



coopérative
carbone La Rochelle

 Novelab.



Midjourney

CEPIR

Cas d'Étude pour un Immersif Responsable
Rapport final - 15 février 2024

Auteurs : Landia Egal, Marie-Véronique Gauduchon, Amaury La Burthe, Benoît Ruiz

ÉVALUER LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA XR EN FRANCE

ÉMETTRE DES RECOMMANDATIONS À L'ATTENTION DES POUVOIRS PUBLICS ET DES PROFESSIONNELS DE LA XR

ŒUVRER À L'ÉCORESPONSABILITÉ ET À LA RÉSILIENCE DE LA FILIÈRE





Cher lecteur,

En préambule de ce rapport, nous avons quelques confessions à vous faire.

Nos travaux dans le cadre du projet CEPIR, acronyme de Cas d'Etude pour un Immersif Responsable, ont dès le début largement dépassé le champ du cas d'étude !

Notre véritable objectif était de faire une première **évaluation des impacts environnementaux de la filière XR française**, dans un contexte où nous devons réduire les impacts environnementaux du numérique - comme de tous les autres secteurs, soit dit en passant.

Pourquoi évaluer ? Parce que si la question est floue, il est difficile de se mettre d'accord. Il faut donc commencer par **préciser les questions à se poser**, les arbitrages à faire, pour qu'ensuite les différentes sphères de la société (économique, civile, politique) puissent s'en saisir.

L'objectif de CEPIR est de montrer qu'il y a un sujet et de faire en sorte qu'il soit abordé. De mieux comprendre les ordres de grandeur, de les relier au contexte dans lequel ils s'inscrivent. De **comprendre de quoi nous devons parler et pourquoi nous devons en parler**. Même si, dans un premier temps, nous ne sommes pas tous d'accord.

D'autres initiatives récentes contribuent à documenter ce sujet, notamment le rapport de **The Shift Project "Energie, climat : quels mondes virtuels pour quel monde réel ?"**, qui sera publié en mars 2024, et l'initiative de **Simplon** sur les **Métavers responsables**, dont la restitution a eu lieu en octobre 2023. Nous avons pris part à ces travaux, qui ont aussi alimenté nos réflexions.

Le terme "immersif" peut englober la VR (la Réalité virtuelle), l'AR (la Réalité Augmentée), la MR (la Réalité Mixte), qui font partie du champ de la XR (eXtended Reality ou "réalité étendue"), aussi bien que le théâtre immersif, les projections à grande échelle dans des dômes, l'Atelier des Lumières, et toute création plaçant l'utilisateur au centre de l'expérience, en immersion.

Dans le cadre de CEPIR, nous avons choisi de restreindre nos travaux à la **XR**, c'est-à-dire à la **VR/AR/MR**. La filière XR est hétérogène, tant du point de vue des technologies utilisées (retours haptiques, suivi du regard, dispositif olfactifs, avatars, ...), des terminaux (casques VR, lunettes AR, lunettes audio à conduction osseuse, ...) que de ses applications possibles (jeux vidéos, diffusion in-situ d'œuvres culturelles, formation, reconstitutions 3D, téléprésence ou encore la promesse d'un Métavers comme "prochain chapitre d'Internet et du numérique"...).

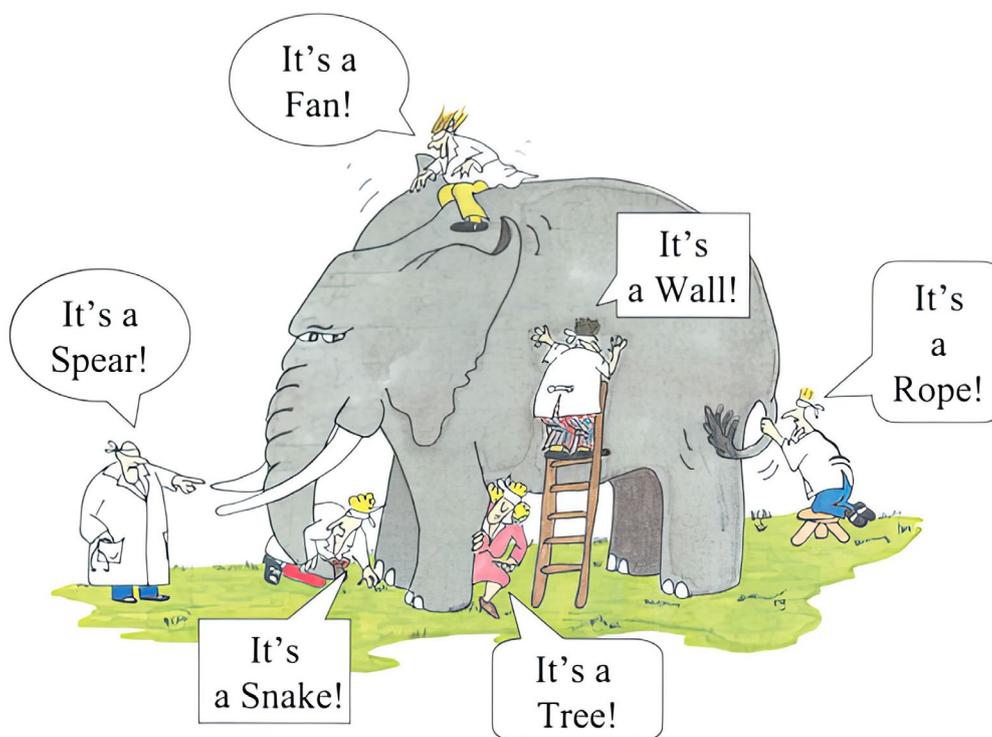
Dans notre pratique professionnelle de la XR, nous avons principalement créé des œuvres culturelles (narrations immersives interactives), pédagogiques (médiation culturelle, formation, ...) et marketing (publicités, événementiel). Notre expérience et notre réseau sont liés à ces usages spécifiques mais nous avons eu à cœur tout au long du projet de consulter un maximum de personnes travaillant dans des champs d'application différents du nôtre.

Ceci étant dit, **les données et les outils d'évaluation** des impacts environnementaux **produits par CEPIR sont utilisables pour tous types d'applications XR**, la création d'œuvres culturelles et de divertissement étant particulièrement exigeante en matière de fabrication, avec la recherche de performances graphiques et techniques très poussées, et de diffusion : sur des casques individuels chez soi, *in situ* dans des espaces physiques, multi-joueurs ou non, pour vivre en direct des événements avec un grand nombre d'utilisateurs en simultané, mélangeant le réel et le virtuel, ...

Concernant la forme, ce rapport n'est pas un rapport scientifique et nous pouvons prendre des libertés pour essayer de **le rendre le plus accessible possible** pour des lecteurs qui ne seraient pas issus de la sphère académique. Nous allons essayer d'être simples, synthétiques, de mettre le jargon technique de côté et de proposer des illustrations, des citations, des métaphores ci et là et même des blagues !

Nous essayerons aussi de toujours relier les enjeux “micro” sur lesquels nous travaillons aux enjeux plus “macro”, physiques, éthiques et philosophiques plus larges dans lesquels ils s’inscrivent. Parce qu’il nous semble essentiel de **toujours avoir suffisamment de recul pour voir l’éléphant**. L’éléphant ?

Il s’agit d’une référence à une parabole indienne vieille d’environ 500 av. J.-C., “*Les aveugles et l’éléphant*”, illustrée ici par l’artiste G. Renee Guzlas :



Sur cette image, six scientifiques (tous des hommes...) aveugles, touchent chacun une partie d’un éléphant et interprètent ce qu’ils perçoivent. Chacun d’entre eux a raison dans son analyse “micro”. Mais avec un peu de recul, nous voyons bien que ce qu’ils touchent est en réalité un éléphant.

Au cours de nos vies professionnelles et de nos cheminements individuels, nous avons été attentifs aux opportunités créatives et économiques de la XR, puis aux impacts environnementaux du numérique, à ses impacts sanitaires, démocratiques...

Nous avons progressivement vu comment les différentes parties de l’éléphant s’articulent entre elles et commencé à voir apparaître une silhouette. Ça nous a pris beaucoup de temps : il a fallu **créer des ponts, des collaborations, des discussions entre aveugles**. Nous continuons d’avancer sur ce chemin.

Nous avons essayé d’être aussi rigoureux, factuels et objectifs que possible dans notre démarche. Nous sommes malgré tout conscients que notre envie de travailler sur ce sujet et notre façon de l’aborder est motivée par un certain nombre de convictions, notamment celle qu’il faudrait tendre vers un maximum de **justice sociale et environnementale**.

Si ces convictions et les **valeurs** qui sous-tendent nos recommandations ne sont pas partagées par tous, nous pensons néanmoins que les différents livrables de CEPIR apportent une **contribution significative à l’état de l’art et à la réflexion collective à mener**, au sein de la filière immersive, du secteur du numérique et entre citoyens, habitant sur une planète unique et pleine de vie qu’il nous tient à cœur de préserver.

Sur ce, nous vous souhaitons une très bonne lecture.

