et d'écriture de la musique ;
- Les infrastructures de stockage entre les étapes de transport des composants.

2.1.6. Règles d'allocation

Les procédés utilisés pour la modélisation de cette étude sont issus de deux bases de données : ecoinvent V3.8 et NegaOctet. Les procédés issus d'ecoinvent v3.8 sont construits sur la base de la méthode « cut-off », tandis que les procédés de NegaOctet sont construits sur la base de la méthode des « stocks ». Ces deux approches sont identiques et consistent à considérer les impacts du recyclage d'un matériau à l'utilisateur de matières recyclées. De fait, lorsqu'un déchet est envoyé en recyclage aucun impact ni crédit n'est alloué à cette étape.

2.2. INVENTAIRES DU CYCLE DE VIE

2.2.1. Données d'inventaires

2.2.1.1. Données principales de modélisation des scénarios

Le tableau suivant présente les données principales de modélisation des scénarios à l'étude. Les données en *orange* sont utilisées en analyse de sensibilité.

Tableau 17 – Données principales de modélisation des scénarios étudiés dans le service « Ecouter de la musique »

Composants	Donnée	Scénario physique	Scénarios numériques		
		CD sur chaîne Hi-Fi	Streaming audio sur smartphone	Streaming audio sur smartphone + enceinte	Streaming audio sur smartphone + chaîne Hi-Fi
Datacenters – standard			Données NegaOctet		
Réseaux	Type de connexion		Réseau fixe. <i>Réseau mobile</i>		
	Débit		Réseau fixe : en moyenne 0,10 Go / h <i>basse qualité 128 kbps : 0,06 Go / h ; FLAC 1411 kbps : 0,63 Go / h</i> <i>Réseau mobile : par défaut 0,10 Go / h ; FLAC 1411 kbps : 0,63 Go / h</i>		
	Consommation moyenne de données par ligne		220 Go/mois		
CD	Nombre d'heure d'utilisation sur durée de vie	Estimation : 50h <i>25h (min) ; 100h (max)</i>			
Smartphone	Durée de vie et intensité d'usage		2,5 ans ; 1,62 h / jour		
Enceinte connectée	Durée de vie et intensité d'usage			5 ans. 0,56 h / jour	
Chaîne Hi-Fi	Durée de vie et intensité d'usage	5 ans. 0,72 h / jour			5 ans. 0,72 h / jour

Plus d'information sur ces données et les sources associées sont indiquées en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios & ANNEXE D – Informations et sources des données de débit binaire et taille de fichiers numériques.

Les données présentées dans ce tableau permettent notamment de ramener les impacts des datacenters, réseaux, et terminaux à l'unité fonctionnelle étudiée. Différentes méthodes d'allocation sont utilisées pour cela.

Les impacts sur le cycle de vie des terminaux (Smartphone, chaîne hi-fi, enceinte connectée) sont ramenés par heure d'utilisation en calculant leur temps d'utilisation total sur leur durée de vie (= durée de vie [ans] x intensité d'usage [h / jour] x 365 [jour/an]).

Concernant le CD, celui-ci a une durée de vie théorique très grande et pourrait être réutilisé au moins pendant des dizaines d'années. Mais en pratique, un CD acheté par un particulier aura sûrement un nombre limité d'utilisations. Il est possible que l'utilisateur n'écoute qu'un certain temps l'album sur le CD. L'utilisateur peut cependant facilement prêter le CD ou le vendre d'occasion, dans ce cas le nombre d'utilisations sera probablement plus élevé. Aucune donnée exploitable n'a été trouvée concernant ce paramètre. Le nombre de ventes de CD peut tout de même donner un ordre de grandeur pertinent. Les ventes de CD ont chuté en France depuis la massification du téléchargement de titres, puis du streaming. En 2007, quand le téléchargement était encore marginal et le streaming inexistant, les ventes de CD étaient d'environ 75 millions en France¹⁰, soit 1,2 CD par personne en moyenne, sur la seule année 2007. Par manque de données relative à ce paramètre, il a été estimé une utilisation par défaut de 50h du CD

¹⁰ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4238548>

sur sa durée de vie. En analyse de sensibilité, nous avons considéré un nombre d'utilisation 2 fois plus élevé ou deux fois plus faible (25h ou 100h).

Les impacts du réseau fixe sont exprimés par ligne et par an dans les données NegaOctet. Ramener ces impacts par heure d'utilisation ne prendrait pas en compte le fait que plusieurs terminaux peuvent utiliser la ligne en même temps. L'allocation utilisée pour le réseau fixe est donc une allocation par gigaoctet de données transmises sur la ligne sur un an (intensité d'usage en [Go / mois] x 12 [mois/an]).

Pour les datacenters, une allocation par gigaoctet de données transmises a également été utilisée.

Concernant le débit de données en streaming, les plateformes de streaming de musique offrent la possibilité de sélectionner différentes qualités audios. Les qualités audios disponibles vont généralement de 128 kbps (basse qualité, permettant de limiter la consommation de données) à 1411 kbps (haute qualité ou FLAC). Par défaut, la répartition des qualités audio entre les utilisateurs considéré est : 74% 128 kbps, 22% 320 kbps, 4% 1411 kbps. Cela correspond à un débit moyen de 0.10 Go / h. Les débits associés à la plus basse et la plus haute qualité audio sont étudiés en analyse de sensibilité.

La modélisation du cycle de vie des différents éléments des scénarios est décrite dans les paragraphes suivants.

2.2.1.2. Inventaire du cycle de vie d'un CD physique

Le cycle de vie entier d'un CD a été modélisé pour cette étude, de la production des matières premières à la fin de vie du produit. En effet, le CD est le support sur lequel la musique est enregistrée et a été modélisé via les données de la publication de Digital Europe « *The environmental and social impacts of digital music* » (Tuerk et al. 2003). Les caractéristiques du CD étudié sont référencées dans le tableau suivant :

Tableau 18 – Caractéristiques du CD modélisé

Caractéristiques du CD	Valeur
CD	15 g
Boîtier	43 g
Tray (coloré)	20 g
Inlay	3 g
Livret (8 pages)	16 g

2.2.1.2.1. Etape de production d'un CD

Production des matières premières

La publication de Digital Europe fournit l'inventaire pour la production de 1 million de CDs, incluant l'emballage primaire du produit (boîtier, plateau, inlay, tray et booklet). Le Tableau 19 regroupe les données de modélisation pour la production d'1 million de CDs incluant leur emballage primaire :

Tableau 19 – Modélisation de la production d'1 million de CDs, incluant leur emballage primaire

Composants	Valeur	Unité	Procédé ecoinvent v3.8
Polycarbonate	17,3	tonne	Polycarbonate {GLO} market for Cut-off, U
Aluminium	0,01	tonne	Aluminium, wrought alloy {GLO} market for Cut-off, U

UV-Lacquer (acrylate)	0,1	tonne	Butyl acrylate {RER} market for butyl acrylate Cut-off, U
Encre	0,2	tonne	Printing ink, offset, without solvent, in 47.5% solution state {RER} market for printing ink, offset, without solvent, in 47.5% solution state Cut-off, U
Film plastique	1	tonne	Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for Cut-off, U + Extrusion, plastic film {RER} extrusion, plastic film Cut-off, U
Polystyrene (boîtier CD)	67,4	tonne	Polystyrene, expandable {RER} production Cut-off, U + Extrusion, plastic film {RER} extrusion, plastic film Cut-off, U
Papier (couverture + livret)	23,2	tonne	Graphic paper, 100% recycled {RER} production Cut-off, U
Eau	331,2	m ³	Tap water {RER} market group for Cut-off, U
Methanol	41,6	L	Methanol {GLO} market for Cut-off, U
Acetone	35,3	L	Acetone, liquid {RER} market for acetone, liquid Cut-off, U
Nettoyant pour écran (dissolvant d'encre)	60	L	Solvent, organic {GLO} market for Cut-off, U
NaOH	187,5	L	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market for Cut-off, U
HCl	33,3	L	Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER} market for Cut-off, U
H ₃ PO ₄	16,7	kg	Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO} market for Cut-off, U
Nickel	53,4	kg	Nickel, class 1 {GLO} market for nickel, class 1 Cut-off, U
Nickel sulfamate	14,1	kg	Nickel sulfate {GLO} market for Cut-off, U
Verre	0,75	kg	Flat glass, uncoated {RER} market for flat glass, uncoated Cut-off, U
Electricité	159 484	kWh	Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, U
Gas	5 340	m ³	Heat, district or industrial, natural gas {FR} heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical Cut-off, U

Modélisation des infrastructures

Les CDs sont fabriqués dans des usines de production. Le tableau suivant présente les caractéristiques des infrastructures considérés.

Tableau 20 – Caractéristiques des infrastructures de production des CDs

Caractéristiques	Valeur	Unité
Occupation du site	35 000	m ²
Durée de vie du site	40	ans
Production du site	160 000 000	CD / an
Nombre de machines	150	Unités
Durée de vie	10	ans
Poids pour une machine	3 000	kg

Ainsi, pour la production d'un CD, l'occupation au sol du site est de 0,00021875 m²a de type « *industrial area* ». La quantité d'acier nécessaire à la modélisation des machines est quant à elle égale à 0,00028125 kg d'acier.

2.2.1.2.2. Etape de conditionnement d'un CD

Etape d'emballage

Une fois produit et emballé dans son emballage primaire, le CD va être emballé dans un emballage secondaire puis transporté vers son lieu de vente. En utilisant les données de Digital Europe, il est considéré que 1 million de CDs nécessitent 4,7 tonnes de boîte en carton, modélisées via le procédéecoinvent v3.8 « *Corrugated board box {RER} / market for corrugated board box / Cut-off, U* ».

Etape de transport jusqu'au point de vente

Le CD va ensuite être transporté jusqu'à son point de vente. Le PEF a publié un rapport nommé « *PEF / OEF : Default data to be used to model distribution and storage* » (PEF 2015) dans le but de fournir des données moyennes pour le transport des produits. Ainsi, cette publication recommande pour les produits manufacturés en Europe une distance de 200km entre le lieu de production et le point de vente. Le transport utilisé est le suivant : « *Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RER} / transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 / Cut-off, U* » en prenant en compte le poids du produit fini (CD + emballage primaire) ainsi que le poids de son emballage secondaire.

L'utilisation d'un semi-remorque peut être considérée comme une hypothèse limitante de la modélisation, des camionnettes pouvant être préférées pour l'approvisionnement de certaines zones (en centre-ville par exemple). A défaut de sources fiables, les données du PEF seront préférées.

Etape de transport jusque chez le consommateur

La même publication du PEF fournit des distances moyennes des produits de leur point de vente vers le consommateur. Ainsi, 62% du produit est considéré être transporté par voiture sur 4,8km et le trajet est considéré être réalisé pour l'achat de 20 produits, soit 1/20^e des impacts sont donc alloués au CD. 5% du produit est transporté par camionnette sur 4,8km, en considérant le poids du CD transporté avec son emballage et 33% via bus, pied ou vélo.

Tableau 21 – Modélisation de l'étape de distribution d'un CD jusqu'à chez le consommateur

Transport	Valeur	Unité	Procédé ecoinvent v3.8
Voiture	0,1488	km	Transport, passenger car, EURO 5 {RER} transport, passenger car, EURO 5 Cut-off, U
Camionnette	0,0233	kg.km	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U
Bus, vélo, à pied	x	x	Négligé

2.2.1.2.3. Etape d'utilisation d'un CD

La phase d'utilisation d'un CD physique est considérée sans impact. En effet, la consommation liée à l'écoute du CD sera prise en compte lors de la phase d'usage de la chaîne hi-fi, mais le CD en tant que tel ne consomme pas d'énergie lors de son utilisation.

2.2.1.2.4. Etape de fin de vie d'un CD

Actuellement en France il n'existe pas de filière de recyclage des CDs¹¹. La gestion de fin de vie des emballages primaire et secondaire est modélisée suivant les chiffres des filières CITEO correspondantes (CITEO 2020). Pour le tray, il est supposé que le PS est coloré et donc est considéré comme non recyclable. Le Tableau 22 regroupe la modélisation de la fin de vie des produits considérés :

Tableau 22 – Modélisation de la fin de vie du livre et de son emballage

Traitement	%	Procédé ecoinvent v3.8
Recyclage – CD	0,00%	X
Incinération / Mise en décharge – CD	100,00%	99,37% Waste plastic, mixture {FR} market for waste plastic, mixture Cut-off, U 0,06% Scrap aluminium {Europe without Switzerland} market for scrap aluminium Cut-off, U 0,57% Municipal solid waste {FR} market for municipal solid waste Cut-off, U
Recyclage – boîtier	7,50%	PS (waste treatment) {GLO} recycling of PS Cut-off, U
Incinération / Mise en décharge – boîtier	92,50%	Waste polystyrene {FR} market for waste polystyrene Cut-off, U
Recyclage – Boîtier CD	0,00%	PS (waste treatment) {GLO} recycling of PS Cut-off, U
Incinération / Mise en décharge – Porte CD	100,00%	Waste polystyrene {FR} market for waste polystyrene Cut-off, U
Recyclage – Inlay & livret	60,50%	Paper (waste treatment) {GLO} recycling of paper Cut-off, U

¹¹<https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/eco-consommation-peut-on-recycler-cd-dvd-1049/> &

<https://www.consommerdurable.com/2010/01/ou-jeter-des-vieux-cd-dvd-comment-recycler-des-vieux-cd-dvd/#:~:text=Actuellement%2C%20il%20n'existe%20aucune,pose%20pas%20de%20probl%C3%A8mes%20particuliers>

Incinération / Mise en décharge – Inlay & livret	39,50%	Waste graphical paper {FR} market for waste graphical paper Cut-off, U
Recyclage – Emballage secondaire	64,50%	Core board (waste treatment) {GLO} recycling of core board Cut-off, U
Incinération / Mise en décharge – Emballage secondaire	35,50%	Waste paperboard {FR} market for waste paperboard Cut-off, U

Toutes les données ecoinvent utilisées dans cette modélisation sont des données « market » afin de bien prendre en compte le transport des matières premières vers l'usine de production.

2.2.1.3. Inventaire du cycle de vie d'une chaîne hi-fi

2.2.1.3.1. Etape de production d'une chaîne hi-fi

L'étape de production de la chaîne hi-fi a été modélisée via les données de l'étude de l'ADEME « *Modélisation et évaluation du poids carbone de produits de consommation et biens d'équipements* » (ADEME et RDC 2019). Ces données sont confidentielles et ne peuvent pas être détaillées dans ce rapport.

Dans ce présent rapport, la chaîne hi-fi modélisée a une masse de 11,7 kg. Un ratio massique a été appliqué pour correspondre à un équipement plus représentatif du marché actuel, à savoir 4,4 kg (Darty¹²).

La chaîne hi-fi est supposée produite en Chine.

2.2.1.3.2. Etape de conditionnement d'une chaîne hi-fi

Etape d'emballage

Tout comme l'étape de production, l'étape d'emballage de la chaîne hi-fi est modélisée via les données de l'étude de l'ADEME et ne peut pas être détaillée dans ce rapport.

Etape de transport jusqu'au point de vente

Une fois emballée la chaîne hi-fi va être transportée jusqu'à son point de vente. Le PEF a publié un rapport nommé « *PEF / OEF : Default data to be used to model distribution and storage* » (PEF 2015) dans le but de fournir des données moyennes pour le transport des produits. Ainsi, cette publication recommande pour les produits manufacturés hors Europe (dans le cas de la chaîne hi-fi en Chine) une distance de 500km en camion et de 21 550 km¹³ en bateau entre le lieu de production et le point de vente. Le transport par camion est modélisé via le procédé suivant : « *Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 | Cut-off, U* » et pour le transport par bateau : « *Transport, freight, sea, container ship {GLO}| market for transport, freight, sea, container ship | Cut-off, U* », en prenant en compte le poids du produit fini (chaîne hi-fi + emballage primaire) ainsi que le poids de son emballage secondaire.

Etape de transport jusque chez le consommateur

¹² https://www.darty.com/nav/achat/audio_mp3_mp4/enceinte_ipod_ipad_iphone_mp3-chaîne_hi-fi/chaîne_mini/philips_tam6805_dab_t.html#product_characteristics

¹³ Distance calculée via le site www.searates.com pour un transport Chine – France en bateau.

La même publication du PEF fournit des distances moyennes des produits de leur point de vente vers le consommateur. Ainsi, 62% du produit est considéré être transporté par voiture sur 4,8km et le trajet est considéré être réalisé pour l'achat de 3 produits, soit 1/20^e des impacts sont donc alloués à la chaîne hi-fi. 5% du produit est transporté par camionnette sur 4,8km, en considérant le poids de la stéréo transportée avec son emballage et 33% via bus, pied ou vélo.

Tableau 23 – Modélisation de l'étape de distribution du livre jusqu'à chez le consommateur

Transport	Valeur	Unité	Procédé ecoinvent v3.8
Voiture	0,992	km	Transport, passenger car, EURO 5 {RER} transport, passenger car, EURO 5 Cut-off, U
Camionnette	1,2344	kgkm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6 Cut-off, U
Bus, vélo, à pied	x	x	Négligé

2.2.1.3.3. Etape d'utilisation d'une chaîne hi-fi

L'étape d'utilisation a également été modélisée à l'aide des données de l'ADEME, sur la consommation d'électricité de la stéréo et ne peut pas être détaillée dans ce rapport.

2.2.1.3.4. Etape de fin de vie d'une chaîne hi-fi

Une chaîne hi-fi est considérée comme un DEEE (Déchet d'Equipement Electrique et Electronique) et ne doit donc pas être jetée dans la poubelle classique d'ordure ménagère. Elle est donc apportée en point d'apports volontaires par le consommateur pour ensuite être redirigée vers les recycleurs. Cette étape de collecte est modélisée grâce aux données de l'ADEME, mais ne sont pas décrites dans ce rapport par soucis de confidentialité.

Une fois la chaîne hi-fi collectée, elle va être soit envoyée en préparation pour réutilisation, soit envoyée en recyclage, soit envoyée en traitement. La publication de l'ADEME, « Equipements électriques et électroniques, faits & chiffres données 2020 » fournit des informations sur la gestion en fin de vie des DEEE (ADEME 2021b). La chaîne hi-fi est ici considérée comme un PAM (Petits appareils en mélange), comprenant toutefois un écran. Le Tableau 24 fait l'état de la répartition des différents traitements selon le type de DEEE :

Tableau 24 – Gestion de la fin de vie de quelques DEEE

Traitement	PAM	Ecran
Réutilisation	1,00%	2,00%
Recyclage	72,00%	50,00%
Incineration / Mise en décharge	27,00%	48,00%

Ainsi, chaque matériau associé à l'écran de la chaîne hi-fi ou au reste sera traité selon les chiffres définis dans le Tableau 24. Le détail ne peut pas être fourni pour cause de confidentialité. Attention toutefois,

ces chiffres concernent les chaînes-hifi collectées par la filière DEEE. En effet selon la même source, seuls 48% des PAM sont collectés. Le reste sera supposé envoyé en incinération / mise en décharge à défaut de meilleures données.

De même pour l'emballage de la chaîne hi-fi, leur traitement en fin de vie est réalisé selon les chiffres de CITEO (CITEO 2020) définis dans le Tableau 25 suivant :

Tableau 25 – Gestion de la fin de vie de différents matériaux selon CITEO

Traitement	Carton	Papier	Plastique
Recyclage	64,50%	60,50%	7,50%
Incinération / Mise en décharge	35,50%	39,50%	92,50%

Le détail des quantités de matières traitées n'est toutefois pas décrit ici pour cause de confidentialité.

Toutes les données ecoinvent utilisées dans cette modélisation sont des données « market » afin de bien prendre en compte le transport des matières premières vers l'usine de production.

2.2.1.4. Inventaire du cycle de vie d'un smartphone

Le cycle de vie entier d'un smartphone a été modélisé pour cette étude à l'aide des données NegaOctet.

Pour la production des smartphones, les données suivantes ont été utilisées :

- NEGA-0493 : Smartphone; 6.59 inches display LCD, 1 CPU 101.66 mm² 12 nm lithography, 6 GB RAM, 128 GB SSD
- NEGA-0494 : Smartphone; 6.57 inches display OLED, 1 CPU 101.66 mm² 8 nm lithography, 7 GB RAM, 160 GB SSD
- NEGA-0495 : Smartphone; 6.72 inches display OLED, 1 CPU 101.66 mm² 7 nm lithography, 11 GB RAM, 341 GB SSD

Pour la fin de vie des smartphones, les données suivantes ont été utilisées :

- NEGA-0516 : Smartphone; 6.59 inches display LCD, 1 CPU 101.66 mm² 12 nm lithography, 6 GB RAM, 128 GB SSD
- NEGA-0517 : Smartphone; 6.57 inches display OLED, 1 CPU 101.66 mm² 8 nm lithography, 7 GB RAM, 160 GB SSD
- NEGA-0518 : Smartphone; 6.72 inches display OLED, 1 CPU 101.66 mm² 7 nm lithography, 11 GB RAM, 341 GB SSD

Le mix de configuration utilisé pour modéliser un smartphone représentatif du marché (ADEME et ARCEP 2022) est le suivant :

- 24% Smartphone; 6.59 inches display LCD, 1 CPU 101.66 mm² 12 nm lithography, 6 GB RAM, 128 GB SSD
- 24% Smartphone; 6.57 inches display OLED, 1 CPU 101.66 mm² 8 nm lithography, 7 GB RAM, 160 GB SSD
- 52% Smartphone; 6.72 inches display OLED, 1 CPU 101.66 mm² 7 nm lithography, 11 GB RAM, 341 GB SSD

Pour la phase de transport, les données NegaOctet de transport par camion, bateau, ou avion ont été utilisées. Les distances et mode de transport considérés sont les mêmes que celles précisées dans le rapport (ADEME et ARCEP 2022).

Pour la phase d'utilisation, le mix électrique français a été considéré. La donnée NegaOctet associée est : « CODDE-2548: Electricity Mix; Production mix; Low voltage; FR ». La consommation d'énergie du

smartphone est précisée en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d’usage et consommation d’énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios.

2.2.1.5. Inventaire du cycle de vie d’une enceinte connectée

Le cycle de vie entier d’une enceinte connectée a été modélisé pour cette étude à l’aide des données NegaOctet.

Pour la production de l’enceinte, la donnée suivante a été utilisée : « NEGA-0811 : Connected speaker ».

Pour la fin de vie de l’enceinte connectée, la donnée suivante a été utilisée : « NEGA-0848 : Connected speaker ».

Pour la phase de transport, les données NegaOctet de transport par camion, bateau, ou avion ont été utilisées. Les distances et mode de transport considérés sont les mêmes que celles précisées dans le rapport (ADEME et ARCEP 2022).

Pour la phase d’utilisation, le mix électrique français a été considéré. La donnée NegaOctet associée est : « CODDE-2548 : Electricity Mix; Production mix; Low voltage; FR ». La consommation d’énergie de l’enceinte connectée est précisée en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d’usage et consommation d’énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios.

2.2.1.6. Inventaire du cycle de vie des datacenters

Le cycle de vie entier des datacenters a été modélisé pour ce service. Par manque de données, les datacenters utilisés pour le streaming audio ont été considérés équivalents aux datacenters utilisés pour le transfert de fichier, en prenant en compte le débit du streaming audio. La modélisation de ces datacenters est détaillée dans le service « Lire un livre ». Dans la réalité, l’utilisation des datacenters pour le streaming audio est plus complexe que pour le transfert de fichier, ce choix de modélisation constitue donc une limite.

2.2.1.7. Inventaire du cycle de vie des réseaux fixe et mobile

Le cycle de vie entier des réseaux a été modélisé pour cette étude et est détaillé dans le service « Lire un livre ».

2.2.2. Qualité des données

La fiabilité des résultats de l’ACV et des conclusions qui en découlent dépendent directement des données utilisées pour la modélisation. Ainsi les données utilisées doivent être représentatives de :

- La période sur laquelle l’étude a été conduite (2020) ;
- Le contexte géographique des systèmes étudiés (mix technologique des équipements utilisés en France) ;
- Les caractéristiques technologiques des procédés de fabrication (matières premières nécessaires, assemblage, ...).

Les recommandations pour la qualité des données sont spécifiées dans la norme ISO 14044. La représentativité couvre les 3 premiers critères suivant la norme ISO 14044, à savoir la représentativité temporelle (TiR), la représentativité géographique (GR) et la représentativité technologique (TeR). Les données qualifiées comme représentatives sont celles décrivant correctement la situation étudiée, selon les choix des procédés utilisés pour modéliser le système.

La précision et la fiabilité (P) concernent les sources de données, les moyens de collectes et la vérification des procédés. Les données qualifiées comme fiables.

Chaque critère de qualité des données auquel une note doit être attribuée (TiR, GR, TeR et P) est noté conformément aux cinq niveaux énumérés dans le Tableau 26 :

Tableau 26 – Note de qualité des données (DQR) pour les critères de qualité des données

Note de qualité des données des critères de qualité des données	Niveau de qualité des données
1	Excellente
2	Très bonne
3	Bonne
4	Acceptable
5	Médiocre

La méthodologie d'attribution des notes pour chaque critère est détaillée en **Annexe A**.

2.3. EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

2.3.1. Méthode d'évaluation des impacts environnementaux et indicateurs

L'étape d'évaluation des impacts environnementaux permet de classer et de combiner les flux de matières, énergie et émissions issus de l'inventaire par type d'impact, pour chaque système à l'étude.

Dans cette étude, les impacts environnementaux ont été évalués au niveau « mid-point » uniquement. Ceux-ci traduisent les impacts sur l'environnement selon plusieurs catégories d'impact. L'évaluation des impacts environnementaux a été effectuée à l'aide de la méthode de la norme NF EN 15804 + A2 (2019). Cette norme fournit le tronc commun des règles de catégories de produits pour les déclarations environnementales de type III relatives à tout produit ou service de construction. La norme EN 15804 + A2 remplace la version A1 en vigueur depuis 2013. La révision a notamment pour objectif d'être alignée avec le format du PEF (Product Environmental Footprint) de la Commission Européenne. Les facteurs de caractérisation sont donc basés sur les facteurs de la méthode EF3.0, développée et mise à jour par le *Joint Research Center* de la Commission Européenne.

La méthodologie EF3.0 est internationalement reconnue par les experts de l'ACV et largement utilisée. Cette méthode figure parmi les plus récentes méthodes mises à jour. Cette étude évalue certains indicateurs de la méthode EF3.0, listés dans le tableau suivant.

Tableau 27 – Indicateurs d'impact de la méthode EF3.0 du PEF utilisés dans cette étude

EF catégorie d'impact	Acronyme	Catégorie d'impact Indicateur	Unité	Modèle de caractérisation
Changement climatique, total ¹⁴	CC	Forçage radiatif en tant que potentiel de réchauffement global (GWP100)	kg CO ₂ eq.	Modèle de référence de 100 ans du GIEC (basé sur GIEC 2013)
Particules fines	PM	Cas maladie	Incidence des maladies	Méthode PM recommandée par le PNUE (PNUE 2016)
Radiations ionisantes, santé humaine	IR	Exposition humaine par rapport à l'U235	kBq U ²³⁵ eq.	Modèle des effets sur la santé humaine tel que développé par Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al, 2000)
Acidification	AC	Dépassements accumulés (DA)	Mol H ⁺ eq.	Dépassement cumulé (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
Ecotoxicité eau douce	EC	Unité de toxicité comparée pour les écosystèmes (UTCe)	UTCe	Modèle USEtox 2.1 (Fankte et al, 2017)
Ressources en eau	WU	Potentiel de privation des utilisateurs (consommation d'eau pondérée par la privation)	m ³ eq. mondial	Eau disponible Restant (AWARE) comme recommandé par le PNUE, 2016

¹⁴ L'indicateur "Changement climatique, total" est constitué de trois sous-indicateurs : Changement climatique, fossile ; Changement climatique, biogénique ; Changement climatique, utilisation des terres et changement d'affectation des terres. Les sous-indicateurs sont décrits plus en détail dans la section 4.4.10 de la méthodologie EF. Les sous-catégories "Changement climatique - fossile", "Changement climatique - biogénique" et "Changement climatique - utilisation des terres et changement d'affectation des terres" doivent être rapportées séparément si elles contribuent chacune pour plus de 5% au score total du changement climatique.

Ressources minérales et métalliques ¹⁵	RU	Épuisement des ressources abiotiques (réserves ultimes ADP)	kg Sb eq.	CML 2002 (Guinée et al., 2002) et van Oers et al. 2002.
---	----	---	-----------	---

La sélection des indicateurs de EF3.0 retenus dans cette étude a été contrainte par les indicateurs fournis dans la base de données NegaOctet au format Excel. Les indicateurs les plus pertinents pour une analyse de l'impact environnemental du numérique sont tout de même présents (changement climatique, ressources minérales et métalliques, consommation d'eau, ...).

De plus, les indicateurs retenus sont alignés avec les recommandations du référentiel méthodologique d'évaluation environnementale des services numériques de l'ADEME.

2.3.2. Analyse de contribution

Les analyses de contribution sont réalisées afin de déterminer dans quelle mesure chaque processus modélisé contribue aux impacts environnementaux des systèmes étudiés. Ainsi, dans cette étude, les analyses de contribution effectuées évaluent l'importance relative, en termes d'impacts environnementaux, des différents éléments analysés.

2.3.3. Outil de calcul

Les calculs ont principalement été effectués dans Excel, afin de pouvoir utiliser facilement les données de la base NegaOctet (fournies au format Excel). Cependant, certaines données de la base ecoinvent (v3.8) ont également été utilisées pour la modélisation de certains éléments. Pour cela, le logiciel Simapro 9, développé par Pré Consultants, a été utilisé (la base de données ecoinvent étant intégrée au logiciel), puis les résultats ont été exportés dans Excel.

¹⁵ Les résultats de cette catégorie d'impact doivent être interprétés avec prudence, car les résultats de l'ADP après normalisation peuvent être surestimés. La Commission européenne a l'intention de développer une nouvelle méthode passant du modèle d'épuisement au modèle de dissipation afin de mieux quantifier le potentiel de conservation des ressources.

2.4. RESULTATS DE L'ETUDE

Il est important de rappeler que selon la norme ISO 14044, les résultats de l'ACV sont des expressions relatives et qu'elles ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, les marges de sécurité ou les risques. Il convient également de noter que les résultats de cette étude seront utilisés dans des affirmations comparatives destinées à être divulguées au public.

2.4.1. Résultats des impacts environnementaux

2.4.1.1. Résultats du service au format physique

Le Tableau 28 présente les résultats absolus pour l'UF « écouter 1h de musique en France » au format physique, c'est-à-dire en utilisant un CD et une chaîne hi-fi.

Tableau 28 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « écouter de la musique » au format physique, pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Indicateurs	Unité	Chaîne Hi-Fi	CD	TOTAL
Changement climatique	kg CO ₂ eq	4,34E-02	1,39E-02	5,73E-02
Acidification	mol H ⁺ eq	6,50E-04	4,26E-05	6,92E-04
Particules fines	cas maladie	2,30E-08	6,06E-10	2,36E-08
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	1,44E-05	2,48E-08	1,44E-05
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	6,70E+00	1,32E-01	6,83E+00
Radiations ionisantes	kBq U235 eq	1,08E-01	2,12E-03	1,10E-01
Ressources en eau	m ³ eq	2,94E-02	6,78E-03	3,61E-02

L'impact sur le changement climatique du scénario « écouter 1h de musique en France avec un CD et une chaîne hi-fi », avec les paramètres par défaut considérés, est de 57 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 1,44 x10⁻⁵ kg Sb eq.

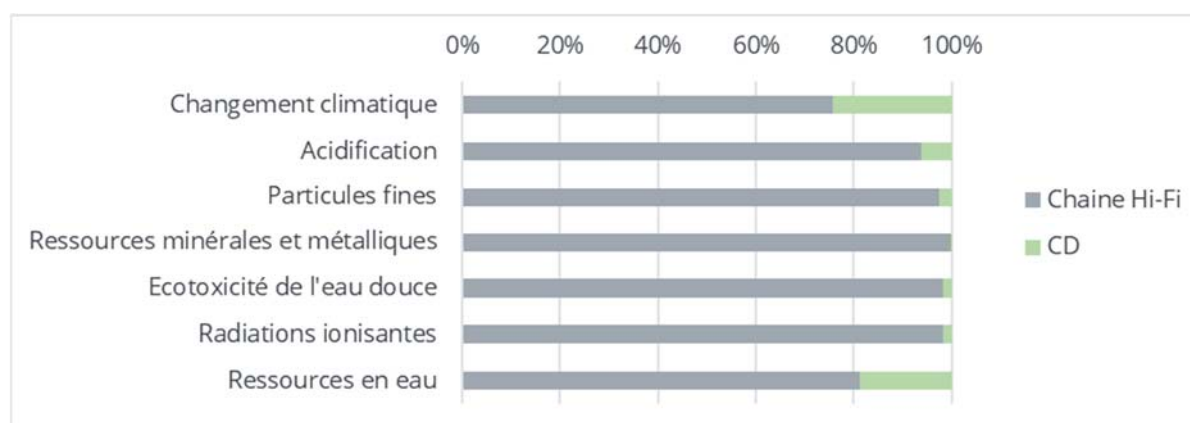


Figure 15 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « écouter 1h de musique sur CD avec une chaîne Hi-fi », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

Sur ce scénario, avec les paramètres par défaut considérés, la chaîne hi-fi contribue pour plus de 70% des impacts sur l'ensemble des indicateurs étudiés. Toutefois, le CD possède un impact non négligeable surtout pour les indicateurs de changement climatique (24%) et épuisement des ressources en eau (19%).

L'ANNEXE F – Résultats du cycle de vie des équipements utilisés dans cette étude fournit le détail des contributions des étapes du cycle de vie du CD et de la chaîne Hi-fi sur tous les indicateurs étudiés.

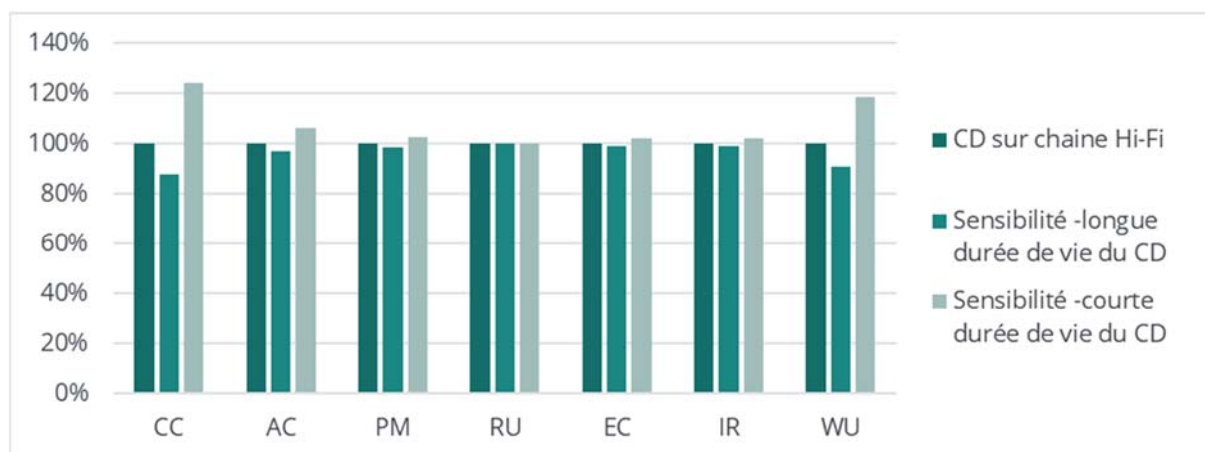


Figure 16 – Analyse de sensibilité sur l'intensité d'usage du CD, sur tous les indicateurs étudiés et pour l'UF « écouter 1h de musique » au format physique

Il est important de rappeler que le calcul de l'impact du CD ramené par UF consiste à diviser l'impact du cycle de vie du CD par le nombre d'utilisations au cours de sa durée de vie. Cela traduit en quelque sorte le taux de remplacement du CD. Dans l'optique d'une utilisation continue et régulière d'une chaîne hi-fi (0,72 h / jour par défaut), écouter ses CD sur une durée maximum de 25h revient à racheter un CD neuf en moyenne tous les 10 jours environ. En achetant des CD d'occasion par exemple, ayant déjà servi 25h, on considère que l'impact du CD sera 2 fois plus faible (amortissement), etc.

Cette analyse de sensibilité montre que ce paramètre est déterminant sur les résultats des indicateurs de changement climatique, où l'impact peut varier de -12% à +24%, et épuisement des ressources en eau, où l'impact peut varier de -9% à +19%. Cela vient directement du fait que le cycle de vie du CD possède une contribution non négligeable sur ces indicateurs.

2.4.1.2. Résultats du service au format numérique

2.4.1.2.1. Résultats sur le scénario numérique : écouter de la musique en streaming sur smartphone uniquement

Le Tableau 29 présente les résultats absolus pour l'UF « écouter 1h de musique en France » au format numérique sur un smartphone uniquement.

Tableau 29 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Indicateurs	Unité	Smartphone	Transmission réseau	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO ₂ eq	3,91E-02	9,16E-04	2,66E-05	4,00E-02
Acidification	mol H ⁺ eq	2,36E-04	5,79E-06	2,73E-07	2,42E-04
Particules fines	cas maladie	1,41E-09	1,22E-10	3,97E-12	1,53E-09
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	1,88E-06	5,61E-08	1,18E-09	1,93E-06
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	7,48E-01	1,27E-02	5,19E-04	7,61E-01

Radiations ionisantes	kBq U235 eq	2,12E-02	1,36E-02	4,19E-04	3,52E-02
Ressources en eau	m ³ eq	9,09E-02	3,10E-03	8,03E-05	9,41E-02

L'impact sur le changement climatique du scénario « écouter 1h de musique en France en streaming avec un smartphone », avec les paramètres par défaut considérés, est de 40 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 1,93 x10⁻⁶ kg Sb eq.

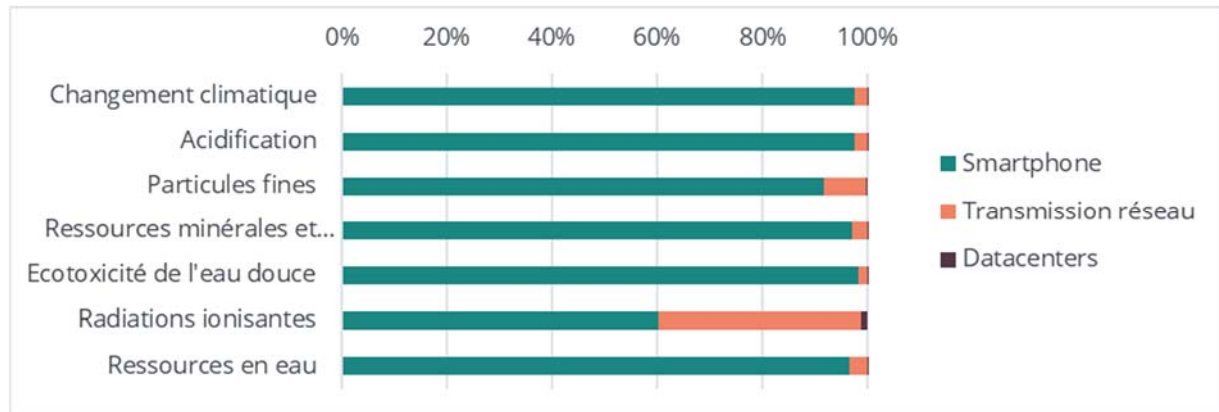


Figure 17 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

Sur ce scénario, le smartphone contribue pour plus de 90% sur l'ensemble des indicateurs sauf pour les radiations ionisantes (60%). Les datacenters représentent moins de 1% des impacts sur l'ensemble des indicateurs étudiés. L'ANNEXE F – Résultats du cycle de vie des équipements utilisés dans cette étude fournit le détail des contributions des étapes du cycle de vie du smartphone sur tous les indicateurs étudiés.

Le graphique suivant présente le résultat des analyses de sensibilité étudiées sur ce scénario. Les impacts des analyses de sensibilité sont comparés sur chaque indicateur relativement aux impacts du scénario standard avec paramètres par défaut (définis à 100% pour tous les indicateurs).

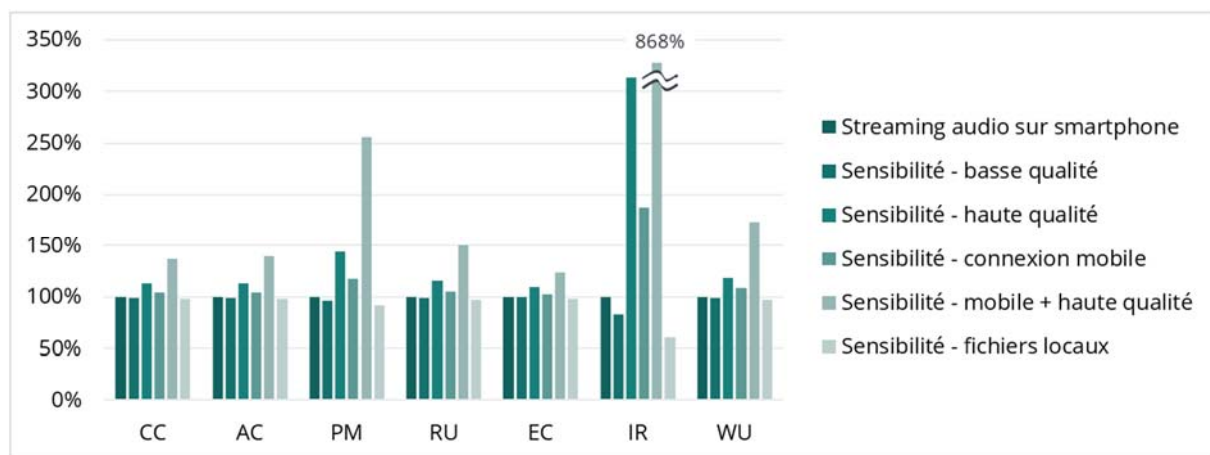


Figure 18 – Analyses de sensibilité selon la qualité des données (basse qualité = 0,06 Go / h vs haute qualité = 0,63 Go / h) et le type de connexion (fixe vs mobile), sur tous les indicateurs étudiés pour une UF « écouter 1h de musique avec un smartphone »

La qualité audio utilisée pour écouter de la musique en streaming fait fortement varier les résultats sur les indicateurs étudiés. En effet, celle-ci joue directement sur la consommation de données, donc l'impact de transmission des données (réseaux et datacenters). Utiliser une faible qualité audio permet de réduire les impacts du scénario selon les indicateurs étudiés (entre -1% et -17%) par rapport à une qualité standard. Pour le changement climatique, cette réduction est de l'ordre de -1%. Au contraire, utiliser une haute

qualité audio augmente considérablement les résultats du scénario selon les indicateurs étudiés (entre +9% et +213%) par rapport à une qualité standard. Pour le changement climatique cette augmentation s'élève à +13% par rapport au cas standard. Cette différence est liée à une consommation de données plus ou moins importante selon la qualité des données souhaitée et est d'autant plus visible sur les indicateurs où les datacenters et les réseaux ont une contribution non négligeable (particules fines et radiations ionisantes, cf figure ci-dessus).

Le type de connexion utilisée fait également varier les résultats. Ecouter de la musique en streaming sur le réseau mobile augmente les impacts selon les indicateurs étudiés (entre +2% et +87%), par rapport à une simple connexion au réseau fixe. Pour le changement climatique cette augmentation est de l'ordre de +4% par rapport à une connexion Wi-Fi, à qualité audio équivalente. En effet, lorsque l'on ramène les impacts totaux des réseaux fixes et mobiles à l'échelle de la quantité des données qui y transitent, on obtient un impact par Go plus important sur le réseau mobile que sur le réseau fixe. Cependant, la consommation d'énergie des réseaux n'est pas nécessairement proportionnelle au nombre de Go transférés, et ce résultat dépend donc beaucoup de la méthode et des hypothèses d'allocation considérées (ADEME et ARCEP 2022).

Coupler une écoute en streaming sur réseau mobile avec une qualité audio élevée est le scénario étudié avec le plus d'impacts, sur l'ensemble des indicateurs étudiés (entre +24% et +768%). Les impacts varient fortement selon les indicateurs étudiés par rapport au cas standard (connexion en Wi-Fi et qualité des données standard). Pour le changement climatique cette variation vaut +37% par rapport au cas standard.

La dernière analyse de sensibilité concerne l'écoute de musique en local, dans l'hypothèse où le contenu est téléchargé et écouté un grand nombre de fois. Dans ce cas, on considère que l'amortissement du téléchargement est suffisant pour rendre son impact négligeable : aucune consommation de données n'est considérée dans cette analyse de sensibilité. Les impacts sont réduits sur tous les indicateurs étudiés par rapport au cas standard (entre -2% et -40%). Pour le changement climatique, cette diminution est de l'ordre de -2%.

2.4.1.2.2. Résultats sur le scénario numérique : écouter de la musique en streaming sur smartphone connecté à une enceinte

Le Tableau 30 présente les résultats absolus pour l'UF « écouter 1h de musique en France » au format numérique sur un smartphone connecté à une enceinte.

Tableau 30 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone connecté à une enceinte », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Indicateurs	Unité	Smartphone	Enceinte	Transmission réseau	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO ₂ eq	3,91E-02	2,76E-02	9,16E-04	2,66E-05	6,76E-02
Acidification	mol H ⁺ eq	2,36E-04	1,82E-04	5,79E-06	2,73E-07	4,24E-04
Particules fines	cas maladie	1,41E-09	2,44E-09	1,22E-10	3,97E-12	3,98E-09
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	1,88E-06	2,68E-06	5,61E-08	1,18E-09	4,61E-06
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	7,48E-01	4,85E-01	1,27E-02	5,19E-04	1,25E+00
Radiations ionisantes	kBq U235 eq	2,12E-02	2,31E-01	1,36E-02	4,19E-04	2,66E-01
Ressources en eau	m ³ eq	9,09E-02	1,14E-01	3,10E-03	8,03E-05	2,09E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « écouter 1h de musique en France en streaming avec un smartphone connecté à une enceinte », avec les paramètres par défaut considérés, est de 68 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 4,61 x10⁻⁶ kg Sb eq.

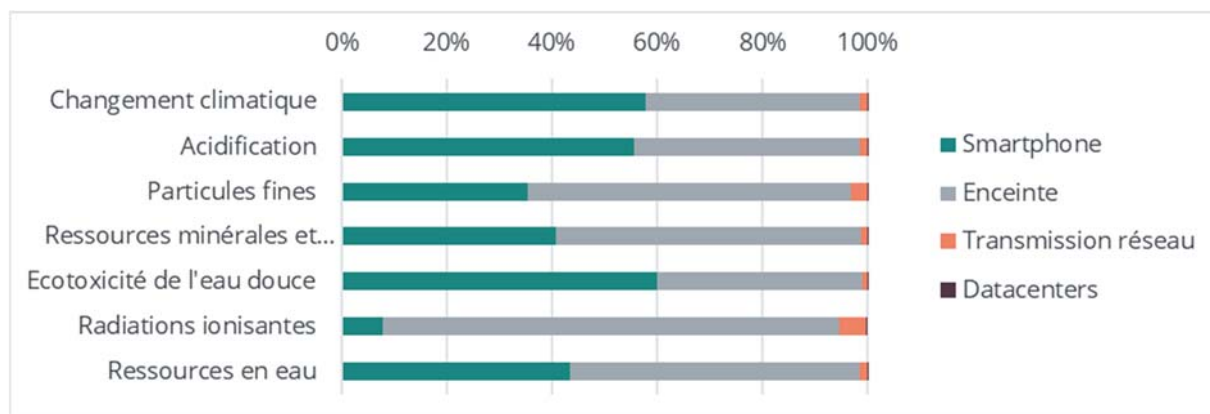


Figure 19 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone connecté à une enceinte », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

Sur ce scénario, l'enceinte Et le smartphone contribuent pour plus de 90% des impacts à eux deux. L'enceinte contribue entre 39% et 87% des impacts selon l'indicateur étudié tandis que le smartphone contribue entre 35% et 60% des impacts sauf pour l'indicateur de radiations ionisantes où il contribue pour 8% des impacts. Les réseaux et les datacenters contribuent pour moins de 5% des impacts sur l'ensemble des indicateurs étudiés.

Dans ce scénario, un équipement (enceinte) est rajouté à l'utilisation du smartphone donc les impacts en absolus sont plus élevés que juste écouter de la musique sur son smartphone. Attention toutefois, l'impact du smartphone en absolu est identique au précédent scénario. Sa contribution en % est simplement plus faible car l'enceinte contribue également aux impacts. Les impacts du cycle de vie du smartphone et de l'enceinte connectée sont présentés en ANNEXE F – Résultats du cycle de vie des équipements utilisés dans cette étude ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios ANNEXE D – Informations et sources des données de débit binaire et taille de fichiers numérique.

Le graphique suivant présente le résultat des analyses de sensibilité étudiées sur ce scénario. Les impacts des analyses de sensibilité sont comparés sur chaque indicateur relativement aux impacts du scénario standard avec paramètres par défaut (définis à 100% pour tous les indicateurs).