Derrière ce rapport

Avant-propos	2
À l'initiative du projet	6
L'équipe au complet	8
Nos partenaires	10

En introduction

Le contexte	13
Quelques définitions utiles	16
La pelote de laine	18
Le travail réalisé	19

Bien préparer le terrain

Les obstacles à l'évaluation	21
Pour une diffusion en open source	23
Le périmètre et les méthodologies d'évaluation	24
L'État de l'art	25

La création de données

Le Bilan Carbone de l'œuvre XR Okawari	29
Les "briques manquantes"	32
L'ACV des casques VR et la diffusion de nouveaux facteurs d'émissions	33
Les facteurs d'émissions des réseaux et des centres de données	37

La Calculette carbone

Le prototype de la Calculette Carbone CEPIR	39
Le Bilan Carbone de Diversion cinema	39
La Calculette carbone CEPIR	41
Les limites du périmètre de calcul Bilan Carbone	42

Se projeter dans l'avenir

Trajectoires de réduction de l'impact du numérique	44
Le budget carbone individuel pour le numérique	46
La prospective à horizon 2030	48
La Théorie du Donut	50

Rester dans les limites planétaires

Choisir ses "Numériques essentiels"	52
L'approche "low-tech"	53
Le guide de bonnes pratiques pour la XR	54
Une filière XR qui respecte les limites planétaires	55

Pour conclure

Recommandations à l'attention des pouvoirs publics	59
Recommandations à l'attention des professionnels XR	61
Ouvertures	64
Conclusion	70



DERRIÈRE CE RAPPORT



À L'INITIATIVE DU PROJET

Comme la plupart des projets, CEPIR est né de cheminements et de rencontres.

Entre **Landia Egal** et **Amaury La Burthe** d'abord, grâce à une collaboration en 2014 (dix ans déjà !) sur le premier projet en réalité virtuelle d'Arte, [Notes on blindness VR](#).

Amaury a fondé **Novelab**, un **studio "créatif-tech"** spécialisé dans le **temps réel et l'immersif**, qu'il a présidé pendant quatorze ans jusqu'en juin 2023. A son départ, le studio comptait plus d'une cinquantaine de salariés, réalisait une trentaine de projets par an et avait reçu plus d'une centaine de prix en festivals.

Landia découvre l'immersif en travaillant pour plusieurs sociétés de production avant de fonder **Tiny Planets** en 2017, pour avoir la liberté de créer et de produire des projets artistiques en lien avec ses convictions sociales et environnementales.

Fin 2019, elle commence à se poser des questions par rapport à l'**impact environnemental des œuvres immersives** et décide de mettre ses projets en pause pour s'informer, lire des rapports, suivre des formations (Fresques, Formation Bilan Carbone) et rencontrer des gens qui travaillent sur ces enjeux. Le changement de paradigme était immense !

En tant qu'ingénieure Transition Énergétique et Climatique, **Marie-Véronique Gauduchon** travaille depuis 1997 (**plus de 20 ans !**) sur les **questions environnementales** : au WWF-France, chez Carbone 4, Lumo, ... Elle réalise des Bilans Carbone quasiment depuis la création de l'outil (2007). En 2018, elle décide de faire une pause créative, débute une formation de deux ans en programmation 2D-3D et réalise un projet VR sous Unreal.

Landia et Marie se rencontrent pendant le premier confinement en avril 2020, par un message de Landia sur LinkedIn qui disait en substance : *"je ne comprends pas ton cheminement, tu as travaillé chez [Carbone 4](#) et aujourd'hui tu fais de la VR alors que moi, j'envisage de faire l'inverse !"*.

Très vite, elles partagent le constat de l'**absence d'interrogations** de la part de la filière XR par rapport à ses impacts environnementaux. Elles commencent à s'y intéresser et essayent de **sensibiliser** les professionnels à ces enjeux, en proposant une première visioconférence au CNC en juillet 2020, puis une seconde en octobre avec les membres de plusieurs associations professionnelles de la XR : PXN, AFXR, FIS et le CNXR.

Dans la continuité de ces actions de sensibilisation, Landia, Amaury et Marie décident d'associer leurs expertises en création immersive et en évaluation environnementale pour fabriquer une **œuvre qui montrerait**, au sein de l'expérience immersive elle-même, **l'ensemble des impacts environnementaux associés** à sa création et à sa distribution.

Fin 2020, Marie rejoint la **Coopérative Carbone** et accompagne Tiny Planets, Novelab et leur coproducteur canadien Dpt. dans la réalisation de cette œuvre, **Okawari**, qui sera présentée en première mondiale à la **Biennale de Venise en août 2022**. L'objectif d'*Okawari* était le même que celui de CEPIR : montrer qu'il y a un sujet et faire en sorte qu'on en parle.

Sauf que pour pouvoir évaluer les impacts environnementaux d'*Okawari*, l'état de l'art était insuffisant : nous n'avons **ni les données, ni les outils nécessaires** ! Nous avons donc besoin de les produire, pour nous-mêmes et pour tous ceux qui souhaiteraient pouvoir évaluer les impacts environnementaux de leurs projets XR.

DERRIÈRE CE RAPPORT

Nous avons donc candidaté fin 2021 à l'appel à projets France 2030 "**Alternatives vertes**", opéré par la Caisse des Dépôts, avec le projet CEPIR, porté par Tiny Planets, Novelab et la Coopérative Carbone. En août 2022, à la veille de la présentation d'*Okawari* à Venise, nous avons appris que notre candidature était retenue

L'ambition de CEPIR était simple : produire les données et les outils qui nous permettraient d'**évaluer les impacts environnementaux de la XR française** et définir des **recommandations** pour rendre le développement de la filière compatible avec le respect des limites planétaires. Et de cette façon, contribuer à l'**écoresponsabilité** mais aussi à la **résilience** de la filière.

L'ambition est simple... mais la mission conséquente !



La Meije - Amaury La Burthe

L'ÉQUIPE AU COMPLET

Landia, Marie et Amaury ont vite été rejoints par d'autres forces vives venues apporter leur soutien au projet. Nous les remercions infiniment pour le travail remarquable qu'ils ont accompli, pour leur engagement (dans le cadre de CEPIR et par ailleurs !), leur enthousiasme et les échanges passionnants que nous avons eu ensemble.

L'espace de travail "Slack" de CEPIR, grâce auquel nous communiquons quotidiennement, est progressivement devenu un espace de partage, de veille, d'entraide et de **convivialité** très dynamique. Ca nous fera quelque chose de lui dire au revoir à la fin du projet !

Parmi les membres de l'équipe CEPIR, il y a donc :

Etienne Lees-Perasso

Consultant indépendant en ACV et écoconception et expert des questions liées au numérique responsable, il a travaillé 10 ans pour l'équipe LCIE-CODDE de Bureau Veritas, participé à la création de la base d'indicateurs NégaOctet et aux études sur l'impact environnemental du numérique en France et en Europe et il est membre de Boavizta.

- Étienne a initié l'équipe CEPIR à l'ACV des équipements numériques. Il a démonté, pesé, mesuré et évalué l'impact environnemental de quatre casques VR hors d'usage dans le logiciel d'ACV EIME et organisé la revue critique externe afin que ses travaux puissent intégrer la Base Empreinte de l'Ademe.

Benoît Ruiz

Expert et consultant depuis 2010 pour la transition bas-carbone et l'atténuation des dommages environnementaux des activités du numérique, Benoît s'intéresse plus particulièrement à l'audiovisuel et aux jeux vidéo. Il a travaillé sur des projets européens, des institutions nationales et européennes (Ukie, Film London, le CNC, le Ministère Belge de la Culture, ...), ainsi que de nombreuses entreprises et groupements professionnels. Il est intervenant en master de création numérique à la faculté Paul-Valéry de Montpellier.

- Benoît a apporté son expertise de façon transversale tout au long du projet, avec un focus plus particulier sur la revue bibliographique, la vérification de la conformité de notre méthodologie par rapport aux guidelines européens, les facteurs d'émissions, les bonnes pratiques, le lexique et plus particulièrement la prospective (qu'il a portée avec l'outil "[scenaring tools](#)" et modélisée quantitativement).

Cyrille Gallais

Auteur-réalisateur de films documentaires autour des sujets environnementaux, Cyrille réalise en 2023 "Des voix dans le vent", un film portant sur un projet de parc éolien en mer au large de l'île Oléron et travaille actuellement à la réalisation de deux films, l'un sur l'impact des pesticides sur la santé de nos enfants, et l'autre sur les dernières innovations concernant les énergies marines renouvelables.

- Cyrille a suivi les membres de l'équipe CEPIR pendant un an, recueilli les témoignages d'une vingtaine de professionnels de la XR et d'experts du numérique responsable et réalisé le film de rétrospective qui sera diffusé sur le site de CEPIR à partir du 28 février 2024.

DERRIÈRE CE RAPPORT

Sophie Flament

Fondatrice de la structure de production Maxine Films, Sophie a travaillé quatorze ans chez Agat Films / Ex Nihilo comme Responsable de la Distribution des films puis Directrice Financière avant de rejoindre le studio d'animation Folimage comme Directrice Financière, où elle se forme à l'écoproduction et à la méthode Bilan Carbone.

- Sophie accompagne Tiny Planets dans ses activités, en tant que directrice financière et productrice, et contribue à CEPIR de façon transverse en assurant notamment la direction juridique, financière et la gestion des partenariats.

Benjamin Ninassi

Adjoint au responsable du programme Numérique et Environnement de l'[Inria](#) et membre d'[Ecoinfo](#). Benjamin est expert en écoconception de services numériques et contribue activement à plusieurs projets à impact sociétal (le projet [Alt-Impact](#) sur le déploiement de la sobriété numérique en France, coporté par l'Ademe, l'Inria et le CNRS, le référentiel d'écoconception [RGESN](#), [Mooc impacts environnementaux du numérique](#) sur Fun, ...). Il est en interaction constante avec le monde académique et celui des entreprises (comme par exemple avec l'[INR](#) ou encore [Boavizta](#)). Il contribue également au groupe de travail de The Shift Project sur le Métavers et les mondes virtuels.