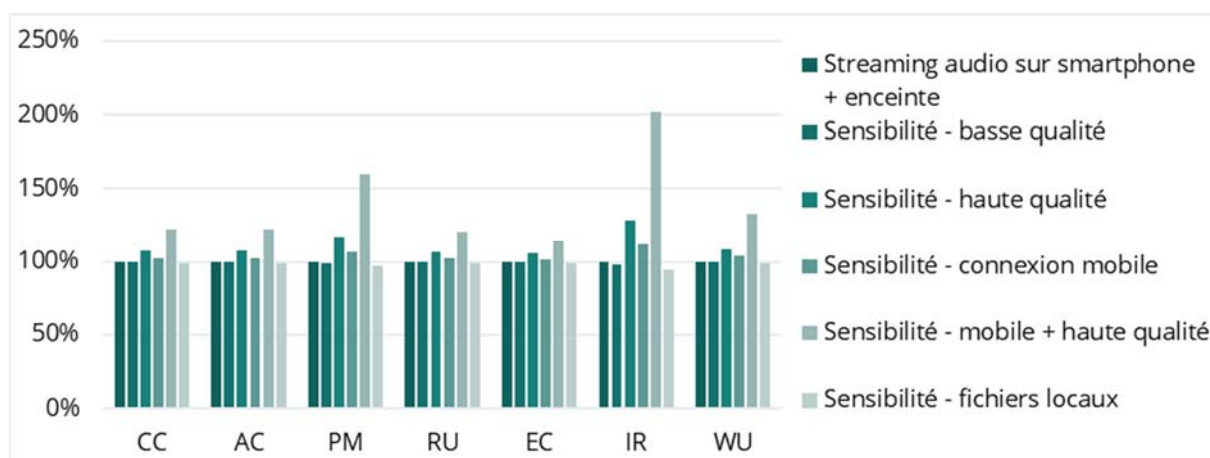


Figure 20 – Analyses de sensibilité selon la qualité des données (basse qualité = 0,06 Go / h vs haute qualité = 0,63 Go / h) et le type de connexion (fixe vs mobile), sur tous les indicateurs étudiés pour une UF « écouter 1h de musique avec un smartphone et une enceinte connectée »

Les messages clefs des analyses de sensibilité sur ce scénario sont identiques à ceux sur le scénario de streaming sur smartphone. Cependant, la contribution des réseaux et datacenters (seuls paramètres concernés ici) aux impacts de ce scénario est plus faible (comme un équipement supplémentaire est nécessaire), donc les différences d'impact sont moins visibles entre les analyses de sensibilité.

2.4.1.2.3. Résultats sur le scénario numérique : écouter de la musique en streaming sur smartphone connecté à une chaîne hi-fi

Le Tableau 31 présente les résultats absolus pour l'UF « écouter 1h de musique en France » au format numérique sur un smartphone connecté à une chaîne hi-fi.

Tableau 31 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone connecté à une chaîne hi-fi », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Indicateurs	Unité	Smartphone	Chaîne Hi-Fi	Transmission réseau	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO ₂ eq	3,91E-02	4,34E-02	9,16E-04	2,66E-05	8,34E-02
Acidification	mol H ⁺ eq	2,36E-04	6,50E-04	5,79E-06	2,73E-07	8,92E-04
Particules fines	cas maladie	1,41E-09	2,30E-08	1,22E-10	3,97E-12	2,45E-08
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	1,88E-06	1,44E-05	5,61E-08	1,18E-09	1,63E-05
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	7,48E-01	6,70E+00	1,27E-02	5,19E-04	7,46E+00
Radiations ionisantes	kBq U235 eq	2,12E-02	1,08E-01	1,36E-02	4,19E-04	1,43E-01
Ressources en eau	m ³ eq	9,09E-02	2,94E-02	3,10E-03	8,03E-05	1,23E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « écouter 1h de musique en France en streaming avec un smartphone connecté à une chaîne hi-fi », avec les paramètres par défaut considérés, est de 83 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 1,63 x10⁻⁵ kg Sb eq.

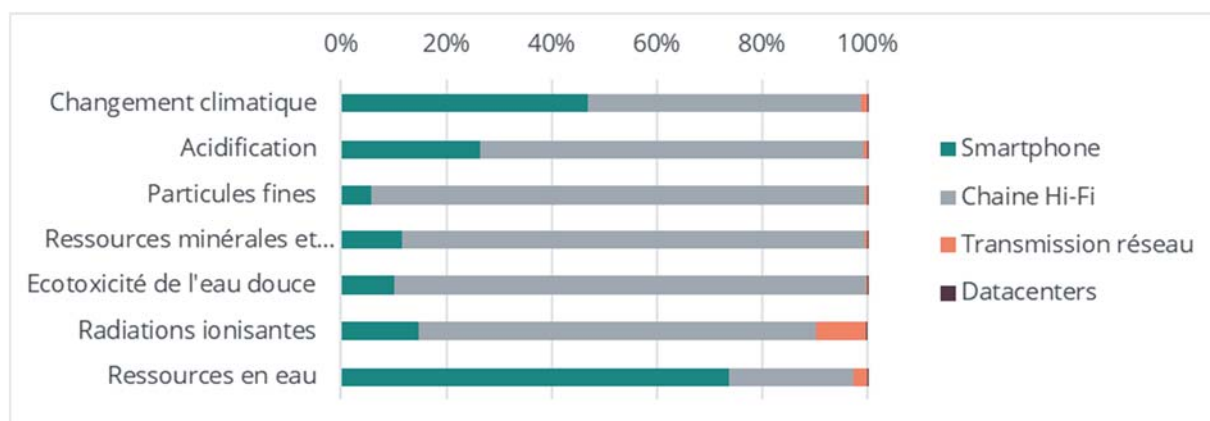


Figure 21 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone connecté à une chaîne hi-fi », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

Sur ce scénario, la chaîne hi-fi contribue pour plus de 50% pour l'ensemble des indicateurs, sauf pour l'épuisement des ressources en eau (24%). La chaîne hi-fi a une plus forte contribution que l'enceinte car la chaîne hi-fi a des impacts plus élevés que l'enceinte sur l'ensemble des indicateurs étudiés pour la production d'un produit fini. Même si leurs intensités d'usage sont différentes, les impacts de la chaîne hi-fi sont plus importants que ceux de l'enceinte ramenés à l'UF.

Dans ce scénario, un équipement (chaîne hi-fi) est rajouté à l'utilisation du smartphone donc les impacts en absolus sont plus élevés que juste écouter de la musique sur son smartphone. Attention toutefois, l'impact du smartphone en absolu est identique aux précédents scénarios (cf. Tableau 29 & Tableau 30). Sa contribution est simplement plus faible car la chaîne hi-fi contribue également aux impacts.

Les impacts du cycle de vie du smartphone et de la chaîne hi-fi sont présentés en ANNEXE D – Informations et sources des données de débit binaire et taille de fichiers numérique ANNEXE F – Résultats du cycle de vie des équipements utilisés dans cette étude.

Le graphique suivant présente le résultat des analyses de sensibilité étudiées sur ce scénario. Les impacts des analyses de sensibilité sont comparés sur chaque indicateur relativement aux impacts du scénario standard avec paramètres par défaut (définis à 100% pour tous les indicateurs).

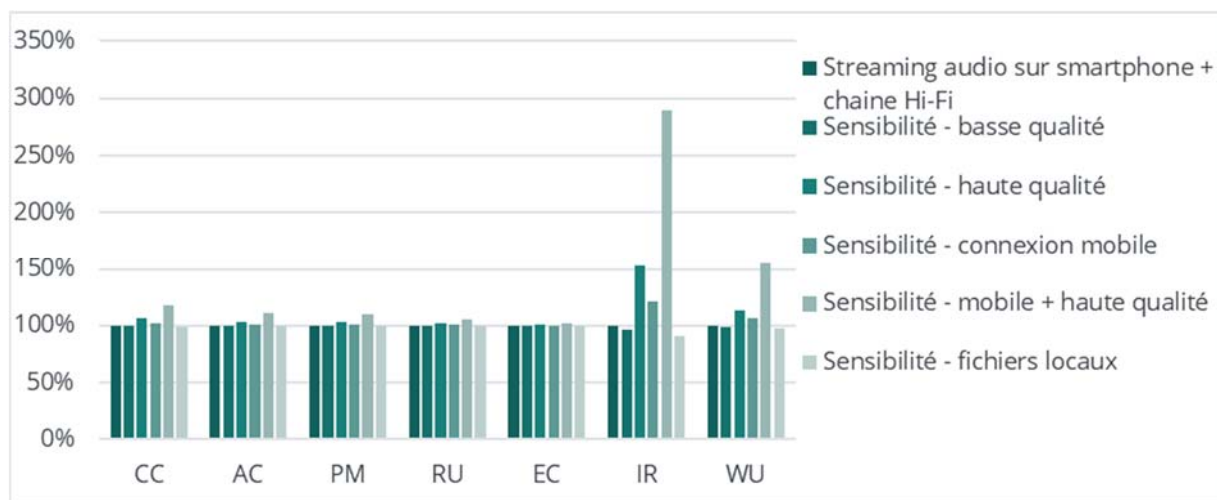


Figure 22 – Analyses de sensibilité selon la qualité des données (basse qualité = 0,06 Go / h vs haute qualité = 0,63 Go / h) et le type de connexion (fixe vs mobile), sur tous les indicateurs étudiés pour une UF « écouter 1h de musique avec un smartphone et une chaîne hi-fi »

Les messages clefs des analyses de sensibilité sur ce scénario sont identiques à ceux sur le scénario de streaming sur smartphone uniquement. Cependant, la contribution des réseaux et datacenters (seuls paramètres concernés ici) aux impacts de ce scénario est plus faible (comme un équipement supplémentaire est nécessaire), donc les différences d'impact sont moins visibles entre les analyses de sensibilité.

2.4.2. Comparaison des différents scénarios étudiés

Le graphique suivant présente une comparaison des impacts des différents scénarios pour l'UF « écouter 1h de musique en France », sur tous les indicateurs.

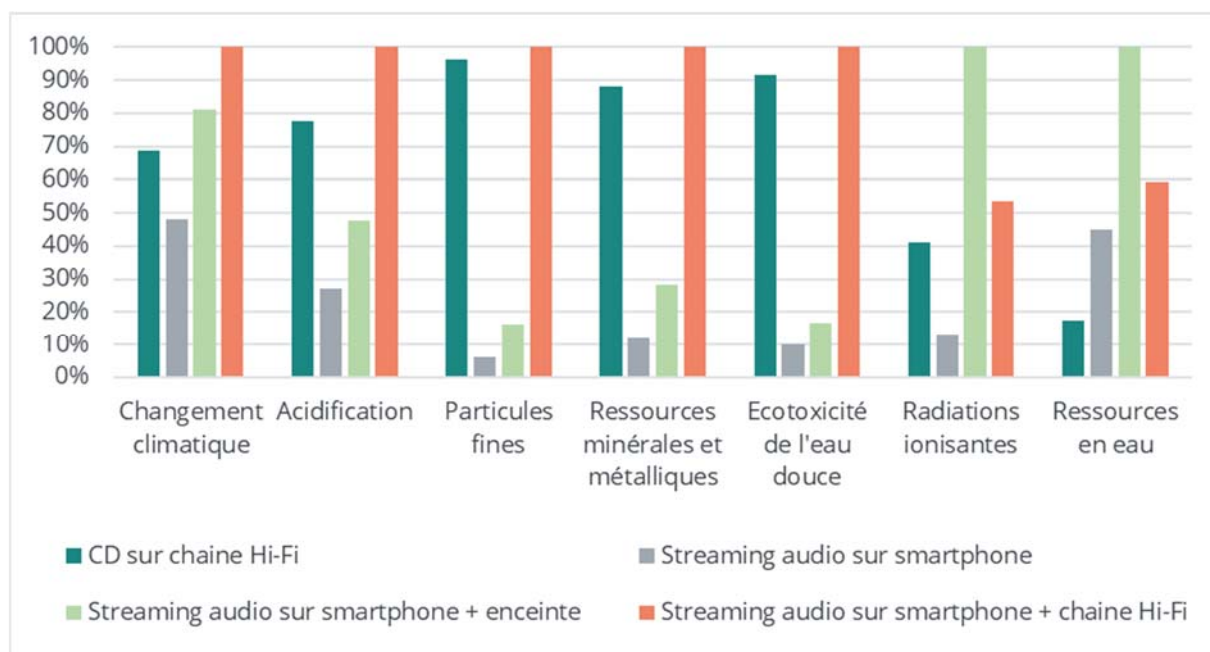


Figure 23 – Comparaison des résultats environnementaux des différents scénarios pour l'UF « écouter 1h de musique en France en 2020 » ¹⁶

On observe tout d'abord que le scénario smartphone connecté à une chaîne hi-fi, avec les paramètres par défaut considérés, a les impacts les plus élevés sur l'ensemble des indicateurs étudiés, sauf pour les indicateurs de radiations ionisantes et d'épuisement des ressources en eau où le scénario smartphone connecté à une enceinte est le plus contributeur.

Le scénario physique, avec les paramètres par défaut, est plus impactant que le scénario avec smartphone uniquement sur tous les indicateurs sauf ressources en eau, et est moins impactant que le scénario avec chaîne hi-fi sur tous les indicateurs. Comparé au scénario avec enceinte connectée, le scénario physique est plus impactant sur tous les indicateurs (de 63% à +493%) sauf changement climatique (-15%), radiations ionisantes (-59%) et épuisement des ressources en eau (-83%).

Comme expliqué dans la définition des scénarios, ces scénarios sont tous différents et les services rendus ne sont pas complètement équivalents. Les scénarios 1 et 4 sont équivalents car ils utilisent la même chaîne hi-fi, mais la différence réside sur l'écoute en streaming. Lorsqu'on compare les scénarios physique / numérique avec utilisation d'une chaîne hi-fi, dans les deux cas le scénario avec le CD est meilleur sur tous les indicateurs (avec les paramètres par défaut) qu'avec le scénario d'écoute en streaming sur un smartphone.

Mais les usages ont tendance à changer avec la digitalisation des services culturels, et le cas le plus répandu aujourd'hui est plutôt l'enceinte connectée. Cet équipement est plus petit qu'une chaîne hi-fi et moins complexe donc son impact est réduit sur la majorité des indicateurs étudiés.

Tous les scénarios ont fait l'objet d'analyse de sensibilité sur différents paramètres (nombre d'utilisation du CD, résolution de la musique, type de connexion). Il convient de prendre en compte la variabilité des résultats pour mieux appréhender la comparaison entre les scénarios.

¹⁶ Les résultats d'impact sur les différents indicateurs sont exprimés dans des unités différentes : afin d'afficher cette comparaison entre les scénarios, pour chaque indicateur, l'impact le plus haut est défini à 100% et les autres impacts sont définis relativement à cet impact maximum.

Le graphique suivant présente une comparaison des impacts des différents scénarios sur le changement climatique, en prenant en compte la variabilité des résultats.

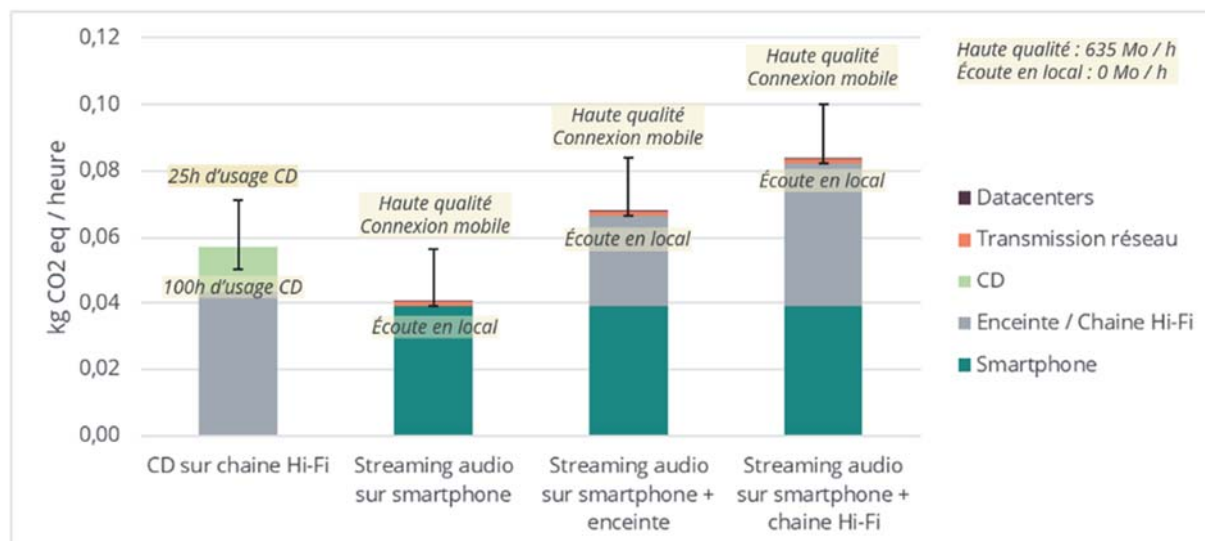


Figure 24 – Comparaison des impacts sur le changement climatique des scénarios étudiés pour l'UF « écouter 1h de musique en France en 2020 »¹⁷

Le service « écouter de la musique » au format physique voit 24% de ses impacts sur le changement climatique provenir du support (CD). En passant au format numérique, l'utilisation du CD disparaît pour laisser place aux réseaux et datacenters, bien moins contributeurs dans le cas standard. Toutefois, selon la qualité des données utilisées, ces impacts peuvent devenir non négligeables.

Le smartphone contribue autant sur les scénarios numériques car son intensité d'usage est identique. La différence réside dans l'utilisation d'équipements supplémentaires ou non, et augmente les impacts selon la complexité de l'équipement.

Le cycle de vie d'une chaîne hi-fi a des impacts bien plus élevés que celui d'une enceinte connectée (28 kgCO₂eq / enceinte connectée vs 57 kgCO₂eq / chaîne hi-fi). Même si l'intensité d'usage de la chaîne hi-fi est plus forte que celle de l'enceinte connectée (0,56h/j pour l'enceinte vs 0,72h/j pour la chaîne hi-fi), ramenée à une UF « Écouter 1h de musique en France en 2020 », la chaîne hi-fi a une contribution plus forte sur le changement climatique que l'enceinte connectée (28 gCO₂eq / enceinte vs 43 gCO₂eq / chaîne hi-fi).

L'impact sur le changement climatique du scénario d'écoute sur CD et chaîne hi-fi varie de 50 à 71 gCO₂eq par heure selon l'amortissement du CD. L'impact sur le changement climatique du scénario smartphone connecté à une enceinte varie de 67 à 82 gCO₂eq par heure, selon le type de connexion et la qualité audio. De fait, les intensités d'usage, la qualité audio et le type de connexion sont des paramètres importants qui peuvent faire varier les conclusions.

La même analyse a été portée sur l'indicateur de ressources minérales et métalliques. Le graphique suivant présente une comparaison des impacts des différents scénarios sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques, en prenant en compte la variabilité des résultats.

¹⁷ Ce graphique permet d'afficher l'impact absolu sur le changement climatique des différents scénarios à l'étude, ainsi que la variabilité de ces résultats en affichant les résultats des analyses de sensibilité minimum et maximum. Ces barres ne doivent pas être interprétées comme des incertitudes (qui ne sont pas quantifiées ici) mais comme une fourchette de résultat. Le graphique affiche également la contribution des éléments aux impacts de chaque scénario, dans le cas des paramètres par défaut.

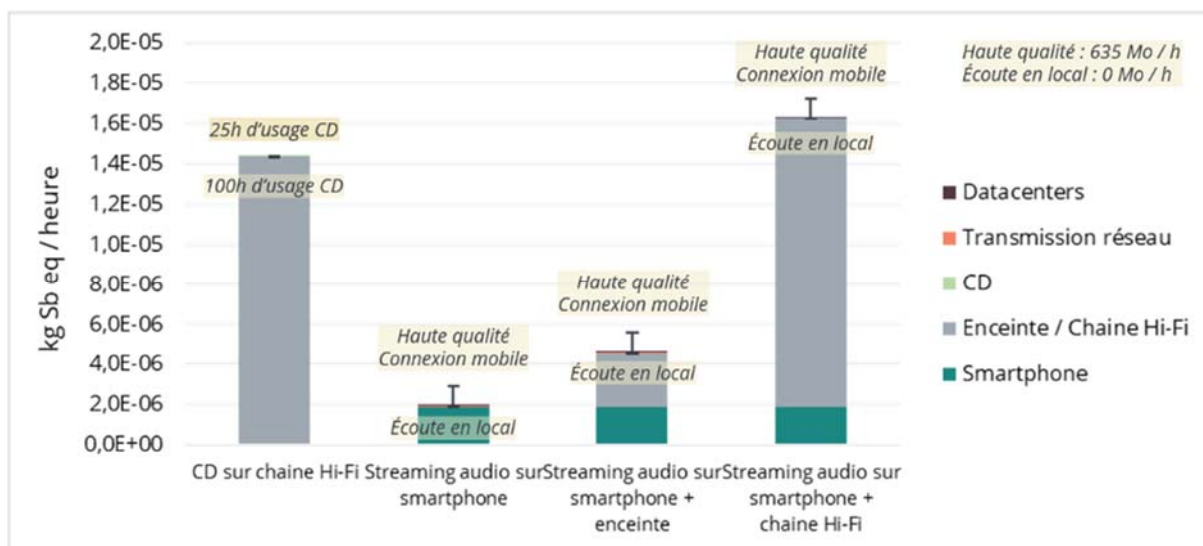


Figure 25 – Comparaison des impacts sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques des scénarios étudiés pour l'UF « écouter 1h de musique en France en 2020 »

Cette fois, le service « écouter de la musique » au format physique voit plus de 99% de ses impacts provenir de l'équipement (chaîne hifi). Le smartphone contribue autant sur les scénarios numériques car son intensité d'usage est identique. La différence réside dans l'utilisation d'équipements supplémentaires ou non, et augmente les impacts selon la complexité de l'équipement. Les réseaux et datacenters contribuent beaucoup moins aux impacts que sur le changement climatique, les équipements ayant un impact bien trop fort sur cet indicateur. De fait, la variabilité des paramètres (qualité audio, type de connexion etc) génère une variabilité des résultats plus faible pour l'indicateur des ressources minérales et métalliques que pour l'indicateur de changement climatique.

2.5. CONCLUSIONS

L'évaluation environnementale du service « écouter de la musique » a été réalisée selon différents scénarios afin de prendre en compte plusieurs usages : écouter de la musique au format CD, écouter de la musique en streaming sur smartphone, avec une enceinte connectée ou une chaîne hi-fi.

L'analyse a montré tout d'abord que, dans le scénario sur format CD, le CD (production, transport, fin de vie) peut potentiellement représenter un impact significatif, notamment sur les indicateurs changement climatique et consommation d'eau, selon l'amortissement du CD considéré. En effet, un CD a une durée de vie théorique très grande et pourrait être réutilisé au moins pendant une dizaine d'année. Mais en pratique, un CD acheté par un particulier aura sûrement un nombre limité d'utilisation. Ce qui compte, c'est le nombre de CD neufs achetés, qui est indirectement lié au temps d'utilisation de chaque CD possédé. Néanmoins un CD peut facilement être prêté, acheté ou vendu d'occasion, ou loué, faisant considérablement augmenter son amortissement. Dans cette étude, par manque de donnée sur ce paramètre, il a été estimé une utilisation par défaut de 50h du CD sur sa durée de vie. En analyse de sensibilité nous avons considéré un nombre d'utilisations 2 fois plus élevé ou deux fois plus faible (25h ou 100h). L'impact sur le changement climatique du scénario d'écoute sur CD et chaîne hi-fi varie entre 50 et 71 gCO₂eq par heure selon l'amortissement du CD.

L'analyse a également montré que les équipements avaient des impacts non négligeables sur tous les indicateurs. La chaîne hi-fi représente un impact important, dont l'utilisateur peut se passer dans les scénarios numériques (plus besoin de lecteur CD). En revanche, un terminal de consultation (ici le smartphone) est forcément nécessaire pour le streaming, ce qui ajoute des impacts importants. Cet équipement peut toujours être couplé à une petite enceinte connectée, ou à une chaîne hi-fi. Si certains équipements récents peuvent être plus légers et moins gourmands en énergie (exemple : enceinte connectée qui représente des impacts plus faibles que la chaîne hi-fi), la multiplication des équipements (smartphone couplé à un casque, une enceinte, une chaîne hi-fi, ...) entraîne nécessairement une augmentation des impacts.

Enfin, la transmission des données pour le streaming via le réseau fixe ou mobile peut également représenter, selon la qualité audio sélectionnée, un impact important (via l'impact des réseaux et datacenters). L'impact sur le changement climatique du scénario smartphone connecté à une enceinte varie entre 68 et 83 gCO₂eq par heure, selon le type de connexion et la qualité audio.

L'évaluation environnementale de ce service culturel selon les différents scénarios comportent plusieurs limites qu'il convient de rappeler :

- 0 Comme discuté tout le long de ce rapport, les intensités d'usage retenues par équipement sont déterminantes sur les résultats présentés. En particulier sur le service « écouter de la musique » où la majorité des impacts provient de la fabrication des équipements (chaîne hi-fi, CD, smartphone), tandis que l'utilisation des équipements et la consommation d'énergie des réseaux et datacenters pour le streaming ont une contribution limitée. L'amortissement de la fabrication des équipements dépend avant tout des hypothèses d'intensité d'usage. Il faut donc être conscient de la variabilité des résultats de cette étude en fonction des hypothèses de base.
- 0 L'intensité d'usage retenue pour le smartphone (1,62h/j) possède une grande incertitude. En effet de nombreuses sources existent sur l'intensité d'usage d'un smartphone et les données varient énormément. La plupart du temps les différences s'expliquent principalement par la tranche d'âge considérée pour évaluer l'intensité d'usage (x2 voire x3 pour les plus jeunes). Nous avons décidé de retenir la donnée Médiamétrie car c'est la seule qui détaille explicitement les tranches d'âge considérées. Il est important que cette donnée ne prend en compte que le temps passé sur internet et non d'autres usages type appareil photo. Mais c'est aussi le cas pour les autres sources de données analysées.
- 0 Lors de l'utilisation du smartphone pour le streaming audio, la consommation d'énergie (plus précisément l'utilisation de la batterie) est plus faible que d'autres usages du smartphone comme le streaming vidéo. Cela n'est pas pris en compte dans l'étude, la consommation d'énergie du smartphone étant moyennisée sur l'année parmi tous les usages. Cependant la consommation d'énergie du smartphone reste très peu contributrice aux impacts.
- 0 Lors de l'utilisation du smartphone pour le streaming audio, d'autres usages peuvent avoir lieu en même temps. Cela pourrait se traduire par une intensité d'usage plus importante du smartphone, ou une allocation plus faible de la fabrication du smartphone au temps d'usage en streaming audio. Cet aspect n'est pas pris en compte dans cette étude.

- 0 Certaines applications de streaming audio possèdent une fonctionnalité appelée « smart-cache » permettant d'optimiser la quantité de données téléchargées en utilisant l'espace de stockage interne du smartphone. Cet aspect n'est pas pris en compte dans cette étude, en revanche l'analyse de sensibilité sur l'écoute de musique en local constitue un cas extrême d'optimisation du téléchargement.
- 0 Les écouteurs et casques audio n'ont pas été inclus dans le périmètre, bien qu'ils constituent un usage très répandu parmi les utilisateurs de streaming audio. Cependant, on peut estimer qu'un scénario avec écouteurs ou casque audio verrait ses impacts se situer entre ceux du scénario « streaming audio sur smartphone » et du scénario « streaming audio sur smartphone et enceinte connectée ». Par exemple sur l'indicateur changement climatique, l'empreinte carbone d'une paire d'écouteurs sans fil est d'environ 3,5 kgCO₂eq sur son cycle de vie. En considérant une durée de vie de 2 ans et une intensité d'usage de 1 h/j, cela représente un impact additionnel de 5 gCO₂eq/h, contre 28 gCO₂eq/h pour l'enceinte connectée.
- 0 La modélisation des datacenters n'est pas exactement adaptée au streaming audio mais plutôt au simple transfert de fichier. Dans la réalité, l'utilisation des datacenters pour le streaming audio est plus complexe, ce qui pourrait se traduire par un impact plus élevé.
- 0 Les impacts des réseaux fixes et mobiles sont alloués par Go de données transférés. Cependant, la consommation d'énergie des réseaux n'est pas directement proportionnelle au nombre de Go transférés, et le résultat dépend ainsi de la méthode et des hypothèses d'allocation considérées (ADEME et ARCEP 2022). D'autres méthodes existent (Fletcher et al. 2021) mais n'ont pas été étudiées dans ce rapport.

Malgré ces limites, l'étude de ce service permet toutefois d'améliorer la connaissance et la compréhension de ses impacts environnementaux et les résultats présentés dans cette étude doivent être interprétés en connaissance de ces limites.

3. REGARDER UN FILM

3.1. CHAMPS DE L'ETUDE

3.1.1. Description des systèmes à l'étude

L'étude présentée dans cette section analyse et compare les impacts environnementaux du visionnage d'1h de film en France selon différents scénarios :

- Un scénario dit « physique », qui consiste à regarder un film au format DVD sur une TV et un lecteur DVD.
- Trois scénarios « numériques » :
 - Regarder un film en streaming direct sur une TV connectée à internet à l'aide une box TV
 - Regarder un film en streaming direct sur un ordinateur portable
 - Regarder un film en streaming direct sur un smartphone

Le scénario « physique » représente une situation historiquement très répandue mais de moins en moins commune aujourd'hui. Le service rendu par ce premier scénario n'est pas strictement comparable au service rendu par les scénarios numériques. En effet, les services numériques de streaming vidéo permettent un plus grand choix de contenus. La sélection des différents contenus est également facilitée (accès direct en ligne), contrairement au format DVD qui nécessite de se déplacer en magasin, ou de se faire livrer. Ces scénarios ne sont donc pas tout à fait comparables, néanmoins il est intéressant d'analyser et de comparer les impacts environnementaux de ces différents services, afin de mieux comprendre l'impact environnemental de la digitalisation du service culturel de visionnage de film.

3.1.2. Fonction et unité fonctionnelle

L'analyse environnementale, et plus particulièrement l'analyse du cycle de vie (ACV) repose sur l'étude d'une fonction et non d'un produit, et définit une « unité fonctionnelle » qui représente une quantification de la fonction rendue par un produit ou un service (performances et durée de vie). A ce titre, elle sert d'unité de référence pour comparer plusieurs systèmes selon une base commune. L'unité fonctionnelle utilisée comme référence dans cette section pour évaluer les systèmes est la suivante :

Regarder un film pendant 1h en France en 2020

L'objectif principal de l'unité fonctionnelle est donc de fournir une référence qui servira à la quantification des différentes données d'entrée et de sortie des systèmes à l'étude. Cette référence permet d'assurer la comparabilité entre résultats d'ACV dans le cadre d'une comparaison de produits / services.

Cette unité fonctionnelle sera utilisée pour les différents scénarios étudiés.

3.1.3. Frontières du système

Les frontières des systèmes étudiés définissent toutes les activités pertinentes à considérer dans l'ACV, afin que celle-ci soit cohérente avec les objectifs de l'étude. La figure suivante présente les frontières des systèmes étudiés dans les différents scénarios.

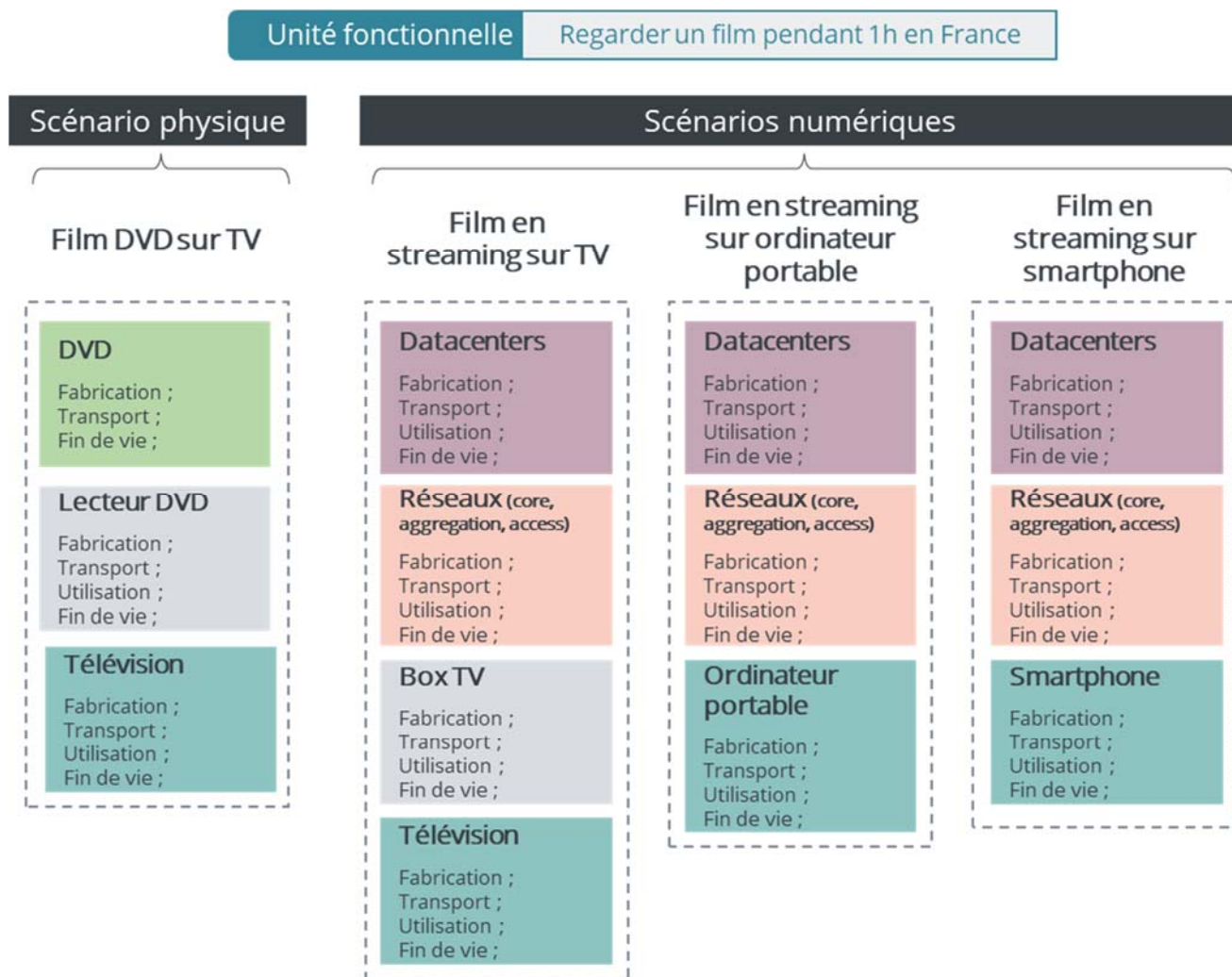


Figure 26 – Frontières des systèmes étudiés

Il est important de noter que les étapes de production, transport et fin de vie des différents équipements ont également été inclus dans cette étude.

3.1.4. Représentativité géographique et temporelle

L'analyse environnementale menée dans cette étude est représentative des services culturels en 2020 en France.

3.1.5. Règles de coupure

Tous les éléments identifiés comme pertinents dans les frontières des systèmes à l'étude, et dont les données associées étaient disponibles ou raisonnablement estimables par des hypothèses, ont été intégrés à l'analyse. Les étapes suivantes ont été exclues de l'étude :

- L'étape de création de contenu (écriture et tournage du film) ;

- Les infrastructures pour l'étape de production du lecteur DVD ;

3.1.6. Règles d'allocation

Les procédés utilisés pour la modélisation de cette étude sont issus de deux bases de données : ecoinvent V3.8 et NegaOctet. Les procédés issus d'ecoinvent v3.8 sont construits sur la base de la méthode « cut-off », tandis que les procédés de NegaOctet sont construits sur la base de la méthode des « stocks ». Ces deux approches sont identiques et consistent à considérer les impacts du recyclage d'un matériau à l'utilisateur de matières recyclées. De fait, lorsqu'un déchet est envoyé en recyclage aucun impact ni crédit n'est alloué à cette étape.

3.2. INVENTAIRES DU CYCLE DE VIE

3.2.1. Données d'inventaires

3.2.1.1. Données principales de modélisation des scénarios

Le tableau suivant présente les données principales de modélisation des scénarios à l'étude. Les données en *orange* sont utilisées en analyse de sensibilité.

Tableau 32 - Données principales de modélisation des scénarios étudiés dans le service « Regarder un film »

Composants	Donnée	Scénario physique	Scénarios numériques		
		Film DVD sur TV	Film en streaming sur TV	Film en streaming sur ordinateur portable	Film en streaming sur smartphone
Datacenters - standard			Données NegaOctet		
Réseaux	Type de connexion		Réseau fixe		Réseau fixe. <i>Réseau mobile</i>
	Débit		En moyenne : 2,88 Go / h <i>UHD : 7 Go / h</i> <i>SD : 1 Go / h</i>		Réseau fixe : En moyenne : 2,88 Go / h <i>UHD : 7 Go / h ; SD : 1 Go / h</i> Réseau mobile : <i>par défaut : 0,25 Go / h</i> <i>HD (maximum) : 3 Go / h</i>
	Consommation moyenne de données par ligne		220 Go / mois		
DVD	Nombre d'heure d'utilisation sur durée de vie	Estimation : 4h <i>2h (min) ; 8h (max)</i>			
Lecteur DVD	Nombre d'heure d'utilisation sur durée de vie	8 ans ; 0,2 h / jour			
TV	Durée de vie et intensité d'usage	8 ans ; 2,86 h / jour	8 ans ; 2,86 h / jour		
Box TV	Durée de vie et intensité d'usage		5 ans ; 2,86 h / jour		
Ordinateur portable	Durée de vie et intensité d'usage			5 ans ; 2,42 h / jour	
Smartphone	Durée de vie et intensité d'usage				2,5 ans ; 1,62 h / jour

Plus d'information sur ces données et les sources associées sont indiquées en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios & ANNEXE D – Informations et sources des données de débit binaire et taille de fichiers numérique.

Les données présentées dans ce tableau permettent notamment de ramener les impacts des datacenters, réseaux, et terminaux à l'unité fonctionnelle étudiée. Différentes méthodes d'allocation sont utilisées pour cela.

Les impacts sur le cycle de vie des terminaux (TV, lecteur DVD, Réseaux, Datacenters, Ordinateur, Smartphone) sont ramenés par heure d'utilisation en calculant leur temps d'utilisation total sur leur durée de vie (= durée de vie [ans] x intensité d'usage [h / jour] x 365 [jour/an]).

Concernant le DVD, celui-ci a une durée de vie théorique très grande et pourrait être réutilisé au moins pendant une dizaine d'année. Mais en pratique, un DVD acheté par un particulier aura sûrement un nombre limité d'utilisations. On peut s'attendre à ce que l'utilisateur ne regarde qu'une ou deux fois le film enregistré sur le DVD. L'utilisateur peut cependant facilement prêter le DVD, dans ce cas le nombre d'utilisation sera probablement plus élevé. Une autre situation concerne la location de DVD. Si les vidéos club sont aujourd'hui de moins en moins nombreux, la location de DVD était une pratique répandue il y a quelques années. Dans le cas de la location de DVD, le nombre d'utilisations par DVD peut être bien plus élevé. Par manque de donnée sur ce paramètre, nous avons utilisé dans notre analyse une estimation

par défaut de 2 utilisations du DVD sur sa durée de vie (soit 4h si l'on considère une durée moyenne de lecture du DVD de 2h). En analyse de sensibilité, nous avons considéré un nombre d'utilisation 2 fois plus élevé (8h), ou deux fois plus faible (c.à.d. une unique utilisation, 2h).

Les impacts du réseau fixe sont exprimés par ligne et par an dans les données NegaOctet. Ramener ces impacts par heure d'utilisation ne prendrait pas en compte le fait que plusieurs terminaux peuvent utiliser la ligne en même temps. L'allocation utilisée pour le réseau fixe est donc une allocation par gigaoctet de données transmises sur la ligne sur un an (intensité d'usage en [Go / mois] x 12 [mois/an]).

Concernant le type de connexion, nous avons considéré, par défaut sur tous les scénarios, une connexion au réseau fixe. Seul le scénario de streaming sur smartphone a fait l'objet d'une analyse de sensibilité sur réseau mobile.

Pour les datacenters, une allocation par gigaoctet de données transmises a également été utilisée.

Les plateformes de streaming offrent souvent la possibilité de sélectionner la qualité vidéo. La qualité vidéo (c'est-à-dire la résolution ou la définition vidéo) jouent directement sur la consommation de données du streaming. Dans cette étude, nous avons considéré les débits de données pour les différentes résolutions et type de connexion fournies dans la publication de Carbon Trust « Carbon impact of video streaming » (Fletcher et al. 2021). D'après cette publication, qui a collecté ses informations auprès de la plateforme Netflix, le débit moyen en connexion fixe est de 2,88 Go / h (paramètre retenu par défaut), et varie entre 1 Go / h (« standard definition ») et 7 Go / h (« ultra high definition »). Ces deux derniers débits sont étudiés en analyse de sensibilité. Pour le scénario streaming sur smartphone, dans le cas d'une connexion au réseau mobile (analyse de sensibilité), nous avons également considéré les débits de la publication de Carbon Trust : 0,25 Go / h par défaut (réglage automatique en connexion mobile), et un maximum à 3 Go / h (« high definition »).

La modélisation du cycle de vie des différents éléments des scénarios est décrite dans les paragraphes suivants.

3.2.1.2. Inventaire du cycle de vie d'un DVD

Le cycle de vie entier d'un DVD a été modélisé pour ce service, de la production des matières premières à la fin de vie du produit. La modélisation du DVD est identique à celle du CD pour le service « écouter de la musique ».

3.2.1.3. Inventaire de cycle de vie d'un lecteur DVD

Le cycle de vie entier d'un lecteur DVD a été modélisé pour ce service, de la production des matières premières à la fin de vie du produit. Par manque de données, les étapes de fabrication, transport, et fin de vie du lecteur DVD ont été modélisées à partir du modèle de la chaîne hi-fi, en excluant les hauts parleurs, et en appliquant un ratio massique. D'après l'analyse d'I Care des modèles de lecteurs DVD vendus en ligne, un poids moyen de 0,95 kg¹⁸ a été considéré. Le poids moyen d'une chaîne Hi-fi considéré est de 4,4 kg. Le ratio massique considéré est donc de 0,216.

Concernant l'étape d'utilisation du lecteur DVD, une consommation électrique moyenne de 9 W a été considérée, d'après l'analyse d'I Care des modèles de lecteurs DVD vendus en ligne. Le mix électrique utilisé est le mix français.

3.2.1.4. Inventaire de cycle de vie d'une box TV

Le cycle de vie entier d'une box TV a été modélisé à l'aide des données NegaOctet.

La phase de production de la box TV a été modélisé à l'aide de la donnée suivante : « NEGA-0791 : Set top box ».

¹⁸ <https://www.sony.fr/electronics/lecteurs-dvd/dvp-sr170/specifications>

La phase de fin de vie de la box TV a été modélisée à l'aide de la donnée suivante : « NEGA-0828 - Set top box ».

Pour la phase de transport, les données NegaOctet de transport par camion, bateau, ou avion ont été utilisées. Les distances et mode de transport considérés sont les mêmes que celles précisées dans le rapport (ADEME et ARCEP 2022).

Pour la phase d'utilisation, le mix électrique français a été considéré. La donnée NegaOctet associée est : « CODDE-2548 : Electricity Mix; Production mix; Low voltage; FR ». La consommation d'énergie de la box TV est précisée en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios.

3.2.1.5. Inventaire de cycle de vie d'une TV

Le cycle de vie entier d'une TV a été modélisé à l'aide des données NegaOctet.

Pour la production des TVs, les données suivantes ont été utilisées :

- NEGA-0504 : Television; 45 inches, LCD
- NEGA-0506 : Television ; 68 inches, OLED

Pour la fin de vie des TVs, les données suivantes ont été utilisées :

- NEGA-0527 : Television; 45 inches, LCD
- NEGA-0529 : Television ; 68 inches, OLED

Le mix de configuration utilisé pour modéliser une TV représentative du marché (ADEME et ARCEP 2022) est le suivant :

- 98.6% Television ; 45 inches, LCD
- 1.4% Television ; 68 inches, OLED

Pour la phase de transport, les données NegaOctet de transport par camion, bateau, ou avion ont été utilisées. Les distances et mode de transport considérés sont les mêmes que celles précisées dans le rapport (ADEME et ARCEP 2022).

Pour la phase d'utilisation, le mix électrique français a été considéré. La donnée NegaOctet associée est : « CODDE-2548 : Electricity Mix; Production mix; Low voltage; FR ». La consommation d'énergie de la télévision est précisée en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios.

3.2.1.6. Inventaire de cycle de vie d'un ordinateur portable

Le cycle de vie entier d'un ordinateur portable a été modélisé à l'aide des données NegaOctet.

Pour la production des ordinateurs portables, les données suivantes ont été utilisées :

- NEGA-0487 : Laptop; 14.5 inches display, 1 CPU 156 mm² 7 nm lithography, 13 GB RAM, 427 GB SSD, integrated graphic card
- NEGA-0488 : Laptop; 14.5 inches display, 1 CPU 126 mm² 14 nm lithography, 8 GB RAM, 564 GB SSD, integrated graphic card
- NEGA-0489 : Laptop; 15.6 inches display, 1 CPU 126 mm² 14 nm lithography, 16 GB RAM, 512 GB SSD, separated graphic card 445 mm² 12 nm lithography

Pour la fin de vie des ordinateurs portables, les données suivantes ont été utilisées :

- NEGA-0510 : Laptop; 14.5 inches display, 1 CPU 156 mm² 7 nm lithography, 13 GB RAM, 427 GB SSD, integrated graphic card

- NEGA-0511 : Laptop; 14.5 inches display, 1 CPU 126 mm² 14 nm lithography, 8 GB RAM, 564 GB SSD, integrated graphic card
- NEGA-0512 : Laptop; 15.6 inches display, 1 CPU 126 mm² 14 nm lithography, 16 GB RAM, 512 GB SSD, separated graphic card 445 mm² 12 nm lithography

Le mix de configuration utilisé pour modéliser un ordinateur portable représentatif du marché (ADEME et ARCEP 2022) est le suivant :

- 45% Laptop; 14.5 inches display, 1 CPU 156 mm² 7 nm lithography, 13 GB RAM, 427 GB SSD, integrated graphic card
- 45% Laptop; 14.5 inches display, 1 CPU 126 mm² 14 nm lithography, 8 GB RAM, 564 GB SSD, integrated graphic card
- 10% Laptop; 15.6 inches display, 1 CPU 126 mm² 14 nm lithography, 16 GB RAM, 512 GB SSD, separated graphic card 445 mm² 12 nm lithography

Pour la phase de transport, les données NegaOctet de transport par camion, bateau, ou avion ont été utilisées. Les distances et mode de transport considérés sont les mêmes que celles précisées dans le rapport ADEME-ARCEP 2022.

Pour la phase d'utilisation, le mix électrique français a été considéré. La donnée NegaOctet associée est : « CODDE-2548 : Electricity Mix; Production mix; Low voltage; FR ». La consommation d'énergie de l'ordinateur portable est précisée en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios.

3.2.1.7. Inventaire du cycle de vie d'un smartphone

Le cycle de vie entier du smartphone a été modélisé pour cette étude et est détaillé dans le service « Ecouter de la musique ».

3.2.1.8. Inventaire du cycle de vie des datacenters

Le cycle de vie entier des datacenters a été modélisé pour cette étude. Par manque de données, les datacenters utilisés pour le streaming vidéo ont été considérés équivalents aux datacenters utilisés pour le transfert de fichier, en prenant en compte le débit du streaming vidéo. La modélisation de ces datacenters est détaillée dans le service « Lire un livre ». Dans la réalité, l'utilisation des datacenters pour le streaming vidéo est plus complexe que pour le transfert de fichier. Ce choix de modélisation constitue donc une limite.

3.2.1.9. Inventaire du cycle de vie des réseaux fixe et mobile

Le cycle de vie entier des réseaux a été modélisé pour cette étude et est détaillé dans le service « Lire un livre ».

3.2.2. Qualité des données

La fiabilité des résultats de l'ACV et des conclusions qui en découlent dépendent directement des données utilisées pour la modélisation. Ainsi les données utilisées doivent être représentatives de :

- La période sur laquelle l'étude a été conduite (2020) ;
- Le contexte géographique des systèmes étudiés (mix technologique des équipements utilisés en France) ;
- Les caractéristiques technologiques des procédés de fabrication (matières premières nécessaires, assemblage, ...).

Les recommandations pour la qualité des données sont spécifiées dans la norme ISO 14044. La représentativité couvre les 3 premiers critères suivant la norme ISO 14044, à savoir la représentativité temporelle (TiR), la représentativité géographique (GR) et la représentativité technologique (TeR). Les données qualifiées comme représentatives sont celles décrivant correctement la situation étudiée, selon les choix des procédés utilisés pour modéliser le système.

La précision et la fiabilité (P) concernent les sources de données, les moyens de collectes et la vérification des procédés. Les données qualifiées comme fiables.

Chaque critère de qualité des données auquel une note doit être attribuée (TiR, GR, TeR et P) est noté conformément aux cinq niveaux énumérés dans le Tableau 33 :

Tableau 33 – Note de qualité des données (DQR) pour les critères de qualité des données

Note de qualité des données des critères de qualité des données	Niveau de qualité des données
1	Excellente
2	Très bonne
3	Bonne
4	Acceptable
5	Médiocre

La méthodologie d'attribution des notes pour chaque critère est détaillée en Annexe A Erreur ! Source du renvoi introuvable..

3.3. EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

3.3.1. Méthode d'évaluation des impacts environnementaux et indicateurs

L'étape d'évaluation des impacts environnementaux permet de classer et de combiner les flux de matières, énergie et émissions issus de l'inventaire par type d'impact, pour chaque système à l'étude.

Dans cette étude, les impacts environnementaux ont été évalués au niveau « mid-point » uniquement. Ceux-ci traduisent les impacts sur l'environnement selon plusieurs catégories d'impact. L'évaluation des impacts environnementaux a été effectuée à l'aide de la méthode de la norme NF EN 15804 + A2 (2019). Cette norme fournit le tronc commun des règles de catégories de produits pour les déclarations environnementales de type III relatives à tout produit ou service de construction. La norme EN 15804 + A2 remplace la version A1 en vigueur depuis 2013. La révision a notamment pour objectif d'être alignée avec le format du PEF (Product Environmental Footprint) de la Commission Européenne. Les facteurs de caractérisation sont donc basés sur les facteurs de la méthode EF3.0, développée et mise à jour par le *Joint Research Center* de la Commission Européenne.

La méthodologie EF3.0 est internationalement reconnue par les experts de l'ACV et largement utilisée. Cette méthode figure parmi les plus récentes méthodes mises à jour. Cette étude évalue certains indicateurs de la méthode EF3.0, listés dans le tableau suivant.

Tableau 34 – Indicateurs d'impact de la méthode EF3.0 du PEF utilisés dans cette étude

EF catégorie d'impact	Acronyme	Catégorie d'impact Indicateur	Unité	Modèle de caractérisation
Changement climatique, total ¹⁹	CC	Forçage radiatif en tant que potentiel de réchauffement global (GWP100)	kg CO ₂ eq.	Modèle de référence de 100 ans du GIEC (basé sur GIEC 2013)
Particules fines	PM	Cas maladie	Incidence des maladies	Méthode PM recommandée par le PNUE (PNUE 2016)
Radiations ionisantes, santé humaine	IR	Exposition humaine par rapport à l'U235	kBq U ²³⁵ eq.	Modèle des effets sur la santé humaine tel que développé par Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al, 2000)
Acidification	AC	Dépassements accumulés (DA)	Mol H ⁺ eq.	Dépassement cumulé (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
Ecotoxicité eau douce	EC	Unité de toxicité comparée pour les écosystèmes (UTCe)	UTCe	Modèle USEtox 2.1 (Fankte et al, 2017)
Ressources en eau	WU	Potentiel de privation des utilisateurs (consommation d'eau pondérée par la privation)	m ³ eq. mondial	Eau disponible Restant (AWARE) comme recommandé par le PNUE, 2016

¹⁹ L'indicateur "Changement climatique, total" est constitué de trois sous-indicateurs : Changement climatique, fossile ; Changement climatique, biogénique ; Changement climatique, utilisation des terres et changement d'affectation des terres. Les sous-indicateurs sont décrits plus en détail dans la section 4.4.10 de la méthodologie EF. Les sous-catégories "Changement climatique - fossile", "Changement climatique - biogénique" et "Changement climatique - utilisation des terres et changement d'affectation des terres" doivent être rapportées séparément si elles contribuent chacune pour plus de 5% au score total du changement climatique.

Ressources minérales et métalliques ²⁰	RU	Épuisement des ressources abiotiques (réserves ultimes ADP)	kg Sb eq.	CML 2002 (Guinée et al., 2002) et van Oers et al. 2002.
---	----	---	-----------	---

La sélection des indicateurs de EF3.0 retenus dans cette étude a été contrainte par les indicateurs fournis dans la base de données NegaOctet au format Excel. Les indicateurs les plus pertinents pour une analyse de l'impact environnemental du numérique sont tout de même présents (changement climatique, ressources minérales et métalliques, consommation d'eau, ...).

De plus, les indicateurs retenus sont alignés avec les recommandations du référentiel méthodologique d'évaluation environnementale des services numériques de l'ADEME.

3.3.2. Analyse de contribution

Les analyses de contribution sont réalisées afin de déterminer dans quelle mesure chaque processus modélisé contribue aux impacts environnementaux des systèmes étudiés. Ainsi, dans cette étude, les analyses de contribution effectuées évaluent l'importance relative, en termes d'impacts environnementaux, des différents éléments analysés.

3.3.3. Outil de calcul

Les calculs ont principalement été effectués dans Excel, afin de pouvoir utiliser facilement les données de la base NegaOctet (fournies au format Excel). Cependant, certaines données de la base ecoinvent (v3.8) ont également été utilisées pour la modélisation de certains éléments. Pour cela, le logiciel Simapro 9, développé par Pré Consultants, a été utilisé (la base de données ecoinvent étant intégrée au logiciel), puis les résultats ont été exportés dans Excel.

²⁰ Les résultats de cette catégorie d'impact doivent être interprétés avec prudence, car les résultats de l'ADP après normalisation peuvent être surestimés. La Commission européenne a l'intention de développer une nouvelle méthode passant du modèle d'épuisement au modèle de dissipation afin de mieux quantifier le potentiel de conservation des ressources

3.4. RESULTATS DE L'ETUDE

Il est important de rappeler que selon la norme ISO 14044, les résultats de l'ACV sont des expressions relatives et qu'elles ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, les marges de sécurité ou les risques. Il convient également de noter que les résultats de cette étude seront utilisés dans des affirmations comparatives destinées à être divulguées au public.

3.4.1. Résultats des impacts environnementaux

3.4.1.1. Résultats du service au format physique

Le tableau suivant présente les résultats absolus des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film avec un DVD, un lecteur DVD et une TV ».

Tableau 35 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film avec un DVD, un lecteur DVD et une TV », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Indicateurs	Unité	TV	Lecteur DVD	DVD	TOTAL
Changement climatique	kg CO ₂ eq	3,31E-02	1,70E-02	1,74E-01	2,24E-01
Acidification	mol H ⁺ eq	2,14E-04	2,01E-04	5,32E-04	9,47E-04
Particules fines	cas maladie	2,82E-09	1,04E-08	7,58E-09	2,08E-08
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	5,11E-06	4,77E-06	3,10E-07	1,02E-05
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	4,48E-01	2,49E+00	1,65E+00	4,58E+00
Radiations ionisantes	kBq U235 eq	3,32E-01	1,10E-02	2,65E-02	3,70E-01
Ressources en eau	m ³ eq	1,72E-01	1,97E-02	8,47E-02	2,76E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « regarder 1h de film avec un DVD, un lecteur DVD et une TV », avec les paramètres par défaut considérés, est de 224 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 1,02 x10⁻⁵ kg Sb eq.

La figure suivante présente l'analyse de contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « regarder 1h de film avec un DVD, un lecteur DVD et une TV », pour tous les indicateurs étudiés :

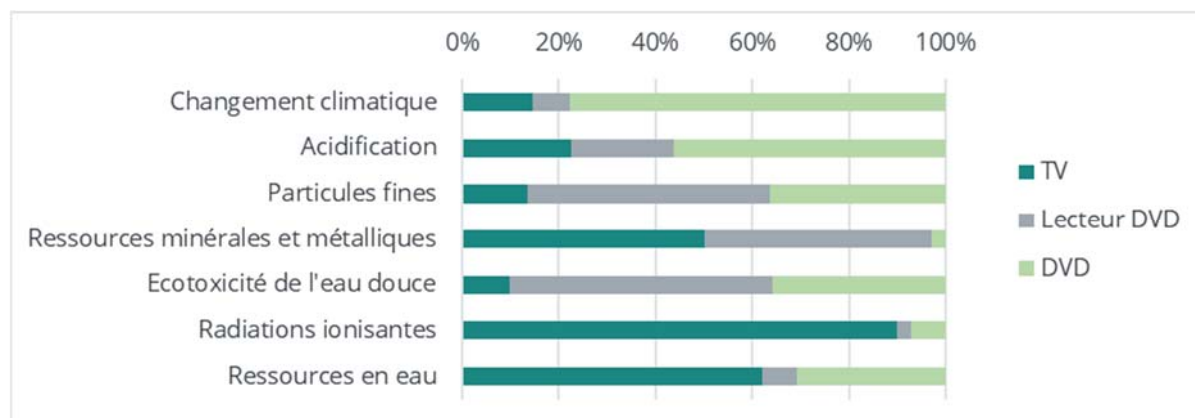


Figure 27 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « regarder 1h de film avec un DVD, un lecteur DVD et une TV », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

Dans ce scénario, le DVD contribue pour plus de 50% des impacts sur les indicateurs changement climatique et acidification, et contribue faiblement sur les ressources minérales et métalliques (2%), et les radiations ionisantes (4%). La TV contribue fortement sur les ressources minérales et métalliques, les radiations ionisantes et les ressources en eau (respectivement 65% ; 91% ; 64%) : la production de ses composants électroniques est associée à une consommation importante de minéraux et métaux, et d'eau. L'utilisation de la TV a également une forte consommation d'électricité, ce qui engendre un impact important sur les radiations ionisantes (dû au mix électrique français). Le lecteur DVD a une faible contribution sur le changement climatique et les ressources en eau mais une importante contribution sur les particules fines, l'écotoxicité de l'eau douce et les ressources minérales et métalliques.

Le graphique suivant présente le résultat des analyses de sensibilité étudiées sur ce scénario. Les impacts des analyses de sensibilité sont comparés sur chaque indicateur relativement aux impacts du scénario standard avec paramètres par défaut (définis à 100% pour tous les indicateurs).

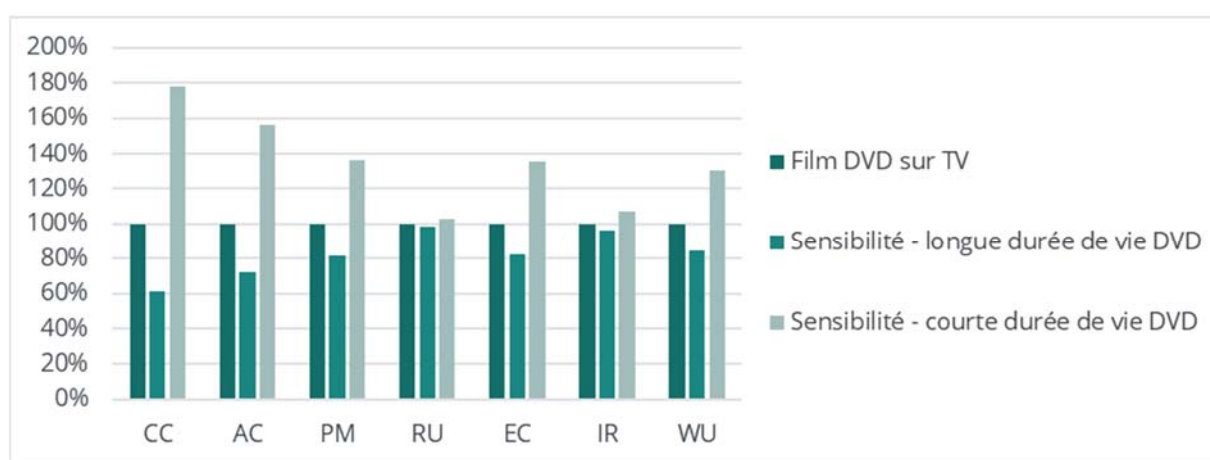


Figure 28 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie du DVD pour le scénario « regarder 1h de film avec un DVD, un lecteur DVD et une TV », sur tous les indicateurs étudiés

Il est important de rappeler que le calcul de l'impact du DVD ramené par UF consiste à diviser l'impact du cycle de vie du DVD par le nombre d'utilisation au cours de sa durée de vie. L'achat de DVD d'occasion (qui revient à utiliser plusieurs fois un même DVD) permet de produire moins de DVD neufs. Cette analyse de sensibilité montre que ce paramètre est déterminant sur le résultat, surtout pour les indicateurs où le DVD a une contribution non négligeable sur les impacts du scénario étudié (cf Figure 27). Pour le changement climatique, l'impact peut varier de -39% à +79%. Pour l'acidification, l'impact du scénario peut varier entre -28% et +56% et pour l'émission de particules fines entre -18% et +36%.

3.4.1.2. Résultats du service au format numérique

3.4.1.2.1. Résultats sur le scénario numérique : regarder un film en streaming sur une TV

Le tableau suivant présente les résultats absolus des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec une TV et une box TV ».

Tableau 36 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec une TV et une box TV », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Indicateurs	Unité	TV	Box TV	Transmission réseaux	Datacenters	Total
-------------	-------	----	--------	----------------------	-------------	-------

Changement climatique	kg CO ₂ eq	3,31E-02	1,68E-02	2,65E-02	7,69E-04	7,71E-02
Acidification	mol H ⁺ eq	2,14E-04	1,15E-04	1,67E-04	7,88E-06	5,04E-04
Particules fines	cas maladie	2,82E-09	1,53E-09	3,52E-09	1,15E-10	7,98E-09
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	5,11E-06	1,94E-06	1,62E-06	3,40E-08	8,70E-06
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	4,48E-01	3,28E-01	3,68E-01	1,50E-02	1,16E+00
Radiations ionisantes	kBq U235 eq	3,32E-01	1,90E-01	3,92E-01	1,21E-02	9,26E-01
Ressources en eau	m ³ eq	1,72E-01	7,63E-02	8,94E-02	2,32E-03	3,40E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec une TV », avec les paramètres par défaut considérés, est de 77 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 8,70 x10⁻⁶ kg Sb eq.

La figure suivante présente l'analyse de contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec une TV et une box TV », pour tous les indicateurs étudiés :

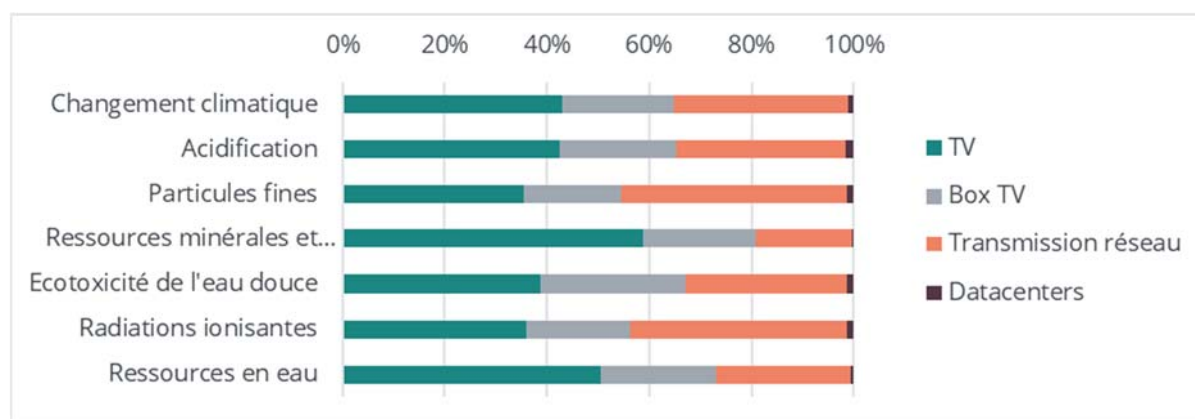


Figure 29 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec une TV et une box TV », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

Dans ce scénario, les impacts sont répartis entre les réseaux (nécessaires à la transmission des données en streaming) et les terminaux (TV + box TV, nécessaires à l'accès et à la consultation du service). Ces derniers représentent plus de 54% des impacts sur tous les indicateurs. Les réseaux ont toutefois une contribution non négligeable et représentent entre 19% et 44% des impacts selon les indicateurs.

Le graphique suivant présente le résultat des analyses de sensibilité étudiées sur ce scénario. Les impacts des analyses de sensibilité sont comparés sur chaque indicateur relativement aux impacts du scénario standard avec paramètres par défaut (définis à 100% pour tous les indicateurs). Pour rappel, une définition standard correspond à un débit de 1 Go/h tandis qu'une ultra haute définition correspond à un débit de 7 Go/h. Les paramètres par défaut sont fixés à un débit moyen de 2,88 Go/h.



Figure 30 - Analyse de sensibilité sur la résolution vidéo pour le scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec une TV et une box TV », sur tous les indicateurs étudiés

La résolution utilisée pour le streaming vidéo fait fortement varier les résultats sur les indicateurs étudiés. En effet, celle-ci joue directement sur la consommation de données, donc l'impact de transmission des données (réseaux et datacenters). Utiliser une faible résolution permet de réduire les impacts du scénario sur tous les indicateurs étudiés (entre -18% et -30%) par rapport à la résolution moyenne. Au contraire, utiliser une haute résolution vidéo augmente considérablement les impacts du scénario sur tous les indicateurs (entre +39% et +65%). Pour le changement climatique cette augmentation s'élève à +51% par rapport à la résolution moyenne. Cette différence est liée à une consommation de données plus ou moins importante selon la résolution vidéo (et donc une utilisation accrue des réseaux et datacenters) et est d'autant plus visible sur les indicateurs où les réseaux et datacenters ont une contribution importante.

3.4.1.2.2. Résultats sur le scénario numérique: regarder un film en streaming sur un ordinateur portable

Le tableau suivant présente les résultats absolus des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un ordinateur portable ».

Tableau 37 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un ordinateur portable », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Indicateurs	Unité	Ordinateur portable	Transmission réseaux	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO ₂ eq	4,34E-02	2,65E-02	7,69E-04	7,06E-02
Acidification	mol H ⁺ eq	2,64E-04	1,67E-04	7,88E-06	4,39E-04
Particules fines	cas maladie	1,82E-09	3,52E-09	1,15E-10	5,45E-09
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	2,15E-06	1,62E-06	3,40E-08	3,81E-06
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	8,22E-01	3,68E-01	1,50E-02	1,20E+00
Radiations ionisantes	kBq U235 eq	6,04E-02	3,92E-01	1,21E-02	4,65E-01
Ressources en eau	m ³ eq	1,17E-01	8,94E-02	2,32E-03	2,09E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un ordinateur portable », avec les paramètres par défaut considérés, est de 71 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 3,81 x10⁻⁶ kg Sb eq.

La figure suivante présente l'analyse de contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un ordinateur portable », pour tous les indicateurs étudiés :

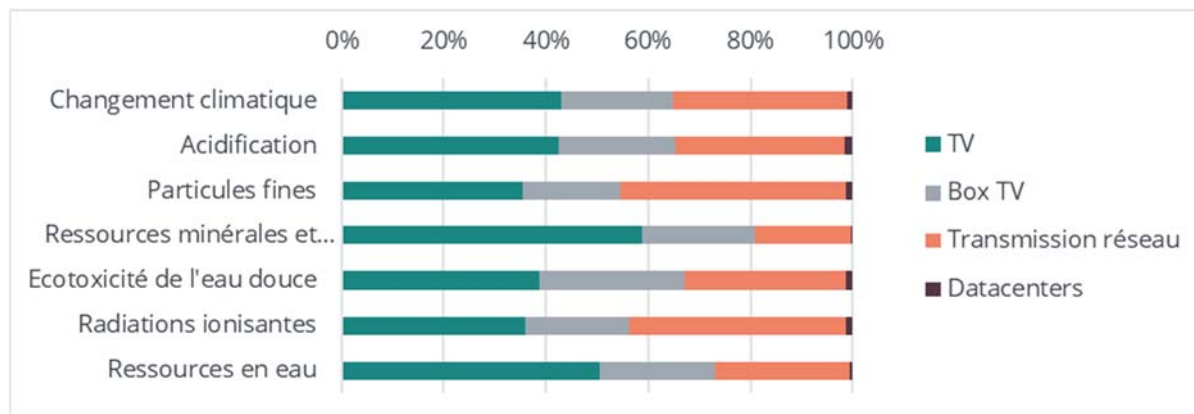


Figure 31 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un ordinateur portable », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

Sur ce scénario, l'ordinateur portable a une contribue de plus de 50% des impacts sur tous les indicateurs sauf pour l'émission des particules fines (33%) et les radiations ionisantes (13%). Les réseaux ont également un impact non négligeable sur l'ensemble des indicateurs étudiés (entre 31% et 84%). Pour les radiations ionisantes ceci est du à une forte consommation d'électricité sur le sol français (mix électrique français très nucléaire).

3.4.1.2.3. Résultats sur le scénario numérique: regarder un film en streaming sur un smartphone

Le tableau suivant présente les résultats absolus des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un smartphone ».

Tableau 38 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un smartphone », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Indicateurs	Unité	Smartphone	Transmission réseaux	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO ₂ eq	3,91E-02	2,65E-02	7,69E-04	6,63E-02
Acidification	mol H ⁺ eq	2,36E-04	1,67E-04	7,88E-06	4,11E-04
Particules fines	cas maladie	1,41E-09	3,52E-09	1,15E-10	5,04E-09
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	1,88E-06	1,62E-06	3,40E-08	3,53E-06
Ecotoxicité de l'eau douce	CTUe	7,48E-01	3,68E-01	1,50E-02	1,13E+00
Radiations ionisantes	kBq U235 eq	2,12E-02	3,92E-01	1,21E-02	4,25E-01

Ressources en eau	m ³ eq	9,09E-02	8,94E-02	2,32E-03	1,83E-01
-------------------	-------------------	----------	----------	----------	----------

L'impact sur le changement climatique du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un smartphone », avec les paramètres par défaut considérés, est de 66 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 3,53 x10⁻⁶ kg Sb eq.

La figure suivante présente l'analyse de contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un smartphone », pour tous les indicateurs étudiés :

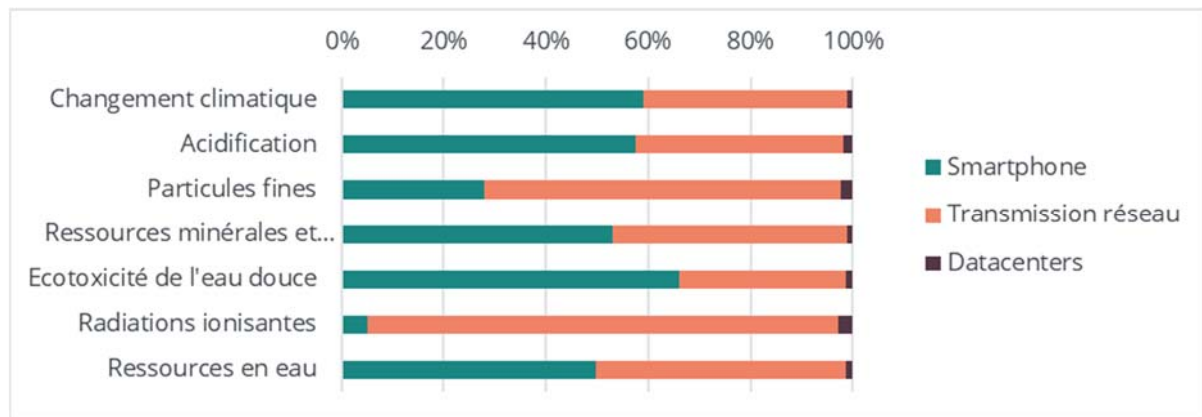


Figure 32 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un smartphone », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

Sur ce scénario, le smartphone représente une contribution comprise entre 30% et 54% selon les indicateurs étudiés. Sa contribution aux impacts sur le changement climatique est de 38%, et de 40% sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques. Les réseaux sont le poste le plus contributeur de ce scénario et représentent entre 45% et 68% des impacts. Les datacenters sont quant à eux négligeables (moins de 3% sur l'ensemble des indicateurs) sur ce scénario.

Le graphique suivant présente le résultat des analyses de sensibilité étudiées sur ce scénario. Les impacts des analyses de sensibilité sont comparés sur chaque indicateur relativement aux impacts du scénario standard avec paramètres par défaut (définis à 100% pour tous les indicateurs).

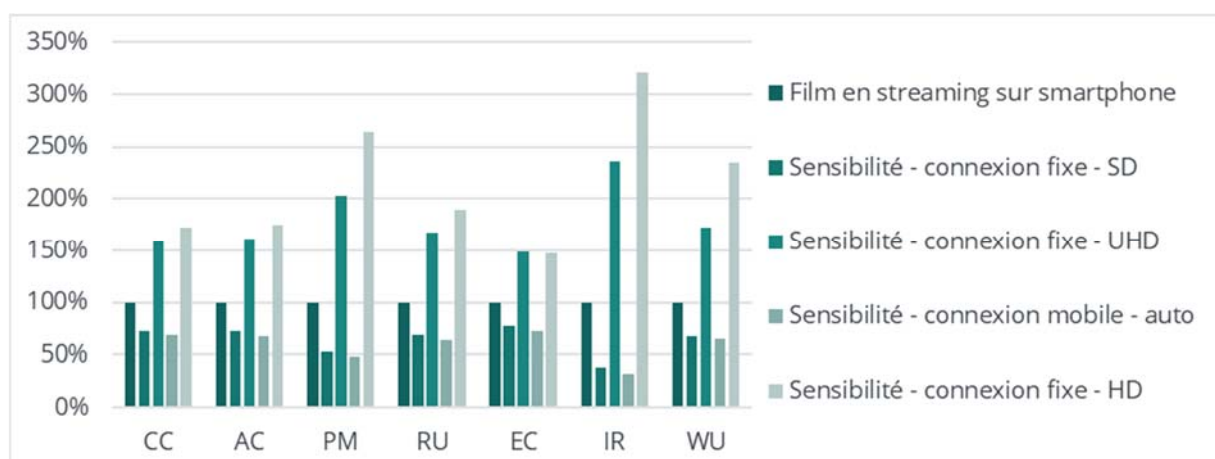


Figure 33 - Analyse de sensibilité sur la résolution vidéo pour le scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un smartphone », sur tous les indicateurs étudiés

On observe sur les analyses de sensibilité de ce scénario que le changement de résolution peut grandement faire varier ses impacts. En effet, d'après la précédente analyse de contribution, la consommation de données (réseaux et datacenters) contribue de façon majoritaire aux impacts de ce scénario (de 35% à 95% selon les indicateurs).

En connexion fixe, le streaming en définition standard représente un impact bien plus faible que dans le cas moyen (1 Go/h au lieu de 2,88 Go/h, ce qui entraîne une diminution des impacts de -22% à -62% sur tous les indicateurs). Cela correspond à une réduction de -27% pour le changement climatique et de -31% pour l'épuisement des ressources minérales et métalliques. Au contraire, le streaming en UHD (ou 4K) représente un impact bien plus élevé (+48% à +136% d'augmentation, selon les indicateurs) par rapport au cas moyen. Cela correspond à une augmentation de +59% pour le changement climatique et de +67% pour l'épuisement des ressources minérales et métalliques.

Lorsque l'on passe à une connexion mobile, la consommation de données est automatiquement réduite : par défaut (auto), elle est égale à 0,25 Go/h, contre 2,88 Go/h en connexion fixe. C'est pourquoi, malgré des impacts par Go transmis plus élevés pour le réseau mobile que le réseau fixe, la connexion au réseau mobile standard représente des impacts plus faibles sur tous les indicateurs (-27% à -68%). Cela correspond à une réduction de -32% pour le changement climatique et de -35% pour l'épuisement des ressources minérales et métalliques. En revanche, le streaming en définition HD sur réseau mobile fait fortement augmenter les impacts (+48% à +221%) sur tous les indicateurs. Cela correspond à une augmentation de +72% pour le changement climatique et de +90% pour l'épuisement des ressources minérales et métalliques.

3.4.2. Comparaison des différents scénarios étudiés

Le graphique suivant présente une comparaison des impacts des différents scénarios pour l'UF « regarder 1h de film en France », sur tous les indicateurs.

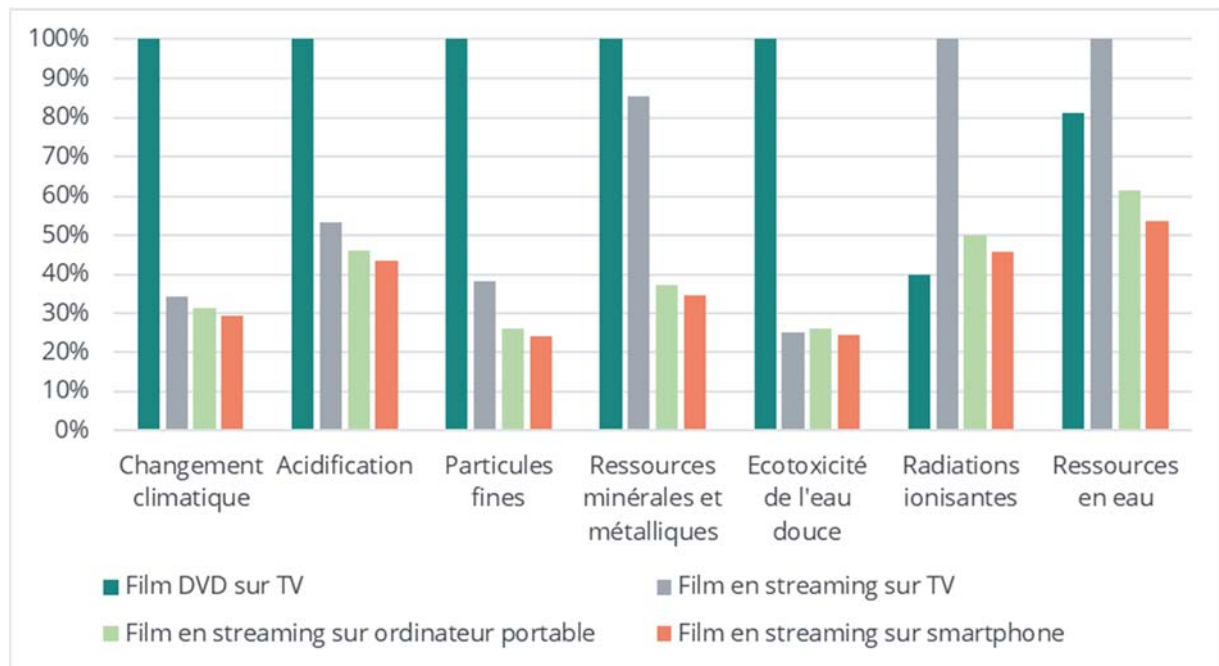


Figure 34 – Comparaison des résultats environnementaux des différents scénarios pour l'UF « Regarder 1h de film en France en 2020 »²¹

On observe que, avec les paramètres par défaut considérés, le scénario physique (film DVD) représente le scénario le plus impactant (par UF) sur les indicateurs de changement climatique, acidification, particules fines et écotoxicité de l'eau douce. Il est cependant le moins impactant sur les radiations ionisantes. Parmi les scénarios numériques, c'est le scénario de streaming vidéo sur TV qui représente le plus d'impact sur tous les indicateurs, sauf écotoxicité. Le scénario de film en streaming sur smartphone

²¹ Les résultats d'impact sur les différents indicateurs sont exprimés dans des unités différentes : afin d'afficher cette comparaison entre les scénarios, pour chaque indicateur, l'impact le plus haut est défini à 100% et les autres impacts sont définis relativement à cet impact maximum

est le scénario numérique dont les impacts environnementaux sur les indicateurs étudiés sont les plus faibles, excepté l'indicateur des radiations ionisantes.

Tous les scénarios ont fait l'objet d'analyse de sensibilité sur différents paramètres (nombre d'utilisation du DVD, résolution vidéo, type de connexion). Il convient de prendre en compte la variabilité des résultats pour mieux appréhender la comparaison entre les scénarios.

Le graphique suivant présente une comparaison des impacts des différents scénarios sur le changement climatique, en prenant en compte la variabilité des résultats.

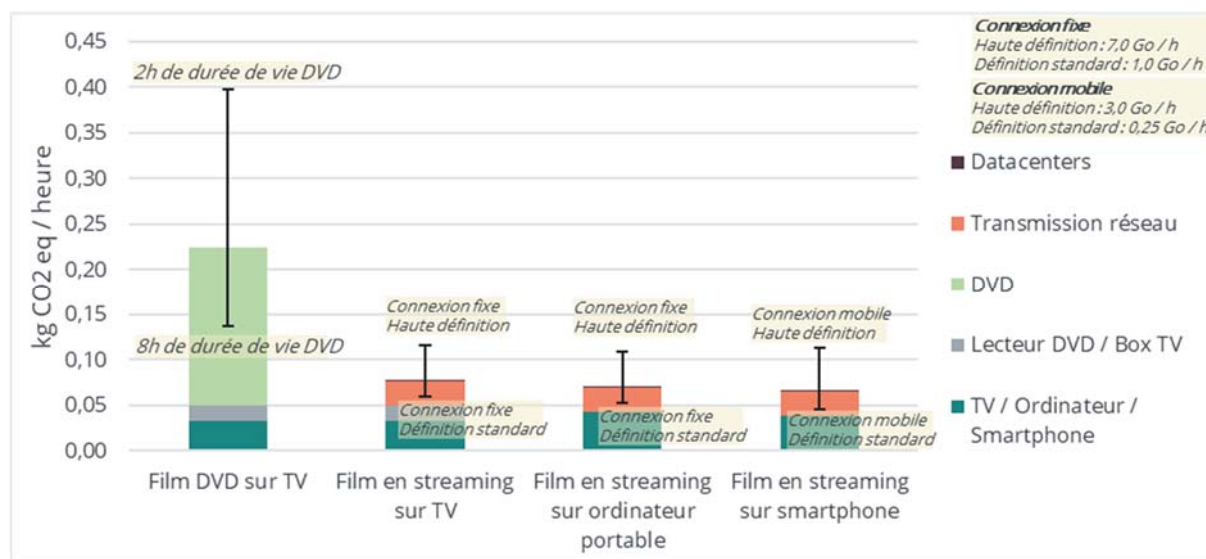


Figure 35 – Comparaison des impacts sur le changement climatique des scénarios étudiés pour l'UF « regarder 1h de film en France en 2020 »²²

On observe que le DVD représente un impact prépondérant sur le changement climatique dans le premier scénario. Selon l'amortissement du DVD (de 2h à 8h d'utilisation considérées), l'impact du premier scénario varie entre 137 et 397 gCO₂eq par heure. Le DVD n'est plus nécessaire dans les scénarios numériques, ce qui évite donc cet impact important. En revanche, pour ces 3 scénarios, la consommation de données engendre un impact non négligeable via les réseaux et datacenters. Cet impact est très variable en fonction de la résolution vidéo sélectionnée. Selon ce paramètre, l'impact du streaming sur TV se situe donc entre 59 et 116 g CO₂,eq par heure, celui du streaming sur ordinateur portable entre 53 et 110 gCO₂eq par heure.

En ce qui concerne le scénario du streaming sur smartphone, celui-ci possède un paramètre supplémentaire : le type de connexion. L'impact de transmission d'1 Go est plus important en connexion mobile qu'en connexion fixe. Cependant, il est considéré par défaut une plus faible consommation de données en connexion mobile qu'en connexion fixe (réglage auto 0,25 Go/h en connexion mobile contre 2.88 Go/h en connexion fixe, pour une résolution moyenne). Cela se traduit finalement par un impact plus faible (45 gCO₂eq pour la résolution par défaut en connexion mobile contre 66 gCO₂eq en connexion fixe pour la résolution moyenne). L'impact le plus important sur le changement climatique sur ce scénario correspond à une utilisation de ce service en connexion mobile et en haute résolution (HD), représentant un impact de 114 gCO₂eq par heure.

²² Ce graphique permet d'afficher l'impact absolu sur le changement climatique des différents scénarios à l'étude, ainsi que la variabilité de ces résultats en affichant les résultats des analyses de sensibilité minimum et maximum. Ces barres ne doivent pas être interprétées comme des incertitudes (qui ne sont pas quantifiées ici) mais comme une fourchette de résultat. Le graphique affiche également la contribution des éléments aux impacts de chaque scénario, dans le cas des paramètres par défaut.

Plus globalement, on remarque que l'impact des équipements nécessaires (en dehors du DVD) entre le scénario physique et les scénarios numériques ne change pas beaucoup, mis à part pour le smartphone qui représente moins d'impact, ramené par heure d'utilisation. Il convient de noter également que la même modélisation de la TV est utilisée pour le scénario physique et numérique. Dans la réalité, il est probable que les TV utilisées pour les services numériques soient plus grandes et donc plus impactantes que les TV utilisées pour le visionnage de DVD.

La même analyse a été portée sur l'indicateur ressources minérales et métalliques. Le graphique suivant présente une comparaison des impacts des différents scénarios sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques, en prenant en compte la variabilité des résultats.

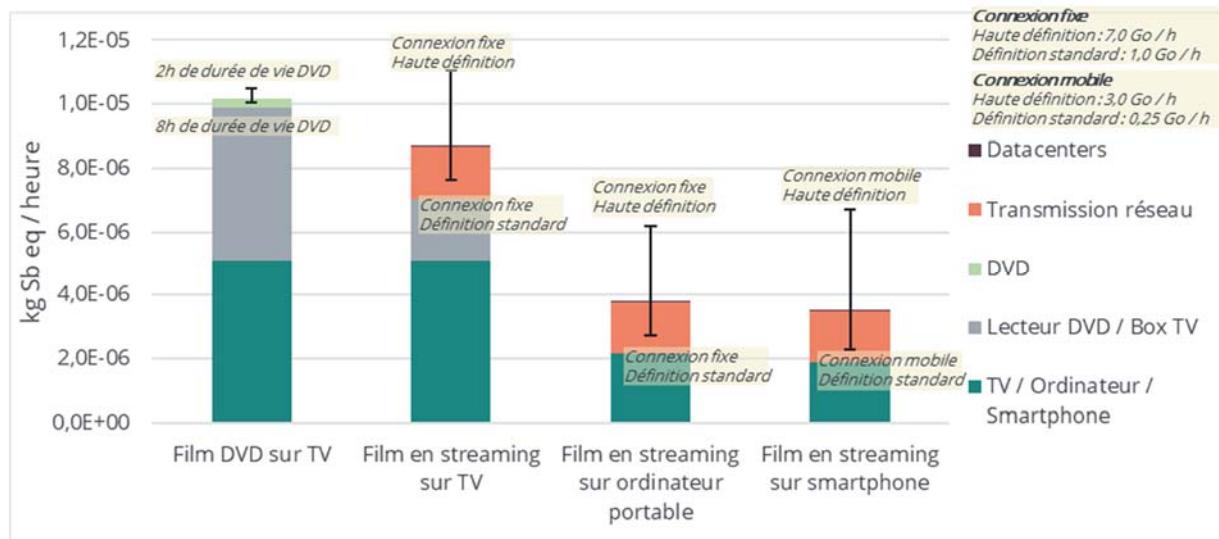


Figure 36 – Comparaison des impacts sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques des scénarios étudiés pour l'UF « regarder 1h de film en France en 2020 »

Cette fois, le service « regarder un film » au format physique voit plus de 97% de ses impacts provenir des équipements (TV et lecteur DVD). De fait, la variation de la durée d'utilisation du DVD (2h à 8h) fait légèrement varier les impacts de ce scénario sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques (entre -2% et +3%), mais beaucoup moins que pour l'indicateur changement climatique (entre -39% et +78%). De plus, la suppression du DVD au profit de l'utilisation des réseaux et datacenters ne réduit pas les impacts du scénario de regarder un film sur une TV pour cet indicateur.

Pour les services numériques, les réseaux ont un impact non négligeable dans chaque scénario. Ainsi, les paramètres tels que la résolution ainsi que le type de connexion ont une forte influence sur les résultats de chaque scénario.

Selon la résolution, l'impact d'épuisement des ressources minérales et métalliques varie entre $7,62 \times 10^{-6}$ kg Sb eq par heure et $1,11 \times 10^{-5}$ kg Sb eq par heure pour le scénario du film en streaming sur TV. Pour le scénario du film en streaming sur ordinateur portable, cet impact se situe entre $2,73 \times 10^{-6}$ kg Sb eq par heure et $6,18 \times 10^{-6}$ kg Sb eq par heure.

Pour le scénario du streaming sur smartphone, comme sur l'indicateur changement climatique, l'impact sur les ressources minérales et métalliques de la transmission d'1 Go est plus important en connexion mobile qu'en connexion fixe. Cependant, étant donné une consommation de données en connexion mobile par défaut (auto) relativement faible (0,25 Go/h) par rapport à celle en connexion fixe et résolution moyenne (2,88 Go/h), le cas d'une connexion mobile avec résolution par défaut représente l'impact sur les ressources le plus faible sur ce scénario ($2,28 \times 10^{-6}$ kg Sb eq). En revanche, l'impact le plus important sur les ressources minérales et métalliques sur ce scénario correspond à une utilisation de ce service en connexion mobile et en haute résolution (HD), représentant un impact de $6,71 \times 10^{-6}$ kg Sb eq par heure.

3.5. CONCLUSIONS

L'évaluation environnementale du service « regarder un film » a été réalisée selon différents scénarios afin de prendre en compte plusieurs usages : regarder un film en DVD, regarder un film en streaming sur TV, ordinateur portable, ou smartphone.

L'analyse a montré tout d'abord que, dans le scénario sur format DVD, le DVD (production, transport, fin de vie) représente un impact prépondérant sur tous les indicateurs. Selon l'amortissement du DVD (de 2h à 8h d'utilisation considérées), l'impact de ce scénario sur le changement climatique varie de 137 à 397 gCO₂eq par heure. Le DVD n'est plus nécessaire dans les scénarios numériques, ce qui évite donc un impact important. Les équipements de consultation (TV, ordinateur) restent proche en termes d'impact entre tous les scénarios (le smartphone représente l'équipement avec le moins d'impact).

En revanche, pour ces 3 scénarios, la consommation de données engendre un impact important via les réseaux et datacenters. Cet impact est également très variable en fonction de la résolution vidéo sélectionnée, dans l'hypothèse d'une relation linéaire entre le débit et l'impact des réseaux. Selon la résolution vidéo, l'impact sur le changement climatique du streaming sur TV varie entre 59 et 116 gCO₂eq par heure, celui du streaming sur ordinateur portable entre 53 et 110 gCO₂eq par heure, et celui du streaming sur smartphone entre 49 et 105 gCO₂eq par heure. Lorsque l'on passe en connexion mobile sur smartphone, l'impact sur le changement climatique varie entre 45 et 114 gCO₂eq par heure selon si l'on est en qualité auto ou haute qualité.

L'évaluation environnementale de ce service culturel selon les différents scénarios comporte plusieurs limites qu'il convient de rappeler :

- 0 Comme discuté tout le long de ce rapport, les intensités d'usage retenues par équipement sont déterminantes sur les résultats présentés. Sur le service « regarder un film », une partie significative des impacts provient de la fabrication des équipements (lecteur DVD, DVD, télévision, box TV, ordinateur, smartphone), tandis que l'utilisation des équipements a une contribution plus faible. L'amortissement de la fabrication des équipements dépend avant tout des hypothèses d'intensité d'usage. Il faut donc être conscient de la variabilité des résultats de cette étude en fonction des hypothèses de base.
- 0 En particulier, l'intensité d'usage retenue pour le smartphone (1,62h/j) possède une incertitude importante. Plusieurs sources de données ont été identifiées, et fournissent des valeurs significativement différentes (jusqu'à 3,5h/j). Souvent, les différences s'expliquent principalement par la tranche d'âge considérée (intensité d'usage plus importante chez les plus jeunes). Nous avons décidé de retenir la donnée Médiamétrie car celle-ci détaille explicitement les tranches d'âge considérées, et nous avons considéré la tranche d'âge totale (2 ans et plus) pour être représentatif de la population française dans son ensemble. Une limite importante à cette donnée est qu'elle ne prend en compte que le temps passé connecté à internet et non d'autres usages du smartphone hors connexion. Aucune donnée n'a été identifiée pour remédier à cette limite, mais nous estimons que le temps hors connexion est très faible à côté du temps en connexion.
- 0 Les impacts des réseaux fixes et mobiles sont alloués par Go de données transférés. Cependant, la consommation d'énergie des réseaux n'est pas nécessairement proportionnelle au nombre de Go transférés, et ce résultat dépend donc beaucoup de la méthode et des hypothèses d'allocation considérées (ADEME et ARCEP 2022). D'autres méthodes existent (Fletcher et al. 2021) mais n'ont pas été étudiées dans ce rapport.
- 0 Les datacenters modélisés pour le transfert de fichier ont été utilisés pour le streaming vidéo. Ce choix méthodologique peut être discuté, le streaming vidéo constituant une activité plus complexe qu'un simple transfert de fichier, pouvant donc conduire à une sous-estimation des impacts.

Malgré ces limites, l'étude de ce service permet toutefois d'améliorer la connaissance et la compréhension de ses impacts environnementaux et les résultats présentés dans cette étude doivent être interprétés en connaissance de ces limites.

4. JOUER A UN JEU VIDEO

4.1. CHAMPS DE L'ETUDE

4.1.1. Description des systèmes à l'étude

L'étude présentée dans cette section analyse et compare les impacts environnementaux du service « jouer aux jeux vidéo » pendant 1h en France selon différents scénarios :

- Deux scénarios dits « physique », consistant à jouer à un jeu vidéo au format disque avec une console, sur une TV :
 - Jouer à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, hors ligne
 - Jouer à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, en ligne
- Cinq scénarios « numériques » :
 - Jouer à un jeu vidéo téléchargé sur une console et une TV, en ligne
 - Jouer à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur portable, en ligne
 - Jouer à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur fixe, en ligne, avec un écran
 - Jouer en cloud gaming sur une TV avec une box TV en ligne
 - Jouer un cloud gaming sur une TV avec une console en ligne

Le format disque (souvent Blu-ray), format historique du jeu vidéo, est encore utilisé par une partie importante des joueurs actuellement. Depuis plusieurs années, il est possible de jouer « en ligne » avec un jeu au format disque, en utilisant la connexion internet de la console. Ce scénario pourrait s'apparenter à un service numérique (qui utilise internet), mais le jeu en ligne ne vient pas remplacer le support physique pour autant (le disque est toujours nécessaire). Concernant les scénarios dits numériques, ceux-ci sont de deux types : le jeu téléchargé et le cloud gaming. Le jeu téléchargé est très proche du format de jeu sur disque : au lieu d'acheter un disque, le joueur télécharge le jeu complet sur sa console. Il est ensuite libre d'y jouer autant qu'il le souhaite. Le seul inconvénient comparé au disque reste que le jeu ne peut plus être prêté à d'autres joueurs. Le cloud gaming est un type de service de jeu vidéo récent et encore peu répandu. Il consiste à déporter la puissance de calcul dans les datacenters, plutôt que chez l'utilisateur, permettant à l'utilisateur de se passer de console. Le joueur peut accéder via internet à une large sélection de jeux vidéo, sans avoir besoin de les télécharger préalablement : le jeu est directement « streamé » sur le terminal utilisateur. Le premier scénario cloud gaming consiste à se passer de console, et à jouer sur une TV connectée à internet via une box TV. Le second scénario cloud gaming étudie la possibilité que le joueur utilise néanmoins une console (connectée à internet) pour accéder au service.

4.1.2. Fonction et unité fonctionnelle

L'analyse environnementale, et plus particulièrement l'analyse du cycle de vie (ACV) repose sur l'étude d'une fonction et non d'un produit, et définit une « unité fonctionnelle » qui représente une quantification de la fonction rendue par un produit ou un service (performances et durée de vie). A ce titre, elle sert d'unité de référence pour comparer plusieurs systèmes selon une base commune. L'unité fonctionnelle utilisée comme référence dans cette section pour évaluer les systèmes est la suivante :

Jouer à un jeu vidéo pendant 1h en France en 2020

L'objectif principal de l'unité fonctionnelle est donc de fournir une référence qui servira à la quantification des différentes données d'entrée et de sortie des systèmes à l'étude. Cette référence permet d'assurer la comparabilité entre résultats d'ACV dans le cadre d'une comparaison de produits / services.

Cette unité fonctionnelle sera utilisée pour les différents scénarios étudiés.

4.1.3. Frontières du système

Les frontières des systèmes étudiés définissent toutes les activités pertinentes à considérer dans l'ACV, afin que celle-ci soit cohérente avec les objectifs de l'étude. La figure suivante présente les frontières des systèmes étudiés dans les différents scénarios.