- Benjamin a apporté son expertise à l'équipe tout au long du projet et contribué à la revue des facteurs d'émissions utilisés dans la calculatrice Carbone de CEPIR et des fiches de bonnes pratiques.

Marlène De Bank

Diplômée de l'ISAE-Supaéro, Marlène travaille dans l'aérospatial pendant six ans et s'engage en 2022 auprès de l'association Aéro Décarbo, dont elle rejoint le Conseil d'Administration pour porter les sujets liés aux impacts climatiques des activités spatiales. Début 2023, elle rejoint The Shift Project pour travailler sur le volet numérique avec [Maxime Efoui-Hess](#) et [Hugues Ferreboeuf](#), et est responsable du groupe de travail sur le Métavers et les mondes virtuels, auquel Landia et Amaury ont pris part.

- Marlène est le point de contact entre les travaux de The Shift Project et de CEPIR. Les liens entre les deux initiatives n'ont cessé de se renforcer, avec près d'un an et demi d'échanges, et se poursuivront certainement au-delà de CEPIR.

David Ekchajzer

Doctorant au laboratoire LITEM de IMT-BS et membre d'Hubblo, les travaux de recherche de David visent à une prise en compte plus systémique des impacts environnementaux induits par la numérisation. David adopte une démarche de recherche-action en faveur du développement de méthodes, d'outils et de données ouvertes, permettant d'évaluer les impacts environnementaux du numérique.

- David a participé au démontage des casques VR avec Etienne et Julie pour la réalisation des ACV. David est également membre de Boavizta qui a repris le [calculateur d'impact environnemental des centres de données](#) de [Teads](#).

Julie Delmas-Orgelet

Aujourd'hui accompagnatrice en transition pour DDemain, Julie a développé pendant plus de quinze ans son expertise en tant qu'ACV-iste dans le secteur du numérique, ce qui lui a permis de développer une vision systémique de l'environnement et de la société. Julie est l'une des principales autrices du rapport "[Le numérique en Europe : une approche des impacts environnementaux par l'analyse du cycle de vie](#)" et contributrice à la base NégaOctet d'ACV des services numériques.

- Pour Julie, assez de calculs : nous avons déjà bien assez d'éléments chiffrés pour connaître les ordres de grandeur et passer l'action ! Sa remarque nous a permis de ne pas nous noyer dans les chiffres et d'aller à l'essentiel. Elle nous a aiguillé vers Etienne et l'a aidé à démonter les casques VR pour l'ACV.

Vincent Courboulay

Avec sa bande-dessinée "*Le poids du clic*", Vincent a été l'un des précurseurs de la sensibilisation du grand public à la sobriété numérique. Il travaille pour l'INR (Institut du Numérique Responsable) et La Rochelle Université, qui ont développé l'outil [WeNR](#).

- La revue critique de l'outil WeNR a été menée en synergie avec le projet CEPiR, ce qui a permis un enrichissement mutuel des méthodes, des hypothèses et des facteurs d'émissions du numérique. Vincent a participé aux côtés de Landia et Amaury à l'Atelier "[Quelle place pour le numérique en 2050 ? Comment concilier innovation et réduction des impacts](#)", organisé à l'occasion du Salon Neutralité Carbone de la Coopérative Carbone.

DERRIÈRE CE RAPPORT

NOS PARTENAIRES

Tiny Planets est à l'origine de CEPIR, en consortium avec la **Coopérative Carbone** et **Novelab**. Au-delà du consortium initial, CEPIR a pu compter sur le précieux soutien de ses partenaires :





EN INTRODUCTION



LE CONTEXTE

En **2012**, Palmer Luckey lançait son kickstarter et l'**entreprise Oculus**. Avec Novelab, nous avons réalisé nos premiers tests VR sur le kit de développement d'Oculus DK1, et fait une **veille** quasi quotidienne **depuis plus de 10 ans** de tout ce qui touche à la XR.

En **2014**, **Facebook rachète Oculus pour 2 milliards de dollars**. En 2015, Microsoft lance les lunettes AR HoloLens. En 2016, le constructeur taiwanais HTC lance le casque VR HTC Vive. Les fabricants d'équipements investissent également dans la fabrication de contenus.

La XR connaît un développement soutenu mais le marché peine à se développer et l'adoption reste relativement "niche". Mais en 2020, les confinements successifs entraînent un regain d'enthousiasme pour la XR, qui permet de se sentir physiquement présent ailleurs.

À ce jour, les casques Quest 1 et 2 de Meta, qui proposent un très bon rapport fonctionnalités-prix, se seraient vendus à plus de 20 millions d'exemplaires. Côté contenu, le jeu Beat Saber a franchi en 2023 la barre des 250 millions de dollars de revenus !

En janvier 2024, Microsoft lance la [fonctionnalité de Métavers](#) dans l'outil de visioconférences Teams. En février, l'Apple Vision Pro se serait vendu à plus de [200 000 exemplaires](#) et pourrait avoir une réelle influence sur l'**acceptabilité sociale** de la XR.



Midjourney

En parallèle de ces succès et des investissements colossaux de certains grands acteurs du numérique dans le développement de la XR, la filière connaît aussi des échecs retentissants et **la situation reste globalement mitigée du point de vue économique**.

La société Magic Leap, qui avait levé près de 2 milliards de dollars, a licencié la moitié de ses effectifs en 2020 pour se recentrer sur le marché professionnel et n'a partagé aucun chiffre de vente de son Magic Leap 2, sorti fin 2022.

Suite à l'échec des Google Glass lancées en 2011, la maison mère de Google s'est concentrée sur une version "Entreprise", avant d'annoncer discrètement sur son site la fin du support des Glass Enterprise Edition en septembre 2023.

ByteDance, la maison mère du fabricant de casques PICO, a annoncé fin 2023 mettre en suspend la fabrication de son prochain casque, le PICO 5, en raison des ventes décevantes du modèle précédent.

En tant que créateurs de contenus, nous avons été confrontés à la difficulté de les monétiser, en raison de la **faible adoption par le grand public**. [L'étude du CNXR](#) (le Conseil National de la XR, organisation référente en matière de technologies immersives en France) montre que le B2C ne représente que 7,5% du chiffre d'affaires déclaré par les entreprises de la filière.

EN INTRODUCTION

Les entreprises de la XR française sont encore **majoritairement des TPE, des PME et des indépendants** (82% des répondants de l'étude du CNXR) actives dans la **création de contenus** (culture, divertissement et formation), avec pour les 2/3 d'entre elles un chiffre d'affaire de moins de 500 000€.

Ceci étant, malgré les difficultés rencontrées jusqu'à présent par la filière XR à créer un marché grand public et le récent engouement pour l'intelligence artificielle (les possibilités génératives contribueront d'ailleurs très certainement au développement des mondes virtuels), la plupart des grandes entreprises du numérique semblent considérer les dispositifs immersifs comme stratégiques pour leur avenir.

Du côté des pouvoirs publics, le **Gouvernement français a soutenu très tôt et fortement la création XR**. Via le CNC d'une part, avec le Fonds d'aide à la création immersive, doté d'un budget annuel de 3,6 millions d'euros, et dans le cadre de France 2030, à travers plusieurs appels à projets dédiés.

En février 2022, le Gouvernement a commandé un [rapport de la mission exploratoire sur le Métavers](#), qui lui a été remis en octobre 2022. Ce document tente de définir le concept de Métavers, dont l'une des caractéristiques essentielles, d'après ses auteurs, est la dimension immersive (XR). Parmi les leviers d'actions proposés, P10 concerne les impacts environnementaux : **“il semble fondamental d'explorer des solutions écoresponsables et de développer un système de mesure de l'impact environnemental des infrastructures du Métavers”**.

En juin 2023, le Président de la République annonce **200 millions d'euros d'investissements** dans [“la Culture immersive et Métavers”](#). Cet appel à projets, opéré par Bpifrance et lancé en janvier 2024, **“vise à développer la production et la diffusion d'expériences immersives au service de la démocratisation culturelle et de l'élargissement des publics”**.

Cet appel à projets spécifie qu’**“aucune dépense ne sera défavorable à l'environnement”**, en application du principe **“Do No Significant Harm”** du règlement européen, qui vise à s'assurer que ces financements ne vont pas à l'encontre des objectifs de développement durable de l'Union Européenne, avec en priorité l'objectif de neutralité carbone à horizon 2050.

Sauf que, très étrangement, d'après le [Règlement Délégué \(UE\) 2021/2139](#), l'ensemble des activités de “programmation, conseil et autres activités informatiques” est considéré comme ne causant pas de préjudice important sur le plan environnemental !

Or **le numérique joue un rôle ambigu vis-à-vis des enjeux environnementaux**, en incarnant d'un côté la promesse de solutions pour réduire les impacts environnementaux d'autres secteurs, tout en étant lui-même source de pollutions, directes et indirectes.

Les terminaux (smartphones, ordinateurs, casques VR, ...) se connectent entre eux via des infrastructures réseaux (constellations de satellites, câbles terrestres et sous-marins, antennes de réseaux mobiles, fibres optiques, ...) pour échanger des informations stockées et traitées dans les centres de données. Le numérique est **la plus grande infrastructure de l'histoire de l'humanité !**

Chacun de ces équipements nécessite de l'énergie et des matières premières pour être fabriqué (extraction des minéraux, métaux et combustibles fossiles, processus industriels, livraison aux consommateurs, ...), pour fonctionner (électricité) et en fin de vie (collecte, incinération, recyclage, ...).