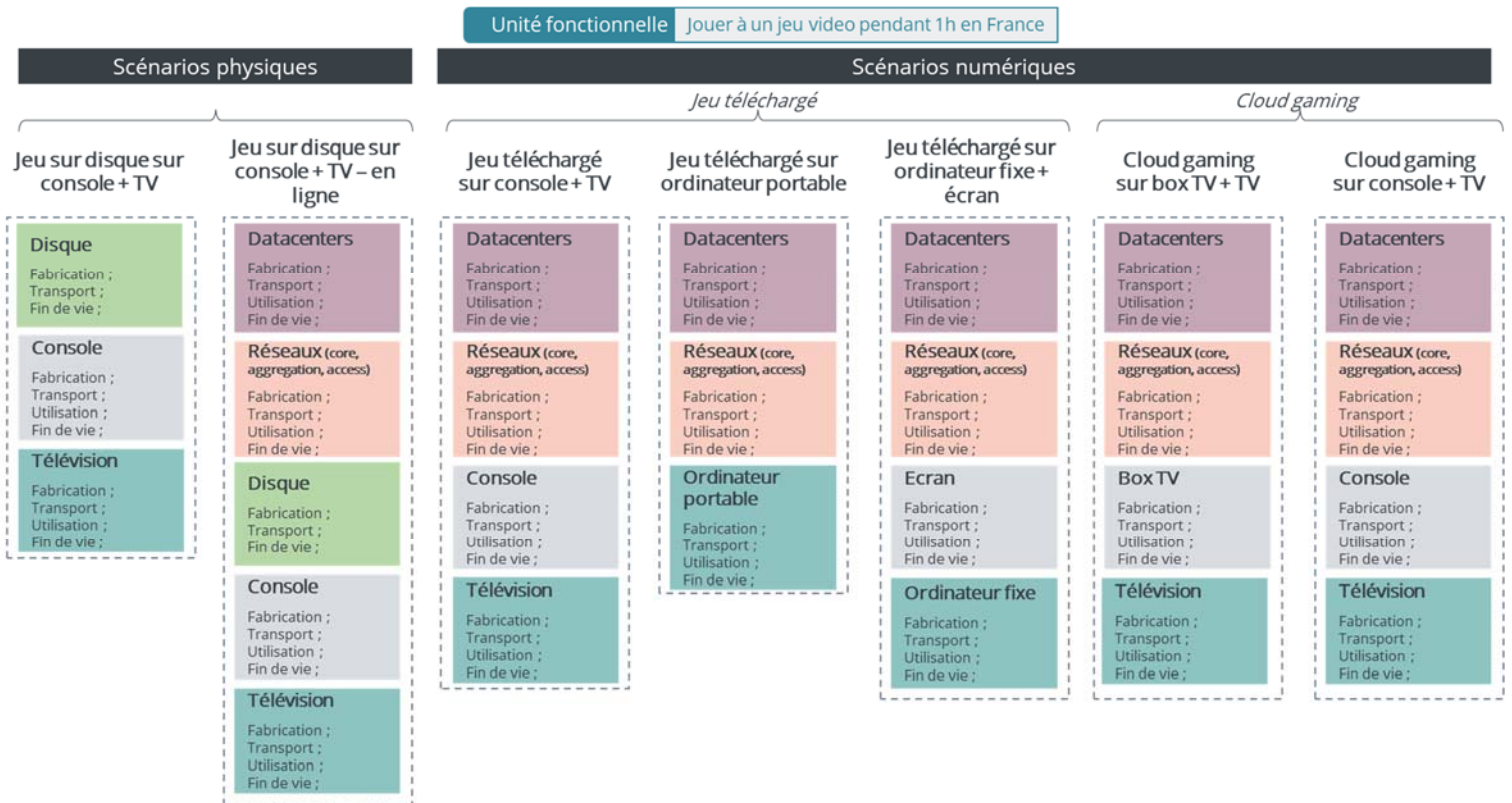


Figure 37 - Frontières des systèmes étudiés

4.1.4. Représentativité géographique et temporelle

L'analyse environnementale menée dans cette étude est représentative des services culturels en 2020 en France.

4.1.5. Règles de coupure

Tous les éléments identifiés comme pertinents dans les frontières des systèmes à l'étude, et dont les données associées étaient disponibles ou raisonnablement estimables par des hypothèses, ont été intégrés à l'analyse. Les étapes suivantes ont été exclues de l'étude :

- L'étape de création du jeu vidéo ;
- Les infrastructures pour l'étape de production du jeu au format disque ;

4.1.6. Règles d'allocation

Les procédés utilisés pour la modélisation de cette étude sont issus de deux bases de données : ecoinvent V3.8 et NegaOctet. Les procédés issus d'ecoinvent v3.8 sont construits sur la base de la méthode « cut-off », tandis que les procédés de NegaOctet sont construits sur la base de la méthode des « stocks ». Ces deux approches sont identiques et consistent à considérer les impacts du recyclage d'un matériau à

l'utilisateur de matières recyclées. De fait, lorsqu'un déchet est envoyé en recyclage aucun impact ni crédit n'est alloué à cette étape.

4.2. INVENTAIRES DU CYCLE DE VIE

4.2.1. Données d'inventaires

4.2.1.1. Données principales de modélisation des scénarios

Le tableau suivant présente les données principales de modélisation des scénarios à l'étude. Les données en *orange* sont utilisées en analyse de sensibilité.

Tableau 39 - Données principales de modélisation des scénarios étudiés dans le service « Jouer un jeu vidéo »

Composants	Donnée	Scénarios physiques		Scénarios numériques				
		Jeu sur disque sur console + TV	Jeu sur disque sur console + TV - en ligne	Jeu téléchargé sur console + TV	Jeu téléchargé sur ordinateur portable	Jeu téléchargé sur ordinateur fixe + écran	Cloud gaming sur box TV + TV	Cloud gaming sur console + TV
Datacenters - standard			Données NegaOctet	Données NegaOctet				
Datacenters - cloud gaming	Durée de vie serveur						5 ans	
	PUE						1,55	
	Taux d'utilisation						50% <i>25% (min) ; 60% (max)</i>	
	Nombre maximal de jeu en simultané sur le serveur						160 jeux/serveur <i>Haute définition : 40 jeux/serveur</i>	
Réseaux	Type de connexion		Réseau fixe	Réseau fixe				
	Allocation ligne par Go - consommation totale par mois		220 Go / mois	220 Go / mois			Par défaut : 365 Go / mois <i>Basse définition : 220 Go / mois Haute définition : 554 Go / mois</i>	
	Téléchargement du jeu			En moyenne 76,8 Go <i>6 Go (jeu léger) ; 120 Go (jeu lourd)</i>				
	Temps de jeu total	Par défaut : 182 h		Par défaut : 182 h				
	Téléchargement des mises à jour sur temps de jeu total		Estimation : 50 Go <i>soit 0,27 Go / heure de jeu</i>	Estimation : 50 Go <i>5 Go (jeu léger) ; 75 Go (jeu lourd)</i>				
	Débit jeu en ligne		En moyenne : 82 Mo / h	En moyenne : 82 Mo / h			Par défaut : 13,05 Go / h <i>Basse définition : 4,95 Go / h Haute définition : 19,8 Go / h</i>	
Disque	Temps de jeu total	Par défaut : 182 h						
Console	Durée de vie et intensité d'usage	6,5 ans ; 0,93 h / jour		6,5 ans ; 0,93 h / jour				6,5 ans ; 0,93 h / jour
Ordinateur portable	Durée de vie et intensité d'usage			5 ans ; 2,42 h / jour				
Ordinateur fixe	Durée de vie et intensité d'usage			5 ans ; 2,42 h / jour				
Ecran PC	Durée de vie et intensité d'usage			6 ans ; 2,42 h / jour				
Box TV	Durée de vie et intensité d'usage					5 ans ; 2,86 h / jour		
TV	Durée de vie et intensité d'usage	8 ans ; 2,86 h / jour		8 ans ; 2,86 h / jour				8 ans ; 2,86 h / jour

Plus d'information sur ces données et les sources associées sont indiquées en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios & ANNEXE D – Informations et sources des données de débit binaire et taille de fichiers numérique.

Les données présentées dans ce tableau permettent notamment de ramener les impacts des datacenters, réseaux, et terminaux à l'unité fonctionnelle étudiée. Différentes méthodes d'allocation sont utilisées pour cela.

Les impacts sur le cycle de vie des terminaux (TV, Console, Box TV, Ordinateur, Ecran d'ordinateur) sont ramenés par heure d'utilisation en calculant leur temps d'utilisation total sur leur durée de vie (= durée de vie [ans] x intensité d'usage [h / jour] x 365 [jour/an]).

Concernant le disque (format Blu-ray la plupart du temps), ses impacts de production, transport, et traitement en fin de vie sont divisés par le nombre d'heure d'utilisation du disque (c'est-à-dire le temps de jeu total) pour ramener par UF. Le temps de jeu total est très variable d'un jeu à l'autre et d'un joueur à l'autre. A partir de données sur le nombre moyen de jeu acheté par console, et la durée de jeu total sur la console, une moyenne du temps de jeu total a été estimée à 182h (temps total passé sur un jeu avant de ne plus jamais y jouer). Cette estimation est basée sur la méthodologie de calcul de ce paramètre proposé dans Aslan 2020 « Climate Change Implications of Gaming Products and Services » (Aslan 2020), mis à jour avec des données de 2021. Afin de prendre en compte cette importante variabilité du temps de jeu total, une analyse des points de bascule entre les différents scénarios est réalisée sur ce paramètre.

Le paramètre de temps de jeu total permet également d'amortir la consommation de données du téléchargement des mises à jour pour les scénarios 2, 3, 4, 5 et le téléchargement du jeu pour les scénarios 3, 4 et 5.

Les plateformes de cloud gaming offrent la possibilité de sélectionner la résolution. La résolution joue directement sur la consommation de données du cloud gaming. D'après les données issues de Di Domenico et al 2021, le débit en cloud gaming pour des définitions de 720p, 1080p, et 4K peut être respectivement de 4,95 Go/h (11 Mbps), 13,05 Go/h (29 Mbps) et 19,8 Go/h (44 Mbps). Ces trois valeurs sont utilisées, pour une consommation de donnée par défaut (1080p), basse définition (720p) et haute définition (4K).

Les impacts du réseau fixe sont exprimés par ligne et par an dans les données NegaOctet. Ramener ces impacts par heure d'utilisation ne prendrait pas en compte le fait que plusieurs terminaux peuvent utiliser la ligne en même temps. L'allocation utilisée pour le réseau fixe est donc une allocation par gigaoctet de données transmises sur la ligne sur un an (intensité d'usage en [Go / mois] x 12 [mois/an]). Par défaut, une allocation de 220 Go/mois est utilisée (donnée ARCEP). Cependant, dans le cas du cloud gaming en définition 1080p et 4K, les consommations de données considérées dépassent cette allocation par défaut : si l'on considère un temps de jeu par jour de 0.93h, les consommations de données uniquement dues au cloud gaming sont de 365 Go/mois pour la définition 1080p, et 554 Go/mois pour la définition 4K. Pour ces deux cas, afin de ne pas compter plus d'une ligne fixe par joueur, l'allocation de 220 Go/mois est remplacée par une allocation de 365 Go/mois et 554 Go/mois respectivement.

Concernant le type de connexion, nous avons considéré, par défaut sur tous les scénarios, une connexion au réseau fixe.

Les datacenters associés au téléchargement du jeu et transfert des données lors du jeu en ligne sont alloués par Go de données transférés, tandis que les datacenters de cloud gaming sont alloués selon le nombre d'heure de jeu par serveur qu'ils fournissent par an.

La modélisation du cycle de vie des différents éléments des scénarios est décrite dans les paragraphes suivants.

4.2.1.2. Inventaire de cycle de vie d'une TV

Le cycle de vie entier de la TV a été modélisé pour cette étude et est détaillé dans le service « Regarder un film ».

4.2.1.3. Inventaire de cycle de vie d'une box TV

Le cycle de vie entier de la box TV a été modélisé pour cette étude et est détaillé dans le service « Regarder un film ».

4.2.1.4. Inventaire de cycle de vie d'une console

Le cycle de vie de la console a été modélisé à partir des données NegaOctet. L'étude se concentre uniquement sur les consoles de salon (les consoles portables ne sont pas traitées).

Pour la production de la console, la donnée « NEGA-0812 : Home console » a été utilisée.

Pour la fin de vie de la console, la donnée « NEGA-0849 : Home console » a été utilisée.

Pour la phase de transport, les données NegaOctet de transport par camion, bateau, ou avion ont été utilisées. Les distances et mode de transport considérés sont les mêmes que celles précisées dans le rapport (ADEME et ARCEP 2022).

Pour la phase d'utilisation, le mix électrique français a été considéré. La donnée NegaOctet associée est : « CODDE-2548 : Electricity Mix; Production mix; Low voltage; FR ». La consommation d'énergie de la console est précisée en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios.

4.2.1.5. Inventaire du cycle de vie d'un disque de jeu

Le cycle de vie entier d'un disque a été modélisé pour ce service, de la production des matières premières à la fin de vie du produit. La modélisation du disque est identique à celle du CD pour le service « écouter de la musique ».

4.2.1.6. Inventaire de cycle de vie d'un ordinateur portable

Le cycle de vie entier de l'ordinateur portable a également été modélisé pour ce service.

Pour correspondre à une utilisation de l'ordinateur pour jouer au jeu vidéo, un ordinateur avec de bonnes performances a été modélisé. Parmi les trois configurations d'ordinateur portable (détaillées dans le service « Regarder un film »), la configuration suivante a été sélectionnée, correspondant à l'ordinateur le plus puissant :

- Laptop; 15.6 inches display, 1 CPU 126 mm² 14 nm lithography, 16 GB RAM, 512 GB SSD, separated graphic card 445 mm² 12 nm lithography

Pour la phase de transport, les données NegaOctet de transport par camion, bateau, ou avion ont été utilisées. Les distances et mode de transport considérés sont les mêmes que celles précisées dans le rapport ADEME-ARCEP 2022.

Pour la phase d'utilisation, le mix électrique français a été considéré. La donnée NegaOctet associée est : « CODDE-2548 : Electricity Mix; Production mix; Low voltage; FR ». La consommation d'énergie de l'ordinateur portable pour jeu vidéo est précisée en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios.

4.2.1.7. Inventaire de cycle de vie d'un ordinateur fixe

Le cycle de vie entier de l'ordinateur fixe a également été modélisé pour ce service. Pour la production de l'ordinateur fixe, la donnée suivante a été utilisée :

- NEGA-0500 : Desktop; 1 CPU 192 mm² 14 nm lithography, 16 GB RAM, 2000 GB HDD, 1024 GB SSD, separated graphic card 363 mm² 28 nm lithography

Pour la fin de vie de l'ordinateur fixe, la donnée NegaOctet suivante a été utilisée :

- NEGA-0523 : Desktop; 1 CPU 192 mm² 14 nm lithography, 16 GB RAM, 2000 GB HDD, 1024 GB SSD, separated graphic card 363 mm² 28 nm lithography

Pour la phase de transport, les données NegaOctet de transport par camion, bateau, ou avion ont été utilisées. Les distances et mode de transport considérés sont les mêmes que celles précisées dans le rapport ADEME-ARCEP 2022.

Pour la phase d'utilisation, le mix électrique français a été considéré. La donnée NegaOctet associée est : « CODDE-2548 : Electricity Mix; Production mix; Low voltage; FR ». La consommation d'énergie de l'ordinateur fixe est précisée en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios.

4.2.1.8. Inventaire de cycle de vie d'un écran d'ordinateur

Le cycle de vie de l'écran d'ordinateur a été modélisé à partir des données NegaOctet.

Pour la production des écrans d'ordinateur, les données suivantes ont été utilisées :

- NEGA-0501 : Computer monitor; 24 inches, LCD
- NEGA-0503 : Computer monitor; 39 inches, OLED

Pour la fin de vie des écrans d'ordinateur, les données suivantes ont été utilisées :

- NEGA-0524 : Computer monitor; 24 inches, LCD
- NEGA-0526 : Computer monitor; 39 inches, OLED

Le mix considéré entre ces configurations est le suivant :

- 98.6% Computer monitor; 24 inches, LCD
- 1.4% Computer monitor; 39 inches, OLED

Pour la phase de transport, les données NegaOctet de transport par camion, bateau, ou avion ont été utilisées. Les distances et mode de transport considérés sont les mêmes que celles précisées dans le rapport ADEME-ARCEP 2022.

Pour la phase d'utilisation, le mix électrique français a été considéré. La donnée NegaOctet associée est : « CODDE-2548 : Electricity Mix; Production mix; Low voltage; FR ». La consommation d'énergie de l'écran est précisée en ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d'usage et consommation d'énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios.

4.2.1.9. Inventaire du cycle de vie des datacenters

Le cycle de vie entier des datacenters a été modélisé pour ce service. Par manque de données, les datacenters utilisés pour le téléchargement du jeu, le téléchargement de mise à jour, et le flux de données pour le jeu en ligne (dans le cas du jeu sur disque ou jeu téléchargé) ont été considérés équivalents aux datacenters utilisés pour le transfert de fichier, en prenant en compte les quantités de données transférées pour ces activités. La modélisation de ces datacenters est détaillée dans le service « Lire un livre ».

Concernant les datacenters utilisés pour le cloud gaming, ils ont été modélisés de façon plus détaillée, car le cloud gaming est plus complexe que du simple transfert de fichier et demande une puissance de calcul importante côté datacenters. La modélisation des datacenters de cloud gaming est principalement basée sur un serveur RTX de NVIDIA spécifiquement dédié au cloud gaming (NVIDIA 2021). Les données et hypothèses de modélisation des datacenters cloud gaming sont présentées dans le tableau suivant. Toutes les valeurs sont exprimées à l'échelle d'un serveur RTX.

Tableau 40 – Modélisation des datacenters cloud gaming

Donnée	Unité	Valeur	Source
Nombre de twin blade par serveur	twin blade	10	NVIDIA datasheet - RTX blade server for cloud gaming
Puissance maximale du serveur	kW	6,5	NVIDIA datasheet - RTX blade server for cloud gaming
Puissance active du serveur	kW	5	NVIDIA datasheet - RTX blade server for cloud gaming
Puissance inactive du serveur	kW	3	Estimé à partir de Aslan 2020 (Aslan 2020)
Taux d'utilisation datacenter - par défaut	%	50%	Estimé à partir des données sur datacenters colocation (ADEME et ARCEP 2022)

Taux d'utilisation datacenter - estimation haute	%	60%	Hypothèse
Taux d'utilisation datacenter - estimation basse	%	25%	Hypothèse
Consommation d'électricité IT annuelle	kWh / an	35040	Calcul
PUE	-	1,55	Datacenters colocation (ADEME-Arcep 2022)
Consommation d'électricité totale annuelle	kWh	54312	Calcul
Ratio de surface datacenter	m2 / MW IT	500	ADEME-Arcep 2022
Durée de vie de l'infrastructure	ans	25	ADEME-Arcep 2022
Durée de vie du serveur	ans	5	ADEME-Arcep 2022
Surface datacenter (durées de vie prise en compte)	m2	0,65	Calcul
Nombre de pare-feu par serveur	pare feu	0,358	NegaOctet
Nombre d'alimentation électrique par serveur	item	1	Hypothèse
Nombre maximal de jeu en simultané - par défaut	jeu	160	NVIDIA datasheet - RTX blade server for cloud gaming
Nombre maximal de jeu en simultané - haute définition	jeu	40	Hypothèse
Nombre d'heure de jeu annuel sur serveur - par défaut	heure / an	700800	Calcul
Nombre d'heure de jeu annuel sur serveur - estimation haute	heure / an	840960	Calcul
Nombre d'heure de jeu annuel sur serveur - estimation basse	heure / an	87600	calculs

La phase d'utilisation des datacenters a entièrement été modélisée à partir de la consommation d'électricité totale.

La fabrication et la fin de vie des différents éléments ont été modélisés avec les données NegaOctet suivantes :

- Twin blade :
 - Blade server ; 2 processor high-end ; 4 SSD: 2048 GB each ; 0 HDD ; 8 RAM, 16 GB each ; 1 GPU (NEGA-0279 & NEGA-0430)
 - Video card, 1530 g, 319 cm² PWB, 628 mm² die, 70 mask layers, 8 nm lithography (NEGA-0083 & NEGA-0100)
- Pare-feu : Firewall (NEGA-0598 & NEGA-0694)
- Alimentation électrique : Blade servers power supply (NEGA-0597 & NEGA-0693)
- Infrastructure et équipement non-IT : Typical datacenter; FR (NEGA-0874 & NEGA-0886)

Une carte graphique supplémentaire a été ajoutée à la modélisation du twin blade pour se rapprocher des caractéristiques du serveur de NVIDIA.

Les impacts sur le cycle de vie du serveur sont ensuite ramenés par heure de jeu en cloud gaming en divisant par le nombre d'heure de jeu total sur la durée de vie du serveur.

4.2.1.10. Inventaire du cycle de vie du réseau fixe

Le cycle de vie entier du réseau fixe a également été modélisé pour ce service et est détaillé dans le service « Lire un livre ».

4.2.2. Qualité des données

La fiabilité des résultats de l'ACV et des conclusions qui en découlent dépendent directement des données utilisées pour la modélisation. Ainsi les données utilisées doivent être représentatives de :

- La période sur laquelle l'étude a été conduite (2020) ;
- Le contexte géographique des systèmes étudiés (mix technologique des équipements utilisés en France) ;
- Les caractéristiques technologiques des procédés de fabrication (matières premières nécessaires, assemblage, ...).

Les recommandations pour la qualité des données sont spécifiées dans la norme ISO 14044. La représentativité couvre les 3 premiers critères suivant la norme ISO 14044, à savoir la représentativité temporelle (TiR), la représentativité géographique (GR) et la représentativité technologique (TeR). Les données qualifiées comme représentatives sont celles décrivant correctement la situation étudiée, selon les choix des procédés utilisés pour modéliser le système.

La précision et la fiabilité (P) concernent les sources de données, les moyens de collectes et la vérification des procédés. Les données qualifiées comme fiables.

Chaque critère de qualité des données auquel une note doit être attribuée (TiR, GR, TeR et P) est noté conformément aux cinq niveaux énumérés dans le Tableau 41 :

Tableau 41 – Note de qualité des données (DQR) pour les critères de qualité des données

Note de qualité des données des critères de qualité des données	Niveau de qualité des données
1	Excellente
2	Très bonne
3	Bonne
4	Acceptable
5	Médiocre

La méthodologie d'attribution des notes pour chaque critère est détaillée en **Annexe A**.

4.3. EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

4.3.1. Méthode d'évaluation des impacts environnementaux et indicateurs

L'étape d'évaluation des impacts environnementaux permet de classer et de combiner les flux de matières, énergie et émissions issus de l'inventaire par type d'impact, pour chaque système à l'étude.

Dans cette étude, les impacts environnementaux ont été évalués au niveau « mid-point » uniquement. Ceux-ci traduisent les impacts sur l'environnement selon plusieurs catégories d'impact. L'évaluation des impacts environnementaux a été effectuée à l'aide de la méthode de la norme NF EN 15804 + A2 (2019). Cette norme fournit le tronc commun des règles de catégories de produits pour les déclarations environnementales de type III relatives à tout produit ou service de construction. La norme EN 15804 + A2 remplace la version A1 en vigueur depuis 2013. La révision a notamment pour objectif d'être alignée avec le format du PEF (Product Environmental Footprint) de la Commission Européenne. Les facteurs de caractérisation sont donc basés sur les facteurs de la méthode EF3.0, développée et mise à jour par le *Joint Research Center* de la Commission Européenne.

La méthodologie EF3.0 est internationalement reconnue par les experts de l'ACV et largement utilisée. Cette méthode figure parmi les plus récentes méthodes mises à jour. Cette étude évalue certains indicateurs de la méthode EF3.0, listés dans le tableau suivant.

Tableau 42 – Indicateurs d'impact de la méthode EF3.0 du PEF utilisés dans cette étude

EF catégorie d'impact	Acronyme	Catégorie d'impact Indicateur	Unité	Modèle de caractérisation
Changement climatique, total ²³	CC	Forçage radiatif en tant que potentiel de réchauffement global (GWP100)	kg CO ₂ eq.	Modèle de référence de 100 ans du GIEC (basé sur GIEC 2013)
Particules fines	PM	Cas maladie	Incidence des maladies	Méthode PM recommandée par le PNUE (PNUE 2016)
Radiations ionisantes, santé humaine	IR	Exposition humaine par rapport à l'U235	kBq U ²³⁵ eq.	Modèle des effets sur la santé humaine tel que développé par Dreicer et al. 1995 (Frischknecht et al, 2000)
Acidification	AC	Dépassements accumulés (DA)	Mol H ⁺ eq.	Dépassement cumulé (Seppälä et al. 2006, Posch et al, 2008)
Ecotoxicité eau douce	EC	Unité de toxicité comparée pour les écosystèmes (UTCe)	UTCe	Modèle USEtox 2.1 (Fankte et al, 2017)
Ressources en eau	WU	Potentiel de privation des utilisateurs (consommation d'eau pondérée par la privation)	m ³ eq. mondial	Eau disponible Restant (AWARE) comme recommandé par le PNUE, 2016

²³ L'indicateur "Changement climatique, total" est constitué de trois sous-indicateurs : Changement climatique, fossile ; Changement climatique, biogénique ; Changement climatique, utilisation des terres et changement d'affectation des terres. Les sous-indicateurs sont décrits plus en détail dans la section 4.4.10 de la méthodologie EF. Les sous-catégories "Changement climatique - fossile", "Changement climatique - biogénique" et "Changement climatique - utilisation des terres et changement d'affectation des terres" doivent être rapportées séparément si elles contribuent chacune pour plus de 5% au score total du changement climatique.

Ressources minérales et métalliques ²⁴	RU	Épuisement des ressources abiotiques (réserves ultimes ADP)	kg Sb eq.	CML 2002 (Guinée et al., 2002) et van Oers et al. 2002.
---	----	---	-----------	---

La sélection des indicateurs de EF3.0 retenus dans cette étude a été contrainte par les indicateurs fournis dans la base de données NegaOctet au format Excel. Les indicateurs les plus pertinents pour une analyse de l'impact environnemental du numérique sont tout de même présents (changement climatique, ressources minérales et métalliques, consommation d'eau, ...).

De plus, les indicateurs retenus sont alignés avec les recommandations du référentiel méthodologique d'évaluation environnementale des services numériques de l'ADEME.

4.3.2. Analyse de contribution

Les analyses de contribution sont réalisées afin de déterminer dans quelle mesure chaque processus modélisé contribue aux impacts environnementaux des systèmes étudiés. Ainsi, dans cette étude, les analyses de contribution effectuées évaluent l'importance relative, en termes d'impacts environnementaux, des différents éléments analysés.

4.3.3. Outil de calcul

Les calculs ont principalement été effectués dans Excel, afin de pouvoir utiliser facilement les données de la base NegaOctet (fournies au format Excel). Cependant, certaines données de la base ecoinvent (v3.8) ont également été utilisées pour la modélisation de certains éléments. Pour cela, le logiciel Simapro 9, développé par Pré Consultants, a été utilisé (la base de données ecoinvent étant intégrée au logiciel), puis les résultats ont été exportés dans Excel.

²⁴ Les résultats de cette catégorie d'impact doivent être interprétés avec prudence, car les résultats de l'ADP après normalisation peuvent être surestimés. La Commission européenne a l'intention de développer une nouvelle méthode passant du modèle d'épuisement au modèle de dissipation afin de mieux quantifier le potentiel de conservation des ressources

4.4. RESULTATS DE L'ETUDE

Il est important de rappeler que selon la norme ISO 14044, les résultats de l'ACV sont des expressions relatives et qu'elles ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, les marges de sécurité ou les risques. Il convient également de noter que les résultats de cette étude seront utilisés dans des affirmations comparatives destinées à être divulguées au public.

4.4.1. Résultats des impacts environnementaux

4.4.1.1. Résultats du service au format physique

4.4.1.1.1. Résultats sur le scénario physique : jouer à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, hors ligne

Le tableau suivant présente les résultats absolus des impacts environnementaux pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, hors ligne ».

Tableau 43 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, hors ligne », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Catégorie d'impact	Unité	TV	Console	Disque	TOTAL
Changement climatique	kg CO2 eq	3,31E-02	1,40E-01	3,81E-03	1,77E-01
Acidification	mol H+ eq	2,14E-04	9,23E-04	1,17E-05	1,15E-03
Particules fines	Cas maladie	2,82E-09	7,33E-09	1,66E-10	1,03E-08
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	5,11E-06	1,56E-05	6,80E-09	2,07E-05
Ecotoxicité eau douce	CTUe	4,48E-01	2,84E+00	3,61E-02	3,32E+00
Radiations ionisantes, santé humaine	kBq U235 eq	3,32E-01	5,08E-01	5,82E-04	8,41E-01
Ressources en eau	m3 eq	1,72E-01	4,58E-01	1,86E-03	6,31E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, hors ligne », avec les paramètres par défaut considérés, est de 177 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 2,07 x10⁻⁵ kg Sb eq.

La figure suivante présente l'analyse de contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, hors ligne », pour tous les indicateurs étudiés :

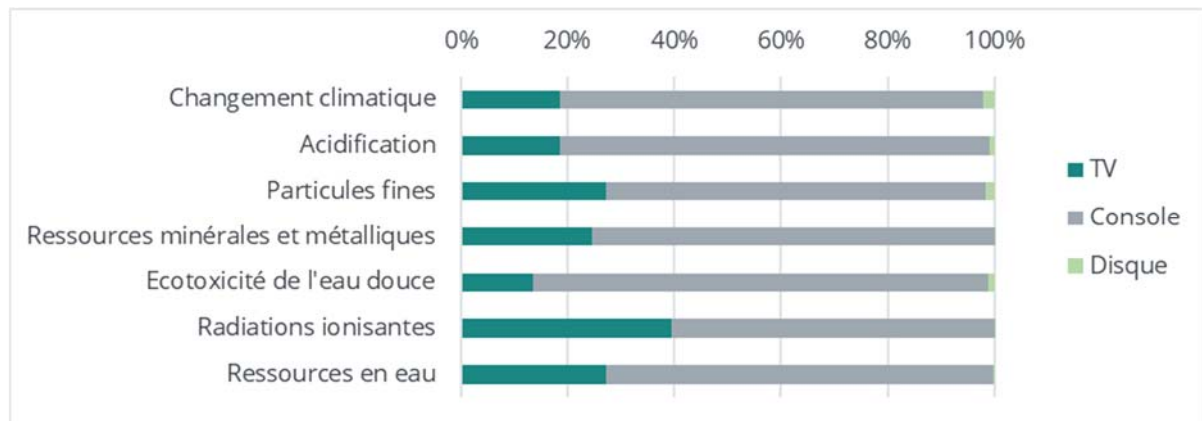


Figure 38 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, hors ligne », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

On observe que, avec les paramètres par défaut considérés, la console contribue le plus aux impacts sur tous les indicateurs étudiés (60% à 85% de contribution). Si la TV est constituée d'un grand écran gourmand en ressources et en énergie pour sa fabrication, la console nécessite des composants électroniques spécifique pour assurer une puissance de calcul suffisante. Ces composants peuvent représenter des impacts environnementaux significatifs. Concernant le disque de jeu, celui-ci ne contribue que très peu aux impacts ici : moins de 2% sur tous les indicateurs. Cela vient du fait que son impact est amorti sur de nombreuses heures de jeu, puisque le temps de jeu total considéré est de 182 h.

Le graphique suivant présente le résultat des analyses de sensibilité étudiées sur ce scénario. Les impacts des analyses de sensibilité sont comparés sur chaque indicateur relativement aux impacts du scénario standard avec paramètres par défaut (définis à 100% pour tous les indicateurs).



Figure 39 - Analyse de sensibilité sur le temps total de jeu pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, hors ligne », sur tous les indicateurs étudiés

Il est important de rappeler que le calcul de l'impact du disque ramené par UF consiste à diviser l'impact du cycle de vie du disque par le nombre d'heure d'utilisation au cours de sa durée de vie. Cette analyse de sensibilité montre que ce paramètre peut s'avérer déterminant sur le résultat si le temps de jeu total devient court (6h de temps de jeu total considéré ici), pour lequel l'impact sur le changement climatique peut augmenter de +63%. Avec en paramètre par défaut une utilisation du disque de 182h, sa contribution au scénario étudié est très faible (cf Figure 38). Ainsi, augmenter le temps de jeu permet d'amortir encore plus son impact mais la variation des résultats n'est pas aussi importante, l'amortissement par défaut étant déjà très optimisé.

4.4.1.1.2. Résultats sur le scénario physique : jouer à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, en ligne

Le tableau suivant présente les résultats absolus des impacts environnementaux pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, en ligne ».

Tableau 44 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, en ligne », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Catégorie d'impact	Unité	TV	Console	Disque	Transmission réseaux	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO2 eq	3,31E-02	1,40E-01	3,81E-03	3,27E-03	9,51E-05	1,80E-01
Acidification	mol H+ eq	2,14E-04	9,23E-04	1,17E-05	2,07E-05	9,74E-07	1,17E-03
Particules fines	Cas maladie	2,82E-09	7,33E-09	1,66E-10	4,35E-10	1,42E-11	1,08E-08
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	5,11E-06	1,56E-05	6,80E-09	2,00E-07	4,20E-09	2,09E-05
Ecotoxicité eau douce	CTUe	4,48E-01	2,84E+00	3,61E-02	4,55E-02	1,85E-03	3,37E+00
Radiations ionisantes, santé humaine	kBq U235 eq	3,32E-01	5,08E-01	5,82E-04	4,85E-02	1,50E-03	8,91E-01
Ressources en eau	m3 eq	1,72E-01	4,58E-01	1,86E-03	1,11E-02	2,87E-04	6,42E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, en ligne », avec les paramètres par défaut considérés, est de 180 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 2,09 x10⁻⁵ kg Sb eq.

La figure suivante présente l'analyse de contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, en ligne », pour tous les indicateurs étudiés :

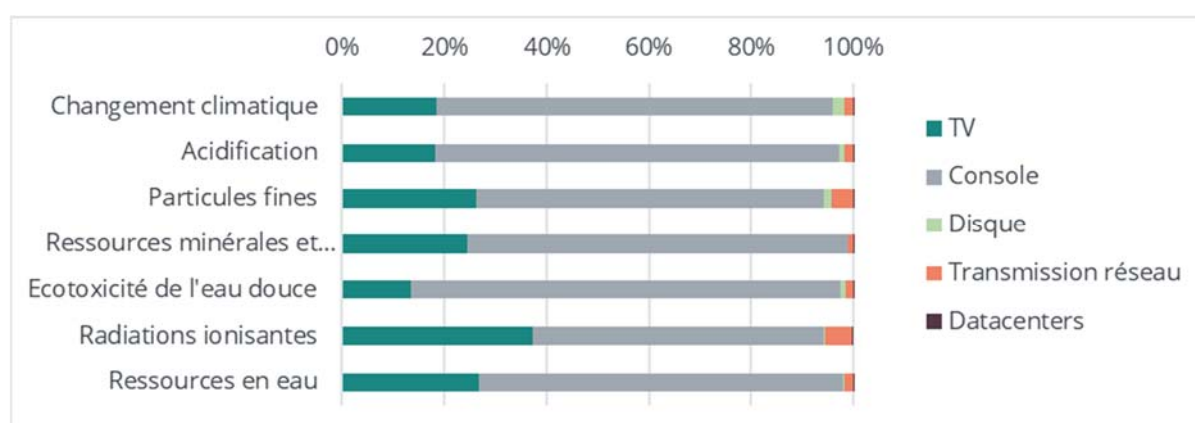


Figure 40 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, en ligne », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

L'analyse de contribution sur ce deuxième scénario, avec les paramètres considérés par défaut, est très similaire au premier scénario. L'impact additionnel dû à la consommation de données (transmission réseaux et datacenters) pour le jeu en ligne reste marginal, (moins de 6% sur tous les indicateurs).

4.4.1.2. Résultats du service au format numérique

4.4.1.2.1. Résultats sur le scénario numérique : jouer à un jeu vidéo téléchargé sur une console et une TV, en ligne

Le tableau suivant présente les résultats absolus des impacts environnementaux pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur une console et une TV, en ligne ».

Tableau 45 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur une console et une TV, en ligne », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Catégorie d'impact	Unité	TV	Console	Transmission réseaux	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO2 eq	3,31E-02	1,40E-01	7,14E-03	2,07E-04	1,81E-01
Acidification	mol H+ eq	2,14E-04	9,23E-04	4,51E-05	2,13E-06	1,18E-03
Particules fines	Cas maladie	2,82E-09	7,33E-09	9,50E-10	3,10E-11	1,11E-08
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	5,11E-06	1,56E-05	4,38E-07	9,16E-09	2,11E-05
Ecotoxicité eau douce	CTUe	4,48E-01	2,84E+00	9,93E-02	4,05E-03	3,39E+00
Radiations ionisantes, santé humaine	kBq U235 eq	3,32E-01	5,08E-01	1,06E-01	3,27E-03	9,49E-01
Ressources en eau	m3 eq	1,72E-01	4,58E-01	2,41E-02	6,26E-04	6,54E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur une console et une TV, en ligne », avec les paramètres par défaut considérés, est de 181 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 2,11 x10⁻⁵ kg Sb eq.

La figure suivante présente l'analyse de contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur une console et une TV, en ligne », pour tous les indicateurs étudiés :

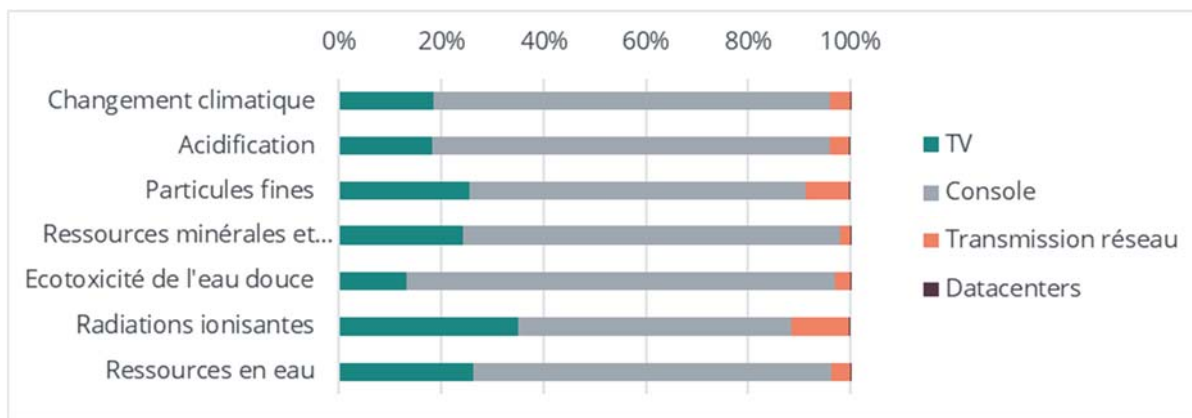


Figure 41 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur une console et une TV, en ligne », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

L'analyse de contribution sur ce scénario, avec les paramètres par défaut considérés, est proche du scénario de jeu sur disque et console, en ligne. La console contribue majoritairement aux impacts sur tous les indicateurs (entre 53% et 84%). Les impacts dépendants de la consommation de données (transmission réseaux et datacenters) restent relativement faibles (contribution entre 2% et 12% pour la transmission réseaux, inférieure à 0,5% pour les datacenters). A nouveau, cela est dû au fait que la consommation de données pour le jeu en ligne reste relativement faible, et les 77 Go de jeu téléchargé sont amorti sur une durée de jeu totale considérée de 182h par défaut.

Le graphique suivant présente le résultat des analyses de sensibilité étudiées sur ce scénario. Les impacts des analyses de sensibilité sont comparés sur chaque indicateur relativement aux impacts du scénario standard avec paramètres par défaut (définis à 100% pour tous les indicateurs).

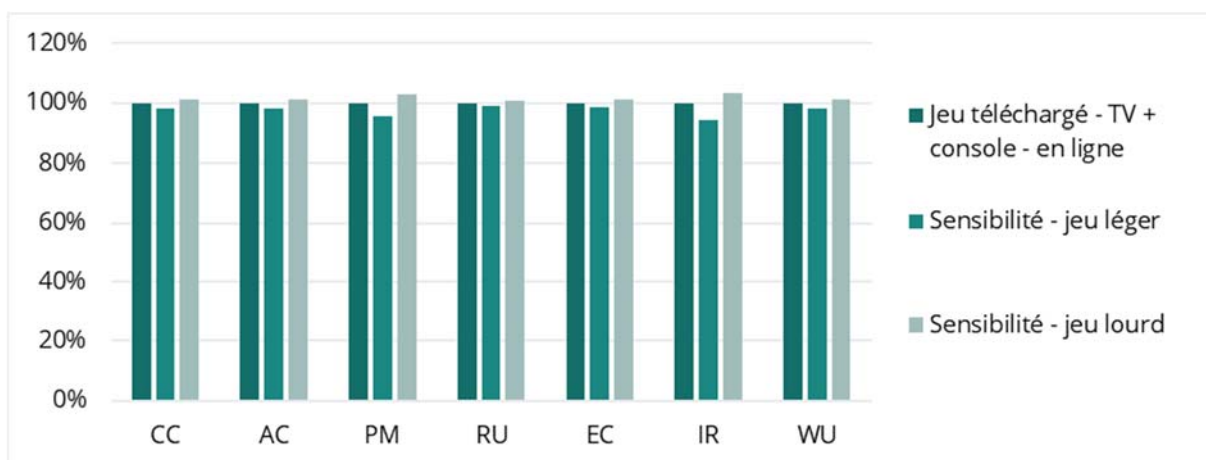


Figure 42 - Analyse de sensibilité sur le temps total de jeu pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur une console et une TV, en ligne », sur tous les indicateurs étudiés

Cette analyse de sensibilité montre que ce paramètre peut influencer légèrement les résultats. A temps de jeu égal (182 h), un jeu plus léger (6,8 Go) peut représenter jusqu'à 6% d'impacts (radiations ionisantes) en moins qu'un jeu de poids moyen (76,8 Go). Pour le changement climatique, un jeu plus léger permet de réduire de 2% les impacts.

A contrario, à temps de jeu égal (182h) un jeu plus léger peut représenter jusqu'à 3% des impacts (radiations ionisantes et émissions de particules fines) en plus qu'un jeu de poids moyen. Pour le changement climatique, un jeu plus léger augmente de 1% les impacts.

4.4.1.2.2. Résultats sur le scénario numérique : jouer à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur portable, en ligne

Le tableau suivant présente les résultats absolus des impacts environnementaux pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur portable, en ligne ».

Tableau 46 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur portable, en ligne », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Catégorie d'impact	Unité	Ordinateur portable	Transmission réseaux	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO2 eq	7,64E-02	7,14E-03	2,07E-04	8,38E-02
Acidification	mol H+ eq	4,42E-04	4,51E-05	2,13E-06	4,89E-04
Particules fines	Cas maladie	2,92E-09	9,50E-10	3,10E-11	3,91E-09
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	2,72E-06	4,38E-07	9,16E-09	3,17E-06
Ecotoxicité eau douce	CTUe	1,59E+00	9,93E-02	4,05E-03	1,70E+00
Radiations ionisantes, santé humaine	kBq U235 eq	7,93E-02	1,06E-01	3,27E-03	1,88E-01
Ressources en eau	m3 eq	1,87E-01	2,41E-02	6,26E-04	2,12E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur portable, en ligne », avec les paramètres par défaut considérés, est de 84 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 3,17 x10⁻⁶ kg Sb eq. La figure suivante présente l'analyse de contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur portable, en ligne », pour tous les indicateurs étudiés :

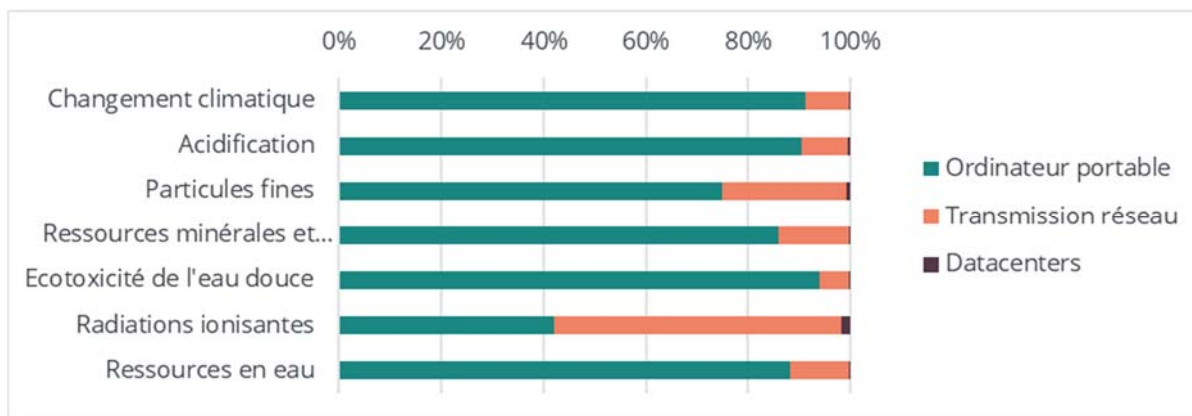


Figure 43 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur portable, en ligne », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

Sur ce scénario, avec les paramètres par défaut, le terminal de consultation (l'ordinateur portable) est le contributeur majoritaire aux impacts sur tous les indicateurs (entre 75% et 94%), sauf radiations ionisantes (42%). La transmission des données (box internet, réseaux et datacenters) représente également une contribution plus importante que sur les précédents scénarios (les réseaux représentent entre 6% et 56% des impacts). En réalité, l'impact absolu de la transmission des données est le même que dans le scénario précédent (même taille de jeu amorti sur la même durée de jeu, et même débit pour le jeu en ligne), mais le fait qu'aucune console ne soit nécessaire réduit les impacts totaux. L'ordinateur portable remplace à la fois la TV (affichage) et la console (calculateur).

4.4.1.2.3. Résultats sur le scénario numérique : jouer à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur fixe avec un écran supplémentaire, en ligne

Le tableau suivant présente les résultats absolus des impacts environnementaux pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur portable avec un écran supplémentaire, en ligne ».

Tableau 47 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur fixe avec écran, en ligne », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Catégorie d'impact	Unité	Ordinateur fixe	Ecran	Transmission réseaux	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO2 eq	1,10E-01	1,62E-02	7,14E-03	2,07E-04	1,33E-01
Acidification	mol H+ eq	7,08E-04	1,09E-04	4,51E-05	2,13E-06	8,64E-04
Particules fines	Cas maladie	6,18E-09	1,24E-09	9,50E-10	3,10E-11	8,40E-09
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	6,05E-06	2,21E-06	4,38E-07	9,16E-09	8,71E-06
Ecotoxicité eau douce	CTUe	2,34E+00	2,57E-01	9,93E-02	4,05E-03	2,70E+00
Radiations ionisantes, santé humaine	kBq U235 eq	7,41E-01	1,05E-01	1,06E-01	3,27E-03	9,56E-01
Ressources en eau	m3 eq	5,02E-01	1,39E-01	2,41E-02	6,26E-04	6,66E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur fixe avec un écran supplémentaire, en ligne », avec les paramètres par défaut considérés, est de 133 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 8,71 x10⁻⁶ kg Sb eq.

La figure suivante présente l'analyse de contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur portable avec un écran supplémentaire, en ligne », pour tous les indicateurs étudiés :

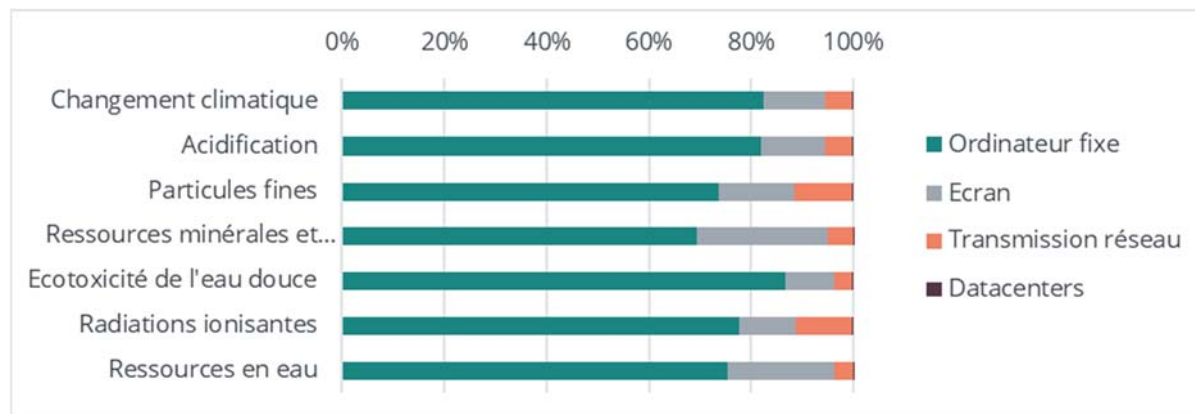


Figure 44 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur fixe avec un écran supplémentaire, en ligne », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

En absolu, l'ordinateur fixe a des impacts plus élevés que l'ordinateur portable du scénario précédent. De plus, l'utilisation d'un écran supplémentaire ajoute des impacts non négligeables au scénario (contribution entre 10% et 25% selon les indicateurs).

Les réseaux et datacenters ont les mêmes impacts en absolus, mais l'utilisation d'un pc fixe couplé à un écran a des impacts plus élevés qu'un simple pc portable, rendant leurs contributions en % plus faibles que le scénario précédent.

4.4.1.2.4. Résultats sur le scénario numérique : jouer à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une box TV

Le tableau suivant présente les résultats absolus des impacts environnementaux pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une box TV ».

Tableau 48 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une box TV », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Catégorie d'impact	Unité	TV	Box TV	Transmission réseaux	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO ₂ eq	3,31E-02	1,68E-02	7,22E-02	1,50E-02	1,37E-01
Acidification	mol H ⁺ eq	2,14E-04	1,15E-04	4,56E-04	8,89E-05	8,74E-04
Particules fines	Cas maladie	2,82E-09	1,53E-09	9,60E-09	1,49E-09	1,54E-08
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	5,11E-06	1,94E-06	4,42E-06	3,71E-07	1,18E-05
Ecotoxicité eau douce	CTUe	4,48E-01	3,28E-01	1,00E+00	2,53E-01	2,03E+00

Radiations ionisantes, santé humaine	kBq U235 eq	3,32E-01	1,90E-01	1,07E+00	1,52E-01	1,74E+00
Ressources en eau	m3 eq	1,72E-01	7,63E-02	2,44E-01	4,76E-02	5,40E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une box TV », avec les paramètres par défaut considérés, est de 137 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 1,18 x10⁻⁵ kg Sb eq.