Aucune des phases de ce “cycle de vie” n'est neutre. Parmi les [seize impacts environnementaux](#) retenus dans le cadre européen, les équipements électriques et électroniques sont particulièrement préoccupants pour l'épuisement des ressources minérales et métalliques, des énergies fossiles et les émissions de GES, la consommation d'eau et l'écotoxicité (libération

de substances toxiques pour le vivant, dont l'homme).

Pour avoir une chance de respecter l'Accord de Paris, **le secteur numérique doit réduire de 45% ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030 et les diviser par 10 d'ici 2050** (trajectoire [Science Based Target initiative](#)). Cette réduction doit se faire tout en permettant l'émergence et le déploiement de solutions en faveur de la décarbonation d'autres secteurs.

Or **la tendance actuelle en France est à une [augmentation de +45% des émissions liées au numérique d'ici 2030...](#)**

Au-delà des impacts environnementaux, la disponibilité de matières premières critiques et la forte dépendance de l'Europe vis-à-vis des pays fournisseurs (notamment la Chine) entraînent des risques d'approvisionnement. L'allocation de ces ressources entre par ailleurs en concurrence directe avec d'autres secteurs, comme la production d'énergie décarbonée et l'électrification de la mobilité.

Il est par ailleurs difficile d'augmenter le taux de recyclage des métaux utilisés et leur substituabilité par des matières premières moins rares est faible : à chaque cycle, nous perdons définitivement une partie des ressources car la complexité des produits, des composants et des matières (alliages, mélanges de plastiques et d'additifs, matériaux composites) empêche de les identifier et les séparer.

Notre planète est non extensible, les ressources nécessaires à la fabrication des équipements numériques ne sont pour l'essentiel pas renouvelables et la capacité du système planétaire à absorber les pollutions générées par notre système productif est limitée : **nous avons donc des "budgets environnementaux" à respecter.**

Si nous n'avons plus de ressources ou d'énergie, nous ne pourrons plus fabriquer ni faire fonctionner les équipements numériques. Si nous dépassons notre budget carbone, les infrastructures numériques ne sont pas prévues pour fonctionner dans un monde à +3 degrés... et nous non plus. Au-delà de la responsabilité, c'est une question de **résilience**.

Si nous considérons que le numérique (dont fait partie la filière XR), est utile à la société, il faut réfléchir à la façon de **faire en sorte qu'il continue d'exister à l'avenir**, donc à la façon dont ces contraintes physiques s'appliquent à nos infrastructures matérielles. Ignorer ces contraintes nous fait courir le risque de ne pas pouvoir satisfaire les besoins essentiels d'une grande partie de la population, à plus court terme.

Le respect des limites planétaires n'est **pas "un enjeu parmi d'autres"**. Il s'agit du cadre, dans lequel l'humanité doit se maintenir pour survivre. Si nous avons épuisé les ressources nécessaires à la fabrication de casques XR, nous n'aurons pas non plus la possibilité de fabriquer des IRM et la question de savoir si les mondes virtuels sont inclusifs apparaîtra nettement secondaire.

Dans ce contexte, il est donc essentiel de **réfléchir à la finalité** (au besoin) et de **hiérarchiser les usages** par rapport à ces "budgets environnementaux", en tenant compte de la contribution de ces usages à la réduction des impacts environnementaux d'autres secteurs, (ex, en se substituant à des usages plus carbonés).

Avant d'investir des fonds (notamment publics) dans le développement de la XR, il convient de **s'assurer au préalable que ces décisions sont alignées** avec les "budgets environnementaux" et la hiérarchisation des usages. Et donc d'évaluer les impacts environnementaux et les gains dans un **cadre méthodologique systémique** intégrant [les effets rebonds, directs et indirects](#).

C'est à cette logique rationnelle qu'essaye de contribuer CEPIR, dont les résultats, malgré des travaux commencés il y a plusieurs années, arrivent malheureusement un peu tard par rapport aux décisions d'investissement prises par le Gouvernement.

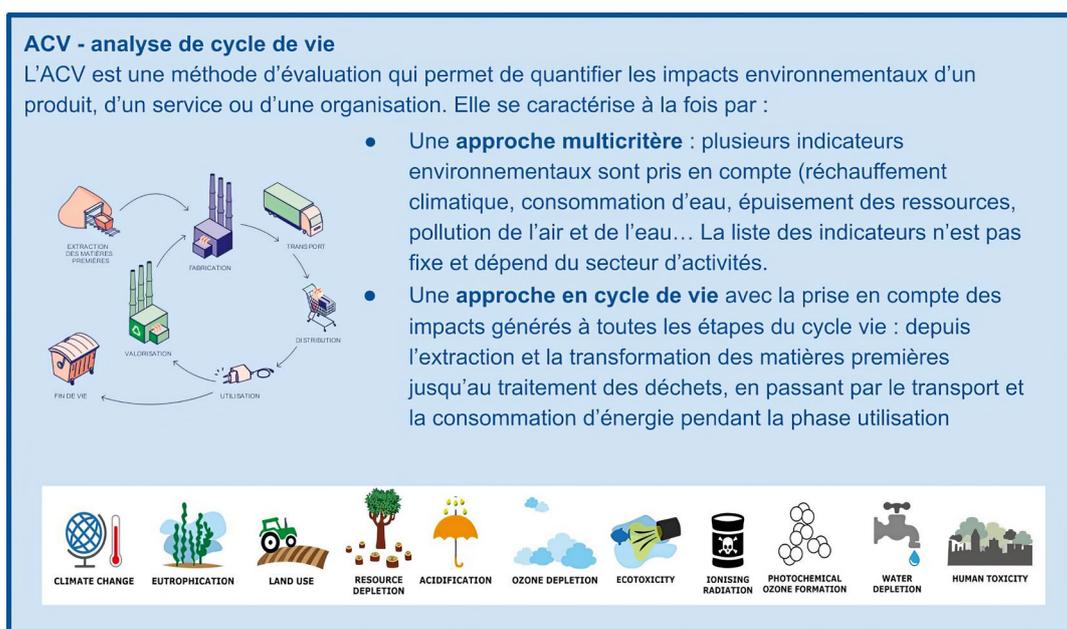
QUELQUES DÉFINITIONS UTILES

Nous avons fait nos meilleurs efforts pour essayer de rédiger ce rapport de la façon la plus accessible possible. En évitant autant que possible, malgré la technicité des méthodologies d'évaluation environnementale et de la création XR, d'avoir recours à des termes (jargon) inconnus du grand public.

Lorsqu'un terme un peu technique est utilisé ponctuellement dans le cadre du rapport, nous avons essayé de le définir directement dans le corps du texte. Nous n'allons donc lister ici que les termes les plus couramment utilisés et dont nous ne pouvons pas nous passer sans que cela ne complique, au final, la lecture du rapport.

Accord de Paris : l'accord de Paris a été adopté lors de la COP21 de la Conférence des Nations unies sur les changements climatiques en 2015 et son objectif primordial est de maintenir "l'augmentation de la température moyenne mondiale bien en dessous de 2°C au-dessus des niveaux préindustriels" et de poursuivre les efforts "pour limiter l'augmentation de la température à 1,5°C au-dessus des niveaux préindustriels."

Analyse du cycle de vie (ACV) : l'ACV est l'outil le plus abouti en matière d'évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux.



Sources des illustrations : [cycle de vie](#) et [multicritères](#)

Bilan d'Émissions de Gaz à Effet de Serre (BEGES) ≈ Bilan Carbone® (marque déposée) : évaluation du volume total sur une année des émissions de GES induites par les activités d'une organisation exprimées en tonnes d'équivalent dioxyde de carbone (CO₂ équivalent).

Effet de serre : processus (naturel) résultant de l'action de l'atmosphère sur les flux d'énergie entre le Soleil, la Terre et le Cosmos. Le Soleil réchauffe la Terre qui renvoie une partie de la chaleur ainsi accumulée sous forme de rayonnement infrarouge ; une partie du rayonnement infrarouge est retenue par les gaz à effet de serre. Ces gaz agissent comme une "couverture" qui retient la chaleur de la Terre et la réchauffe.

Effet rebond : l'effet rebond traduit l'idée qu'une action visant à l'utilisation plus efficace d'une ressource, dans le but d'en réduire la consommation, peut entraîner une modification de pratique liée à la disponibilité de la ressource non consommée qui se traduit *in fine* par une ré-augmentation de la consommation de cette ressource ou produit d'autres effets imprévus. Ex : amélioration de l'efficacité énergétique (ou du prix) d'un casque VR peut entraîner une augmentation des ventes.

Limites planétaires : la vie sur Terre est conditionnée par les interactions entre des processus biologiques, physiques et chimiques. L'équipe internationale du Stockholm Resilience Center en a identifié neuf, avec pour chacun d'elles, les seuils à ne pas dépasser, sous peine de provoquer des modifications brutales et irréversibles des équilibres naturels :

1. le changement climatique,
2. l'érosion de la biodiversité,
3. la perturbation des cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore,
4. les changements d'utilisation des sols,
5. l'acidification des océans,
6. l'utilisation mondiale de l'eau,
7. l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique,
8. l'augmentation des aérosols dans l'atmosphère,
9. l'introduction d'entités nouvelles dans la biosphère.

Sobriété numérique : selon la définition de l'Ademe, la sobriété numérique est une démarche qui consiste, dans le cadre d'une réflexion individuelle et collective, à questionner le besoin et l'usage des produits et services numériques dans un objectif d'équité et d'intérêt général. Cette démarche vise à concevoir, fabriquer et utiliser les équipements et services numériques en tenant compte des besoins sociaux fondamentaux et des limites planétaires.

XR (eXtended Reality ou "réalité étendue") : la XR est un terme parapluie qui englobe plusieurs technologies immersives, notamment la réalité virtuelle (VR), la réalité augmentée (AR) et la réalité mixte (MR). Ces technologies visent à étendre la perception humaine en intégrant des éléments virtuels dans le monde réel ou en créant des environnements entièrement virtuels.

Métavers : le [rapport de la mission exploratoire sur le Métavers](#) (p.35) définit le Métavers comme *"un service en ligne donnant accès à des simulations d'espaces 3D temps réel, partagées et persistantes, dans lesquelles on peut vivre ensemble des expériences immersives"*.

Assets : modèles 3D, textures, sons, séquences d'animations 3D, "briques" 3D, ... Si ces briques élémentaires utilisées dans les œuvres immersives sont bien conçues et documentées, elles peuvent être entièrement ou partiellement réutilisées d'une œuvre à l'autre (après des changements de textures, modifications, affectation d'un mouvement à un autre "squelette", ...) et faire économiser du temps de travail et du temps de machines.

Terminaux : ce terme regroupe ici les appareils utilisés par les êtres humains pour accéder aux services (smartphones, ordinateurs, téléviseurs, tablettes, casques VR). Avec les centres de données et les réseaux, ils forment les 3 compartiments du secteur numérique.

LA PELOTE DE LAINE

Une des métaphores à laquelle nous faisons souvent référence entre membres de l'équipe CEPIR est celle de la pelote de laine. Le cheminement que nous avons fait ensemble ces dernières années a été ponctué de "aha moments", de déclics, de moments où, tout à coup, nourris de tellement de lectures et d'échanges, au hasard d'une question, une nouvelle partie de l'éléphant commençait à apparaître...

Il y a quelques années (quelques décennies, dans le cas de Marie !), nous avons vu un bout de fil dépasser et commencé à tirer dessus. Des questions comme : "**quand je me lève le matin et que je crée des contenus immersifs, à quoi est-ce que je contribue ? Si on prend en compte toutes les externalités, est-ce que le bilan est plutôt positif ou négatif ? Est-ce que je consomme des ressources qui pourraient être mieux employées ailleurs ?**", nous ont poussé à chercher des réponses, qui ont soulevé de nouvelles questions, et ainsi de suite.

Créer une œuvre XR, c'est contribuer à développer un nouvel usage, à vendre des casques ou lunettes, donc à les fabriquer, à creuser des trous dans la terre pour en extraire des métaux. Ça nécessite tout un tas d'autres équipements et infrastructures, ça pose la question de qui est légitime pour décider d'affecter ces ressources en priorité au secteur du numérique et aux usages immersifs (les grandes entreprises du numérique, si puissantes ? L'Etat ? Une convention citoyenne ?), de la justice que l'on souhaite avoir à une échelle internationale, ...



Midjourney

Et puis cela pose aussi la question de tous les impacts qui ne sont pas d'ordre environnemental : sur la santé, l'inclusion, la diversité, l'accessibilité, l'éducation, la culture, la protection des usagers, de leurs données personnelles, la propriété intellectuelle, la démocratie, et même la problématique de la "submersion" face à une croissance exponentielle de contenus numériques et culturels qui nous paralyse, à tel point que nous souhaitons déléguer à des machines le choix des contenus que nous allons consommer !

À force de dérouler la pelote et de chercher à comprendre, nous avons découvert les notions d'effets rebond, de substitution, de limites planétaires, de budgets environnementaux, de sobriété, de résilience, la théorie du Donut, ... tout ce qui caractérise l'époque actuelle de l'anthropocène. Nous avons commencé à faire les liens avec nos métiers et nous avons eu envie d'échanger avec nos pairs, les professionnels de la XR, mais aussi les politiques et le grand public (tout le monde est concerné, en fait !) pour faire progresser la discussion, la prise de conscience et notre capacité à **faire ensemble des choix plus éclairés**.

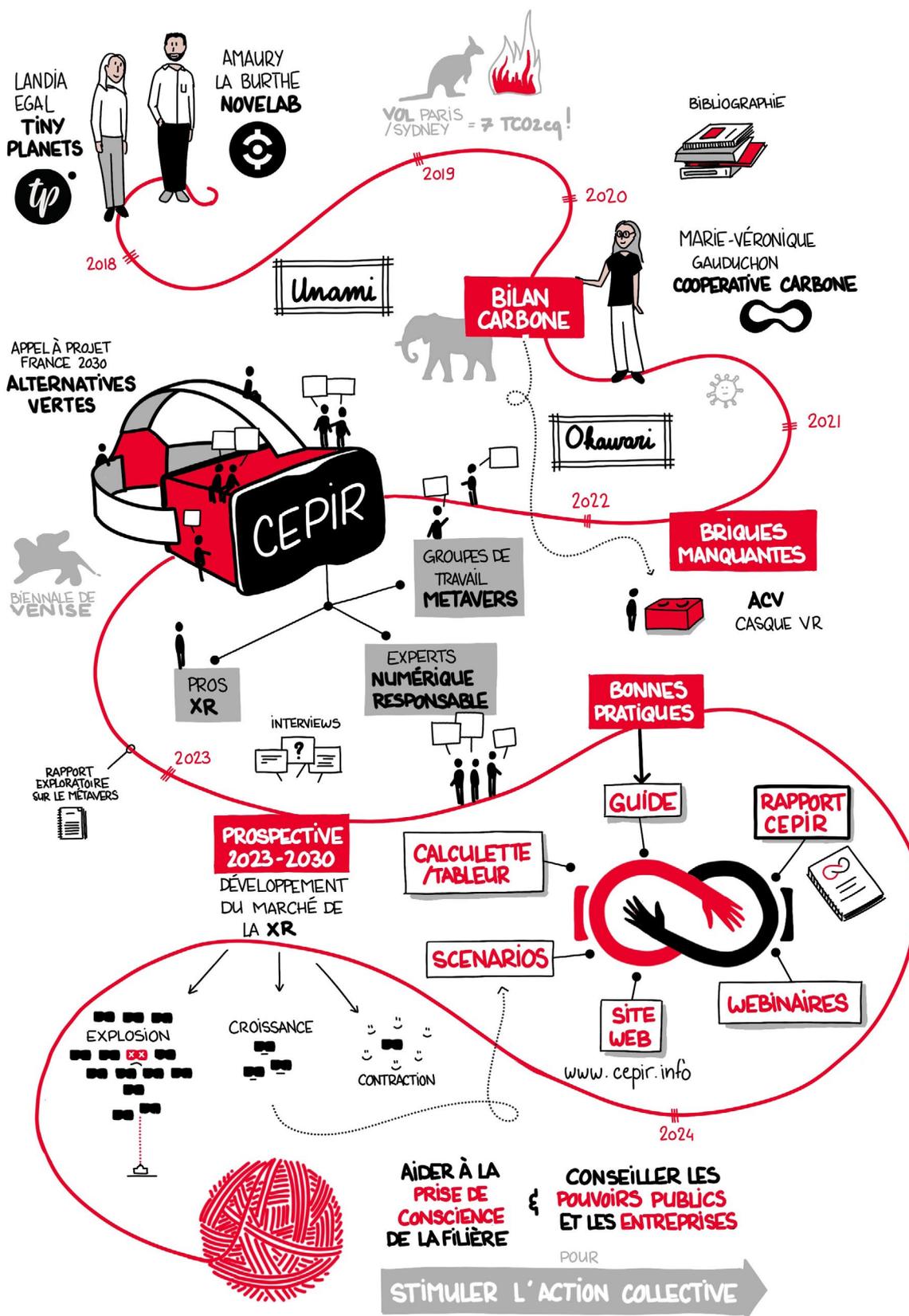
Une citation, attribuée à Albert Einstein, dit : "*Si j'avais une heure pour résoudre un problème dont ma vie dépendait, je passerais les 55 premières minutes à chercher la meilleure question à me poser, et lorsque je l'aurais trouvée il me suffirait de 5 minutes pour y répondre*".

Que vous fassiez partie de ceux qui ont tracé la voie bien avant nous ou que vous commenciez tout juste à dérouler votre pelote, nous espérons que ces travaux contribueront à **identifier les bonnes questions** à se poser pour aligner le développement de la XR française avec le respect des limites planétaires, **pour pouvoir y répondre**.

EN INTRODUCTION

LE TRAVAIL RÉALISÉ

Pour ne pas vous assommer avec trop de texte, nous avons proposé à [Jordane Ancelin](#), ingénieure paysagiste et facilitatrice graphique active sur les sujets environnementaux, de transformer la présentation et la mise en cohérence du travail que nous avons réalisé depuis un an et demi dans le cadre de CEPIR sous la forme d'une **carte mentale**. Voici le résultat :





BIEN PRÉPARER LE TERRAIN



LES OBSTACLES À L'ÉVALUATION

En parallèle de la réflexion essentielle à avoir par rapport à la finalité des usages et à leur hiérarchisation, nous avons besoin de connaître les impacts environnementaux associés à la XR pour pouvoir réaliser ces arbitrages.

Pour calculer l'impact environnemental de n'importe quelle organisation, produit ou services, l'approche consiste à multiplier une donnée d'activité par un facteur d'impact :

$$\text{Impact} = \text{donnée d'activité} \times \text{facteur d'impact}$$

Les **données d'activité** sont en général des **paramètres physiques faciles à collecter** : la consommation d'énergie (en kWh), la consommation de matières (en kg par matériaux), la distance parcourue pour les transports (en km).