La figure suivante présente l'analyse de contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une box TV », pour tous les indicateurs étudiés :

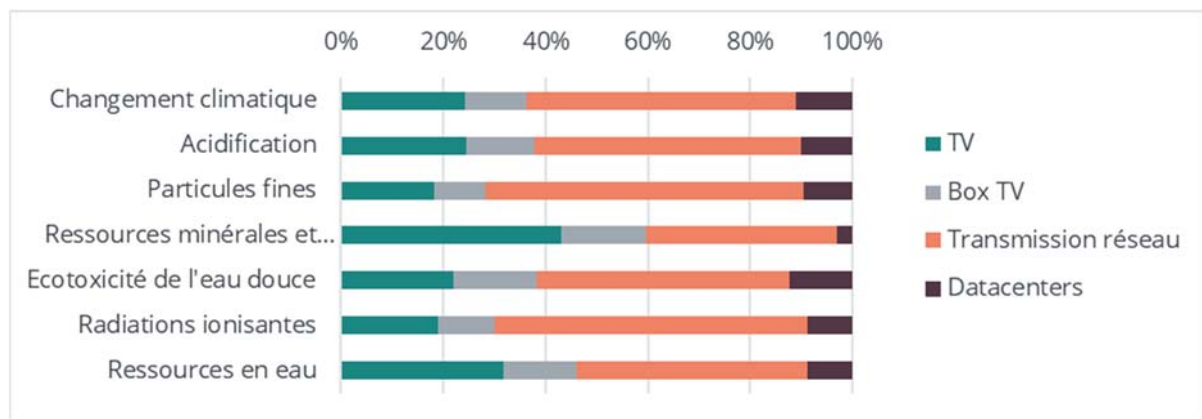


Figure 45 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une box TV », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

On observe que, avec les paramètres considérés par défaut, la transmission sur le réseau et les datacenters représente la majeure partie des impacts de ce scénario sur tous les indicateurs (entre 37% et 62% de contribution pour les réseaux et entre 3% et 12% pour les datacenters). En effet, la consommation de données pour le cloud gaming est très importante (comparée aux précédents scénarios à l'étude), et la puissance de calcul demandée dans les datacenters également. La contribution des terminaux de consultation (TV + box TV) reste néanmoins significative (entre 28% et 59% selon les indicateurs).

Le graphique suivant présente le résultat des analyses de sensibilité étudiées sur ce scénario. Les impacts des analyses de sensibilité sont comparés sur chaque indicateur relativement aux impacts du scénario standard avec paramètres par défaut (définis à 100% pour tous les indicateurs).

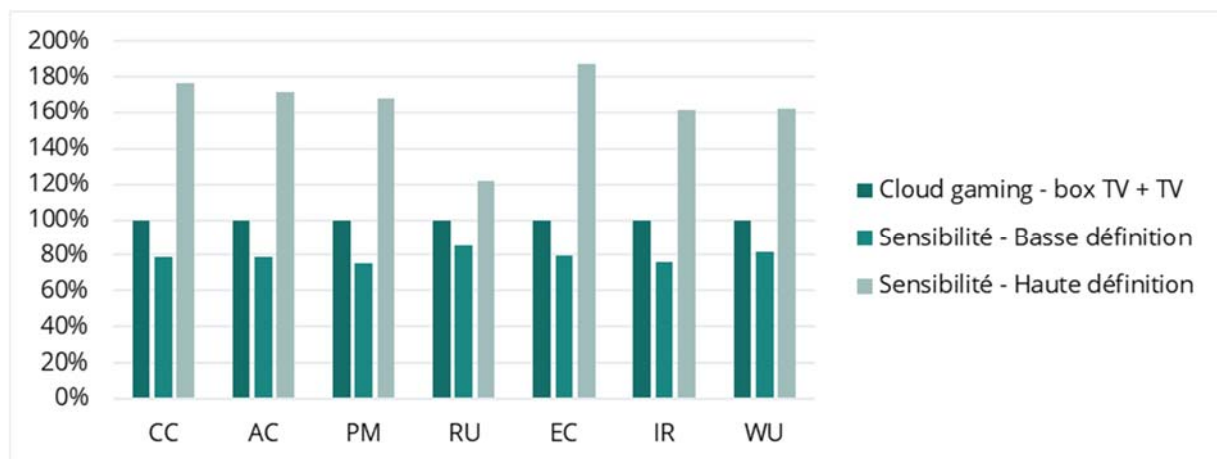


Figure 46 - Analyse de sensibilité sur le temps total de jeu pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une box TV », sur tous les indicateurs étudiés

Ces analyses de sensibilité étudient la variation des impacts dans le cas où :

- 0 Haute définition : la performance des datacenters est plus faible (40 jeux en simultané par serveur maximum, contre 160 par défaut, taux d'utilisation de 25% au lieu de 50%). La consommation de données est plus élevée (19.8 Go/h), mais comme l'allocation de la ligne fixe est adaptée pour conserver un maximum d'une ligne fixe par joueur, cela ne change pas l'impact de la transmission sur réseau fixe.
- 0 Basse définition : la consommation de données est plus faible (5 Go/h contre 13 Go/h par défaut), et la performance des datacenters plus grande (taux d'utilisation de 60% au lieu de 50%).

Etant donnée une contribution importante du datacenter et des réseaux, ces analyses de sensibilité entraînent une forte variation des résultats d'impacts de ce scénario. Les impacts sont réduits sur tous les indicateurs (entre -14% et -25%) dans le cas basse définition. A l'inverse, dans le cas « haute définition » les impacts sont augmentés sur tous les indicateurs (de +30% à +45%).

4.4.1.2.5. Résultats sur le scénario numérique : jouer à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une console

Le tableau suivant présente les résultats absolus des impacts environnementaux pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une console ».

Tableau 49 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une console », pour l'ensemble des indicateurs étudiés

Catégorie d'impact	Unité	TV	Console	Transmission réseaux	Datacenters	TOTAL
Changement climatique	kg CO2 eq	3,31E-02	1,40E-01	7,22E-02	1,50E-02	2,60E-01
Acidification	mol H+ eq	2,14E-04	9,23E-04	4,56E-04	8,89E-05	1,68E-03
Particules fines	Cas maladie	2,82E-09	7,33E-09	9,60E-09	1,49E-09	2,12E-08
Ressources minérales et métalliques	kg Sb eq	5,11E-06	1,56E-05	4,42E-06	3,71E-07	2,55E-05
Ecotoxicité eau douce	CTUe	4,48E-01	2,84E+00	1,00E+00	2,53E-01	4,54E+00
Radiations ionisantes, santé humaine	kBq U235 eq	3,32E-01	5,08E-01	1,07E+00	1,52E-01	2,06E+00
Ressources en eau	m3 eq	1,72E-01	4,58E-01	2,44E-01	4,76E-02	9,21E-01

L'impact sur le changement climatique du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une console », avec les paramètres par défaut considérés, est de 260 g CO₂ eq. L'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est de 2,55 x10⁻⁵ kg Sb eq.

La figure suivante présente l'analyse de contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une console », pour tous les indicateurs étudiés :

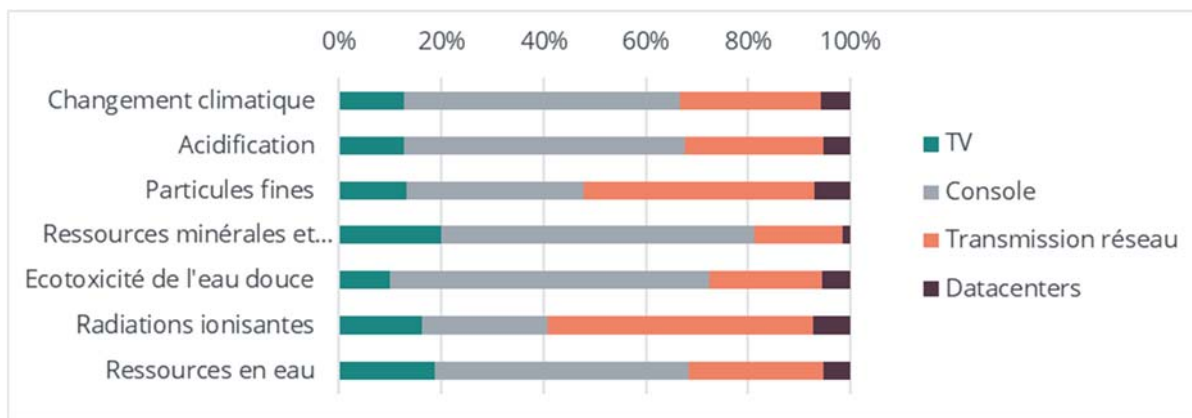


Figure 47 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une console », sur l'ensemble des indicateurs étudiés

L'analyse de contribution de ce scénario est similaire au scénario précédent, cependant la box TV permettant l'accès au service de cloud gaming est cette fois remplacée par une console classique de jeu vidéo. Celle-ci a des impacts plus importants que la box TV, sa contribution est significative sur tous les indicateurs (entre 25% et 62% selon les indicateurs).

4.4.2. Comparaison des différents scénarios étudiés

4.4.2.1. Comparaison des différents scénarios étudiés sur tous les indicateurs

Le graphique suivant présente une comparaison des impacts des différents scénarios pour l'UF « jouer 1h à un jeu vidéo en France », sur tous les indicateurs.

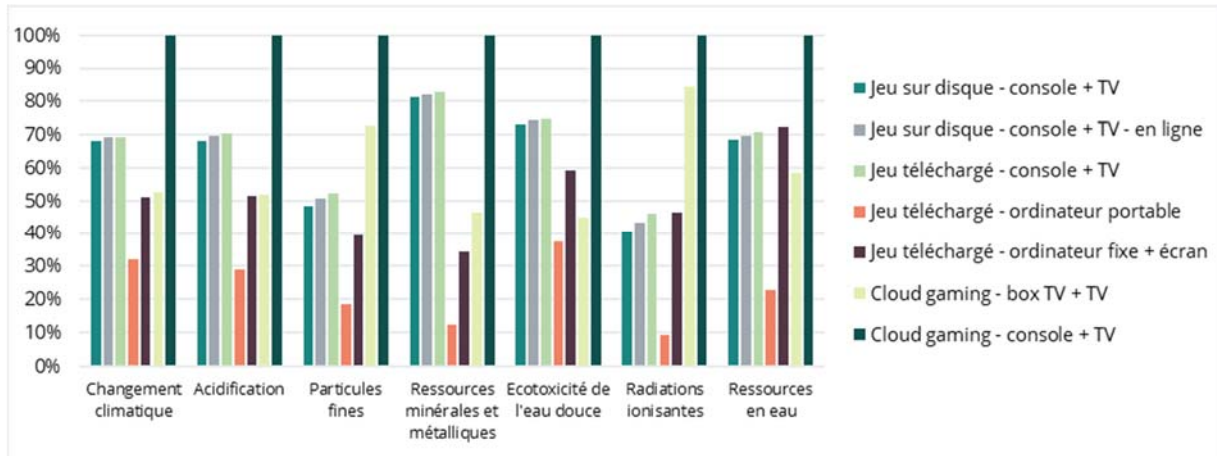


Figure 48 – Comparaison des résultats environnementaux des différents scénarios pour l'UF « jouer 1h à un jeu vidéo en France »²⁵

Les trois premiers scénarios ont des résultats d'impact très proches sur tous les indicateurs (moins de 5% de différence). En effet, ces trois scénarios utilisent les mêmes terminaux de consultation, et diffèrent uniquement par l'utilisation d'un disque ou d'un jeu téléchargé, et de l'option de jeu en ligne ou non. La contribution des impacts du disque et du téléchargement du jeu est très faible sur ces scénarios, car ces impacts sont amortis sur une durée de jeu total de 182 h considérés par défaut. L'impact additionnel de la transmission des données pour pouvoir jouer en ligne reste également relativement faible, d'où la faible variation entre ces 3 scénarios.

Le scénario de jeu téléchargé sur ordinateur portable est le scénario avec les impacts les plus faibles sur tous les indicateurs étudiés. Ceci s'explique par le fait que seul un équipement est nécessaire (ordinateur portable), comparé aux autres scénarios couplant nécessairement 2 équipements (console + TV, ou box TV + TV, ou encore ordinateur fixe + écran). De plus, l'ordinateur portable a des impacts bien plus faibles en absolu qu'une console ou une TV.

Le scénario du cloud gaming sur une TV avec une box TV a des impacts plus faibles que les scénarios de jeu sur disque / téléchargé sur console + TV, sur les indicateurs de changement climatique, acidification, épuisement des ressources minérales et métalliques, écotoxicité de l'eau douce et épuisement des ressources en eau.

Enfin, le scénario de cloud gaming sur console + TV est de loin le scénario le plus impactant sur l'ensemble des indicateurs étudiés, à cause d'une forte consommation de données du cloud gaming et de l'utilisation de plusieurs équipements avec de forts impacts sur les indicateurs étudiés.

Sur le changement climatique, ce scénario est plus impactant de +44% à +211% par rapport aux autres scénarios étudiés. Sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques il est plus impactant de 22% à 704% par rapport aux autres scénarios étudiés.

Tous les scénarios ont fait l'objet d'analyse de sensibilité sur différents paramètres (taille de jeu, temps de jeu total, définition vidéo). Il convient de prendre en compte la variabilité des résultats pour mieux appréhender la comparaison entre les scénarios.

²⁵ Les résultats d'impact sur les différents indicateurs sont exprimés dans des unités différentes : afin d'afficher cette comparaison entre les scénarios, pour chaque indicateur, l'impact le plus haut est défini à 100% et les autres impacts sont définis relativement à cet impact maximum

4.4.2.2. Zoom sur l'indicateur de changement climatique

Le graphique suivant présente une comparaison des impacts des différents scénarios sur le changement climatique, en prenant en compte la variabilité des résultats. Etant donné la faible différence de résultats, d'après le graphique précédent, entre les deux premiers scénarios étudiés (jeu sur disque hors ligne et en ligne), ce premier scénario a donc été retiré de la comparaison ici.

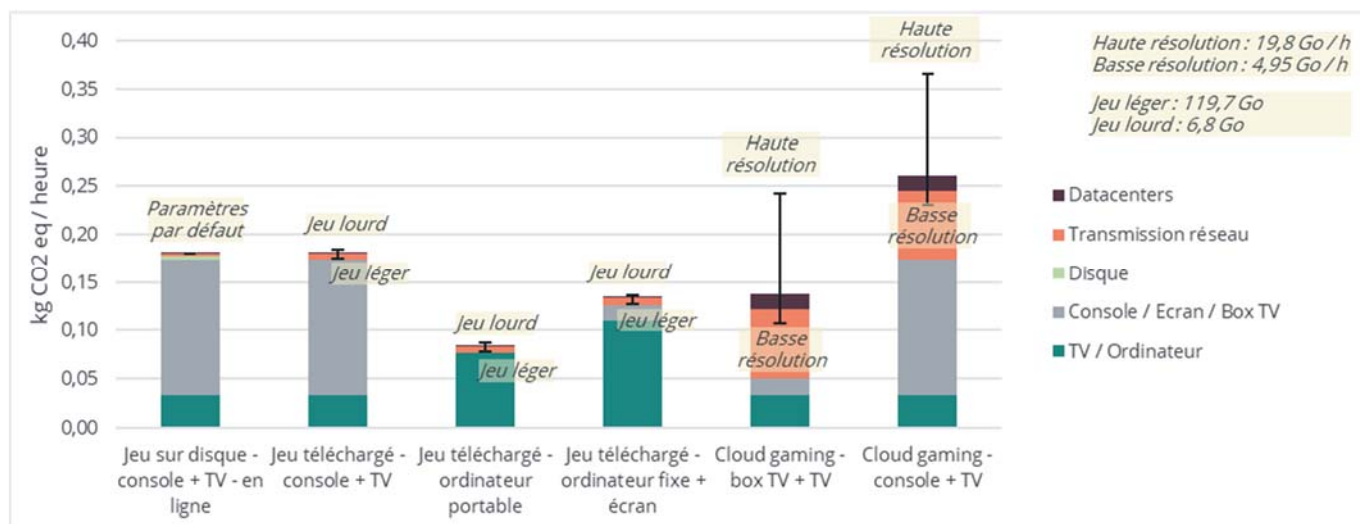


Figure 49 – Comparaison des impacts sur le changement climatique des scénarios étudiés pour l'UF « jouer 1h à un jeu vidéo en France »²⁶

Entre les deux premiers scénarios, avec les paramètres par défaut considérés, les résultats sont peu discriminants : les impacts de la console et de la TV restent les mêmes entre les deux (mêmes équipements, mêmes hypothèses d'utilisation). L'impact du disque de jeu sur le premier scénario est légèrement plus faible que l'impact de transmission des données pour le téléchargement du jeu sur le second scénario. Dans les deux cas, ces impacts sont amortis par la durée de jeu total (considérée à 182 h par défaut), et restent donc faibles. Lorsque le poids du jeu est augmenté (ou réduit), les impacts sur la transmission des données varient légèrement l'impact total du scénario sur le changement climatique (entre 177g CO₂ eq/h et 183g CO₂ eq/h).

Concernant les scénarios 3 et 4 (jeu téléchargé sur ordinateur portable, ou jeu téléchargé sur ordinateur fixe couplé à un écran supplémentaire), l'impact de la partie équipement est bien plus faible que pour les deux premiers scénarios. L'ajout d'un écran fait augmenter l'impact sur le scénario 4, mais cela reste bien plus faible que l'impact des deux premiers scénarios avec console. L'impact de téléchargement du jeu est le même que sur le scénario 2, et dépend tout autant du poids du jeu. Au global, l'impact du scénario 3 varie entre 80 gCO₂eq et 86 gCO₂eq par heure de jeu, selon le poids du jeu et celui du scénario 4 entre 130 et 136 gCO₂eq par heure de jeu selon le poids du jeu.

Les scénarios 5 et 6 (cloud gaming sur TV, avec box TV ou console) sont les deux scénarios représentant le plus d'impact sur le changement climatique, avec les paramètres par défaut considérés. En plus du terminal d'affichage (la TV), seul la box TV est nécessaire pour l'accès au service de cloud gaming, car la puissance de calcul est déportée dans les datacenters plutôt que dans les consoles utilisateurs. En effet,

²⁶ Ce graphique permet d'afficher l'impact absolu sur le changement climatique des différents scénarios à l'étude, ainsi que la variabilité de ces résultats en affichant les résultats des analyses de sensibilité minimum et maximum. Ces barres ne doivent pas être interprétées comme des incertitudes (qui ne sont pas quantifiées ici) mais comme une fourchette de résultat. Le graphique affiche également la contribution des éléments aux impacts de chaque scénario, dans le cas des paramètres par défaut.

une consommation de données de 7,9 Go / h est considérée par défaut (contrainte par l'allocation réseau). Celle-ci descend à environ 5 Go / h pour une définition 720p. Le scénario 5 a donc peu d'impact des équipements puisqu'il n'utilise pas de console, mais de forts impacts du changement climatique liés aux réseaux et datacenters. De fait, ce scénario est plus faible au niveau du changement climatique en considérant des paramètres par défaut que les scénarios couplant une console à une TV. Cependant selon la résolution utilisée pour jouer au jeu vidéo, ce scénario peut très fortement varier au niveau de ses impacts sur le changement climatique, entre 108 gCO₂eq par heure de jeu et 242 gCO₂eq par heure de jeu. Dans l'analyse de sensibilité « haute définition » (baisse de performance des datacenters), ce scénario deviendrait donc plus impactant que les deux premiers scénarios.

L'accès au cloud gaming est aussi possible via une console (connectée à internet), même si celle-ci ne sera pas utilisée pour sa puissance de calcul. Dans le scénario 6, l'impact des équipements est donc le même que dans les scénarios 1 et 2 (même TV et même console). Si l'impact des équipements est identique, l'impact de la transmission des données est bien plus important en cloud gaming (cf. paragraphe précédent). L'impact global du scénario 6 sur le changement climatique varie donc beaucoup en fonction de la définition choisie pour jouer : entre 231 et 366 gCO₂eq par heure de jeu pour le cloud gaming sur console.

Plus généralement, lorsque l'on compare l'impact sur le changement climatique des différents scénarios en prenant en compte la variabilité des résultats, on remarque que les conclusions peuvent changer en fonction du poids du jeu et de la définition vidéo du cloud gaming. Le premier paramètre est d'autant plus important que le cloud gaming peut être privilégié pour jouer à des jeux courts. Il est donc intéressant d'analyser les points de bascule sur l'impact changement climatique des différents scénarios en fonction du temps de jeu total considéré.

Le graphique suivant analyse l'impact changement climatique par UF (jouer 1h à un jeu vidéo) de plusieurs scénarios, selon le temps de jeu total considéré. Ce paramètre est déterminant pour les scénarios sur jeu téléchargé, pour lesquels l'impact du téléchargement du jeu est amorti sur ce temps de jeu total. Sur ce graphique, 3 scénarios sont affichés (jeu sur disque en ligne, jeu téléchargé de 75 Go en ligne, jeu téléchargé de 6 Go en ligne et jeu téléchargé de 120 Go en ligne).

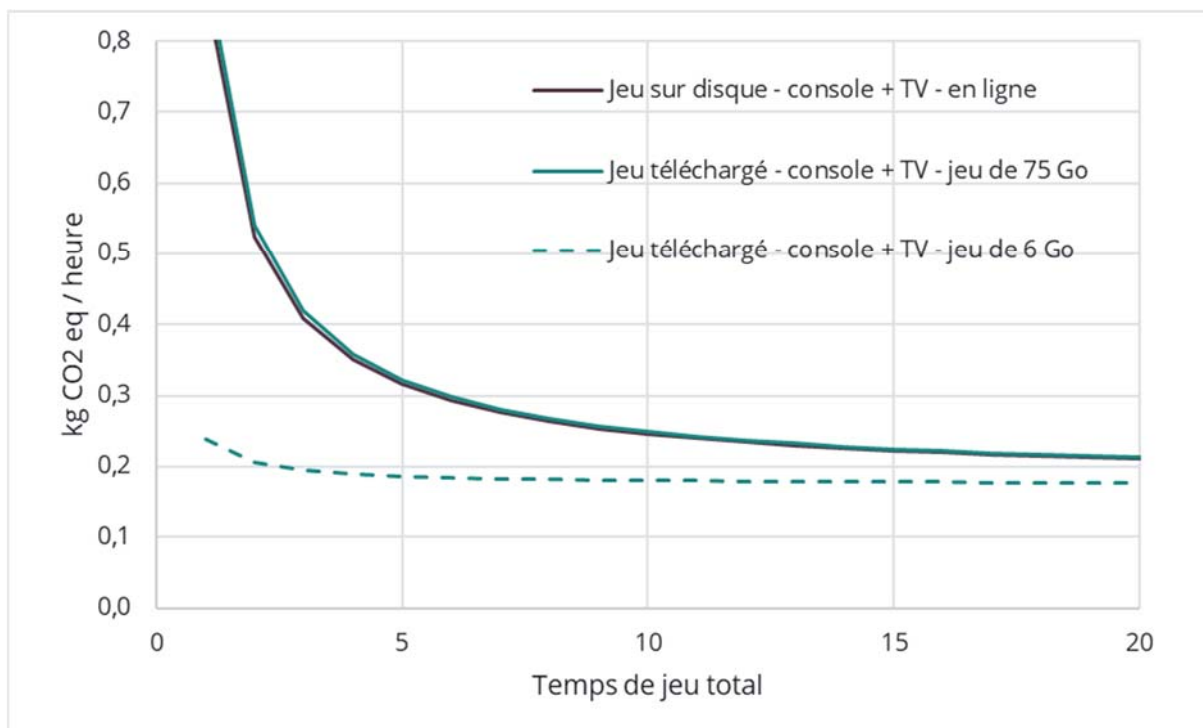


Figure 50 – Comparaison des impacts sur le changement climatique par UF entre le jeu téléchargé (de taille standard 75Go, et de faible taille 6Go) et le jeu sur disque

Le temps de jeu total considéré par défaut sur le scénario « jouer à un jeu vidéo téléchargé sur TV et console » était de 182 heures, pour lequel l'impact changement climatique était de 180 gCO₂eq par heure

de jeu pour le scénario du jeu sur disque, de 175 gCO₂eq et 181g CO₂eq par heure de jeu pour les scénarios de jeu téléchargé sur console et TV avec une taille de jeu de 6 Go et 75 Go, respectivement.

Sur ce graphique il est visible que la taille du jeu est déterminante sur les impacts du changement climatique, pour des temps de jeu faibles. En effet, plus le temps de jeu total considéré est petit, moins l'impact du téléchargement du jeu est amorti (donc impact important). Ainsi, pour un temps total de 10h de jeu, une heure de jeu vidéo sur un jeu téléchargé de 6Go possède un impact 26% plus faible par rapport à une heure de jeu vidéo sur un jeu téléchargé de 75Go. Plus le temps d'utilisation est faible et plus cet écart grandit : pour un temps de 5h de jeu, on obtient -41% de kg CO₂ eq / h et pour 2h de jeu on obtient -61% de kg CO₂ eq / h. A fort temps d'utilisation du jeu, les impacts sont amortis et la différence sur le changement climatique entre l'utilisation d'un jeu de 6Go et d'un jeu de 75Go devient faible.

Le graphique suivant analyse l'impact du changement climatique par UF (jouer 1h à un jeu vidéo) en rajoutant le scénario de cloud gaming sur TV + console.

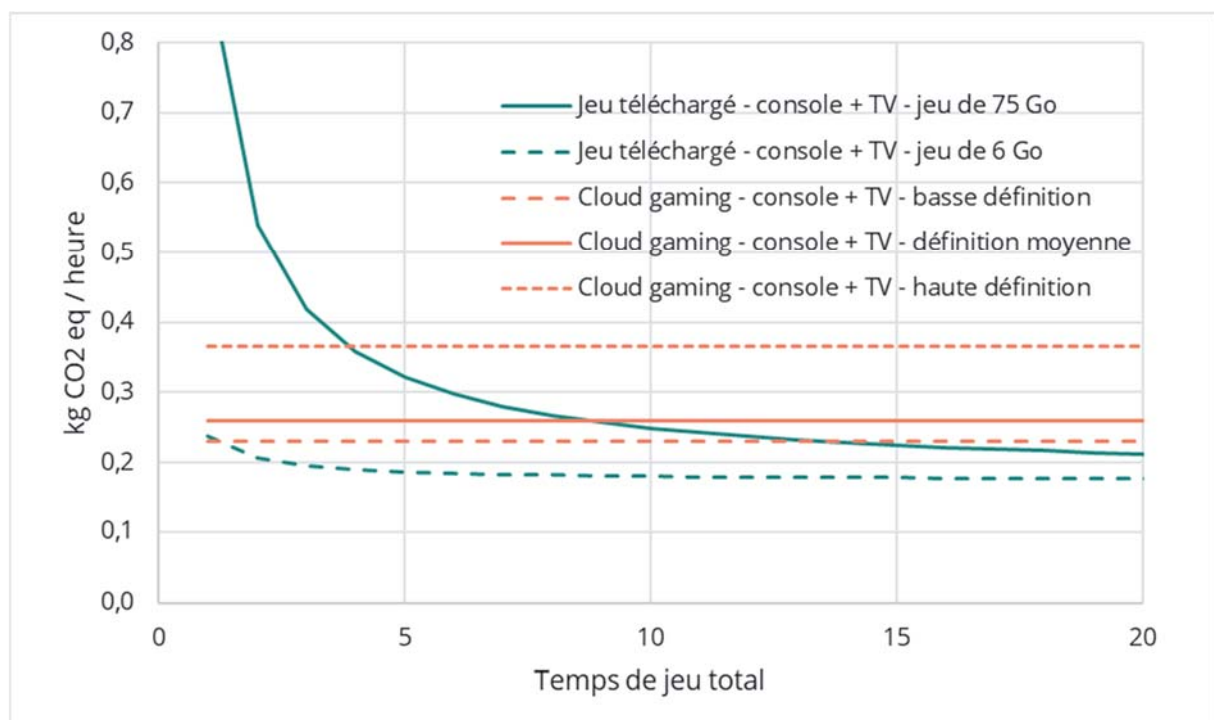


Figure 51 – Comparaison des impacts sur le changement climatique par UF entre le jeu téléchargé (de taille standard 75Go, ou de faible taille 6Go) et le jeu en cloud gaming (selon trois définitions de jeu différentes), selon le temps de jeu total

Sur ce graphique, on observe pour le cloud gaming que plus la définition du jeu est basse et plus l'impact sur le changement climatique est faible (car la consommation de données diminue). L'impact du cloud gaming par heure de jeu ne dépend pas du temps de jeu total, puisque le jeu est « streamé » en permanence.

L'impact du scénario « jouer à un jeu vidéo téléchargé sur TV et console » avec un jeu de 75 Go devient plus important que l'impact du cloud gaming avec les paramètres standards (260 gCO₂eq par heure de jeu) en dessous de 9h de jeu. Il devient plus important que l'impact du cloud gaming en basse définition (231 gCO₂eq par heure de jeu) en dessous de 13h de jeu et plus important que l'impact du cloud gaming en haute définition (366 gCO₂eq par heure de jeu) en dessous de 4h de jeu. Le cloud gaming peut donc s'avérer potentiellement moins impactant par heure de jeu qu'un jeu de 75 Go téléchargé, si le jeu n'est joué que quelques heures.

C'est aussi un avantage qu'offre le service de cloud gaming : pouvoir tester rapidement des jeux, sans avoir besoin de les télécharger préalablement, pour n'y jouer potentiellement que quelques heures. Si des jeux vidéo classiques sont proposés en cloud gaming, des jeux vidéo spécifiques au cloud gaming sont développés. Il s'agit souvent de jeux vidéo plus légers, avec des temps de jeu potentiellement courts.

Il est donc intéressant de comparer le cloud gaming avec un scénario de jeu téléchargé plus léger. En effet, les jeux de l'ordre de 75 Go sont des jeux très complets, pouvant être joués très longtemps. D'autres jeux moins volumiques sont présents sur le marché, allant par exemple jusqu'à 6 Go. Sur ce même graphique, l'impact du scénario « jouer à un jeu vidéo téléchargé sur TV et console » est affiché, en considérant un jeu de 6 Go.

Cette fois-ci, l'impact du scénario « jouer à un jeu vidéo téléchargé sur TV et console » reste inférieur à l'impact du cloud gaming sur TV (même en 720p) quel que soit le temps de jeu total, sauf en dessous de 2h de jeu, où il devient supérieur au cloud gaming en 720p.

4.4.2.3. Zoom sur l'indicateur d'épuisement des ressources minérales et métalliques

Le graphique suivant présente une comparaison des impacts des différents scénarios sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques, en prenant en compte la variabilité des résultats. Afin de rester cohérent avec l'analyse sur le changement climatique, le jeu sur disque hors ligne a été retiré de la comparaison ici.

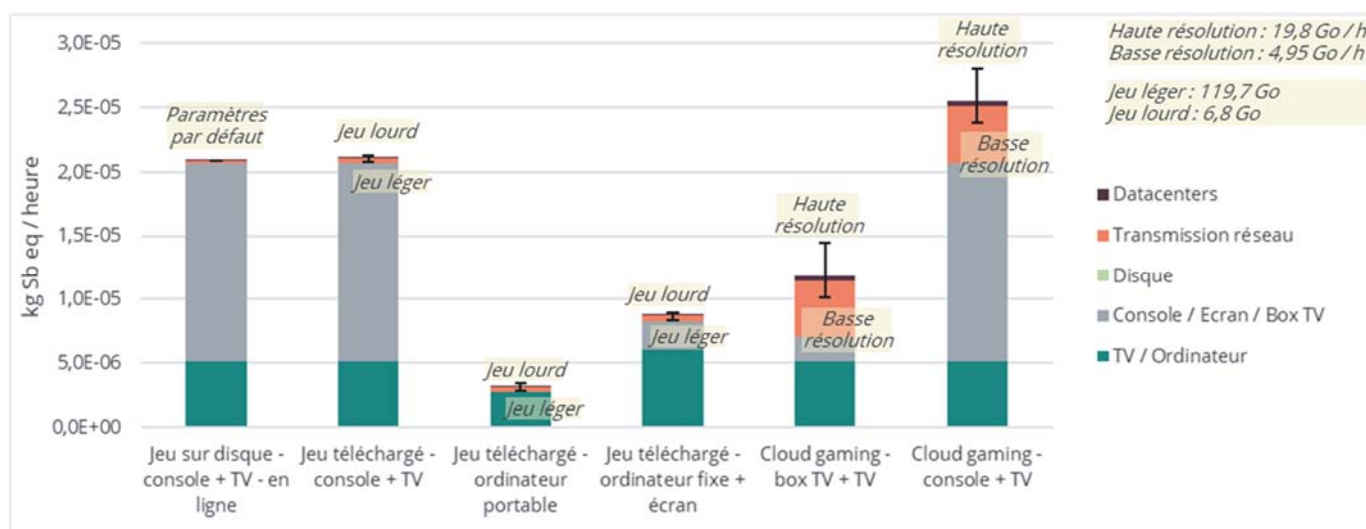


Figure 52 – Comparaison des impacts sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques des scénarios étudiés pour l'UF « jouer 1h à un jeu vidéo en France »²⁷

Entre les deux premiers scénarios avec les paramètres par défaut considérés, les analyses sont similaires à celles sur le changement climatique : les impacts de la console et de la TV restent les mêmes entre les deux (mêmes équipements, mêmes hypothèses d'utilisation). L'impact du disque de jeu sur le premier scénario est légèrement plus faible que l'impact de transmission des données pour le téléchargement du jeu sur le second scénario. Dans les deux cas, ces impacts sont amortis par la durée de jeu total (considérée à 182 h par défaut), et restent donc faibles. Lorsque le poids du jeu est augmenté (ou réduit), les impacts sur la transmission des données varient légèrement l'impact total du scénario du jeu

²⁷ Ce graphique permet d'afficher l'impact absolu sur le changement climatique des différents scénarios à l'étude, ainsi que la variabilité de ces résultats en affichant les résultats des analyses de sensibilité minimum et maximum. Ces barres ne doivent pas être interprétées comme des incertitudes (qui ne sont pas quantifiées ici) mais comme une fourchette de résultat. Le graphique affiche également la contribution des éléments aux impacts de chaque scénario, dans le cas des paramètres par défaut.

téléchargé sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par rapport aux paramètres par défaut (-1% et +0,6%).

Concernant les scénarios 3 et 4 (jeu téléchargé sur ordinateur portable, ou jeu téléchargé sur ordinateur fixe couplé à un écran supplémentaire), encore une fois l'analyse est similaire à celle sur le changement climatique. L'impact de la partie équipement est bien plus faible que pour les deux premiers scénarios. L'ajout d'un écran fait augmenter l'impact sur le scénario 4, mais cela reste bien plus faible que l'impact des deux premiers scénarios avec console. L'impact de téléchargement du jeu est le même que sur le scénario 2, et dépend tout autant du poids du jeu.

Pour le scénario 6, l'analyse est similaire à celle du changement climatique et même avec la variation des paramètres, ce scénario reste le plus impactant par rapport à tous les autres sur l'indicateur d'épuisement des ressources minérales et métalliques.

Pour le scénario 5, les conclusions diffèrent légèrement du changement climatique. En effet, même si l'utilisation des équipements (box TV + TV) dans ce scénario présente des impacts sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques bien moindres que l'utilisation d'une console couplée à une TV, peu importe la résolution du jeu choisie les impacts de ce scénario resteront inférieurs aux scénarios utilisant une console couplée à une TV. Ceci s'explique par le fait que cet indicateur est très sensible à l'utilisation de ressources qui provient généralement de l'utilisation d'équipements. Plus les équipements utilisés sont nombreux et complexes et plus les impacts sur cet indicateur sont élevés. Au contraire, pour les réseaux et les datacenters cet indicateur est moins sensible que le changement climatique (très dépendant aux variations de consommation d'énergie, directement liées aux variations de consommation des données).

De fait, cette analyse montre qu'il est intéressant de mener des études **multicritères** afin de bien prendre en compte tous les enjeux liés à l'environnement et de bien mettre en avant que la recommandation de leviers de réduction d'impacts sur certains indicateurs ne se fait pas sans effet rebond sur d'autres indicateurs.

Le graphique suivant analyse l'impact d'épuisement des ressources minérales et métalliques par UF (jouer 1h à un jeu vidéo) de plusieurs scénarios, selon le temps de jeu total considéré. Ce paramètre est déterminant pour les scénarios sur jeu téléchargé, pour lesquels l'impact du téléchargement du jeu est amorti sur ce temps de jeu total. Sur ce graphique, 3 scénarios sont affichés (jeu sur disque en ligne, jeu téléchargé de 75 Go en ligne et jeu téléchargé de 6 Go en ligne).

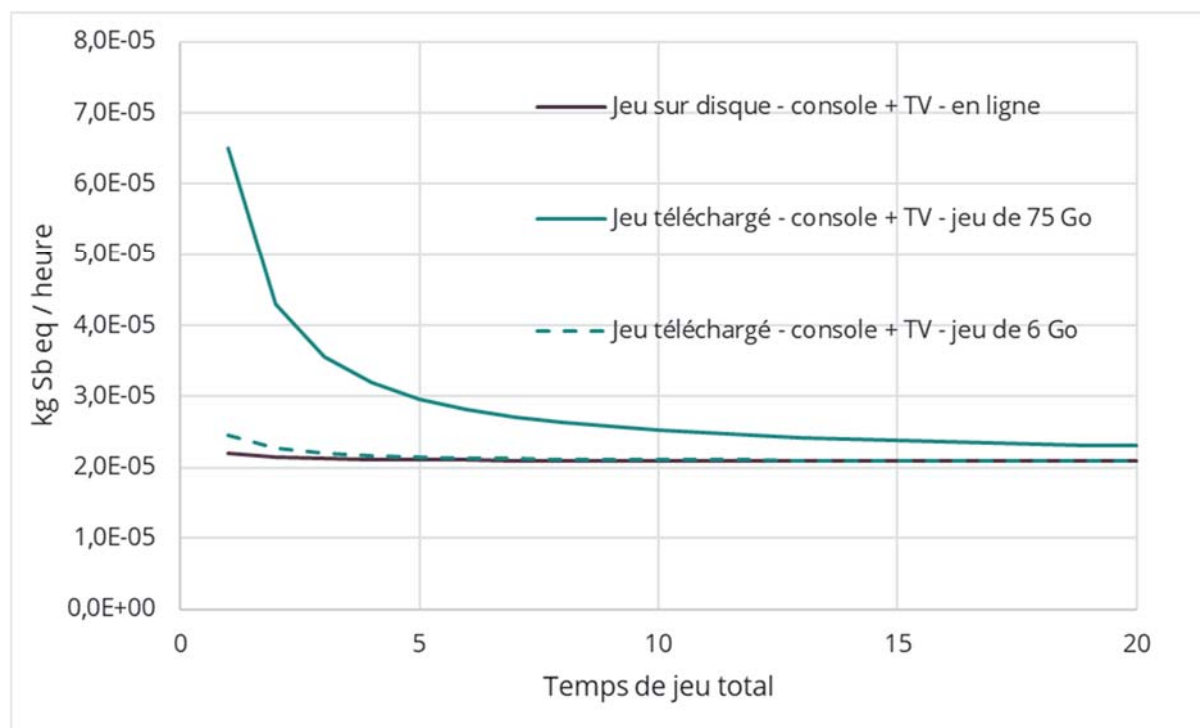


Figure 53 – Comparaison des impacts sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par UF entre le jeu téléchargé (de taille standard 75Go et de faible taille 6Go) et le jeu sur disque

Le temps de jeu total considéré par défaut sur le scénario « jouer à un jeu vidéo téléchargé sur TV et console » était de 182h.

Sur ce graphique on retrouve le fait que le poids du jeu est déterminant sur les impacts d'épuisement des ressources minérales et métalliques, pour des temps de jeu faibles. En effet, plus le temps de jeu total considéré est petit, moins l'impact du téléchargement du jeu est amorti (donc impact important). Ainsi, pour un temps de 10h de jeu, une heure de jeu vidéo sur un jeu téléchargé de 6Go permet de réduire de 16% ses impacts par rapport à une heure de jeu vidéo sur un jeu téléchargé de 75Go. Plus le temps d'utilisation est faible et plus cet écart grandit : pour un temps total de 5h de jeu, on obtient -27% de kg Sb eq / h et pour un temps total de 2h de jeu on obtient -47% de kg Sb eq / h. Si on considère des temps totaux d'utilisation du jeu plus grands, les impacts sont amortis et la différence sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques entre l'utilisation d'un jeu de 6Go et d'un jeu de 75Go devient faible.

Le graphique suivant analyse l'impact de l'épuisement des ressources minérales et métalliques par UF (jouer 1h à un jeu vidéo) en rajoutant le scénario de cloud gaming sur TV + console.

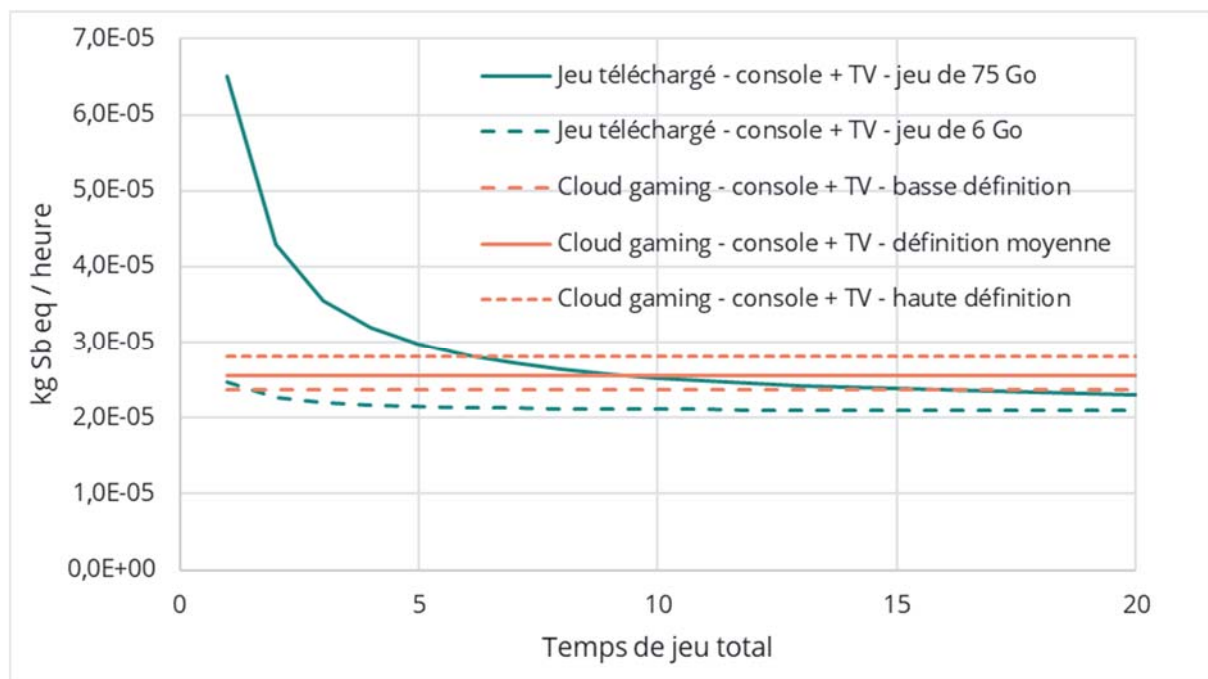


Figure 54 – Comparaison des impacts sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par UF entre le jeu téléchargé (de taille standard 75Go et de faible taille 6Go) et le jeu en cloud gaming (selon trois définitions vidéo différentes), selon le temps de jeu total

Sur ce graphique, on observe pour le cloud gaming que tout comme pour le changement climatique, plus la définition du jeu est basse et plus l'impact sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques est faible (car la consommation de données diminue). Toutefois cette différence est moins importante ici,

cet indicateur étant moins sensible à la variation de consommations de données par rapport au changement climatique (15% de différence entre le scénario basse définition et haute définition sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques vs 37% de différence sur le changement climatique). Ici encore, l'impact du cloud gaming ne dépend pas du temps de jeu total, puisque le jeu est « streamé » en permanence.

L'impact du scénario « jouer à un jeu vidéo téléchargé sur TV et console » avec un jeu de 75 Go devient plus important que l'impact du cloud gaming avec les paramètres standards en dessous de 10h de jeu (contre 9h pour le CC). Il devient plus important que l'impact du cloud gaming en basse définition en dessous de 15h de jeu (contre 13h pour le CC) et plus important que l'impact du cloud gaming en haute définition en dessous de 6h de jeu (contre 4h pour le CC). Le cloud gaming peut donc s'avérer potentiellement moins impactant par heure de jeu qu'un jeu de 75 Go téléchargé, si le jeu n'est joué que quelques heures.

Cette conclusion étant identique à celle du changement climatique, il est donc également intéressant avec cet indicateur de comparer le cloud gaming avec un scénario de jeu téléchargé plus léger. Sur ce même graphique, l'impact du scénario « jouer à un jeu vidéo téléchargé sur TV et console » est affiché, en considérant un jeu de 6 Go.

Cette fois-ci, l'impact du scénario « jouer à un jeu vidéo téléchargé sur TV et console » reste inférieur à l'impact du cloud gaming sur TV (même en 720p) quel que soit le temps de jeu total, sauf en dessous de 2h de jeu, où il devient supérieur au cloud gaming en 720p (même conclusion que pour le changement climatique).

4.5. CONCLUSIONS

L'évaluation environnementale du service « jouer à un jeu vidéo » a été réalisée selon différents scénarios afin de prendre en compte plusieurs usages du jeu vidéo : jouer sur un jeu au format disque, jouer sur un jeu téléchargé, ou jouer sur un service de cloud gaming.

L'analyse a montré tout d'abord que les impacts des équipements utilisateurs étaient significatifs (TV, console, ordinateur fixe ou portable, écran d'ordinateur inclus dans cette étude). La console contribue majoritairement aux impacts sur les scénarios l'utilisant. Dans les scénarios utilisant un ordinateur portable, les impacts sont plus faibles : au lieu d'une TV et d'une console, seul un ordinateur est nécessaire, avec des impacts par heure de jeu proche de la TV. Cependant, l'ordinateur portable et l'ordinateur fixe pris en compte dans cette étude, par manque de données, ne sont potentiellement pas représentatifs d'ordinateurs adaptés aux jeux vidéo gourmand en puissance de calcul. Sur le cloud gaming, la console n'est plus nécessaire : au lieu d'une TV et d'une console, l'utilisateur peut se contenter uniquement d'une TV et d'une box TV. Un scénario prend également en compte la situation où une console reste utilisée pour l'accès au service de cloud gaming, bien que sa puissance de calcul ne soit pas requise. Ainsi, quand l'utilisateur se passe de la console, l'impact des équipements sur les scénarios de cloud gaming est bien réduit.

L'analyse a également montré que l'impact du disque sur les scénarios dits physiques restait faible si celui-ci était amorti sur un long temps de jeu (par défaut 182h). Il peut être prépondérant dans l'impact par heure de jeu si le temps de jeu total descend à 6h. On observe la même chose concernant l'impact du téléchargement du jeu sur les scénarios sur jeu téléchargé. Cet impact reste néanmoins plus important que l'impact d'un disque, à temps de jeu total équivalent, et avec une hypothèse de 77 Go de jeu.

Concernant la contribution de la transmission des données et datacenters pour le jeu en ligne (sur les scénarios sur disque ou sur jeu téléchargé), celui-ci reste limité par rapport à l'impact du disque ou du téléchargement du jeu.

La transmission des données et les datacenters pour les scénarios cloud gaming, en revanche, représente des impacts très importants sur tous les indicateurs étudiés, avec les hypothèses de modélisation de cette étude (allocation par Go de l'impact des réseaux). En effet, la consommation de données est bien plus grande que pour le jeu en ligne. Les impacts du réseau fixe proviennent notamment de la box d'accès internet nécessaire.

Les résultats des scénarios sur disque ou sur jeu téléchargé sont très dépendants du temps de jeu total considéré, tandis que le cloud gaming possède le même impact quel que soit le temps de jeu, comme le jeu est « streamé » en permanence. Une analyse des points de bascule sur l'impact changement climatique selon le temps de jeu total considéré a montré que le cloud gaming peut donc s'avérer potentiellement moins impactant par heure de jeu qu'un jeu téléchargé, si le jeu n'est joué que quelques heures (en dessous de 6h) et qu'il a un volume conséquent (77 Go considéré par défaut). Néanmoins, pour un jeu plus léger (6 Go), le point de bascule se situe cette fois-ci à 1,5h de temps de jeu total.

L'évaluation environnementale de ce service culturel selon les différents scénarios comportent plusieurs limites qu'il convient de rappeler :

- 0 Comme discuté tout le long de ce rapport, les intensités d'usage retenues par équipement sont déterminantes sur les résultats présentés. Sur le service « jouer à un jeu vidéo », une partie significative des impacts provient de la fabrication des équipements, notamment sur les scénarios hors cloud gaming (console, disque, télévision, ordinateur, écran), tandis que l'utilisation des équipements a une contribution plus faible. L'amortissement de la fabrication des équipements dépend avant tout des hypothèses d'intensité d'usage. Il faut donc être conscient de la variabilité des résultats de cette étude en fonction des hypothèses de base.
- 0 Les impacts des réseaux fixes et mobiles sont alloués par Go de données transférés. Cependant, la consommation d'énergie des réseaux n'est pas nécessairement proportionnelle au nombre de Go transférés, et ce résultat dépend donc beaucoup de la méthode et des hypothèses d'allocation considérées (ADEME et ARCEP 2022). D'autres méthodes existent (Fletcher et al. 2021) mais n'ont pas été étudiées dans ce rapport.
- 0 Le focus principal de cette étude étant la console fixe, les scénarios avec ordinateurs portables ou fixes viennent plutôt en analyses complémentaires. Cet exercice n'a donc pas été réalisé sur les scénarios avec disque mais seulement sur les scénarios en download ou cloud gaming. Il a

également été décidé de ne pas étudier la console portable. Toutefois il faut garder à l'esprit que ces scénarios existent et pourraient entraîner des conclusions différentes.

Malgré ces limites, l'étude de ce service permet toutefois d'améliorer la connaissance et la compréhension de ses impacts environnementaux et les résultats présentés dans cette étude doivent être interprétés en connaissance de ces limites.

5. LIMITES DE L'ETUDE

Les limites suivantes à cette étude ont été identifiées :

- **Difficulté à collecter des données primaires auprès des fournisseurs de services** : malgré la participation active de certains fournisseurs de services numériques, la collecte de données s'est révélée difficile, pour plusieurs raisons. Les fournisseurs peuvent avoir accès à de nombreuses informations précises, et spécifiques sur les profils utilisateurs mais il leur est difficile de traiter et d'agréger ces données, pour obtenir des informations plus générales à tous les utilisateurs d'un service donné, à l'échelle de la France. Les informations sont souvent diluées au sein de plusieurs équipes et cela demande un travail de coordination important. Nous avons obtenu peu de donnée spécifique sur les profils utilisateurs, et avons principalement utilisé des données de la littérature.
- **Complexité de la chaîne de valeur et opacité de certains maillons** : de nombreuses informations ne sont pas dans le périmètre direct de ces fournisseurs de service (beaucoup d'activités externalisés, comme l'hébergement). Par ailleurs, il existe une certaine opacité à certains maillons de la chaîne de valeurs (tiers), notamment pour les datacenters, les CDN et le cloud. La consommation d'électricité est souvent communiquée mais de nombreux équipementiers ne communiquent pas sur l'impact environnemental lors de la fabrication. Les données NegaOctet ont permis de connaître les impacts sur le cycle de vie de différents types de serveurs, mais il a été difficile de connaître le type et le nombre de serveurs nécessaires selon les services numériques. Pour le streaming audio et vidéo, les datacenters ont été modélisés de la même façon que pour le simple transfert de fichier par manque de donnée.
- **Variabilité des scénarios d'usage, entraînant une forte variabilité des résultats** : la fabrication des terminaux et infrastructures réseaux et datacenters contribuent de façon significative aux impacts environnementaux du numérique. Lors d'une analyse de cycle de vie, ces impacts « embarqués » sont souvent amortis selon différents paramètres (temps total d'utilisation, volume de données transférées sur le réseau, etc.). Etant donné la variabilité des scénarios d'usage (durée de vie des équipements, intensité d'usage des équipements et des réseaux), cela entraîne une forte variabilité des résultats. Certaines analyses de sensibilité effectuées dans cette étude permettent néanmoins de mieux appréhender cette variabilité (exemple : durée d'usage du CD, du DVD, de la liseuse numérique, etc.).
- **Données du secteur des TIC très vite obsolètes** : de nombreuses données structurantes et hypothèses du secteur du numérique (rigoureusement des TIC) ont été utilisées dans le cadre de cette étude. Toutefois, une des particularités de ce secteur est qu'il évolue beaucoup plus vite que d'autres secteurs avec des ruptures technologiques régulières. Ainsi, certaines données utilisées, que ce soit des données de marché ou des données environnementales peuvent être très rapidement obsolètes d'où une vigilance à avoir quant à l'analyse des résultats obtenus. Les travaux de l'ADEME et de l'ARCEP, notamment l'élaboration des PCR (Product Category Rules) doivent permettre une harmonisation des approches et l'obtention de données environnementales plus récentes et surtout transparentes ;
- **Profils réels d'utilisation** : il a parfois été difficile de s'assurer que les hypothèses d'utilisation considérées reflètent des profils réels d'utilisation de ces services numériques. Certains services numériques comme le cloud gaming sont aujourd'hui assez mineurs sur le marché, or ils ont vocation à devenir de plus en plus importants à l'avenir. A l'inverse, certains services numériques considérés, dits « historiques » et par abus de langage « services physiques » sont aujourd'hui marginaux même s'ils ont été majeurs ces dernières décennies ;
- **Incertitudes sur les données d'entrées et les données environnementales** : Cette variabilité entraîne des incertitudes sur les données d'entrées de l'évaluation environnementale, auxquelles s'ajoute des incertitudes sur les données environnementales permettant de traduire des flux en impacts environnementaux. Certains indicateurs sont robustes avec un niveau de confiance important (comme le changement climatique), mais d'autres sont plus difficile à caractériser et associés à des incertitudes plus importantes (comme l'écotoxicité ou les ressources).
- **Mutualisation des équipements** : l'unité fonctionnelle considérée dans cette étude ne permet pas de considérer la mutualisation des équipements. En effet, en réalité, un film peut être visionné pendant une heure en famille ou seul devant son PC dans une chambre : l'impact n'est pas du tout le même, et dans le premier cas, l'impact par personne devra être divisé par le nombre de personnes visionnant ce film. C'est un paramètre important permettant de réduire l'impact environnemental global de la consommation de ces services numériques. Par ailleurs,

la mutualisation des box internet dans un immeuble permettrait de réduire l'impact environnemental lié à la fabrication de ces dernières ;

- **Effet rebond** : l'unité fonctionnelle considérée ne permet pas de caractériser l'impact de l'effet rebond au global relatif à la consommation de services numériques. En effet, si le service numérique « récent » est potentiellement moins impactant qu'un service numérique « historique », il pourrait être bien plus consommé malgré un gain significatif sur un indicateur environnemental en particulier. Par exemple, si la performance énergétique des data centers est indéniable, la consommation de données est croissante à l'échelle mondiale : ainsi, il se pourrait que la consommation de certains services numériques (comme le streaming vidéo, le streaming audio ou le cloud gaming) puissent au global avoir une consommation énergétique croissante à la suite d'une consommation de données toujours plus importante. Ce concept « d'effet rebond » est détaillé en conclusion ;
- **Temporalité de l'utilisation des services numériques** : l'heure à laquelle ces services numériques sont utilisés n'a pas été modélisée dans l'étude. Ainsi, que l'utilisateur regarde un film lors d'un pic d'appel de consommation électrique (pic de puissance) le soir (entre 18h et 22h selon EDF) ou qu'il le fasse en milieu d'après-midi, cela n'a pas d'impact ici sur la modélisation. Dans la réalité, consommer ces services numériques en pointe de consommation engendre davantage d'utilisation de moyens carbonés (comme des centrales électriques fossiles) ;
- **Impacts positifs liés aux usages numériques** : l'approche utilisée étant celle de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), les potentiels impacts positifs liés à l'usage de certains services culturels numériques n'ont pas été étudiés. Par exemple, le Ministère de la Culture fait le lien entre transition écologique et numérique pour les activités culturelles : l'écoute de musique ou le visionnage de films en streaming permet-il par exemple de réduire les déplacements à des concerts ou à des cinémas ? Il conviendrait d'utiliser des méthodes d'analyse d'un scénario de référence à un scénario avec ce service de numérique, pour établir des cas d'usage et avoir une analyse systémique pour estimer les gains au global.
- **Méthodologie d'allocation des impacts des réseaux** : Dans cette étude, une allocation par Go transféré a été utilisée pour déterminer les impacts des réseaux fixes et mobiles. Comme détaillé dans le rapport ADEME-ARCEP (ADEME et ARCEP 2022), les impacts des réseaux fixes et mobiles ne sont pas directement proportionnels au nombre de Go transférés. Les résultats de ce type d'étude dépendent donc de la méthode et des hypothèses d'allocation considérées. En particulier, la consommation d'énergie sur le réseau fixe augmente peu avec le débit sur la ligne (consommation de la box internet en veille proche de la consommation active). En considérant une allocation par Go du réseau fixe, cela revient à considérer une relation linéaire entre la consommation d'énergie et le débit, ce qui constitue une limite importante de l'étude. D'autres méthodes existent pour allouer la consommation d'énergie du réseau (Fletcher et al. 2021) mais n'ont pas été étudiées dans ce rapport. Concernant les étapes de fabrication et fin de vie des infrastructures réseaux, le dimensionnement des réseaux dépend surtout du pic de consommation au cours de la journée (instant où le débit de données transitant sur le réseau est au plus haut). En considérant une allocation par Go transféré, cela revient à considérer que les réseaux sont dimensionnés selon le volume total de données transitant. Il s'agit là aussi d'une limite de cette étude, et une approche intégrant cette notion de pic de consommation serait nécessaire pour mieux estimer les impacts environnementaux des services numériques. Ces biais méthodologiques induisent une sensibilité importante des résultats aux débits binaires requis par les services numériques. Cependant, il est probable qu'une augmentation du volume de données transférées s'accompagne d'une augmentation des impacts des réseaux, notamment en ce qui concerne leur redimensionnement. En l'état actuel des connaissances, le message qui ressort de ces analyses reste donc pertinent. A l'inverse, les impacts engendrés par l'augmentation des résolutions disponibles sont potentiellement sous-estimés par le fait que l'effet rebond sur les équipements n'a pas été pris en compte dans cette étude. A titre d'exemple, l'impact carbone de la fabrication d'une TV OLED de 53 pouces est plus de 4 fois plus élevé qu'une TV LCD 45 pouces (données NegaOctet). La consommation d'énergie a également tendance à augmenter : d'après une étude du Natural Resources Defense Council (NRDC), aux Etats-Unis, les TV au format UHD (4K) consomment en moyenne 30% de plus que celles au format HD²⁸.

²⁸ <https://www.nrdc.org/experts/noah-horowitz/shifting-ultra-high-def-tvs-could-add-1-billion-viewers-annual-energy-bills>

6. CONCLUSIONS DE L'ETUDE / PERSPECTIVES

6.1. Messages-clés à retenir

L'ACV des services culturels permet malgré les limites identifiées d'apporter des enseignements importants à travers les résultats d'impact environnemental de ces derniers. Surtout, les résultats obtenus sont cohérents, en matière d'ordres de grandeur, avec les autres études sur l'impact environnemental numérique. Principalement, en France et hors cas particuliers, c'est la fabrication des équipements qui représente la part la plus importante de l'impact, pour la majorité des indicateurs environnementaux. Ensuite, l'impact de la transmission et du stockage des données est important pour les services culturels de haute résolution se basant sur le streaming.

Voici les principaux messages-clés à retenir de cette étude :

- Les services culturels « numériques » récents sont tout aussi physiques que les services culturels « physiques » historiques : ces services ont besoin d'équipements utilisateurs, d'infrastructures réseaux et de data centers pour pouvoir fonctionner. La matérialité « cachée » est donc tout aussi importante : il n'y a pas eu de « dématérialisation » des impacts mais seulement une digitalisation de certains usages qui étaient « physiques », au sens où un support physique permettait de stocker et lire le contenu (livre, CD, DVD...);
- Les services culturels « numériques » récents peuvent être moins impactants que les services culturels « physiques » historiques sous certaines conditions liées aux manières d'utiliser ces services (ex : nombre de romans achetés pour une liseuse, volume du jeu vidéo, temps de jeu, etc.). Au contraire, certains types d'usages peuvent mener à des impacts environnementaux assez importants pour certains services numériques en comparaison aux services « physiques » : type de réseau internet utilisé (fixe ou mobile), type d'équipement utilisateur permettant d'avoir accès au service (ex : smartphone, PC, tablette, ...), etc. ;
- De manière générale, les services culturels numériques peuvent amener à avoir besoin de davantage d'équipements que pour les services physiques. Cela a pu se vérifier pour l'écoute de musique en streaming ou le jeu vidéo. Ainsi, la numérisation des services culturels peut amener à un suréquipement, et donc à des usages plus gourmands en équipements utilisateurs ;
- Les résultats dépendent fortement des hypothèses de durée de vie des équipements : plus ces derniers durent dans le temps, plus l'impact de la phase de fabrication des services numériques consommés est amortie. Par ailleurs, l'utilisation d'équipements reconditionnés et/ou d'occasion permet aussi d'amortir l'impact. Pour le scénario étudié, l'impact de la phase de fabrication est donc plus faible ;
- Ainsi, la question « l'impact des services numériques sont-ils plus faibles que les services physiques ? » ne peut être posée : il est plus pertinent en conclusion de cette étude d'analyser la sensibilité des déterminants de ces impacts. Cela permet de comparer plusieurs scénarios d'utilisation des services numériques. De manière générale, les services numériques peuvent être moins impactants que les services physiques puisqu'utilisés sur des équipements plus petits (smartphone vs chaîne hi-fi ou PC). Un raisonnement « au global », dépassant le cadre de cette ACV et l'unité fonctionnelle définie, serait plus intéressant pour en déduire des leviers d'actions systémiques.

Enfin, il convient de lier les résultats de cette étude à des pratiques usuelles du quotidien. Le « français moyen » n'existe pas, il est important de caractériser plusieurs profils d'utilisation des services culturels numériques, afin de bien appréhender les différents leviers d'actions qui existent, que ce soit à l'échelle individuelle, collective, des entreprises et des décideurs politiques. L'approche utilisée ici, qui considère plusieurs scénarios d'utilisation et qui s'appuie sur des analyses de sensibilité, permet d'établir d'autres constats :

- **Mutualisation des équipements** : la mutualisation des équipements permettant d'avoir accès aux services numériques permet de diviser l'impact environnemental par personne. Par exemple, il vaut mieux regarder un film pendant une heure en streaming vidéo en famille de 4 personnes sur un même écran, plutôt que de regarder ce même film de manière isolée chacun sur son écran. Ce paramètre influe également sur le taux d'équipement par personne : il est plus intéressant de partager un même matériel dans une même famille plutôt que de l'avoir chacun et chacune de manière individuelle, quand cela est possible.

- **Lieu d'utilisation des services** : la consommation de services numériques dans des lieux où le réseau fixe n'est pas accessible en Wi-Fi engendre une consommation énergétique plus forte due à l'utilisation du réseau mobile. Par exemple, regarder une vidéo d'une certaine résolution pendant 5mn en 4G dans les transports en commun est plus impactant que de la regarder la même vidéo avec la même résolution à la maison en Wi-Fi connecté au réseau fixe comme la fibre optique.

Les bonnes pratiques liées à différentes personae types de foyer sont définis dans la section suivante.

6.2. Focus sur l'effet rebond

L'effet rebond décrit le fait que chaque innovation devant conduire à des économies (économique, énergétique, de matériaux, etc.) s'accompagnent d'une augmentation de la consommation contrebalançant l'effet positif des améliorations.

Le paradoxe de Jevons en référence à William Stanley Jevons, un économiste britannique du 19ème siècle, est un cas particulier de l'effet rebond, impliquant un rebond supérieur aux économies d'efficacité (effet backfire) et donc une consommation ou un impact après efficacité supérieur à la situation initiale.

L'effet rebond est généralement divisé en trois catégories :

- **Effet rebond direct** : apparaît lorsque le prix et/ou l'impact d'un produit diminuent induisant une augmentation de la consommation de ce produit et donc de l'impact global. Par exemple, le prix de consommation de 1 Go de données est divisé par deux, il est donc possible de consommer deux fois plus de données pour le même prix. La consommation augmente et le prix payé reste constant :
- **Effet rebond indirect** : apparaît lorsque le prix d'un produit diminue, ouvrant la possibilité d'acheter de nouveaux produits, induisant un impact global amoindri. Par exemple, si le prix de l'essence diminue, les individus peuvent économiser de l'argent qu'ils peuvent utiliser pour acheter un logement plus grand :
- **Effet rebond structurel** : apparaît lorsque le prix ou l'impact d'un produit induit des changements structurels des modes de production et de consommation. Par exemple, le développement du télétravail permet la réduction des trajets domicile-travail. Cette modification peut encourager une partie de la population à déménager dans un environnement plus rural et donc être plus dépendant des trajets en voiture, ce qui peut au final contrebalancer les avantages initiaux.

L'étude utilisant une approche ACV précédemment décrite ne permet pas de prendre en compte l'effet rebond. En effet, par définition, les unités fonctionnelles utilisées dans l'ACV se basent sur une utilisation constante du service. Elles ne prennent donc pas en compte une quelconque augmentation de consommation. Chaque secteur étudié peut présenter ainsi des effets rebond de nature et d'amplitude différentes (par exemple, grâce à la démocratisation d'un service culturel numérique et le fait que son impact unitaire environnemental diminue dans le temps).

Voici quelques illustrations possibles pour les services culturels étudiés :

- **Liseuse numérique** : Concernant la digitalisation de la lecture des livres, il est imaginable que le développement de la liseuse induise une consommation plus importante de livres du fait de la facilité d'accès et de la flexibilité de lecture.
- **Streaming musical** : Le passage à une écoute de la musique en ligne par rapport au CD permet d'avoir un accès à un plus grand choix de musique et ne nécessite pas de transporter de matériel supplémentaire. Du fait de cette nouvelle technologie, il est donc maintenant possible d'écouter tout type de musique à tout moment de la journée à la seule condition d'avoir un support multimédia (ordinateur, tablette, smartphone, etc.) avec un accès internet. Du fait de ces possibilités plus variées, le temps d'écoute peut donc augmenter tout comme le nombre de titres écoutés intégralement, partiellement ou pas du tout, ce qui contribue à augmenter la consommation de données transmises. Il est aussi plus facile de partager des nouvelles musiques avec ses proches, conduisant aussi potentiellement à une augmentation du temps d'écoute. Il est aussi possible d'écouter de la musique sur son smartphone en 4G ou 5G, dont les intensités énergétiques sont plus importantes qu'avec une connexion en réseau fixe (comme pour la fibre optique).

- **Streaming vidéo** : Le développement des plateformes de visionnage de films et de séries en ligne permet aussi d'avoir un accès à des contenus plus importants et diversifiés. Cela peut conduire à un visionnage de plus de contenus avec une attention plus faible. On peut notamment penser au visionnage de séries ou de films en parallèle d'autres activités comme la cuisine. Du fait de la forte disponibilité de contenu, de nouvelles pratiques apparaissent pouvant conduire à une augmentation du temps passé à visionner des films ou des séries (*binge watching*). L'usage des vidéos a aussi fortement changé au travers des réseaux sociaux tels que Tik Tok, Instagram, Twitter ou Facebook. Ces plateformes proposent le visionnage et la publication de vidéos courtes, un usage équivalent grâce à des CD ou des DVDs n'est pas possible. Enfin la résolution des films et séries a elle aussi tendance à augmenter, passant du Full HD en 1080p au UHD en 4K, augmentant ainsi la consommation de données associée.
- **Cloud gaming** : Le développement des jeux vidéo sur le cloud permet de découvrir une multitude de jeux vidéo. Cette disponibilité des jeux vidéo peut conduire à une augmentation du temps passé à jouer aux jeux vidéo. Il est en de même pour le streaming vidéo : la résolution des jeux vidéo et le nombre d'images par seconde ont tendance à augmenter, augmentant ainsi la consommation de données associée. De plus, la possibilité de jouer en ligne permet d'avoir accès à un univers de jeux plus important (pas de limite liée à l'espace de stockage du Blu-ray) mais aussi de jouer en ligne en multi-joueurs.

6.2.1. Illustration de l'effet rebond entre le visionnage de DVD et le visionnage de vidéos sur internet, de 2012 à 2020

Le service « regarder un film » est un bon exemple pour illustrer cette notion d'effet rebond. Les résultats de l'ACV sur ce service ont montré que les impacts sont globalement plus faibles par heure de visionnage sur les scénarios numériques, par rapport aux scénarios physique de visionnage sur DVD. Au premier abord, il semble donc que la substitution du service physique par le service numérique (tendance structurelle depuis plusieurs années) s'accompagne donc d'une diminution de l'impact globale de ce service culturel. Cependant, le volume de consommation globale de ce service n'est pas constant. C'est un phénomène d'effet rebond : la digitalisation de ce service a également entraîné une augmentation du volume de consommation. La question est de savoir si cela vient dépasser les gains d'efficacité permis par la digitalisation ou non.

Il est très difficile de répondre à cette question, et une étude plus poussée serait nécessaire, afin notamment de collecter des données robustes sur les volumes de consommation et de définir rigoureusement le périmètre de comparaison. Ici, un simple calcul en ordre de grandeur est proposé pour illustrer ce phénomène, mais ces résultats ne doivent en aucun cas être réutilisés. Par simplicité, ce calcul se concentre sur l'impact sur le changement climatique (empreinte carbone).

L'objectif de ce calcul illustratif est d'estimer l'évolution de l'empreinte carbone globale liée au visionnage de DVD et de vidéos en ligne en France entre 2012 et 2020. Pour ce type de problématique, la définition du périmètre est importante : il est important de se poser la question de ce qui est substitué par la digitalisation d'un service (visionnage sur DVD uniquement, ou autres services, comme la télévision ?). Le périmètre défini pour ce calcul illustratif est donc imparfait, cependant des données facilement accessibles ont motivé ce choix :

- Volume de vente de DVD (en nombre de disque) en France entre 2012 et 2020²⁹
 - 2012 : 105,9 millions
 - 2020 : 53,2 millions
- Nombre d'heure de visionnage de vidéo (vidéos, films ou programmes audiovisuels) sur internet par personne et par semaine, en 2012 et 2020³⁰
 - 2012 : 1,5 heures par semaine par personne
 - 2020 : 6,3 heures par semaine par personne

²⁹ <https://fr.statista.com/statistiques/499670/vente-dvd-france/>. La donnée pour 2020 a été extrapolé de façon linéaire à partir de l'évolution 2012-2018

³⁰ <https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffrees/barometre-du-numerique/le-barometre-du-numerique.html>.

Pour convertir les données de vente de DVD en volume de visionnage globale en France, l'hypothèse est faite que chaque DVD est utilisé en moyenne à 4 répétitions (hypothèse haute dans l'étude ACV de ce service). Les données de nombre d'heure par personne sont multipliées par la population concernées (12 ans et plus, 54,7 millions de personnes) et par le nombre de semaine. On obtient les volumes de visionnage suivant :

- 2012 : 847,7 millions d'heures sur DVD ; 4 270 millions d'heures de vidéos en ligne
- 2020 : 365 millions d'heures sur DVD ; 17 937 millions d'heure de vidéos en ligne

Avec ces données, on observe que tandis que le nombre d'heure sur DVD a été divisé par 2,3, celui sur les vidéos en ligne a été multiplié par 4,2.

Ensuite, on utilise les résultats de l'ACV sur le service « regarder un film » : 220 gCO₂eq/heure pour le visionnage sur DVD, et 64 gCO₂eq/heure pour le visionnage de vidéos en ligne (moyenne des 3 scénarios sur TV, ordinateur et smartphone). Ces résultats, valable pour 2020, sont également utilisés pour 2012. A nouveau, l'application de ces résultats à ce cas d'étude peut être discutée, c'est pourquoi les résultats de ce calcul illustratif ne doivent en aucun cas être réutilisés.

En multipliant les volumes visionnage par les impacts par heure de visionnage, on obtient les résultats suivants sur l'empreinte carbone globale liée au visionnage de DVD et de vidéos en ligne en France, entre 2012 et 2020.

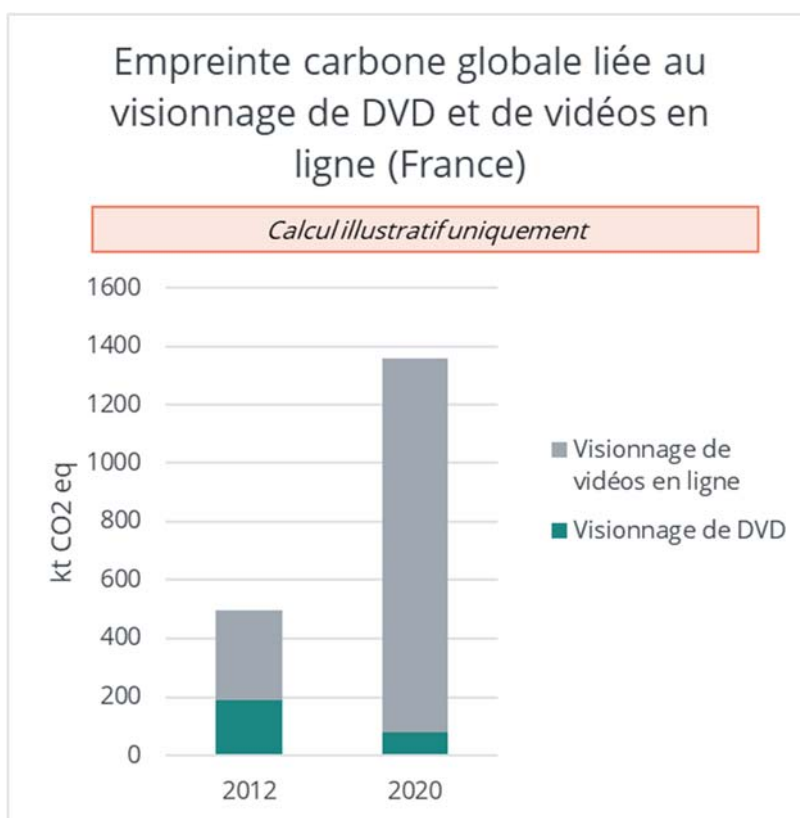


Figure 55 - Résultats du calcul illustratif sur l'empreinte carbone globale liée au visionnage de DVD et de vidéos en ligne en France, entre 2012 et 2020

On observe dans ce scénario que la diminution de l'impact lié au visionnage de DVD est amplement compensée par l'augmentation de l'impact lié au visionnage de vidéos en ligne. Malgré le fait que l'impact par heure est environ 3 fois plus faible pour le visionnage de vidéos en ligne, ici la substitution du visionnage de DVD par le visionnage de vidéos en ligne ne se fait pas à volume globale constant, et l'empreinte carbone globale est ainsi multipliée par un facteur proche de 3. Avec ces hypothèses, ce calcul illustre bien un effet rebond dit « backfire », où la diminution de l'impact du service est en réalité accompagnée par une augmentation de l'impact global.

Dans la réalité, il est très difficile de déterminer l'impact engendré et évité par la digitalisation des services, du fait de la grande diversité d'usage et des possibilités de substitution. Cependant, il est important de

réfléchir aux possibles évolutions des modes de consommations afin de réduire de manière globale l'impact environnemental du numérique.

6.3. Vision prospective des services numériques

Il est primordial d'évaluer l'impact de la numérisation des services culturels de manière systémique comme indiqué dans le précédent paragraphe. Une telle analyse mérite une analyse spécifique à ce sujet et sera à mettre en lien avec l'évaluation prospective des impacts environnementaux en France.

Une analyse simplifiée de 5 paramètres clés a été réalisée à l'horizon 2030 et 2050 dans la mesure où des scénarios existent :

- **Le nombre d'utilisateurs :**
 - La population totale française en 2020 était de 67 287 241 personnes selon l'INSEE, et les projections du scénario central sont de 68 553 316 personnes en 2030 et de 69 206 324 en 2050 ;
 - Selon Hootsuite, en 2020 :
 - Le nombre d'internautes était de 58 000 000 personnes ;
 - Le nombre de personnes ayant un smartphone était de 47 290 000 personnes ;
 - Le nombre de personnes ayant une console était de 28 933 513.
 - Selon l'ADEME et l'ARCEP, en 2020, pour le réseau fixe :
 - Le nombre d'abonnés FTTx est de 14 700 000 dont 530 000 abonnés professionnels ;
 - Le nombre d'abonnés xDSL est de 15 952 000 dont 1 550 000 abonnés professionnels ;
 - Selon l'ADEME et l'ARCEP, en 2020, pour le réseau mobile : le nombre d'abonnés hors MtoM est de 75 763 000 abonnés dont 65 944 000 pour un usage personnel ;
 - Selon l'INSEE (INSEE 2020), le taux d'équipement en ordinateur (fixe, portable, tablette ou netbook) est passé de 45% en 2004 à 82% en 2018 et 94% des 16-24 ans disposent d'un ordinateur contre 67% des 60 ans ou plus. De plus, 85% des foyers sont équipés d'internet contre 31% en 2004. Plus de 96% des ménages ont au moins un téléviseur en 2018, cette part étant stable puisqu'en 2010, 98% des ménages étaient équipés. Selon une étude de l'INSEE réalisée en 2022 : en 2021, 77% de la population est équipée d'un smartphone.
- **La consommation globale de données :**
 - Selon l'ARCEP, le volume de données consommées en 4G est en constante hausse passant de 0,383 exaoctets au T1 2017 à 2,457 au T1 2022, soit une multiplication par 6 ;
 - Selon le rapport publié début 2022 par l'ADEME et l'ARCEP, la consommation de données totales des réseaux mobiles est de 6,937 exaoctet. Pour les réseaux fixes elle est de 518 exaoctet en 2020 en Union Européenne à 27 selon le rapport ICT de la Commission Européenne (European Commission 2020). Il n'existe pas de donnée à l'échelle française qui est reportée ;

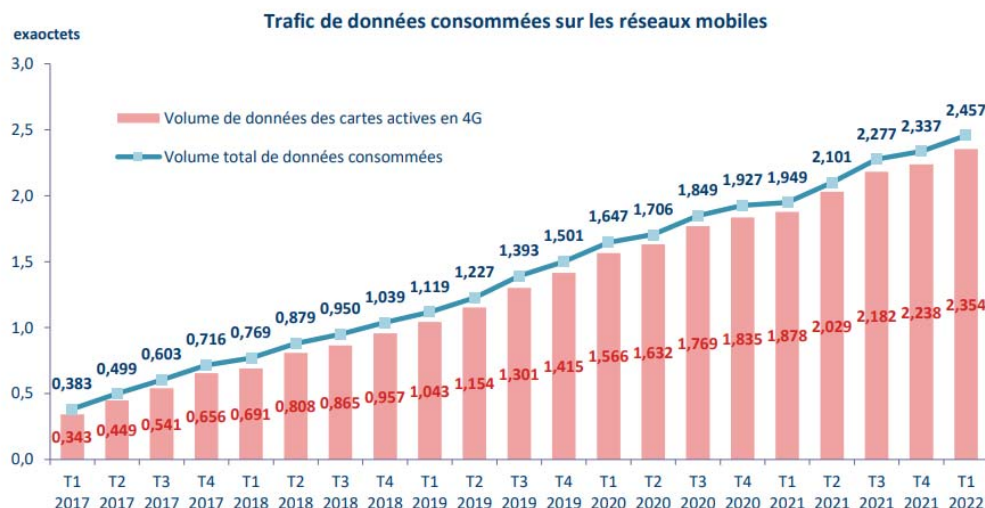


Figure 56 - Evolution du trafic de données consommées sur les réseaux mobiles. Source : ARCEP, juillet 2022

- **La performance énergétique des infrastructures réseaux :**
 - Selon l'ADEME et l'ARCEP, l'empreinte carbone moyenne d'un utilisateur du réseau fixe est de 3,95 kgCO_{2e}/mois (correspondant à 18 gCO₂/Go) tandis que pour le réseau mobile cette valeur est estimée à 50gCO_{2e}/Go (valeur consultée en juillet 2022) ;
 - En se basant sur le rythme de réduction imposée au secteur de l'ICT par SBTi, pour toute entreprise souhaitant s'aligner sur une trajectoire de décarbonation compatible avec une trajectoire 1,5°C selon un scénario global créé en partenariat avec l'Union Internationale des Télécom (ou ITU), les entreprises doivent réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 45% entre 2020 et 2030. Sachant que le référentiel GHG Protocol se base sur une approche « market-based » où il est possible de réduire ses émissions de GES du scope 2 en achetant des garanties d'origine renouvelable ou des Power Purchase Agreements (PPA), ce qui n'est pas possible avec l'approche « location-based » qui est celle de la méthodologie réglementaire française et méthodologie Bilan Carbone, il n'est pas pertinent d'appliquer ce rythme de réduction aux ratios de consommation 2020 ;
 - Toutefois, en prenant l'hypothèse de 33% d'atteinte de cet objectif fixé par SBTi, on peut estimer qu'une réduction de 15% de l'impact est atteignable, soit donc une empreinte carbone moyenne de 42,5 g CO_{2, eq}/Go pour le réseau mobile et de 3,36 g CO_{2, eq}/Go pour le réseau fixe ;
 - Il ne semble pas raisonnable d'estimer ces valeurs à 2050.
- **La performance énergétique des infrastructures data centers :**
 - Selon Uptime Institute, le PUE moyen mondial en 2020 était de 1,58 ;
 - Selon certaines estimations, l'hypothèse peut être faite qu'en 2030 ce PUE moyen mondial sera de 1,5 (Koronen, Åhman, et Nilsson 2020) ;
 - Il semble compliqué d'estimer le PUE moyen en 2050.
- **Le mix électrique français :**
 - Selon RTE, le contenu carbone de l'électricité était de 57 g CO_{2, eq}/kWh en 2020 ;
 - Selon le scénario M2 RTE considérant à la fois des énergies renouvelables et de l'énergie nucléaire en 2030, ce contenu carbone de l'électricité serait de 44,1 g CO_{2, eq}/kWh. Pour information, cette valeur devrait atteindre 18,3 g CO_{2, eq}/kWh en 2050.

S'il est très peu robuste de donner des indicateurs d'impact environnemental prospectifs aux horizons 2030 et 2050 en se concentrant sur les 4 services culturels étudiés, voici toutefois certaines interrogations :

- 2030 :
 - D'un côté, parmi les déterminants qui vont voir leur performance environnementale s'améliorer, le contenu carbone de l'électricité devrait diminuer de près de 23% entre 2020 et 2030 tandis que les performances énergétiques des infrastructures pourraient s'améliorer de 5% pour les data centers et de 15% pour les réseaux, en posant des hypothèses conservatrices ;
 - D'un côté, certains paramètres risquent d'augmenter significativement :

- La consommation totale de données réseau fixe et mobile, si elle suit la même tendance. Elle risque d'augmenter si les tendances de consommations des services culturels numériques se poursuit (davantage de streaming vidéo, davantage d'usage des jeux vidéo, ...);
 - Le taux d'équipement en équipements IT : smartphones dernière générations, TV plus grosses et avec de meilleures résolutions, consoles dernière génération, tablettes, ...
 - Par ailleurs, certains paramètres devraient assez faiblement influencer sur l'impact environnemental de ces services culturels numériques : c'est le cas de la population.
 - Finalement, l'amélioration des performances énergétiques et environnementales (écoconception des équipements) risque d'être compensée par une augmentation significative de la consommation des données et du taux d'équipement. Toutefois, le sujet ne peut être abordé de manière qualitative comme c'est le cas ici et doit être étudié spécifiquement.
- 2050 : les hypothèses d'évolution sont trop incertaines pour avoir une analyse pertinente. Toutefois, certains paramètres sont déjà identifiables :
 - Le contenu carbone de l'électricité, si la France atteint la neutralité carbone en 2050, devrait diminuer de 68% : il restera des moyens de production pilotables carbonés, mais dont les émissions de GES seront compensées par les puits de carbone ;
 - Les PUE les plus performants aujourd'hui approche de 1,1. Il est envisageable d'imaginer que le PUE global moyen mondial pourrait être proche de cette valeur à terme ;
 - Les incertitudes les plus significatives concernent les paramètres tels que :
 - Le nombre d'utilisateurs ;
 - Leur profil d'utilisation des services culturels numériques, et donc la consommation de données associées ;
 - Le taux d'équipement de ces utilisateurs ;
 - La capacité des opérateurs télécom à décarboner leurs infrastructures.

7. RECOMMANDATIONS

L'étude nous permet de mettre en avant certaines bonnes pratiques afin de réduire l'impact environnemental des services culturels numériques.

Si ces bonnes pratiques sont à mettre en œuvre par les utilisateurs de services numériques, les leviers d'actions pour permettre à l'utilisateur de réduire son impact environnemental sont entre les mains de tous les acteurs de la chaîne de valeur des services numériques, comme les fournisseurs de services, équipementiers ou opérateurs réseaux, mais également des décideurs politiques qui ont la faculté d'agir sur la réglementation et les incitations.

7.1. Recommandations utilisateurs de services numériques

En s'appuyant sur les études existantes sur le sujet du numérique et des résultats obtenus dans le cadre de cette étude, des bonnes pratiques afin de réduire l'impact environnemental de l'usage des services culturels numériques ont été identifiées. Les recommandations peuvent être divisées selon les différentes unités fonctionnelles relatives aux services numériques définies dans l'étude.

De manière générale, il convient de s'interroger sur ses besoins en matière de services numériques en fonction de l'intérêt que certains types de services peuvent avoir. Notamment, certains contenus qui existent dans un format (exemple : certaines vidéos qui existent en podcast sous format audio).

Il est à noter que certaines bonnes pratiques ont pu être étayées par les résultats de cette ACV. D'autres bonnes pratiques sont issues d'autres études. Seules les bonnes pratiques appuyées par des études quantitatives ou qualitatives jugées sérieuses sont ici reprises. Certaines bonnes pratiques ont également été communiquées par les entreprises contributrices à cette étude.

Lire un livre sur liseuse

- L'impact de la liseuse est principalement porté par les phases de production, transport et fin de vie (plus de 99% des impacts environnementaux). Ce coût environnemental est « amorti » sur la durée de vie de la liseuse. Il faut donc prolonger au maximum sa durée de vie pour amortir au maximum son coût environnemental. En comparaison à un scénario de lecture sur livres papier neufs (usage unique), l'impact carbone de la liseuse est amorti au bout de 50 livres lus. Si l'on considère que les livres papier sont réutilisés ou achetés d'occasion (2 utilisations), alors l'impact carbone de la liseuse est seulement amorti au bout de 100 livres lus.
- L'impact carbone n'est pas le seul impact environnemental à considérer. Parmi les autres impacts (acidification, pollution de l'air, consommation d'eau, de ressources), la consommation de ressources minérales et métalliques est un enjeu important pour les objets numériques. Si l'on regarde cet indicateur, en comparaison à un scénario de lecture sur livres papier neufs (usage unique), l'impact de la liseuse sur les ressources est seulement amorti à partir de 210 livres lus.
- Dans tous les cas, si une liseuse a déjà été acquise par l'utilisateur, il faut privilégier l'utilisation de cette liseuse devant l'achat de livres neufs, afin d'amortir au maximum son coût environnemental.
- Afin d'augmenter la durée de vie du support numérique, il est recommandé d'utiliser des protections de type verre trempé et coque de protection. En effet, ces accessoires limitent le risque d'accident et augmentent la durée de vie de l'appareil.
- Certaines bonnes pratiques sont également applicables lors de la lecture : pour prolonger l'autonomie de la batterie, il est recommandé de mettre l'appareil en mode avion après avoir téléchargé le fichier ebook, et de désactiver le rétroéclairage s'il est non nécessaire.

Ecouter de la musique en streaming

- Il est recommandé de désactiver la vidéo lorsque l'on souhaite simplement écouter de la musique. Cela permet de diminuer la consommation de données, le débit du streaming audio étant potentiellement 5 à 30 fois plus faible que le débit du streaming vidéo, et ainsi de diminuer l'impact environnemental associé. En effet, avec les hypothèses de modélisation utilisées dans

cette étude, la consommation de donnée est responsable de plus de 60% de l'impact carbone du streaming vidéo sur smartphone.

- Si l'utilisateur écoute régulièrement un même titre, il est recommandé de télécharger le titre sur son appareil, plutôt que de le streamer à chaque écoute. Cela économise de la consommation de données.
- La multiplication des équipements auxiliaires (enceinte, chaîne hi-fi, ...) entraîne également une augmentation des impacts (consommation d'énergie, et fabrication des équipements additionnels). Dans un scénario de streaming sur smartphone connecté à une enceinte, l'enceinte représente près de 40% de l'impact carbone total. Afin de limiter l'impact des équipements auxiliaires, il est recommandé de prolonger la durée de vie de ces équipements, idéalement reconditionnés ou achetés d'occasion.

Regarder une vidéo en streaming

- Les infrastructures et consommation d'énergie des réseaux et datacenters mobilisés pour le streaming sont responsables de 40% à 60% de l'impact carbone du streaming vidéo. Dans une hypothèse de relation linéaire entre ces impacts et la consommation de données, diminuer par 2 la résolution permet ainsi de diminuer de 20% à 30% l'impact carbone du streaming vidéo. Il est donc recommandé de réduire la résolution des vidéos visionnées. Il est recommandé d'adapter la résolution des vidéos visionnées au support (TV, PC, smartphone) ainsi qu'au type de contenu (film, documentaire, webinaire, tutoriel, ...). Dans un scénario de streaming vidéo sur PC, passer d'une résolution Full HD à une résolution standard permet de diviser le débit par 3, et de diminuer l'impact carbone total de 26%, avec les hypothèses de modélisation utilisées dans cette étude.
- L'intensité énergétique des réseaux fixe (fibre optique ou DSL accessible par Wi-Fi ou câble Ethernet) étant en moyenne plus faible que celle des réseaux mobiles, il est recommandé de les utiliser en priorité pour visionner des vidéos. On estime que à débit équivalent, l'impact carbone du transfert d'1 Go de données sur réseau fixe est environ 3 fois plus faible que sur réseau mobile.
- Les équipements utilisés sont également responsables d'une partie significative des impacts environnementaux du streaming vidéo. Dans le scénario de streaming sur TV et box TV, la TV est responsable de 30% à 60% des impacts, et la box TV 15% à 30%. Cela est dû principalement à la fabrication des équipements, et à leur consommation d'énergie lors de l'utilisation. Il est recommandé de ne pas multiplier les appareils, de prolonger leur durée de vie, et d'acheter des équipements d'occasion ou reconditionnés. Il est également préférable de limiter la taille des écrans, qui jouent principalement dans l'impact de la fabrication et la consommation des appareils de visionnage.

Jouer aux jeux vidéo en téléchargement direct ou en cloud gaming

- Pour les scénarios de jeu téléchargé sur une console ou un PC, la consommation de données pour le téléchargement du jeu est amortie sur la durée de jeu total sur ce jeu. Dans l'hypothèse d'un jeu joué plus de 180h, l'impact de ce transfert de fichier contribue faiblement aux impacts (moins de 10% sur l'impact carbone) par rapport à la fabrication et l'utilisation des équipements (console, PC, écran, TV). A l'inverse, si l'on télécharge de nouveaux jeux régulièrement, pour n'y jouer que quelques heures, cet impact sera bien plus élevé. Il est donc recommandé d'éviter de télécharger des jeux auxquels on ne jouera pas ou peu.
- Le cloud gaming permet de potentiellement se passer de console à la maison (transfert de la puissance de calcul vers les datacenters), mais est associé à une utilisation de datacenters puissants, et d'une consommation de donnée très importante. Les réseaux et datacenters contribuent pour plus de 60% de l'impact carbone d'une heure de jeu en cloud gaming sur box TV et TV en 1080p.
- Dans un scénario où l'on est déjà équipé d'une console, pour un jeu disponible en téléchargement ou en cloud gaming, jouer en cloud gaming permet seulement d'économiser le téléchargement du jeu, mais entraîne une consommation constante de données significative. Au-delà de 6h de jeu au total sur ce jeu téléchargé, l'impact carbone du téléchargement du jeu est amorti et devient plus intéressant que le cloud gaming. Si l'on est équipé d'une console, il est donc recommandé de privilégier le jeu téléchargé au cloud gaming, à moins de prévoir d'y jouer moins de 6h au total.
- Entre un scénario de jeu téléchargé sur console et un jeu en cloud gaming sur box TV et TV, les impacts associés au cloud gaming peuvent s'avérer plus faibles, notamment s'il est joué en faible résolution (1080p ou moins). Pour une résolution de 1080p, la réduction sur l'impact carbone est

par exemple de -24%. Le cloud gaming peut être recommandé s'il permet d'éviter l'acquisition d'une console à condition de jouer en résolution standard ou faible.

- Le cloud gaming représente une consommation de données (débit) élevée, et est donc associé à des impacts environnementaux importants côté réseaux (consommation d'énergie, infrastructures). Dans l'hypothèse d'une relation linéaire entre ces impacts et la consommation de données. Passer de 4K à 720p permet de réduire l'impact carbone du cloud gaming sur box TV de -55%. L'impact carbone du cloud gaming sur box TV en résolution 4K est plus élevé de 34% par rapport au jeu téléchargé sur console. Si l'on joue en cloud gaming, il est donc recommandé de réduire la résolution à 1080p, voire 720p.
- Afin de réduire l'impact environnemental des équipements (console, PC, TV, écran), il est recommandé d'acheter le matériel d'occasion ou reconditionné, et de limiter la taille des écrans.

De manière générale, les bonnes pratiques usuelles de sobriété relatives à l'usage du numérique s'appliquent pour les services culturels étudiés.

Achats

- Si achat d'un nouvel appareil, il est préférable de l'acheter en occasion ou en reconditionné. Selon une étude récente de l'ADEME sur le sujet du reconditionné, par exemple pour un smartphone, le reconditionné permet jusqu'à 8 fois moins d'impacts environnementaux que le neuf en moyenne. Ce constat est similaire pour les autres équipements : PC, écrans, enceintes, consoles ou encore tablettes.
- Si besoin de se débarrasser d'un appareil en bon état, il faut privilégier la revente, le prêt ou le don. S'il ne fonctionne plus, il faut privilégier le don en recyclerie. La seconde vie des appareils permet d'économiser une partie des ressources nécessaires à la fabrication de ces derniers. Par exemple, selon le rapport Modélisation et évaluation des impacts environnementaux de produits de consommation et biens d'équipement, la fabrication d'un ordinateur portable représente près de 156 kgCO₂/unité, un smartphone de plus de 5,5 pouces 39,1 kgCO₂e/unité et une console de salon 102 kgCO₂e/unité. Par ailleurs, le « sac à dos écologique » d'un ordinateur portable est de 711 kg, de 124 kg pour un smartphone de plus de 5,5 pouces et de 595 kgCO₂e/unité pour une console de salon. La méthode dite du « sac à dos écologique » consiste à rapporter le poids du produit fini (en kg) au poids de matières premières (en kg) nécessaires à sa fabrication.

Usages

- Dans la mesure du possible, penser à mutualiser les équipements (console de salons lorsque l'on vit en colocation, box internet lorsque l'on partage avec ses voisins lorsque l'on vit en appartement, avoir une seule tablette pour toute la famille sont quelques exemples de la mutualisation d'équipement) que vous possédez ;
- Privilégier la connexion Wi-Fi au réseau mobile. Le réseau mobile consomme plus d'électricité que la connexion Wi-Fi pour la même quantité de données transmises ou téléchargées ;
- Penser à éteindre les équipements lorsqu'ils sont inutilisés et à les paramétrer afin qu'ils s'éteignent au bout d'un certain temps d'inutilisation ;
- Eviter de charger les appareils la nuit. En effet, la plupart des appareils possèdent des batteries lithium-ion qui s'abîment lorsqu'elles sont rechargées de manière prolongée. Une fois rechargé à 100 %, si le chargeur est toujours branché à l'appareil, le prolongement du rechargement entraîne une surchauffe de la batterie. Si les téléphones possèdent une puce permettant de pallier ce problème, un autre surviendra : la recharge et décharge continues du téléphone jusqu'à ce qu'il soit débranché entraînent une usure prématurée de la batterie ;
- Désactiver la mise à jour automatique des applications et faire uniquement celles qui sont indispensables et privilégier une connexion en Wi-Fi sur réseau fixe. En limitant les mises à jour aux applications que vous utilisez régulièrement, la consommation de donnée sera limitée.