Le **facteur d'impact** est appelé **facteur d'émissions** ou "**FE**" dans le cas de la réalisation des **bilans d'émissions de gaz à effet de serre**, aussi appelé "**Bilan Carbone**".

Les facteurs d'impact et les FE permettent de convertir les données d'activité en impacts environnementaux.

L'impact "potentiel de réchauffement climatique" et le Bilan Carbone s'expriment en kgCO₂e pour "CO₂ équivalent". Le CO₂ est le principal gaz à effet de serre et compte pour 75% de l'impact mais il faut également prendre en compte des autres gaz à effet de serre tels que le méthane, le protoxyde d'azote et de nombreux gaz industriels, en particulier les gaz frigorigènes et les isolants électriques, qui sont convertis en g, kg ou tCO₂ équivalent à partir de leur PRG - pouvoir de réchauffement global.

Par exemple, le FE pour les déplacements en voiture en moyenne en France est d'environ 200 gCO₂e/km. Il permet de traduire une distance annuelle de 10 000 km/an en voiture en émissions de gaz à effet de serre, en "impact carbone".

$$10\ 000 \text{ km/an en voiture} \times 200 \text{ gCO}_2\text{e/km} = 2 \text{ tCO}_2\text{e/an}$$

Autre exemple, le FE pour la consommation d'électricité en France est d'environ 60 gCO₂e/kWh. Il permet de traduire une consommation annuelle de 10 000 kWh d'électricité en "impact carbone".

$$10\ 000 \text{ kWh/an électricité} \times 60 \text{ gCO}_2\text{e/kWh} = 600 \text{ kgCO}_2\text{e/an}$$

Plus la mesure sera fine, plus les questions à se poser seront précises et nos actions seront pertinentes.

BIEN PRÉPARER LE TERRAIN

Dans la pratique, l'accès à ces données d'activité et au facteur d'impact correspondant, et notre capacité à vérifier leur fiabilité et à les mettre en cohérence les unes par rapport aux autres est entravée par :

- La **complexité intrinsèque des infrastructures et processus numériques**, qui complique les calculs et les règles d'attribution des impacts entre différents usages et utilisateurs ;
- Le **caractère privé et diffus** d'un certain nombre d'infrastructures numériques, qui complique l'accès aux données d'activités (notamment pour la consommation d'énergie des centres de données et des réseaux) ;
- Le **manque de facteurs d'impacts "publics"** pour les nouvelles technologies et usages du numérique et la difficulté à maintenir à jour les bases de données existantes par les pouvoirs publics, dans un contexte d'innovation extrêmement rapide ;
- La barrière à l'entrée que représente le **paiement des bases de données privées** comme [Ecoinvent](#) et [NégaOctet](#) et des logiciels d'ACV comme Gaby ou Simapro ;
- Le **manque de données d'activité pour la XR**, en raison d'une faible mobilisation de la part des acteurs de la filière par rapport aux questions environnementales ou d'un manque de transparence.

CEPIR a fait de son mieux pour contourner ces différents obstacles et nous avons ainsi surmonté :

- Les lacunes dans des facteurs d'impacts, avec la **création de données d'ACV multicritères** pour les casques VR ;
- En **créant une Calculette carbone spécifique à la XR**, transparente par rapport à ses hypothèses et mise à la disposition de tous en open source, dans une philosophie de création de communs.

La question de la maintenance de cette Calculette carbone dépendra de la suite qui sera donnée à CEPIR, qui est un projet et non une organisation pérenne, et des moyens d'animation et de financement qui seront alloués pour garantir sa pertinence dans la durée.

BIEN PRÉPARER LE TERRAIN

POUR UNE DIFFUSION EN OPEN SOURCE

Le modèle de CEPIR fait figure d'ovni à plusieurs égards :

- Son "opposabilité", grâce à sa **transparence** par rapport aux méthodologies et aux hypothèses utilisées, qui permettent de discuter des hypothèses et des résultats ;
- Son **autofinancement partiel**, à hauteur de 30% du budget total ;
- La volonté de créer un précédent de "commun numérique", sans barrière à l'entrée et **sans tentative de monétisation**, pour accélérer la transition de la filière XR.



Midjourney

Étant donné l'urgence d'aligner nos activités humaines avec le respect des limites planétaires, il nous semble évident de **nous inscrire dans une logique de commun dès lors que les travaux menés concernent l'environnement**, sans chercher à poursuivre systématiquement un modèle économique qui créerait des barrières à l'entrée, limitant notre capacité à évaluer et à agir.

Il nous paraît à la fois logique et nécessaire d'essayer de contribuer dans la mesure de nos moyens à la création de ce "pot commun" et savoir partagé, et de faire en sorte que nos résultats puissent être repris, critiqués, complétés et servent à faire avancer la recherche sur les évaluations des impacts environnementaux de la XR.

Nous espérons que cette vision sera partagée et largement reprise au sein de la filière XR.

Publication des résultats sur le site CEPIR

Tous les livrables CEPIR sont disponibles en open source dans le [répertoire en ligne des livrables CEPIR](#) et sur le site www.cepir.info et contribuent au développement de la plateforme Osuny, créée par Noesya, un commun numérique libre, sobre et accessible à tous. Nous avons été aidés dans la conception et la mise en ligne par CtrlS, une agence d'innovation qui œuvre pour un numérique responsable en accompagnant les organisations.

LE PÉRIMÈTRE ET LES MÉTHODOLOGIES D'ÉVALUATION

Le périmètre d'étude de CEPIR se décline à plusieurs niveaux, en fonction des livrables.

1. **Le périmètre "technologique"** est celui de la XR : VR, AR et MR. Le Métavers, qui peut utiliser la XR ou non, ainsi que l'intelligence artificielle, la blockchain, les NFT, ... sont exclus du périmètre de CEPIR.
2. **Le cycle de vie** pour les casques VR, qui nous a permis de créer des facteurs d'impacts, inexistants jusqu'à présent.

Note : dans le cadre des ACV réalisées par CEPIR, seule la consommation d'électricité des casques a été prise en compte pour la phase d'"utilisation". L'ACV n'a pas porté sur les réseaux et les centres de données.

3. **Le périmètre "système"**, pour l'approche carbone (émissions de gaz à effet de serre) : la Calcuette carbone et la prospective incluent la phase de fabrication et d'utilisation des "trois tiers" : les terminaux, les réseaux et les centres de données.
4. **Le périmètre "organisation"** : la Calcuette carbone a pour objectif de permettre aux entreprises de la filière XR d'évaluer leurs émissions de GES. Le périmètre opérationnel est celui de la [méthode Bilan gaz à effet de serre réglementaire](#).



Midjourney

BIEN PRÉPARER LE TERRAIN

L'ÉTAT DE L'ART

L'une des premières étapes de CEPIR a été de dresser un **état de l'art des connaissances** sur les impacts environnementaux du numérique et de la XR en France afin d'**identifier les "briques manquantes"**.

Cette évaluation de l'état de l'art s'est déroulée en trois étapes :

1. une revue bibliographique ;
2. des entretiens avec des acteurs du "numérique responsable" et des professionnels de la filière XR ;
3. la diffusion d'un questionnaire auprès de tous professionnels de la filière XR.

La revue bibliographique :

Avec plus de **236 références** recensées, nous avons été confrontés à un premier défi : par où commencer et que lire en priorité ? Nous avons échangé avec les acteurs du numérique responsable pour prioriser le traitement des sources et nous nous sommes répartis le travail !

Notre bibliographie rassemble l'intégralité des sources textuelles, vidéos et sonores qui ont été utilisées dans le cadre de CEPIR et prend la forme d'un fichier Excel (pour pouvoir être réutilisé et actualisé facilement), téléchargeable [en cliquant sur ce lien](#).

Pour chaque source, nous avons indiqué : la typologie, le livrable CEPIR pour lequel cette source a été utilisée, l'étape du cycle de vie, la date de parution, les auteurs, le titre, nos notes, le nombre de pages et la durée de lecture estimée, ainsi que le lien Internet.

Tout au long du projet CEPIR, nous avons aussi sur notre temps libre écouté beaucoup de **podcasts sur les impacts du numérique**, qui ont alimenté nos réflexions et nos échanges : [Techologie](#) de Richard Hanna, [L'Octet Vert](#) de Tristan Nitot, [Numériques Essentiels 2030](#) d'OCTO Technology ou encore les Thinkerviews de [Philippe Bihouix](#) et d'[Aurore Stéphant](#) de SystExt.

Les entretiens avec des acteurs du "numérique responsable" et des professionnels de la filière XR :

À partir de janvier 2023, nous avons échangé chaque semaine avec au moins une personne dont l'expertise nous semblait intéressante pour les travaux de CEPIR.

Les entretiens avec les **acteurs du numérique responsable** avaient pour objectif de nous aider à identifier les sources bibliographiques, les bases de données, les outils d'ACV et les experts en mesure de nous accompagner. Ces entretiens étaient essentiels, car sur ce sujet nouveau et en pleine effervescence, les rapports publiés ont parfois un temps de retard sur les discussions et les initiatives en cours.



Midjourney

BIEN PRÉPARER LE TERRAIN

Depuis 2020, nous avons animé plus d'une trentaine de rencontres (conférences, tables-rondes, ateliers) sur ces sujets auprès des professionnels de la XR. Nous avons aussi diffusé l'œuvre de sensibilisation *Okawari*, dont Landia et Amaury ont assuré l'essentiel de la médiation lors de sa présentation dans des festivals immersifs.