Application à des personae types de foyer français

Ces bonnes pratiques sont mises au regard de personae type de foyer français ci-dessous à travers quelques exemples :

- Dans une famille de quatre personnes composées de deux parents et deux adolescents et vivant dans une maison en zone périurbaine :
 - Il est préférable de regarder un film en streaming vidéo en famille dans le salon en 1080p sur une télévision LCD de taille adaptée et reliée à une plateforme de streaming plutôt que seul chacun dans sa chambre ;
 - Il est recommandé de mutualiser la console de salon permettant de jouer aux jeux vidéo sur un même écran. Idéalement, les jeux sont téléchargés sur la console s'ils sont lourds et la durée de jeu importante ou sont joués en streaming grâce au cloud gaming pour les petits formats et les durées de jeu courtes.
- Pour un couple de deux personnes habitant en appartement dans une métropole :
 - Il est préférable d'avoir une liseuse qui peut se partager à deux pour optimiser le nombre de livre lus dans une année par rapport à un usage où chaque personne aurait sa propre liseuse ;
 - Il est profitable d'éteindre sa box internet lorsqu'on ne l'utilise pas, la nuit ou en partant de son domicile en journée, ou en week-end ou pendant ses vacances ;
- Pour une personne célibataire habitant seule dans son appartement dans une métropole :
 - Il est intéressant de partager son abonnement internet avec son voisin de palier dans le cas où la portée est suffisante, d'un point de vue environnemental et d'un point de vue économique ;
 - Il vaut mieux attendre de rentrer dans son appartement pour regarder sa série préférée sur son PC ou sa télévision en Wi-Fi via la fibre optique, plutôt que de la regarder sur son smartphone dans les transports en commun en 4G ou 5G. Par ailleurs, il est possible de télécharger des séries/films sur son smartphone ou sa tablette à son domicile en Wi-Fi et de regarder le contenu dans les transports en commun sans consommation de données mobiles ;

7.2. Recommandations à destination des fournisseurs

Les recommandations spécifiques suivantes s'appliquent aux fournisseurs de services numériques. Des recommandations plus générales sont détaillées à la suite, à destination des acteurs de la chaîne de valeur des services numériques (équipementiers, opérateurs de data centers, opérateurs réseaux). Enfin, des focus sur certains services cultures numériques sont réalisés :

- **Evaluer l'impact environnemental de ses services numériques mis à disposition aux utilisateurs** : il est utile de s'appuyer sur l'Analyse de Cycle de Vie pour réaliser cette étude idéalement avant le lancement du produit, ou une fois le produit lancé. Les entreprises peuvent s'appuyer sur le PCR Services Numériques pour réaliser cette évaluation. A minima, si l'entreprise s'est engagée dans une démarche bas carbone, elle peut commencer par évaluer son impact au regard de l'indicateur « Emissions de gaz à effet de serre » (*Global Warming Potential*, dit GWP) en s'appuyant sur la comptabilité carbone ;
- **Ecoconcevoir ses services numériques** : les entreprises peuvent s'appuyer sur les lignes directrices de l'AFNOR SPEC, disponible gratuitement, après avoir réalisé une ACV et hiérarchisé leurs impacts environnementaux significatifs et enfin identifié les leviers d'améliorations, afin d'écoconcevoir les services numériques mis à disposition ;
- **Héberger ses données ou ses applicatifs dans un data center performant** : pour optimiser le stockage de données ou l'hébergement des applicatifs, il convient d'utiliser des data centers performants d'un point de vue environnemental, dont les critères sont des indicateurs environnementaux performants (Power Usage Effectiveness bas, DCIE élevé, Renewable Energy Factor élevé, COP performant, ...). Les entreprises peuvent se référer au European Code of Conduct ou au Livre blanc sur les indicateurs de performance énergétique et environnementale des datacenters publié par l'Alliance Green IT, France Datacenter et Gimélec. Ces recommandations s'appliquent également aux Content Delivery Networks (CDN).

De manière générale, les recommandations suivantes s'appliquent à tous les acteurs de la chaîne de valeur des fournisseurs de services numériques, de manière indifférenciée :

- **Durabilité des terminaux utilisateurs :** Comme vu précédemment, la fabrication des équipements représente un impact majeur. Il est donc recommandé aux fabricants de faire en sorte que la durée de vie des équipements soit la plus élevée possible. Les équipementiers doivent favoriser le réemploi et la réparation de leurs équipements, en partenariat avec les distributeurs et garantir la mise à disposition des pièces détachées à « un juste » prix sur toute la durée de vie du produit. En particulier, s'agissant de la collecte des équipements en fin de vie, des filières de réemploi et de reconditionnement doivent être renforcées ;
- **Ecoconception des équipements utilisateurs :** En lien avec le point précédent, il est aussi recommandé d'écoconcevoir ses produits afin de limiter les impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie du produit (Optimisation de l'usage des matières premières ; usage de matières premières recyclées ; durée de vie allongée grâce à une conception robuste et une maintenance facilitée) ;
- **Mode de distribution des biens :** Le mode de distribution des biens ayant un impact environnemental non négligeable, il est préférable de choisir le mode de transport le moins impactant pour distribuer les produits. Par exemple, il est préférable d'utiliser le transport maritime plutôt que le transport aérien.
- **Efficacité énergétique des appareils :** Afin de réduire la consommation d'énergie et les impacts associés lors de la phase d'utilisation, il peut être intéressant d'améliorer l'efficacité énergétique des appareils.

En particulier, pour les fournisseurs de streaming vidéo, des recommandations spécifiques peuvent être tirées de l'étude :

- L'impact de la phase d'utilisation est fortement dépendant de la quantité de données utilisées i.e. de la qualité (impactant la résolution) de la vidéo. Il est donc recommandé de réduire ou de donner la possibilité à l'utilisateur de réduire la qualité de la vidéo. Mettre en place un paramétrage évitant le lancement automatique de la vidéo dans la plus haute qualité ;
- Supprimer la lecture automatique des vidéos pour éviter l'effet « *binge watching* » dans le cas où l'utilisateur n'aurait pas nécessairement l'envie de continuer à visionner ces vidéos ;
- Afin de réduire l'impact lié au visionnage de la vidéo, il est aussi recommandé d'améliorer la compression des vidéos ;
- Informer l'utilisateur sur son temps de visionnage.

De même, il a été possible de tirer des recommandations particulières pour le secteur du jeu vidéo (studio de jeux vidéo, éditeurs de jeux vidéo, fabricants de consoles ou distributeurs) :

- Afin d'économiser de l'énergie lorsque la console est en veille prolongée, il est recommandé de mettre en place une option éteignant cette dernière ;
- Afin de faciliter la mise en veille de la console, il est recommandé d'installer un bouton « mise en veille » sur la manette et fixer un temps de déclenchement court ;
- Privilégier des petites résolutions de jeu plutôt que d'encourager l'achat de matériel d'affichage pour pouvoir en profiter (2k, 4k, 8k, VR, etc) ;
- Chercher à minimiser la consommation électrique (gameplay, interface, veille, etc.) ;
- Il est aussi recommandé de donner la possibilité de télécharger un jeu vidéo ou de charger un périphérique lorsque la console est en mode veille. En effet, ces phases peuvent être d'une durée relativement longue, le mode veille peut de fait diminuer la consommation d'énergie associée ;
- Utiliser des techniques de *DownloadAsYouProgress* : les joueurs ne téléchargent plus la totalité du jeu dès le départ, mais uniquement ce dont ils ont besoin au début, et le reste uniquement au fur et à mesure que le joueur progresse.

Pour le streaming audio :

- Par défaut, adapter la qualité de l'audio aux performances de l'équipement utilisateur ;
- Encourager l'écoute audio via le réseau internet fixe plutôt que par le réseau internet mobile ;
- Par défaut, désactiver les vidéos et autres animations pendant la lecture des titres audios (clip, paroles, ...);
- Encourager le « smart cache » pour que l'application crée automatiquement un cache quand les musiques sont souvent écoutées pour ne pas avoir besoin de les télécharger à chaque nouvelle écoute ;

- Optimiser la compression des contenus pour que ces derniers soient les plus légers possibles tout en gardant une qualité audio convenable pour l'utilisateur.

Enfin, pour les fournisseurs de e-books ou de liseuses :

- Encourager à l'achat d'un film protecteur de l'écran ;
- Systématiquement proposer à l'utilisateur de désactiver la transmission de données pendant la lecture.

7.3. Recommandations à destination des décideurs politiques

Sur la base des résultats de cette étude, voici ci-dessous quelques recommandations à destination des décideurs politiques :

- Lancer des groupes de travail multi-acteurs pour l'écoconception des services numériques existants et ceux à venir et inciter les acteurs économiques à cette dernière démarche ;
- Réguler les nouveaux usages liés aux services culturels (métavers, réalité virtuelle, NFT, ...);
- Mettre en place un affichage environnemental sur les services numériques culturels lors de leur consommation.

Pour rappel, comme souligné dans le rapport Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France, les pistes d'action pour limiter les impacts environnementaux du numérique sont les suivantes :

- **Axe 1 – Connaître pour agir : Développer la connaissance de l'empreinte environnementale du numérique**
 - Action 1 : Elaborer une méthodologie de quantification de l'empreinte du numérique sur l'environnement ;
 - Action 2 : Savoir mesurer l'empreinte écologique du numérique des ministères ;
 - Action 3 : Construire un baromètre environnemental du numérique
- **Axe 2 – Soutenir un numérique plus sobre : Soutenir un numérique plus sobre : réduire l'empreinte environnementale du numérique :**
 - Action 4 : Mettre en œuvre un cadre de confiance pour l'écoconception et l'information des consommateurs ;
 - Action 5 : Soutenir le développement d'une filière française du réemploi et du reconditionnement ;
 - Action 6 : Prolonger la durée de vie des équipements et lutter contre l'obsolescence logicielle ;
 - Action 7 : Soutenir le développement d'une offre française compétitive de produits et services numériques écoresponsables ;
 - Action 8 : Accompagner les acteurs du numérique dans l'adoption de l'écoconception et des principes du numérique durable et sobre ;
 - Action 9 : Maîtriser l'empreinte environnementale liée à l'usage des infrastructures numériques ;
 - Action 10 : Accompagner les entreprises dans une transition numérique ;
 - Action 11 : Mettre en œuvre l'exemplarité de l'Etat avec des services publics écoresponsables (tech.gouv) ;
 - Action 12 : Former et sensibiliser les citoyens.
- **Axe 3 - Innover : Faire du numérique un levier de transition écologique et solidaire :**
 - Action 13 : Mettre les données au service de l'environnement ;
 - Action 14 : Mettre l'innovation numérique au service de l'environnement ;
 - Action 15 : Soutenir l'écosystème des GreenTech mobilisant le numérique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME. 2021a. « Principes généraux pour l’affichage environnemental des produits de grande consommation - Référentiel méthodologique d’évaluation environnementale des services numériques ».
- ADEME, 2021b. « Equipements électriques & électroniques : données 2020 - Rapport annuel - 105 pages ».
- ADEME, et ARCEP. 2022. « Evaluation de l’impact environnemental du numérique en France et analyse prospective ».
- ADEME, et RDC. 2019. « Modélisation et évaluation environnementale de produits de consommation et biens d’équipement ».
- Aslan, Joshua. 2020. « Climate Change Implications of Gaming Products and Services ».
- CITEO. 2020. « Sorting and Recycling of Household Packaging - Key Figures 2020 ».
- European Commission. 2020. « ICT Impact study ».
- Fletcher, Chloe, Jigna Chandaria, Louise Krug, Penny Guarnay, Christian Toennesen, Glynn Roberts, Catherine Van Loo, et al. 2021. « Carbon Impact of Video Streaming - Carbon Trust x DIMPACT », juin, 102.
- IFPI. 2019. « Panorama de la consommation de musique dans le monde - 2019 ».
- INSEE. 2020. « Équipement des ménages – Tableaux de l’économie française | Insee ». février 2020. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277714?sommaire=4318291>.
- Konstantas, Antonios, Margozata Agatha, Shane Donetallo, Oliver Wolf, et Maria Rosa Riera. 2018. « Revision of European Ecolabel Cprroitdeuricatsfor Printed PaperT Preliminary Report », novembre, 184.
- Koronen, Carolina, Max Åhman, et Lars J Nilsson. 2020. « Data Centres in Future European Energy Systems—Energy Efficiency, Integration and Policy ». *Energy Efficiency* 13 (1): 129-44. <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09833-8>.
- NVIDIA. 2021. « RTX Blade Server Cloud Gaming ».
- PEF. 2015. « PEF / OEF : Default data to be used to model distribution and storage ».
- The Shift Project. 2021. « Plan de transformation de l’économie française - Décarbonons la culture! - Rapport final - Novembre 2021 ». <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/05/TSP-PTEF-Decarbonons-la-Culture-RI-mai-2021-VF.pdf>.
- Tuerk, Volker, Vidhya Alakeson, Michael Kuhndt, et Michael Ritthoff. 2003. « The Environmental and Social Impacts of Digital Music ».

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Données principales de modélisation des scénarios étudiés dans le service « Lire un livre »..	17
Tableau 2 – Caractéristiques du livre étudié	18
Tableau 3 – Caractéristiques du papier utilisé pour le livre étudié	19
Tableau 4 – Modélisation de l’encre utilisée.....	19
Tableau 5 – Modélisation de l’étape d’impression, pour une UF	20
Tableau 6 – Modélisation de l’étape de nettoyage, pour une UF	21
Tableau 7 – Modélisation de l’étape d’assemblage final pour le livre étudié	21
Tableau 8 – Modélisation de l’étape de distribution du livre jusqu’à chez le consommateur	22
Tableau 9 – Modélisation de la fin de vie du livre et de son emballage	22
Tableau 10 – Modélisation de l’étape de distribution de la liseuse jusqu’à chez le consommateur	24
Tableau 11 – Note de qualité des données (DQR) pour les critères de qualité des données	26
Tableau 12 – Indicateurs d’impact de la méthode EF3.0 du PEF utilisés dans cette étude	28
Tableau 13 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « lire un roman de 300 pages sur format papier », pour l’ensemble des indicateurs étudiés	30
Tableau 14 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « lire un roman de 300 pages sur une liseuse numérique », pour l’ensemble des indicateurs étudiés	31
Tableau 15 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette multifonction », pour l’ensemble des indicateurs étudiés	32
Tableau 16 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette uniquement dédiée à la lecture », pour l’ensemble des indicateurs étudiés	33
Tableau 17 – Données principales de modélisation des scénarios étudiés dans le service « Ecouter de la musique »	45
Tableau 18 – Caractéristiques du CD modélisé.....	46
Tableau 19 – Modélisation de la production d’1 million de CDs, incluant leur emballage primaire.....	46
Tableau 20 – Caractéristiques des infrastructures de production des CDs	48
Tableau 21 – Modélisation de l’étape de distribution d’un CD jusqu’à chez le consommateur	48
Tableau 22 – Modélisation de la fin de vie du livre et de son emballage	49
Tableau 23 – Modélisation de l’étape de distribution du livre jusqu’à chez le consommateur	51
Tableau 24 – Gestion de la fin de vie de quelques DEEE	51
Tableau 25 – Gestion de la fin de vie de différents matériaux selon CITEO	52
Tableau 26 – Note de qualité des données (DQR) pour les critères de qualité des données	54
Tableau 27 – Indicateurs d’impact de la méthode EF3.0 du PEF utilisés dans cette étude	55
Tableau 28 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « écouter de la musique » au format physique, pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	57
Tableau 29 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone », pour l’ensemble des indicateurs étudiés	58
Tableau 30 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone connecté à une enceinte », pour l’ensemble des indicateurs étudiés	60
Tableau 31 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone connecté à une chaîne hi-fi », pour l’ensemble des indicateurs étudiés	62
Tableau 32 - Données principales de modélisation des scénarios étudiés dans le service « Regarder un film »	72
Tableau 33 – Note de qualité des données (DQR) pour les critères de qualité des données	76

Tableau 34 – Indicateurs d’impact de la méthode EF3.0 du PEF utilisés dans cette étude.....	77
Tableau 35 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film avec un DVD, un lecteur DVD et une TV », pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	79
Tableau 36 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec une TV et une box TV », pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	80
Tableau 37 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un ordinateur portable », pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	82
Tableau 38 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un smartphone », pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	83
Tableau 39 - Données principales de modélisation des scénarios étudiés dans le service « Jouer un jeu vidéo ».....	93
Tableau 40 – Modélisation des datacenters cloud gaming.....	96
Tableau 41 – Note de qualité des données (DQR) pour les critères de qualité des données.....	98
Tableau 42 – Indicateurs d’impact de la méthode EF3.0 du PEF utilisés dans cette étude.....	99
Tableau 43 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, hors ligne », pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	101
Tableau 44 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, en ligne », pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	103
Tableau 45 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur une console et une TV, en ligne », pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	104
Tableau 46 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur portable, en ligne », pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	106
Tableau 47 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur fixe avec écran, en ligne », pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	107
Tableau 48 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une box TV », pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	108
Tableau 49 – Résultats des impacts environnementaux du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une console », pour l’ensemble des indicateurs étudiés.....	110
Tableau 50 – Niveau de qualité globale des données des jeux de données conformes à l’EF, en fonction de la note de qualité des données obtenue.....	147
Tableau 51 – Attribution des valeurs aux critères DQR.....	147
Tableau 52 – Résultats de l’évaluation de la qualité des données du cycle de vie d’un livre papier.....	148
Tableau 53 – Résultats de l’évaluation de la qualité des données du cycle de vie d’une liseuse.....	148
Tableau 54 – Résultats de l’évaluation de la qualité des données du cycle de vie d’un CD.....	149
Tableau 55 – Résultats de l’évaluation de la qualité des données du cycle de vie d’une chaîne hi-fi.....	149
Tableau 56 – Résultats de l’évaluation de la qualité des données du cycle de vie d’un lecteur DVD.....	149
Tableau 57 – Résultats de l’évaluation de la qualité des données du cycle de vie des équipements NégaOctet.....	150
Tableau 58 – Modélisation de la gravure d’une plaque pour l’impression d’un livre.....	151
Tableau 59 – Modélisation du révélateur pour la production des plaques gravées.....	151
Tableau 60 – Modélisation d’un remplisseur pour la production des plaques gravées.....	151
Tableau 61 – Modélisation de la production d’une plaque vierge pour gravure.....	152
Tableau 62 – Modélisation du traitement de fin de vie des plaques gravées.....	152
Tableau 63 – Modélisation de la solution liquide utilisée lors de l’étape d’impression.....	153
Tableau 64 - Informations et sources des données de durée de vie, intensité d’usage, et consommation d’énergie des équipements.....	154
Tableau 65 – Informations et sources des données de débit binaire et taille de fichiers numériques....	155

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Évolution des formats en gigas pour un film d'environ 2h (Source : Sandvine et le rapport The Global Internet), issu du PTEF culture du Shift Project.....	11
Figure 2 - Nombre d'équipements par habitant (Source : Cisco, 2020), issu du rapport PTEF culture du Shift Project.....	11
Figure 3 – Chaîne de transmission des données lors de l'utilisation d'un service numérique (Fletcher et al. 2021).....	12
Figure 4 – Frontières des systèmes étudiés pour le service « Lire un livre ».....	15
Figure 5 – Analyse de contribution des étapes du cycle de vie aux impacts du scénario « lire un roman de 300 pages sur format papier », sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	31
Figure 6 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « lire un roman de 300 pages sur une liseuse numérique », sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	32
Figure 7 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette multifonction », sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	33
Figure 8 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « lire un roman de 300 pages sur une tablette dédiée à la lecture », sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	34
Figure 9 – Comparaison des résultats environnementaux des différents scénarios pour l'UF « lire un roman de 300 pages en France en 2020 ».....	35
Figure 10 – Comparaison des impacts sur le changement climatique par UF entre les scénarios livre papier et liseuse selon le nombre de livres lus par an.....	36
Figure 11 – Comparaison des impacts sur le changement climatique par UF entre les scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations) et liseuse selon le nombre de livres lus par an.....	37
Figure 12 - Comparaison des impacts sur le changement climatique par UF entre les scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations), liseuse, tablette et tablette dédiée selon le nombre de livres lus par an.....	37
Figure 13 - Comparaison des impacts sur les ressources minérales et métalliques par UF entre les scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations), liseuse, tablette et tablette dédiée selon le nombre de livres lus par an.....	39
Figure 14 – Frontières du système étudié pour le service « Écouter de la musique ».....	43
Figure 15 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « écouter 1h de musique sur CD avec une chaîne Hi-fi », sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	57
Figure 16 – Analyse de sensibilité sur l'intensité d'usage du CD, sur tous les indicateurs étudiés et pour l'UF « écouter 1h de musique » au format physique.....	58
Figure 17 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone », sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	59
Figure 18 – Analyses de sensibilité selon la qualité des données (basse qualité = 0,06 Go / h vs haute qualité = 0,63 Go / h) et le type de connexion (fixe vs mobile), sur tous les indicateurs étudiés pour une UF « écouter 1h de musique avec un smartphone ».....	59
Figure 19 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone connecté à une enceinte », sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	61
Figure 20 – Analyses de sensibilité selon la qualité des données (basse qualité = 0,06 Go / h vs haute qualité = 0,63 Go / h) et le type de connexion (fixe vs mobile), sur tous les indicateurs étudiés pour une UF « écouter 1h de musique avec un smartphone et une enceinte connectée ».....	61
Figure 21 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « écouter 1h de musique en streaming sur son smartphone connecté à une chaîne hi-fi », sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	62
Figure 22 – Analyses de sensibilité selon la qualité des données (basse qualité = 0,06 Go / h vs haute qualité = 0,63 Go / h) et le type de connexion (fixe vs mobile), sur tous les indicateurs étudiés pour une UF « écouter 1h de musique avec un smartphone et une chaîne hi-fi ».....	63
Figure 23 – Comparaison des résultats environnementaux des différents scénarios pour l'UF « écouter 1h de musique en France en 2020 ».....	64

Figure 24 – Comparaison des impacts sur le changement climatique des scénarios étudiés pour l’UF « écouter 1h de musique en France en 2020 »	65
Figure 25 – Comparaison des impacts sur l’épuisement des ressources minérales et métalliques des scénarios étudiés pour l’UF « écouter 1h de musique en France en 2020 »	66
Figure 26 – Frontières des systèmes étudiés	70
Figure 27 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « regarder 1h de film avec un DVD, un lecteur DVD et une TV », sur l’ensemble des indicateurs étudiés.....	80
Figure 28 - Analyse de sensibilité sur la durée de vie du DVD pour le scénario « regarder 1h de film avec un DVD, un lecteur DVD et une TV », sur tous les indicateurs étudiés.....	80
Figure 29 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec une TV et une box TV », sur l’ensemble des indicateurs étudiés	81
Figure 30 - Analyse de sensibilité sur la résolution vidéo pour le scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec une TV et une box TV », sur tous les indicateurs étudiés	82
Figure 31 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un ordinateur portable », sur l’ensemble des indicateurs étudiés	83
Figure 32 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un smartphone », sur l’ensemble des indicateurs étudiés.....	84
Figure 33 - Analyse de sensibilité sur la résolution vidéo pour le scénario « regarder 1h de film en streaming direct avec un smartphone », sur tous les indicateurs étudiés.....	84
Figure 34 – Comparaison des résultats environnementaux des différents scénarios pour l’UF « Regarder 1h de film en France en 2020 »	85
Figure 35 – Comparaison des impacts sur le changement climatique des scénarios étudiés pour l’UF « regarder 1h de film en France en 2020 »	86
Figure 36 – Comparaison des impacts sur l’épuisement des ressources minérales et métalliques des scénarios étudiés pour l’UF « regarder 1h de film en France en 2020 »	87
Figure 37 - Frontières des systèmes étudiés.....	91
Figure 38 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, hors ligne », sur l’ensemble des indicateurs étudiés	102
Figure 39 - Analyse de sensibilité sur le temps total de jeu pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, hors ligne », sur tous les indicateurs étudiés	102
Figure 40 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo au format disque, sur une console et une TV, en ligne », sur l’ensemble des indicateurs étudiés	104
Figure 41 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur une console et une TV, en ligne », sur l’ensemble des indicateurs étudiés.....	105
Figure 42 - Analyse de sensibilité sur le temps total de jeu pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur une console et une TV, en ligne », sur tous les indicateurs étudiés.....	105
Figure 43 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur portable, en ligne », sur l’ensemble des indicateurs étudiés.....	107
Figure 44 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo téléchargé sur un ordinateur fixe avec un écran supplémentaire, en ligne », sur l’ensemble des indicateurs étudiés	108
Figure 45 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une box TV », sur l’ensemble des indicateurs étudiés.....	109
Figure 46 - Analyse de sensibilité sur le temps total de jeu pour le scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une box TV », sur tous les indicateurs étudiés.....	109
Figure 47 – Analyse de contribution aux impacts des éléments du scénario « Jouer 1h à un jeu vidéo en cloud gaming sur une TV avec une console », sur l’ensemble des indicateurs étudiés.....	111
Figure 48 – Comparaison des résultats environnementaux des différents scénarios pour l’UF « jouer 1h à un jeu vidéo en France »	112
Figure 49 – Comparaison des impacts sur le changement climatique des scénarios étudiés pour l’UF « jouer 1h à un jeu vidéo en France »	113

Figure 50 – Comparaison des impacts sur le changement climatique par UF entre le jeu téléchargé (de taille standard 75Go, et de faible taille 6Go) et le jeu sur disque.....	114
Figure 51 – Comparaison des impacts sur le changement climatique par UF entre le jeu téléchargé (de taille standard 75Go, ou de faible taille 6Go) et le jeu en cloud gaming (selon trois définitions de jeu différentes), selon le temps de jeu total.....	115
Figure 52 – Comparaison des impacts sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques des scénarios étudiés pour l'UF « jouer 1h à un jeu vidéo en France »	116
Figure 53 – Comparaison des impacts sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par UF entre le jeu téléchargé (de taille standard 75Go et de faible taille 6Go) et le jeu sur disque	117
Figure 54 – Comparaison des impacts sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques par UF entre le jeu téléchargé (de taille standard 75Go et de faible taille 6Go) et le jeu en cloud gaming (selon trois définitions vidéo différentes), selon le temps de jeu total	118
Figure 55 - Résultats du calcul illustratif sur l'empreinte carbone globale liée au visionnage de DVD et de vidéos en ligne en France, entre 2012 et 2020	127
Figure 56 - Evolution du trafic de données consommées sur les réseaux mobiles. Source : ARCEP, juillet 2022.....	129
Figure 57 – Analyse des points de bascule sur l'impact cumulatif sur le changement climatique des scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations), et liseuse, selon le nombre de livres lus	157
Figure 58 – Analyse des points de bascule sur l'impact cumulatif sur les ressources minérales et métalliques des scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations), et liseuse, selon le nombre de livres lus.....	158
Figure 59 - Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie du datacenter gaming, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	159
Figure 60 - Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie du réseau fixe, sur l'ensemble des indicateurs étudiés	159
Figure 61 - Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie du réseau mobile, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	160
Figure 62 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une liseuse, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	160
Figure 63 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une tablette, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	161
Figure 64 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une chaîne hi-fi, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	161
Figure 65 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un CD, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	162
Figure 66 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un smartphone, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	162
Figure 67 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une enceinte connectée, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	162
<i>Figure 68 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une TV, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....</i>	<i>163</i>
Figure 69 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un ordinateur portable, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	163
Figure 70 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une box TV, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	163
Figure 71 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une console, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	164
Figure 72 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un ordinateur portable pour jeu vidéo, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	164
Figure 73 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un écran d'ordinateur, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	164
Figure 74 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un ordinateur fixe, sur l'ensemble des indicateurs étudiés.....	165

GLOSSAIRE

Analyse de cycle de vie (ACV) complète : ACV qui tient compte de l'ensemble des aspects du système. Le périmètre d'étude précis et les frontières du système varient d'une ACV à une autre.

Analyse de cycle de vie (ACV) simplifiée : il n'existe pas de définition officielle de ce terme, mais il s'agit généralement d'une ACV non complète, soit dont la portée est plus étroite, incluant moins de processus et/ou moins de catégories d'impact. On peut retrouver en anglais les termes « simplified » ou encore « streamlined » pour qualifier ce type d'ACV.

ACV-A, attributionnelle (ou analyse par attributs) : ACV dont le système à l'étude est composé de processus élémentaires liés par des flux issus de la technosphère directement attribuables au système. Le système est considéré comme établi (en régime permanent). Les conséquences induites par les alternatives comparées ne remettent pas massivement en cause les chaînes des fournisseurs.

ACV-C, conséquentielle (ou analyse par conséquences) : ACV dont le système à l'étude est composé de processus élémentaires liés par des flux économiques mais aussi des processus affectés indirectement par la mise en place du cycle de vie du produit étudié ou par son changement.

Cloud gaming : Il permet de jouer à des jeux vidéo sur différents supports sans que ceux-ci soient à l'origine du traitement graphique. La puissance de calcul est déportée dans des serveurs hébergés à distance qui font tourner les jeux, puis transmettent l'image aux joueurs. Pour profiter d'un tel service, il suffit donc en principe d'un accès à une connexion internet et d'un écran sur lequel jouer : un ordinateur, une box/décodeur TV, un téléviseur connecté, un smartphone ou une tablette par exemple.

Compression : Méthode de compression de données, qui consiste à réduire la quantité de données, en minimisant l'impact sur la qualité visuelle de la vidéo. L'intérêt de la compression vidéo est de réduire les coûts de stockage et de transmission des fichiers vidéo

Content Delivery Network (réseau de diffusion de contenu) : Ensemble d'ordinateurs reliés entre eux via internet, qui ont pour but de rapprocher et diffuser rapidement le contenu de sites internet ou d'application à des utilisateurs. Un CDN se compose de deux types de service : de répartition des contenus statiques d'un site internet dans le réseau ou de serveurs périphériques (aussi appelés serveurs miroirs) implantés à différents endroits géographiques pour répliquer les contenus des serveurs d'origine.

Liseuse numérique : Micro-ordinateur de la taille d'un livre, destiné à l'affichage et à la consultation sur écran de textes et d'images préalablement téléchargés et stockés dans sa mémoire.

Empreinte carbone (d'un produit) : Somme des émissions et des captations de Gaz à Effet de Serre (GES) dans un système de produits (biens ou services), exprimée en équivalent CO₂ et fondée sur une analyse du cycle de vie prenant pour seule catégorie d'impact le changement climatique.

Empreinte énergétique (d'un produit) : Consommation globale d'énergie liée à un produit donné, sur un périmètre spatial et temporel donné. Il s'agit d'un type d'empreinte environnementale qui ne tient compte que de la problématique de la consommation énergétique. L'analyse de cycle de vie est couramment utilisée pour calculer cette empreinte.

Gaz à effet de serre (GES) : Constituant gazeux de l'atmosphère, naturel ou anthropogène, qui absorbe et émet le rayonnement d'une longueur d'onde spécifique du spectre du rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre, l'atmosphère et les nuages.

Méthode (d'évaluation environnementale) : Ensemble des règles et d'étapes de calcul permettant d'aboutir à l'évaluation de l'impact environnemental d'un système, qui a pour objet de mesurer et d'analyser les effets sur l'environnement pour prévenir des conséquences dommageables sur l'environnement.

Méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) : Compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie.

PCR - Product Category Rule : Règles spécifiques des catégories de produits⁴ : ensemble normalisé de règles, d'exigences et de lignes directrices spécifiques prévues pour l'élaboration de déclarations environnementales de Type III et de communications d'empreintes carbone pour une ou plusieurs catégories de produits.

Référentiel : Ensemble structuré de recommandations, normatives ou non et de bonnes pratiques utilisées pour la mise en œuvre d'une méthode dans un contexte, pour une catégorie de produit, ou pour un objectif particulier.

TIC - Technologies de l'Information et de la Communication : Ensemble d'outils et de ressources technologiques permettant de transmettre, enregistrer, créer, partager ou échanger des informations, notamment les ordinateurs (portable ou de bureau, les terminaux, etc.), l'Internet (sites Web, logiciels, blogs et messagerie électronique), les technologies (datacenters, serveurs, etc.) et appareils de diffusion en direct (radio, télévision et diffusion sur l'internet) et en différé (podcast, lecteurs audio et vidéo et supports d'enregistrement) et la téléphonie (fixe ou mobile, satellite, visioconférence, etc.).

Qualité audio : Elle est souvent définie par son débit binaire et donc sa résolution. Plus le débit est important, plus les fichiers générés seront lourds. Une heure de musique en Hi-Res 24-Bit /192kHz occupera donc 2 Go alors que 635 Mo seront nécessaires pour stocker la même durée en qualité CD.

Définition d'un écran : La définition désigne le nombre de pixels affichés à l'écran. Elle s'exprime par deux valeurs correspondant au nombre de pixels affichés horizontalement et verticalement. Ainsi, pour la Ultra Haute Définition 4K, on parle d'un écran dont la définition est de 3840 pixels à l'horizontale et 2160 pixels à la verticale, soit une définition de 3840 x 2160 pixels.

Résolution d'un écran : En France, la résolution désigne le rapport entre le nombre total de pixels affichés par l'écran et sa taille en diagonale. Il s'agit en fait de la densité de pixels sur une surface donnée. La résolution s'exprime en pixel par pouce (ppp) ou pixel per inch en anglais (ppi).

Service Numérique : Un service numérique est une association :

- o D'équipements permettant de collecter, manipuler, afficher des données sous forme d'octets (serveurs, terminaux utilisateurs, box ADSL, etc.) ;
- o D'infrastructures (réseaux opérateurs et centres de données notamment) permettant de faire transiter, traiter et stocker des données ;
- o De plusieurs logiciels empilés les uns sur les autres, qui s'exécutent au-dessus des équipements ;
- o D'autres services numériques tiers éventuels

La/les fonctionnalité(s) du service numérique répondent à un besoin spécifique des utilisateurs.

Streaming : Procédé de diffusion d'un flux audio ou vidéo en « direct » ou en léger différé, très utilisé sur Internet et sur les réseaux de téléphonie mobile. Le streaming permet la lecture d'un flux audio ou vidéo (cas de la vidéo à la demande) à mesure qu'il est diffusé. Il s'oppose ainsi à la diffusion par téléchargement de fichiers qui nécessite de récupérer l'ensemble des données d'un morceau ou d'un extrait vidéo avant de pouvoir l'écouter ou le regarder.

ANNEXES

ANNEXE A – Analyse de la qualité des données

Dans le contexte de l'EF, la qualité des données de chaque nouveau jeu de données conforme à l'EF et de l'étude PEF complète doit être calculée et consignée. Le calcul de la DQR doit être fondé sur quatre critères de qualité des données : $DQR = \frac{TeR+GR+TiR+P}{4}$

où TeR est la représentativité technologique, GR est la représentativité géographique, TiR est la représentativité temporelle, et P est la précision. La représentativité (technologique, géographique et temporelle) caractérise la mesure dans laquelle les processus et produits choisis décrivent le système analysé, tandis que la précision indique la manière dont les données sont obtenues et le degré d'incertitude associé.

Cinq niveaux de qualité (d'excellente à médiocre) peuvent être atteints conformément à la note de qualité des données (DQR). Ils sont synthétisés dans le Tableau 50 :

Tableau 50 – Niveau de qualité globale des données des jeux de données conformes à l'EF, en fonction de la note de qualité des données obtenue

Note de qualité globale des données (DQR)	Niveau de qualité globale des données
$DQR \leq 1,5$	Excellente qualité
$1,5 \leq DQR \leq 2,0$	Très bonne qualité
$2,0 \leq DQR \leq 3,0$	Bonne qualité
$3,0 \leq DQR \leq 4,0$	Qualité acceptable
$4,0 \leq DQR \leq 5,0$	Qualité médiocre

Le Tableau 51 décrit la procédure pour calculer les DQR des jeux de données utilisés dans une étude PEF et qui seront utilisés dans cette étude :

Tableau 51 – Attribution des valeurs aux critères DQR

Note	TiR	TeR	GR
1	La date de publication du rapport PEF a lieu au cours de la durée de validité du jeu de données	La technologie utilisée dans l'étude PEF est exactement la même que celle visée par le jeu de données	Le processus modélisé dans l'étude PEF a lieu dans le pays pour lequel le jeu de données est valable
2	La date de publication du rapport PEF a lieu au plus tard 2 ans au-delà de la durée de validité du jeu de données	Les technologies utilisées dans l'étude PEF font partie de l'ensemble de technologies visées par le jeu de données	Le processus modélisé dans l'étude PEF a lieu dans la région géographique (Europe, par exemple) pour laquelle le jeu de données est valable
3	La date de publication du rapport PEF a lieu au plus	Les technologies utilisées dans l'étude PEF ne relèvent	Le processus modélisé dans l'étude PEF a lieu dans une

	tard 4 ans au-delà de la durée de validité du jeu de données	que partiellement du champ le jeu de données	des régions géographiques pour lesquelles le jeu de données est valable
4	La date de publication du rapport PEF a lieu au plus tard 6 ans au-delà de la période de validité du jeu de données	Les technologies utilisées dans l'étude PEF sont semblables à celles relevant du champ du jeu de données	Le processus modélisé dans l'étude PEF a lieu dans un pays ne faisant pas partie de la/des région(s) géographique(s) pour laquelle/lesquelles le jeu de données est valable, mais suffisamment de similitudes sont estimées sur la base de l'avis des experts
5	La date de publication du rapport PEF a lieu plus de 6 ans après la durée de validité du jeu de données, ou la durée de validité n'est pas précisée.	Les technologies utilisées dans l'étude PEF sont différentes de celles relevant du champ du jeu de données	Le processus modélisé dans l'étude PEF a lieu dans un pays différent de celui pour lequel le jeu de données est valable

Tableau 52 – Résultats de l'évaluation de la qualité des données du cycle de vie d'un livre papier

Etape de la chaîne de valeur	Représentativité technologique	Représentativité géographique	Représentativité temporelle	Précision / Incertitude	Total
Production	2	3	1	3	2,25
Transport	3	2	3	2	2,5
Utilisation	NA	NA	NA	NA	NA
Fin de vie	4	1	1	2	2

Un livre papier n'ayant pas d'impact d'utilisation, aucun score n'a été calculé sur cette étape. Le score final de la qualité de données du cycle de vie du livre papier est la moyenne des quatre étapes et vaut **2,25 points** ce qui correspond à une note de critère « **Bonne** ».

Tableau 53 – Résultats de l'évaluation de la qualité des données du cycle de vie d'une liseuse

Etape de la chaîne de valeur	Représentativité technologique	Représentativité géographique	Représentativité temporelle	Précision / Incertitude	Total
Production	1	1	1	1	1
Transport	3	2	3	2	2,5
Utilisation	1	1	1	1	1

Fin de vie	4	3	2	2	2,75
------------	---	---	---	---	------

Le score final de la qualité de données du cycle de vie d'une liseuse est la moyenne des quatre étapes et vaut **1,81 points** ce qui correspond à une note de critère « **Très bonne** ».

Tableau 54 – Résultats de l'évaluation de la qualité des données du cycle de vie d'un CD

Etape de la chaîne de valeur	Représentativité technologique	Représentativité géographique	Représentativité temporelle	Précision / Incertitude	Total
Production	3	4	4	1	3
Transport	3	2	3	2	2,5
Utilisation	NA	NA	NA	NA	NA
Fin de vie	3	1	1	2	1,75

Un CD n'ayant pas d'impact d'utilisation, aucun score n'a été calculé sur cette étape. Le score final de la qualité de données du cycle de vie d'un CD est la moyenne des quatre étapes et vaut **2,42 points** ce qui correspond à une note de critère « **Bonne** ».

Tableau 55 – Résultats de l'évaluation de la qualité des données du cycle de vie d'une chaîne hi-fi

Etape de la chaîne de valeur	Représentativité technologique	Représentativité géographique	Représentativité temporelle	Précision / Incertitude	Total
Production	2	3	1	3	2,25
Transport	3	2	3	2	2,5
Utilisation	2	1	2	2	1,75
Fin de vie	3	2	1	2	2

Le score final de la qualité de données du cycle de vie de la chaîne hi-fi est la moyenne des quatre étapes et vaut **2,13 points** ce qui correspond à une note de critère « **Bonne** ».

Tableau 56 – Résultats de l'évaluation de la qualité des données du cycle de vie d'un lecteur DVD

Etape de la chaîne de valeur	Représentativité technologique	Représentativité géographique	Représentativité temporelle	Précision / Incertitude	Total
Production	5	3	1	4	3,25
Transport	3	2	3	2	2,5
Utilisation	4	1	2	2	2,25

Fin de vie	3	2	1	2	2
------------	---	---	---	---	---

Le score final de la qualité de données du cycle de vie du lecteur DVD est la moyenne des quatre étapes et vaut **2,50 points** ce qui correspond à une note de critère « **Bonne** ».

Beaucoup de données de NegaOctet ont été utilisées dans cette étude pour modéliser de nombreux équipements. Ainsi ces données doivent également être évaluées dans la qualité des données. Pour la représentativité temporelle, nous considérons que tous les équipements modélisés sont représentatifs de l'année 2022. Nous savons également qu'un grand travail de recherche et de déconstruction d'équipements a été réalisé afin de modéliser au mieux toutes les commodités. Toutefois, la base de données NegaOctet n'est pas du tout transparente sur la modélisation de ses procédés. C'est pourquoi la plus mauvaise note a été attribuée pour le critère de précision / incertitude.

Tableau 57 – Résultats de l'évaluation de la qualité des données du cycle de vie des équipements NegaOctet

Équipement NegaOctet	Représentativité technologique	Représentativité géographique	Représentativité temporelle	Précision / Incertitude	Total
Box TV	2	2	1	5	2,5
Console	2	2	1	5	2,5
Ecran ordinateur	2	2	1	5	2,5
Enceinte connectée	2	2	1	5	2,5
Ordinateur fixe	2	2	1	5	2,5
Ordinateur portable	2	2	1	5	2,5
Ordinateur portable pour jeu vidéo	2	2	1	5	2,5
Smartphone	2	2	1	5	2,5
Tablette	2	2	1	5	2,5
Télévision	2	2	1	5	2,5

Ainsi, pour chaque commodité de NegaOctet, la note de **2,5 points** de qualité correspondant au critère « **Bonne** » leur est attribuée.

ANNEXE B – Modélisation de l'étape d'impression du livre papier

Les Tableau 58, Tableau 59, Tableau 60 & Tableau 61 permettent de comprendre comment une plaque gravée a été modélisée dans cette étude.

Tableau 58 – Modélisation de la gravure d'une plaque pour l'impression d'un livre

Composants	Valeur	Unité	Procédé ecoinvent v3.8
INTRANTS			
Révéléateur	0,55	g	Cf Tableau 59
Remplisseur	4,10	g	Cf Tableau 60
Plaque	1	Pièce	Cf Tableau 61
Electricité	0,44	kWh	Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, U
SORTANTS			
Déchet liquide	4,65	g	Hazardous waste, for underground deposit {RER} market for hazardous waste, for underground deposit Cut-off, U

Tableau 59 – Modélisation du révélateur pour la production des plaques gravées

Composants	%	Procédé ecoinvent v3.8
Disodium metasilicate	10,0%	Sodium metasilicate pentahydrate, 58% active substance, powder {RER} market for sodium metasilicate pentahydrate, 58% active substance, powder Cut-off, U
Sodium octanoate	5,0%	Sodium {GLO} market for Cut-off, U
Sodium hydroxide	0,5%	Neutralising agent, sodium hydroxide-equivalent {GLO} market for Cut-off, U
Eau	84,5%	Tap water {RER} market group for Cut-off, U

Tableau 60 – Modélisation d'un remplisseur pour la production des plaques gravées

Composants	%	Procédé ecoinvent v3.8
Disodium metasilicate	10,0%	Sodium metasilicate pentahydrate, 58% active substance, powder {RER} market for sodium metasilicate pentahydrate, 58% active substance, powder Cut-off, U
Sodium octanoate	5,0%	Sodium {GLO} market for Cut-off, U

Sodium hydroxide	2,0%	Neutralising agent, sodium hydroxide-equivalent {GLO} market for Cut-off, U
Eau	83,0%	Tap water {RER} market group for Cut-off, U

Tableau 61 – Modélisation de la production d'une plaque vierge pour gravure

Composants	Valeur	Unité	Procédé ecoinvent v3.8
Aluminium	304,5	g	Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U
Acier	0,9	g	Iron pellet {GLO} market for Cut-off, U
Magnesium	0,54	g	Magnesium {GLO} market for Cut-off, U
Manganese	0,16	g	Manganese {GLO} market for Cut-off, U
Electricité	0,38	kWh	Electricity, medium voltage {FR} market for Cut-off, U
Chaleur – fioul	0,93	MJ	Heat, district or industrial, other than natural gas {Europe without Switzerland} heat production, light fuel oil, at industrial furnace 1MW Cut-off, U
Chaleur – gaz naturel	0,93	MJ	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U
Eau	3,93	L	Tap water {RER} market group for Cut-off, U

Le Tableau 62 permet de comprendre le traitement en fin de vie d'une plaque gravée, suite à l'impression d'un livre.

Tableau 62 – Modélisation du traitement de fin de vie des plaques gravées

Composants	Valeur	Unité	Procédé ecoinvent v3.8
Aluminium	304,5	g	Aluminium (waste treatment) {GLO} recycling of aluminium Cut-off, U
Acier	0,90	g	Municipal solid waste {FR} market for municipal solid waste Cut-off, U
Magnesium	0,54	g	Municipal solid waste {FR} market for municipal solid waste Cut-off, U
Manganèse	0,16	g	Municipal solid waste {FR} market for municipal solid waste Cut-off, U

Le Tableau 63 permet de comprendre la modélisation de la solution liquide utilisée lors de l'étape d'impression d'un livre.

Tableau 63 – Modélisation de la solution liquide utilisée lors de l'étape d'impression

Composants	Valeur du JRC	Hypothèse	Nouvelle valeur	Procédé ecoinvent v3.8
Damping solution	0,08 mL	1kg = 1L	0,08 kg	Chemical, organic {GLO} production Cut-off, U
2-butoxyetanol	0,025 mL	900 kg/m ³	0,023 kg	Chemical, organic {GLO} production Cut-off, U
Propano-1,2-diol	0,016 mL	1040 kg/m ³	0,017 kg	Propylene glycol, liquid {RER} market for propylene glycol, liquid Cut-off, U
Eau	1,89 mL		1,89 kg	Tap water {RER} market group for Cut-off, U
Isopropyl alcohol (IPA)	0,082 mL	786 kg/m ³	0,065 kg	Isopropanol {RER} production Cut-off, U

ANNEXE C – Informations et sources des données de durée de vie, intensité d’usage et consommation d’énergie des équipements utilisés dans les différents scénarios

Tableau 64 - Informations et sources des données de durée de vie, intensité d’usage, et consommation d’énergie des équipements

Équipement	Durée de vie			Intensité d'usage			Consommation d'électricité		
	Années	Unité	Source	Intensité	Unité	Source	Consommation	Unité	Source
Box TV	5	ans	ADEME-Arcep 2022	2,86	h / jour	Equivalent Télévision	73,00	kWh/an	NegaOctet
Chaîne Hi-Fi	5	ans	ADEME-Arcep 2022	0,72	h / jour	ICT Impact study	0,06	kW	Estimé à partir de ADEME - RDC 2019
Console	6,5	ans	ADEME-Arcep 2022	0,93	h / jour	ADEME-Arcep 2022	55,88	kWh/an	NegaOctet
Écran d'ordinateur	6	ans	ADEME-Arcep 2022	2,42	h / jour	Equivalent ordinateur	39,85	kWh/an	NegaOctet
Enceinte connectée	5	ans	ADEME-Arcep 2022	0,56	h / jour	Estimé à partir de Arcep 2021	23,00	kWh/an	NegaOctet
Lecteur DVD	8	ans	ADEME-Arcep 2022	0,20	h / jour	Estimé à partir de nscreenmedia ³¹	0,009	kW	Estimé à partir de modèles vendus en ligne
Liseuse numérique	5	ans	ADEME-Arcep 2022	<i>(confidentiel)</i>		Rakuten Kobo	<i>(confidentiel)</i>		Rakuten Kobo
Ordinateur fixe	5	ans	ADEME-Arcep 2022	2,42	h / jour	Equivalent ordinateur portable	146	kWh/an	NegaOctet
Ordinateur portable	5	ans	ADEME-Arcep 2022	2,42	h / jour	Estimé à partir de Arcep 2021	22,19	kWh/an	NegaOctet
Ordinateur portable pour jeu vidéo	5	ans	ADEME-Arcep 2022	2,42	h / jour	Equivalent ordinateur portable	29,10	kWh/an	NegaOctet
Smartphone	2,5	ans	ADEME-Arcep 2022	1,62	h / jour	Estimé à partir de Médiamétrie ³²	4,10	kWh/an	NegaOctet
Tablette	3	ans	ADEME-Arcep 2022	0,39	h / jour	Estimé à partir de Arcep 2021	18,60	kWh/an	NegaOctet
Tablette dédiée à la lecture	3	ans	Equivalent Tablette	4,44	livres / an	Equivalent liseuse numérique	0,13	kW	Calculé à partir de la consommation Tablette
Télévision	8	ans	ADEME-Arcep 2022	2,86	h / jour	Estimé à partir de Arcep 2021	127,63	kWh/an	NegaOctet

³¹ <https://nscreenmedia.com/tale-two-devices-pc-dvd-player-usage/>

³² <https://www.mediametrie.fr/fr/les-jeunes-toujours-plus-accros-leur-smartphone>

ANNEXE D – Informations et sources des données de débit binaire et taille de fichiers numérique

Tableau 65 – Informations et sources des données de débit binaire et taille de fichiers numériques

Donnée	Unité	Valeur	Source
Lire un livre			
Taille du fichier de l'ebook	Mo	3	Basé sur Tahara et al 2018, livre de 224 pages = 2,3 Mo
Ecouter de la musique			
Débit du streaming audio - 128 kbps	Go / h	0,06	<i>Calcul - conversion unité</i>
Débit du streaming audio - 320 kbps	Go / h	0,14	<i>Calcul - conversion unité</i>
Débit du streaming audio - FLAC hifi 1411kbps	Go / h	0,63	<i>Calcul - conversion unité</i>
Débit moyen du streaming audio	Go / h	0,10	<i>74% 128 kbps, 22% 320 kbps, 4% 1411 kbps</i>
Temps d'utilisation total du CD - par défaut	heure	50	Estimation I Care. Nombre de CD vendus en France en 2007 : 70 millions
Temps d'utilisation total du CD - courte durée de vie	heure	25	Estimation I Care (défaut /2)
Temps d'utilisation total du CD - longue durée de vie	heure	100	Estimation I Care (défaut x2)
Regarder un film			
Temps d'utilisation total du DVD - par défaut	heure	4	Estimation I Care
Temps d'utilisation total du DVD - courte durée de vie	heure	2	Estimation I Care (défaut /2)
Temps d'utilisation total du DVD - longue durée de vie	heure	8	Estimation I Care (défaut x2)
Débit moyen du streaming vidéo	Go / h	2,88	Carbon Trust 2021 - Carbon impact of video streaming
Débit du streaming vidéo en haute qualité	Go / h	7	Carbon Trust 2021 - Carbon impact of video streaming
Débit du streaming vidéo en basse qualité	Go / h	1	Carbon Trust 2021 - Carbon impact of video streaming
Débit du streaming vidéo sur mobile - auto	Go / h	0,25	Carbon Trust 2021 - Carbon impact of video streaming
Débit du streaming vidéo sur mobile - haute qualité	Go / h	3,00	Carbon Trust 2021 - Carbon impact of video streaming
Jouer à un jeu vidéo			
Tie-ratio	jeux	12,14	Nombre de jeux acheté au cours de la durée de vie de la console - estimé à partir des données sur la PS4 (2021) ³³
Temps total de jeu par jeu	heure / jeu	181,7	<i>Calcul - temps de jeu total sur la durée de vie de la console divisé par le tie-ratio</i>

³³ https://www.vgchartz.com/charts/platform_totals/TieRatio.php

Taille d'un jeu téléchargé - par défaut	Go	76,8	Moyenne des jeux les plus vendus en 2021 (Nintendo exclu) ³⁴
Taille d'un jeu téléchargé – jeu léger	Go	6,8	Moyenne des jeux Nintendo en 2021
Taille d'un jeu téléchargé – jeu lourd	Go	119,7	Moyenne des jeux FPS les plus vendus en 2021
Débit jeu en ligne	Mo / h	81,92	Moyenne des jeux les plus vendus en 2021 (Flight simulator exclu) ³⁵
Téléchargement de mise à jour – par défaut	Go	50	Estimation d'un total de 50 Go de mise à jour sur le temps de jeu total moyen.
Téléchargement de mise à jour – jeu léger	Go	5	Estimation à partir de la valeur de 50 Go et de la taille du jeu léger considéré
Téléchargement de mise à jour – jeu lourd	Go	75	Estimation à partir de la valeur de 50 Go et de la taille du jeu lourd considéré
Débit cloud gaming - définition 1080p	Go / h	13,05	Di Domenico et al 2021. L'allocation ligne fixe est remplacée à 365 Go/mois dans ce cas
Débit cloud gaming - haute définition 4K	Go / h	19,8	Di Domenico et al 2021. L'allocation ligne fixe est remplacée à 554 Go/mois dans ce cas
Débit cloud gaming - basse définition 720p	Go / h	4,95	Di Domenico et al 2021

³⁴ <https://wholesgame.com/news/top-20-best-selling-video-games-in-europe-february-2022/>

³⁵ <https://www.whistleout.com.au/Broadband/Guides/how-much-data-do-i-need-for-online-gaming>

ANNEXE E – Analyse des points de bascule sur le service « lire un livre », approche cumulative

L'étude sur le service « lire un livre » inclut une analyse de points de bascule entre les scénarios de lecture selon les habitudes usagers (nombre de livres lus par an). L'analyse se focalise sur les impacts par UF sur les indicateurs changement climatique et ressources minérales et métalliques. Une analyse complémentaire est présentée ici en étudiant les points de bascule entre les scénarios, cette-ci sur le paramètre du nombre de livre lus. Contrairement à la précédente analyse qui, l'approche utilisée ici est donc une approche cumulative : on étudie au bout de combien de livre un scénario devient plus qu'un autre lorsque qu'on regarde son impact cumulatif. Deux indicateurs sont étudiés : changement climatique et ressources minérales et fossiles.