Nous avons donc une certaine légitimité, en tant que précurseurs dans la création d'œuvres XR culturelles depuis dix ans, et par rapport à la prise en compte proactive des enjeux environnementaux associés à la filière. Il nous serait difficile, voire impossible, de lister tous les professionnels de la XR avec qui nous avons échangé par rapport à ces sujets !

Les entretiens spécifiquement menés avec les professionnels de la XR dans le cadre de CEPIR avaient pour objectif de collecter des données d'activité qui nous manquaient : sur la fabrication avec Novelab, sur la distribution *in situ* avec Diversion cinema, sur la distribution en ligne avec Arte, sur les centres de données avec le CMN, ...

En plus des personnes que nous avons déjà présentés à ce stade du rapport, nous avons notamment rencontré :

- **Julia Meyer**, ingénieure numérique responsable à l'Ademe, notre référente à l'Ademe pour l'intégration des données d'impact des casques VR produites par CEPIR dans la Base Empreinte (avec la double entrée Base Impacts et Base Carbone) ;
- **Anatole Lécuyer**, directeur de recherche à l'INRIA et précurseur de la VR en France, qui a résumé ses recherches dans l'ouvrage "*Votre cerveau est un super-héros*" ;
- **Thierry Leboucq**, président de Greenspector, avec qui nous avons discuté des possibilités de mesure de consommation d'électricité des casques VR ;
- **Frédéric Bardeau**, président de Simplon, qui nous a intégrés au groupe de travail "environnement" pour la rédaction d'un livre blanc sur les "métavers responsable" ;
- **Patrick Bergeot**, chef de projets innovants au Centre des Monuments Nationaux et **Jérôme David**, fondateur de ZenT, qui travaillent sur l'impact des centres de données ;
- **Servane Mouton**, neurologue et neurophysiologiste, qui nous a alertés sur les impacts sur la santé des écrans, en particulier pour les enfants et les adolescents ;
- **Camille Pène**, du collectif les Augures, qui nous a mis en relation avec CtrlS, qui nous a accompagnés dans l'écoconception et la mise en ligne du site internet de CEPIR ;
- **Christine Debray**, directrice de projet sobriété numérique au sein du Ministère de la Culture ;
- **Nicolas Dupain**, président fondateur de France Immersive Learning ;
- **David Nahon**, directeur de l'innovation pour l'expérience immersive chez Dassault Systèmes ;
- **Maud Clavier**, directrice générale de VRrOOM et présidente du CNXR ;
- **Vanesse Pénelope**, directrice générale de France Immersive Learning.

Le questionnaire "XR et environnement" :

Pour consulter plus largement les professionnels de la filière XR et les associer aux travaux de CEPIR, nous avons diffusé entre avril et juin 2023 (via les réseaux sociaux, nos réseaux et ceux des principales associations professionnelles) le **questionnaire "XR et environnement"**, élaboré de concert avec une partie des experts consultés.

À travers 36 questions, ce questionnaire avait pour objectifs :

- d'**évaluer le niveau de compréhension** des répondants par rapport aux enjeux environnementaux et des risques associés pour la filière XR ;
- d'**identifier les initiatives** prises par des professionnels liées à ces enjeux : bilans carbone, mesures d'écoconception, engagements RSE, ...;
- de mieux **comprendre les freins à l'action** perçus par les répondants et les solutions envisagées ;
- de **comprendre comment les répondants envisagent l'évolution** de la filière et de ses usages à horizon 2030 ;
- d'**identifier de potentiels partenaires** et personnes à contacter dans le cadre de CEPIR.

BIEN PRÉPARER LE TERRAIN

L'enquête a recueilli plus de 120 participations, avec une bonne représentativité de l'ensemble des métiers de la chaîne de valeur de la XR : fournisseurs de technologies et de middleware, producteurs de contenus, studios de fabrication, artistes, chercheurs et ingénieurs de recherche.

Il ressort de cette enquête une certaine **dichotomie entre deux profils de répondants**.

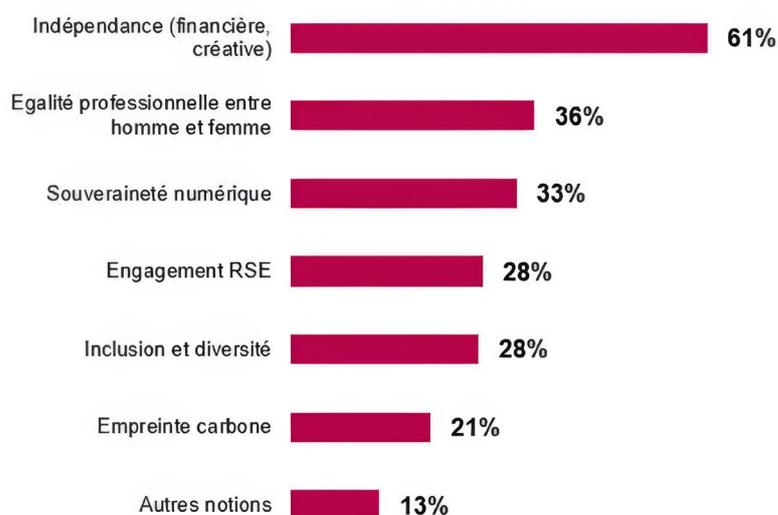
Les entreprises et les artistes XR d'une part, ont conscience que leur vie va être impactée par le changement climatique et des engagements sont pris à l'échelle individuelle, mais les **ordres de grandeur** et les impacts environnementaux associés à leur activité ne sont **pas bien compris**. **Peu d'actions concrètes** ont donc été engagées au sein de leurs entreprises.

Ces répondants se projettent à l'avenir sur une **utilisation plus massive des technologies XR**, plutôt perçues comme des solutions aux défis environnementaux, notamment en permettant de réduire les déplacements.

Ces réponses concordent avec l'enquête menée par le CNXR en décembre 2022 et janvier 2023 auprès d'un échantillon représentatif des entreprises de la XR en France, qui montrait que la préoccupation principale des répondants était la pérennisation de leur activité et le développement du marché, les problématiques environnementales n'étant, pour la très grande majorité des répondants, pas considérées comme prioritaires :

PARTIE 4. RSE

Graphique : Problématiques sociétales les + importantes (citée en 1er)



Source : [Etude de marché CNXR](#)

En revanche, 87% des répondants du questionnaire CEPIR se déclarent **favorables à un encadrement réglementaire** (loi) des usages et des pratiques de la filière.

Les universitaires, les chercheurs et les acteurs du numérique responsable d'autre part, plus avancés dans leur compréhension des enjeux environnementaux et plus fortement engagés dans des initiatives en lien avec ces enjeux, sont beaucoup **plus sceptiques par rapport au potentiel gain environnemental** qui serait lié au développement de la XR, mais peu d'entre eux ont déjà expérimenté les technologies immersives.

Nous avons donc depuis le début de CEPIR cherché à **être un pont entre ces différents acteurs**, en essayant à la fois de sensibiliser les professionnels de la XR à la problématique de ses impacts environnementaux, et en organisant des démos XR et Métavers auprès des acteurs du numérique responsable.



LA CRÉATION DE DONNÉES



LE BILAN CARBONE DE L'ŒUVRE XR OKAWARI

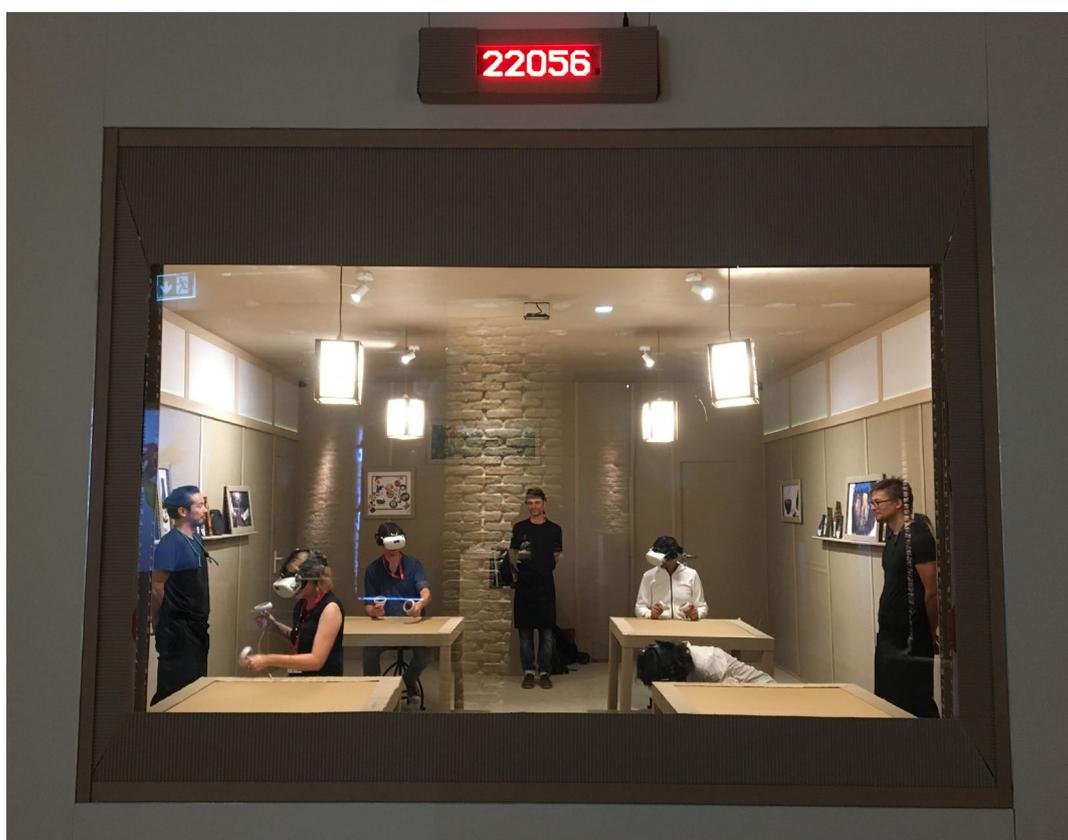
Le Bilan Carbone d'*Okawari* a été initié au moment de la mise en production de l'œuvre en septembre 2021 et s'est poursuivi jusqu'à sa première mondiale à Venice Immersive (la sélection immersive de la Biennale de Venise) en août 2022.