L'analyse traite uniquement des scénarios sur format papier et liseuse numérique. Les scénarios sur tablette ne sont pas étudiés dans cette approche cumulative.

La figure suivante présente l'analyse des points de bascule sur l'impact cumulatif sur le changement climatique des scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations), et liseuse, selon le nombre de livres lus.

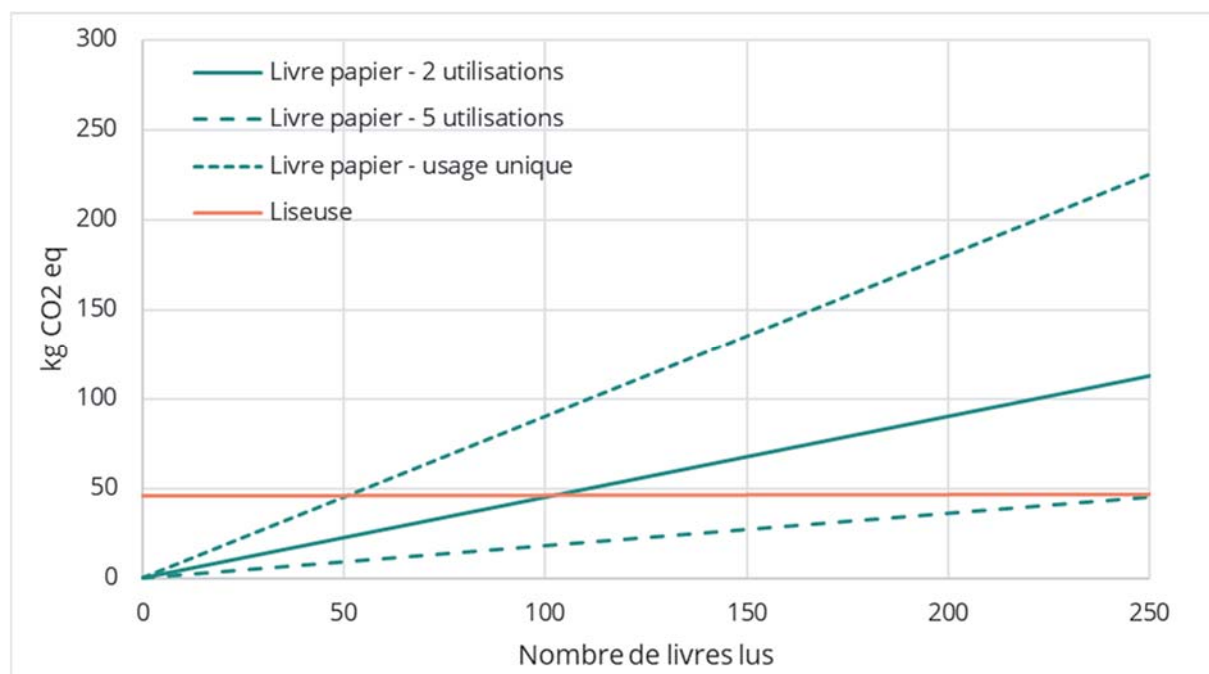


Figure 57 – Analyse des points de bascule sur l'impact cumulatif sur le changement climatique des scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations), et liseuse, selon le nombre de livres lus

Sur cet indicateur changement climatique, on observe que les points de bascule entre le scénario sur liseuse et les scénarios sur livre papier considérés utilisés 1 fois (usage unique), 2 fois (2 utilisations) ou 5 fois (5 utilisations) sont respectivement de 50 livres, 100 livres et 250 livres. C'est-à-dire qu'au bout de 50 livres lus sur liseuse, l'impact sur le changement climatique devient plus faible que si les livres avaient été lus au format papier (dans un scénario d'usage unique, donc neuf et jamais réutilisés). En d'autres termes, il faut un minimum de 50 lectures pour rentabiliser l'impact carbone de la liseuse, par rapport à la lecture de livres neufs.

La figure suivante présente l'analyse des points de bascule sur l'impact cumulatif sur les ressources minérales et métalliques des scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations), et liseuse, selon le nombre de livres lus.

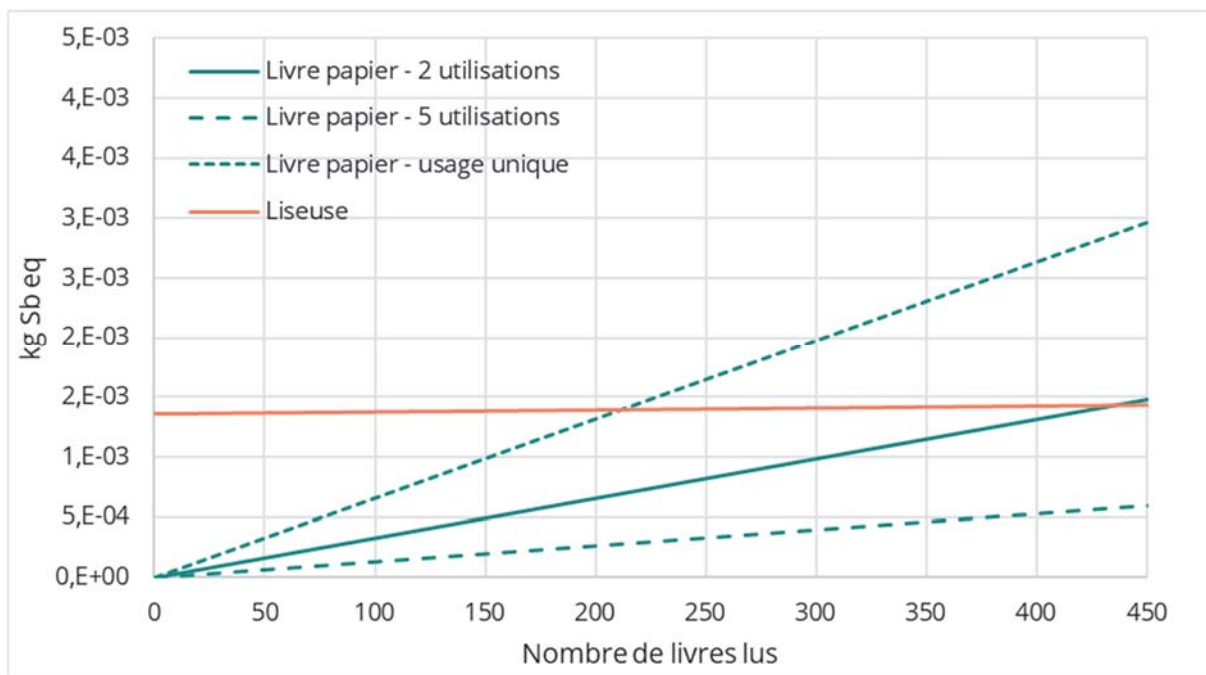


Figure 58 – Analyse des points de bascule sur l’impact cumulatif sur les ressources minérales et métalliques des scénarios livre papier (usage unique, 2 ou 5 utilisations), et liseuse, selon le nombre de livres lus

Sur cette indicateur ressources minérales et métalliques, on observe que les points de bascule entre le scénario sur liseuse et les scénarios sur livre papier considéré utilisé 1 fois (usage unique), 2 fois (2 utilisations) sont respectivement de 210 livres et 450 livres lus. Celui avec le scénario sur livre papier utilisé 5 fois (5 utilisations) se situe bien au-delà de 450 livres et semble donc hors de portée.

Cette autre approche permet de s’affranchir de la durée de vie de la liseuse. Qu’elle que soit le nombre d’année d’utilisation de la liseuse, il faut atteindre 50 lectures pour que chaque lecture supplémentaire ait moins d’impact carbone que le format papier neuf, voire plus si l’on se compare à de la lecture sur livre d’occasion, utilisé au moins 2 fois. Cependant, sur un autre indicateur, les ressources minérales et métalliques (qui constitue un enjeu important sur le numérique), ce point de bascule est bien plus important et semblent difficile à atteindre (au minimum 210 livres, soit 1 livre de 300 pages par semaine pendant 4 ans).

Il est important d’interpréter ces résultats au regard des limites de modélisation de ce service, précisé dans la partie conclusion sur service « lire un livre ».

ANNEXE F – Résultats du cycle de vie des équipements utilisés dans cette étude

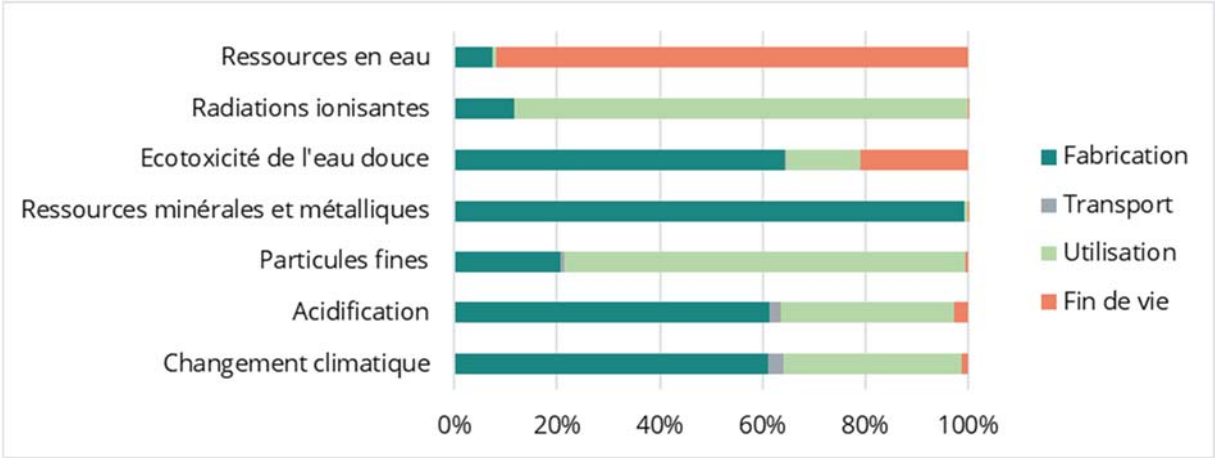


Figure 59 - Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie du datacenter gaming, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

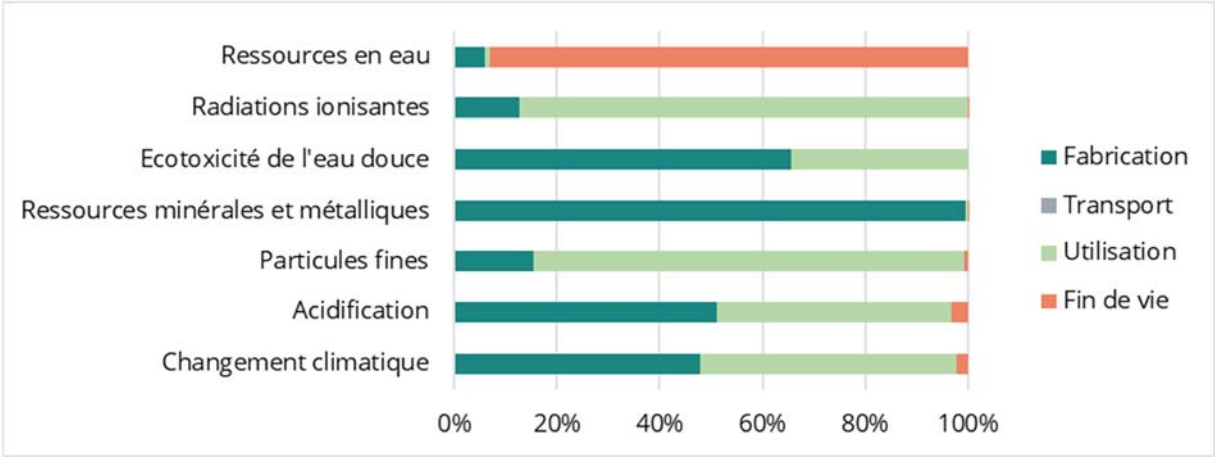


Figure 60 - Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie du réseau fixe, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

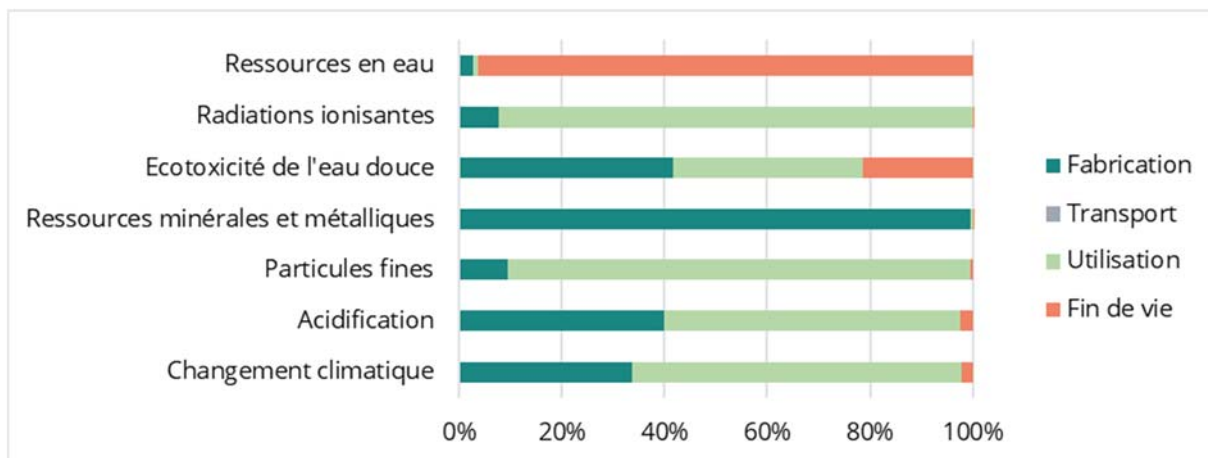


Figure 61 - Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie du réseau mobile, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

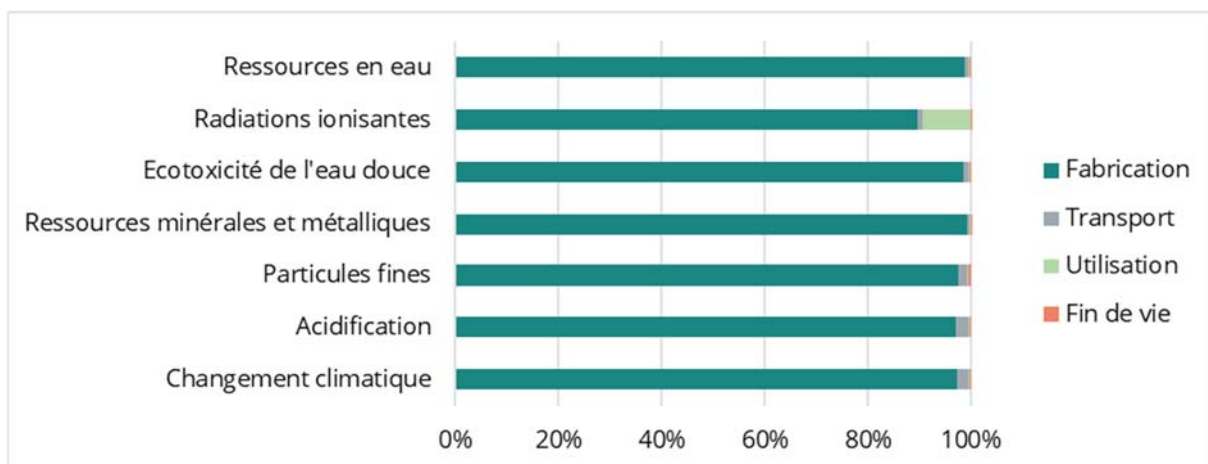


Figure 62 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une liseuse, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

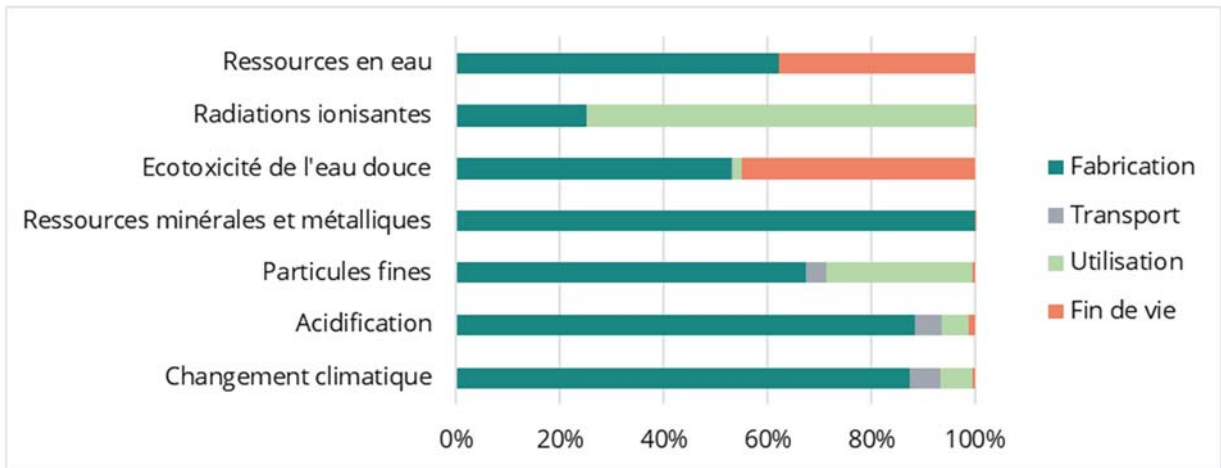


Figure 63 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une tablette, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

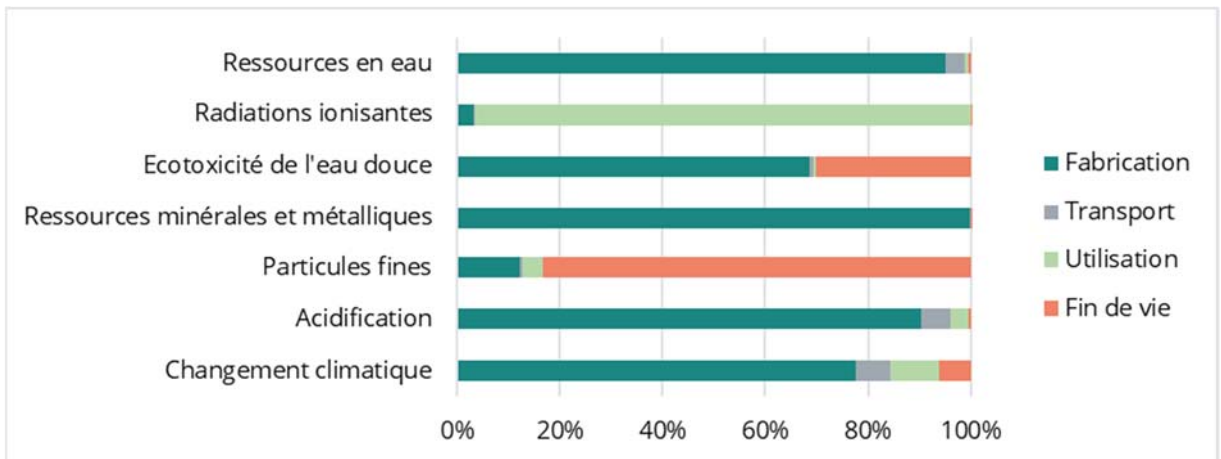


Figure 64 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une chaîne hi-fi, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

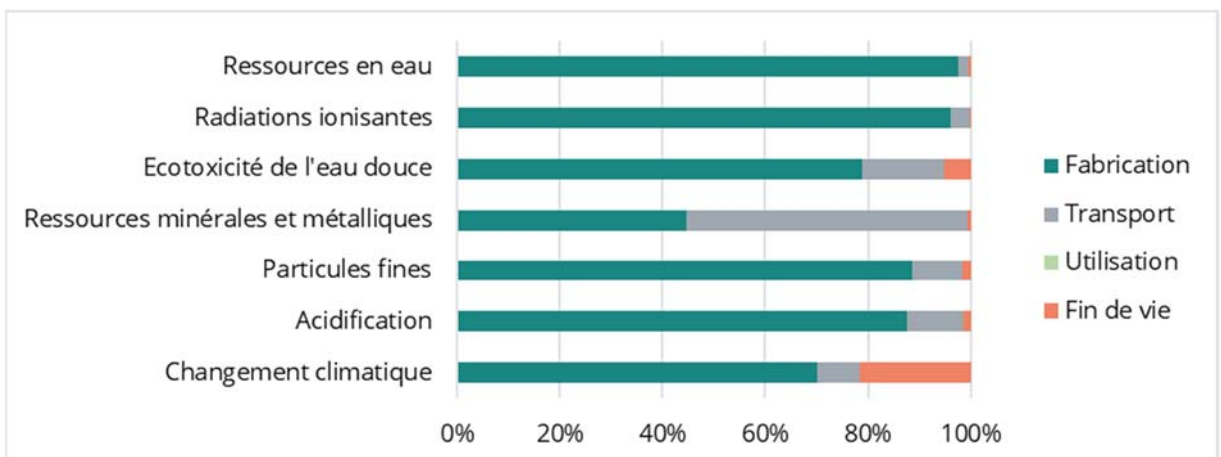


Figure 65 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un CD, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

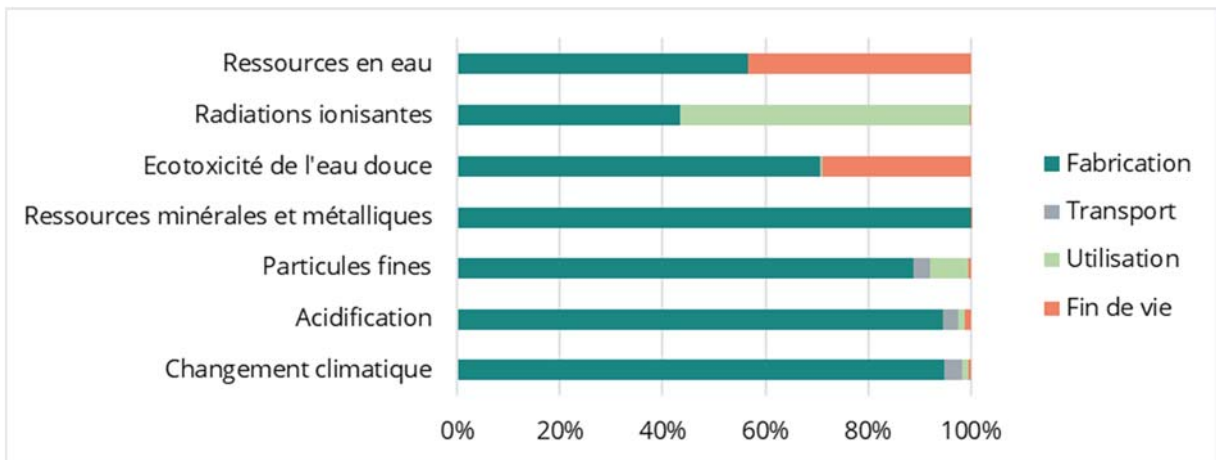


Figure 66 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un smartphone, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

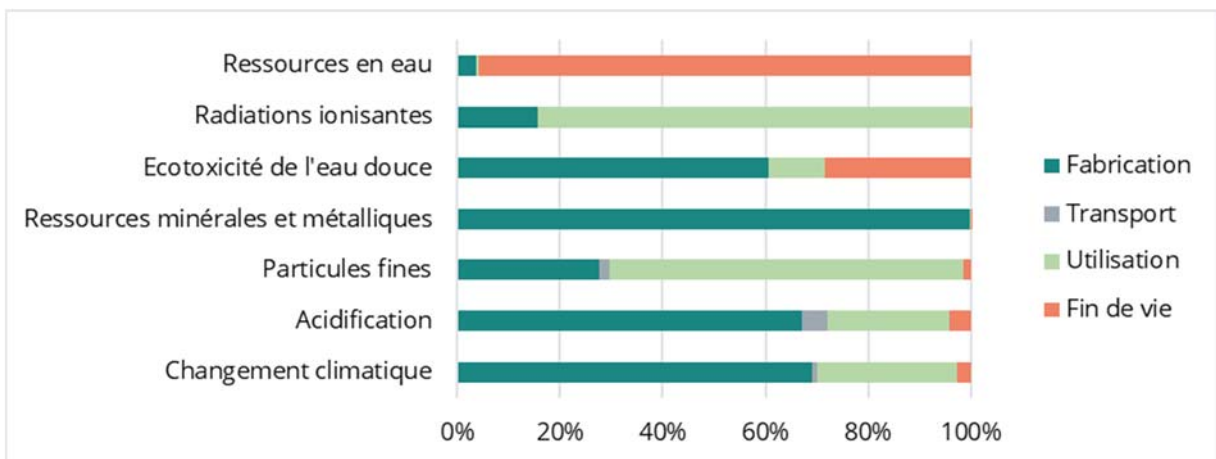


Figure 67 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une enceinte connectée, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

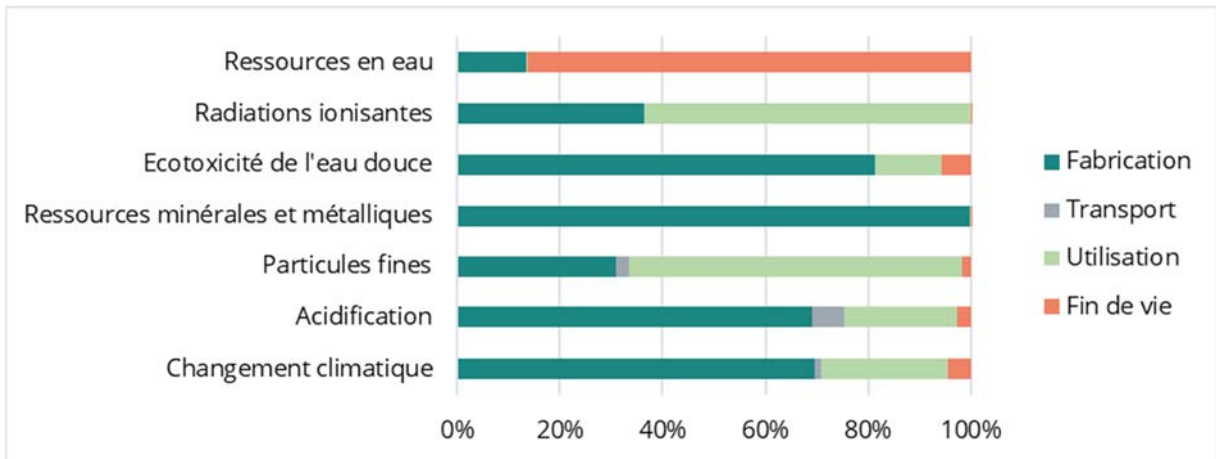


Figure 68 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une TV, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

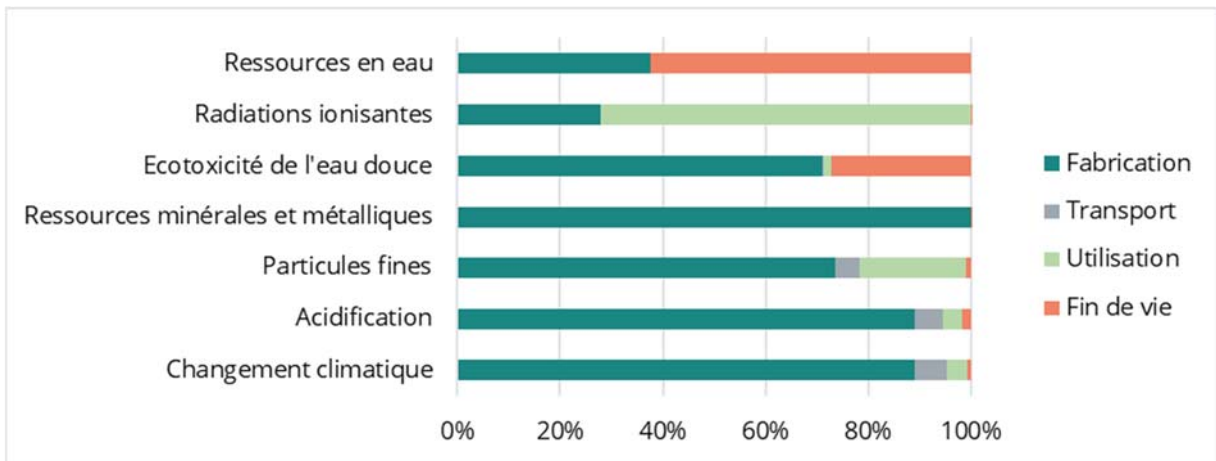


Figure 69 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un ordinateur portable, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

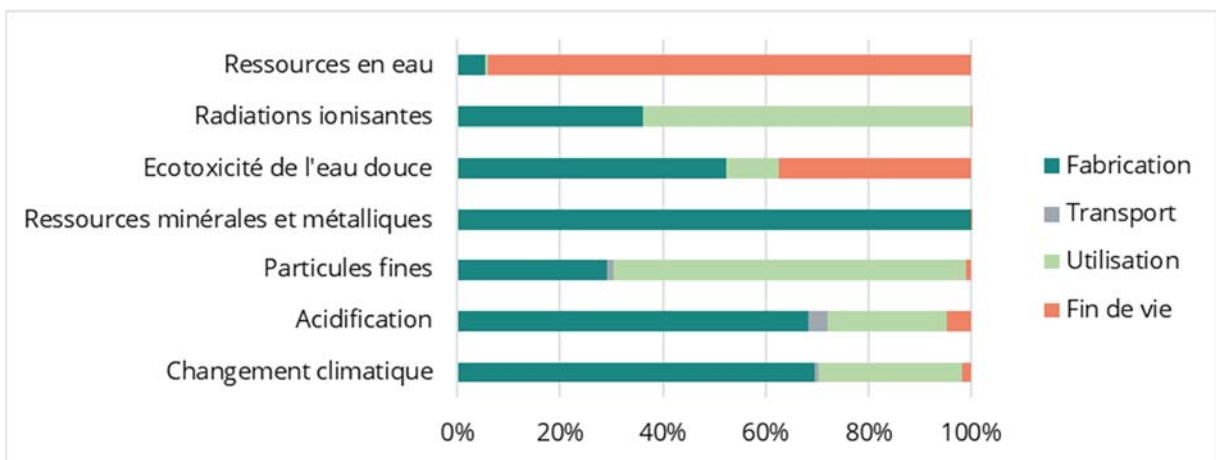


Figure 70 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une box TV, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

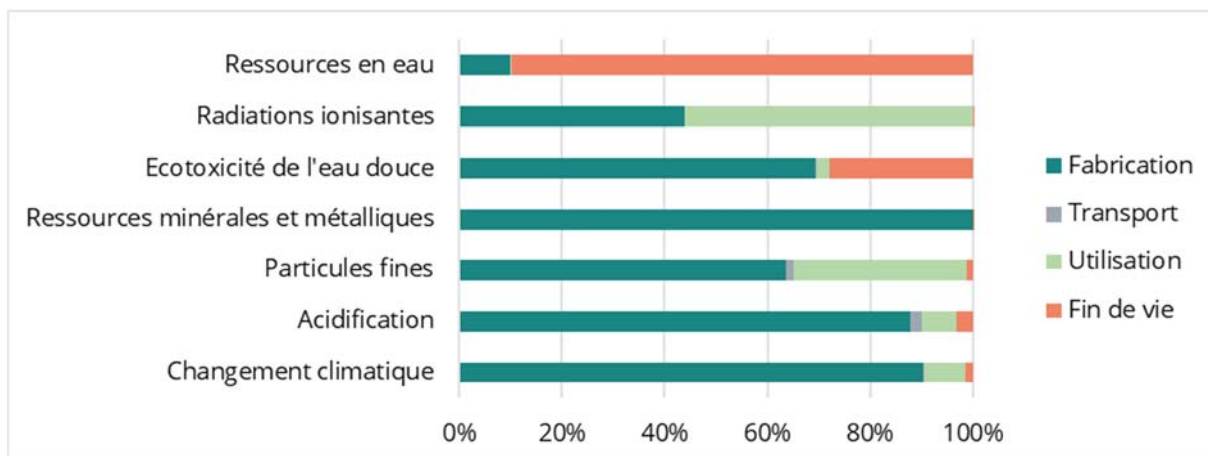


Figure 71 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'une console, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

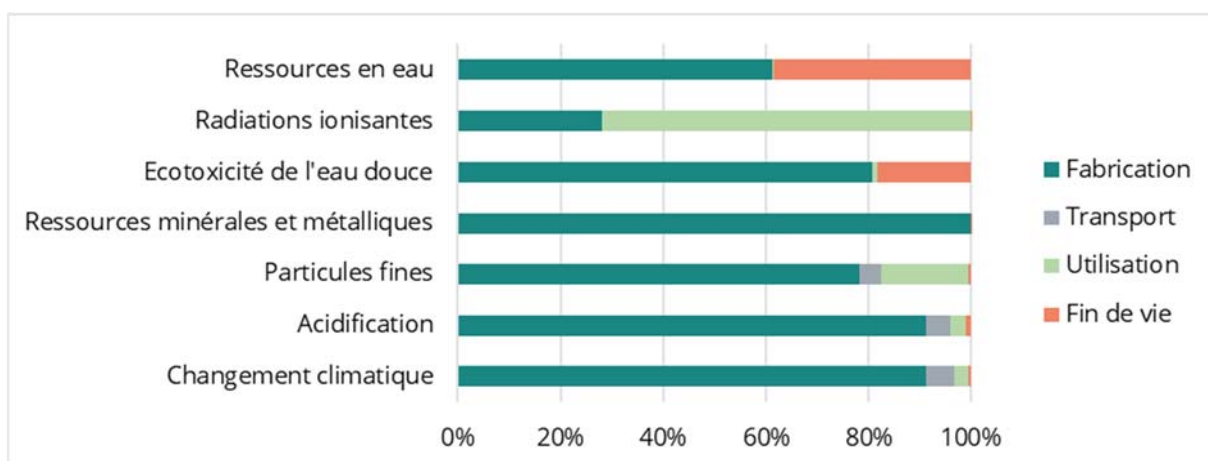


Figure 72 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un ordinateur portable pour jeu vidéo, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

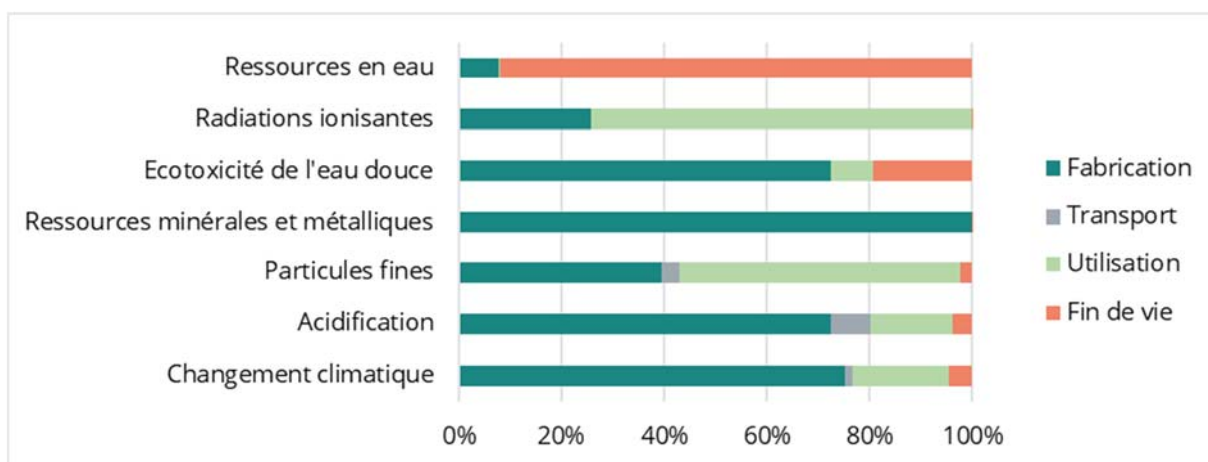


Figure 73 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un écran d'ordinateur, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

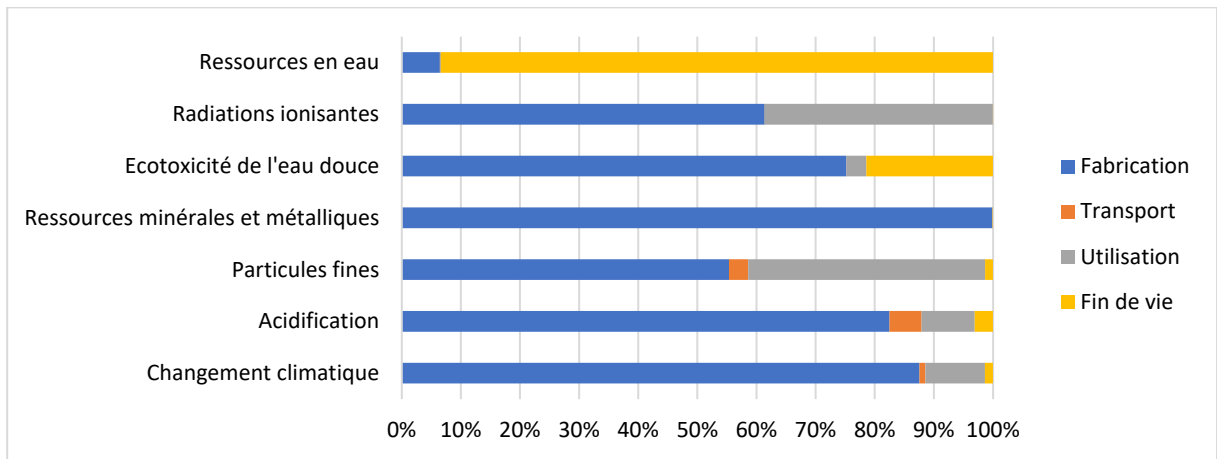


Figure 74 – Zoom sur les impacts environnementaux du cycle de vie d'un ordinateur fixe, sur l'ensemble des indicateurs étudiés

EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA DIGITALISATION DES SERVICES CULTURELS

RAPPORT DE REVUE CRITIQUE

DATE

15 novembre 2022

TITRE DE L'ETUDE

Evaluation de l'impact environnemental de la digitalisation des services culturels

COMMANDITAIRE DE L'ETUDE ACV

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

REALISATEUR DE L'ETUDE ACV

I Care, 28 Rue du 4 Septembre, Paris

VERSION DU RAPPORT ACV

Rapport final, nov. 2022

MEMBRES DU COMITE DE REVUE

- Etienne Lees-Perasso, TIDE, président du comité de revue
- Eric Fourboul, Hubblo
- Laurent Eskenazi, Hubblo

DESCRIPTION DU PROCESSUS DE REVUE

- La revue critique a été effectuée en se fondant sur l'ISO 14044:2006, paragraphe 6.3 (revue critique par le comité des parties intéressées).
- La revue critique a été effectuée à l'issue de l'étude
- La revue critique comporte une évaluation du modèle ICV
- La revue critique ne comporte pas une analyse des feuilles de données individuelles

DESCRIPTION DE LA MANIERE DONT LES COMMENTAIRES ONT ETE FORMULES, DEBATTUS ET MIS EN PRATIQUE

La revue critique a suivi le processus suivant :

1. 22/06/2022 : réunion de lancement de la revue critique en présence de I Care, de l'ADEME et du comité de revue
 - Présentation de l'étude (contexte, travaux effectués, résultats, interprétation) par I Care et l'ADEME
 - Présentation du processus de revue critique par le président du comité
 - Discussion sur le planning de revue critique
2. 05/08/2022 : envoi par I Care de la première version de rapport d'ACV et des fichiers de calcul
3. 05/08/2022 au 31/08/2022 : première phase de revue par le comité
4. 31/08/2022 : envoi par le président du comité de revue des premiers retours
5. 08/09/2022 : réunion de présentation et d'explication des retours de revue, en présence de de I Care, de l'ADEME et du comité de revue
6. 14/10/2022 : envoi par I Care de la seconde version de rapport d'ACV et des fichiers de calcul, ainsi que des retours sur les commentaires formulés
7. 14/10/2022 au 29/10/2022 : seconde phase de revue par le comité
8. 29/10/2022 : envoi par le président du comité de revue des premiers retours
9. 07/11/2022 : envoi par I Care de la version finale de rapport d'ACV et des fichiers de calcul, ainsi que des retours sur les commentaires formulés
10. 18/11/2022 : envoi par le président du comité du rapport de vérification

DECLARATION DU RESULTAT DE LA REVUE CRITIQUE

L'étude se révèle en conformité avec les normes ISO 14040:2006 et ISO 14044:2006.

AVIS SUR L'ETUDE ET LIMITATIONS

Les services culturels ont connu une forte numérisation au cours des dernières années. Cette numérisation a entraîné une mutation de la façon de les consommer, ainsi que des impacts environnementaux associés. Ces impacts ont fait et font l'objet de nombreuses discussions dans le grand public.

La complexité de la question demandait donc la réalisation d'une étude approfondie pour traiter ce sujet. Le présent rapport permet d'apporter des éléments d'éclairage sur la question.

Cette étude suit les normes ISO 14040 et ISO 14044, et propose le calcul d'un panel d'indicateurs reconnus (indicateurs PEF EF 3.0), et pertinents pour les services numériques comme les services classiques.

Les résultats sont pertinents et cohérents, en lien avec les objectifs de l'étude. L'interprétation permet une analyse plus poussée de la compréhension des impacts et des enjeux.

L'étude est ainsi de bonne qualité. Cependant, des limites restent présentes, et notamment :

- La modélisation du tier centre de données et des serveurs est parfois faible, faisant appel à des hypothèses importantes.
- Le périmètre et la fonctionnalité des services numériques n'est pas toujours similaire à celui de leur contrepartie traditionnelle.
- Les effets indirects ne sont pas complètement traités, bien que la question soit abordée dans le rapport.

Plus précisément, concernant la modélisation du tier centre de données :

Les centres de données (datacenters) utilisés pour les services numériques de la présente étude représentent un impact important de ces services. Cependant, la connaissance de ces centres de données est limitée de part différents facteurs, comme la multiplicité des acteurs, souvent localisés en dehors de la France, le côté dynamique de l'usage des serveurs, les fortes évolutions technologiques, et également les problématiques d'accès aux informations liées à la confidentialité.

De ce fait, la modélisation des centres de données a parfois fait l'objet d'hypothèses qui, si elles ne changent pas les conclusions générales de l'étude, génèrent une incertitude sur les impacts de cette partie.

Concernant le périmètre et la fonctionnalité des services numériques :







Pour de nombreux cas présents dans la présente étude, les périmètres fonctionnels ne sont pas parfaitement identiques entre les services traditionnels et les services numériques. Par exemple, pour le service "écouter de la musique", l'arrivée de la numérisation (streaming, mp3) a renforcé la possibilité de portabilité de ce service (écoute de musique hors de chez soi). De la même façon, le streaming de films a eu un impact sur le visionnage de films au cinéma.

Ainsi, une étude à périmètre identique aurait dû soit prendre en compte l'ensemble des fonctionnalités des services traditionnels et les comparer aux services numériques (extension du système), soit pratiquer une règle d'allocation sur les services numériques pour isoler la part correspondant au périmètre des services traditionnels. Nous reconnaissons cependant que ces approches sont complexes à mettre en œuvre du fait du manque de vision sur les périmètres exacts.

Concernant les effets indirects :

La question des effets indirects (effets rebond notamment, mais aussi effets de substitution et transformations systémiques) est complexe à traiter de part le caractère prévisionnel, lié à un secteur soumis à de fortes évolutions et des sauts technologiques.

Si l'étude illustre bien l'effet rebond de manière rétrospective sur l'exemple du visionnage de DVD et de vidéo par internet, montrant dans ce cas ce qui apparaît comme un effet "backfire" (augmentation des impacts globaux), elle précise également que "dans la réalité, il est très difficile de déterminer l'impact engendré et évité par la digitalisation des services, du fait de la grande diversité d'usage et des possibilités de substitution". Dès lors, il n'est pas possible de conclure sur le bienfait ou non de numériser des services traditionnels, et l'étude ne peut se comprendre qu'à usage constant.

<p>Président du comité de revue</p>	<p>Membre du comité de revue</p>	<p>Membre du comité de revue</p>
<p>Etienne Lees-Perasso</p>	<p>Laurent Eskenazi</p>	<p>Eric Fourboul</p>
<p>TIDE</p>	<p>Hubblo</p>	<p>Hubblo</p>
		
		

L'ADEME EN BREF

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

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

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

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

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

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

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



CLÉS POUR AGIR

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



ILS L'ONT FAIT

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



EXPERTISES

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



HORIZONS

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

EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA DIGITALISATION DES SERVICES CULTURELS

Cette étude s'est appuyée sur l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) de 4 services culturels : « regarder un film », « écouter de la musique », « jouer aux jeux vidéo » et « lire un livre ». Plusieurs scénarios ont été étudiés, en étudiant notamment des usages historiques et des usages plus récents, notamment les usages streaming.

Des analyses de sensibilité ont été réalisées afin d'étudier l'impact de certains facteurs au regard de différents enjeux environnementaux.

Par ailleurs, il convient de préciser les limites de cette étude et d'étudier la question de l'effet rebond à une échelle plus systémique, mais également les limites de l'approche « attributionnelle » qui a été employée dans le cadre de cette étude.

Enfin, des recommandations ont été formulées à destination des utilisateurs et des fournisseurs de services, dans le but d'intégrer davantage de sobriété numérique pour ces services numériques culturels.