Le [Bilan Carbone d'*Okawari*](#) a été mis à jour avec les données de plusieurs présentations de l'œuvre, à la Biennale de Venise en août 2022, à Lumières sur le quai à Toulouse en octobre 2022 et à l'IDFA à Amsterdam en novembre 2022.

Nous avons calculé l'empreinte carbone de la fabrication d'*Okawari* en intégrant une partie du Bilan Carbone d'une œuvre antérieure, *Umami* (2018), que nous avons "surcyclée" (réutilisation d'une partie des assets 3D d'*Umami* pour la création d'*Okawari*), dans le cadre des mesures d'écoconception prises pour la réalisation d'*Okawari*.

Okawari est une œuvre VR/MR multijoueurs contenue dans une installation physique créée sur place avec des déchets et des matériaux recyclés. Le Bilan Carbone de la fabrication d'*Okawari* est affiché sur l'installation lors de ses présentations en festival et fait partie intégrante de l'œuvre.

Le "compteur carbone" indique en temps réel le montant des émissions de GES cumulées associées à la fabrication de l'œuvre et à sa présentation en festival, en tenant compte des déplacements des visiteurs venus voir l'œuvre :



Le compteur carbone Okawari au début de sa présentation à Venice Immersive

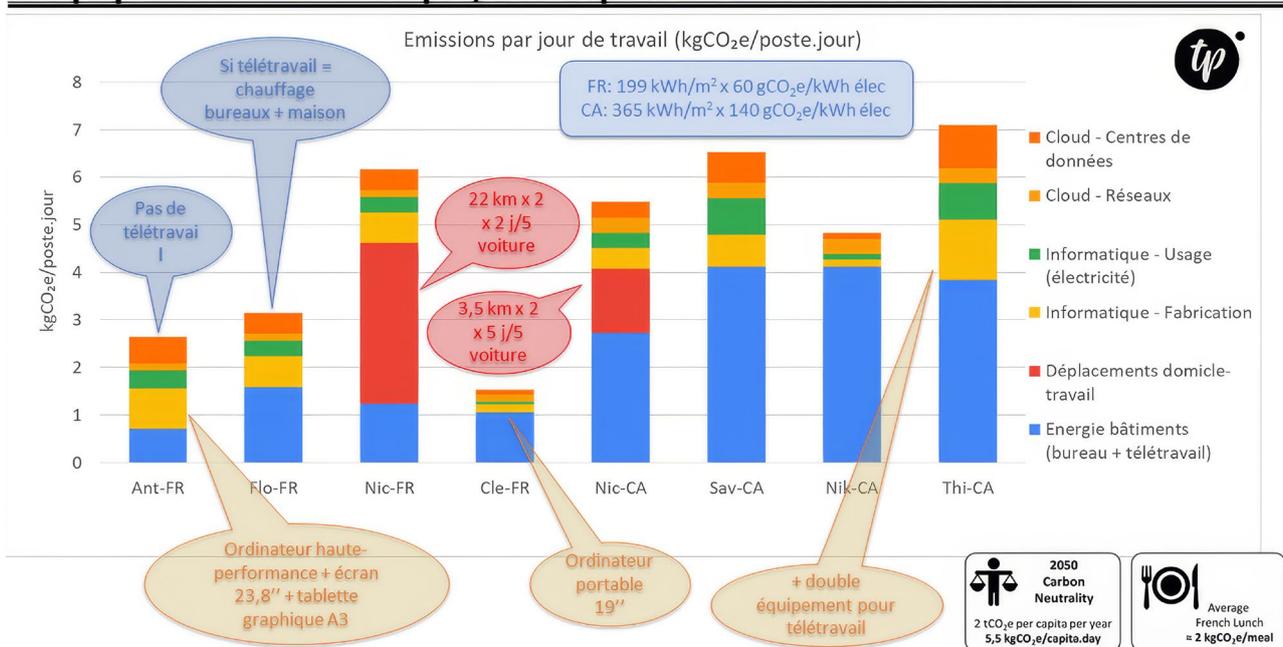
LA CRÉATION DE DONNÉES

Le Bilan Carbone d'Okawari a fait l'objet d'une présentation détaillée au [Venice Production Bridge](#) en septembre 2022, dans le cadre du travail de sensibilisation que nous menons activement depuis 2020 auprès des professionnels de la XR.

Pour réaliser le Bilan Carbone de la fabrication de l'œuvre, nous avons commencé par une modélisation des postes de travail, puis nous avons ajouté les déplacements des membres de l'équipe (nombre de kilomètres parcourus et mode de transport utilisé), et attribué les ratios monétaires de l'Ademe aux autres dépenses.

Le graphique ci-dessous illustre les émissions par poste de travail, qui varient de 1,5 à 7 kgCO₂e/poste.jour, en fonction des déplacements domicile-travail (avec un gros impact des déplacements en voiture), de l'équipement informatique (impact du double équipement en cas de télétravail) et du pays (besoins en chauffage et facteur d'émissions de l'électricité différents entre la France et le Canada).

Les émissions GES par poste de travail dépendent du pays, de l'équipement informatique, des déplacements domicile -travail

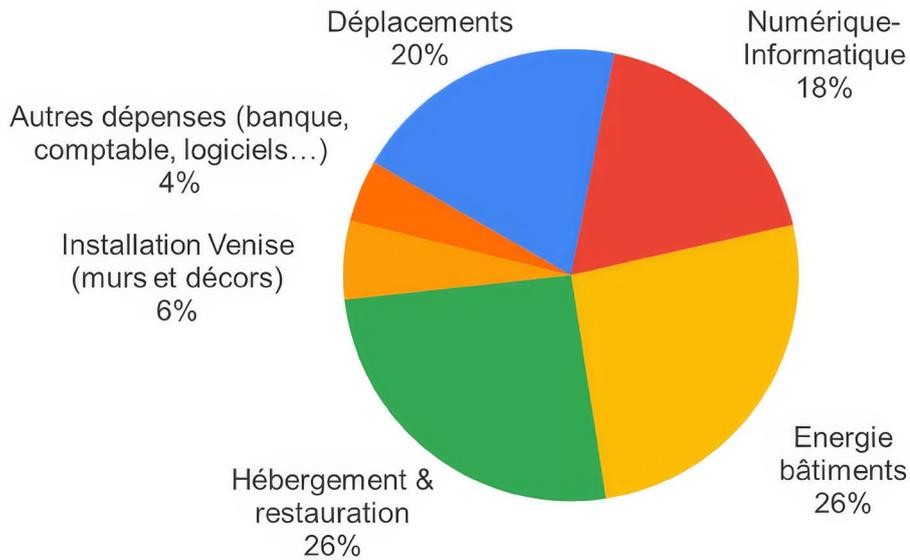


Calcul des émissions de GES par poste de travail

Le camembert ci-dessous montre la répartition du Bilan Carbone par postes, hors déplacement des festivaliers. Malgré de gros efforts pour éco-produire l'œuvre et limiter les déplacements carbonés (aucun vol en avion, ni dans le cadre de la coproduction internationale, ni pour la présentation de l'œuvre en festivals), ce poste reste important.

L'impact du poste "numérique/informatique" (fabrication des terminaux, fabrication et utilisation des centres de données et des réseaux) est du même ordre de grandeur que les déplacements et le chauffage des bâtiments. Le Bilan Carbone confirme que ce poste est loin d'être négligeable pour les entreprises de la filière XR.

Okawari Conception-Fabrication : 11 524 kgCO₂e



Bilan Carbone Okawari hors déplacements des festivaliers

Pour chacun des festivals où *Okawari* a été présenté, nous avons demandé aux participants d'où ils venaient, comment ils étaient venus (voiture, train, avion...) et quelles étaient les autres motivations de leur déplacement (combien d'autres expériences avaient-ils vues pendant le festival, par exemple).

Les déplacements des festivaliers représentent à ce jour 78% du Bilan Carbone d'*Okawari*, avec des **écarts très importants en fonction du festival** : 1,2 kgCO₂e par festivalier pour Lumières sur le quai (festival très local) contre 82 kgCO₂e par festivalier pour Venise Immersive (festival international : 58% des festivaliers viennent en avion avec 4000 km parcourus en aller-simple en moyenne !).

D'où le passage de 12 tCO₂e pour la conception-fabrication de l'œuvre à 53 tCO₂e à la suite de sa distribution en festivals :

	Emissions GES (kgCO ₂ e)	Participants	kgCO ₂ e/participant
Conception-fabrication Okawari	11 524	937	12
Venise Immersive 2022	33 290	404	95
Lumières sur le quai - Toulouse	374	310	14
IDFA - Amsterdam	7 395	223	45
TOTAL	52 583	937	56

Bilan carbone d'*Okawari*, en incluant la distribution en festivals

LES “BRIQUES MANQUANTES”

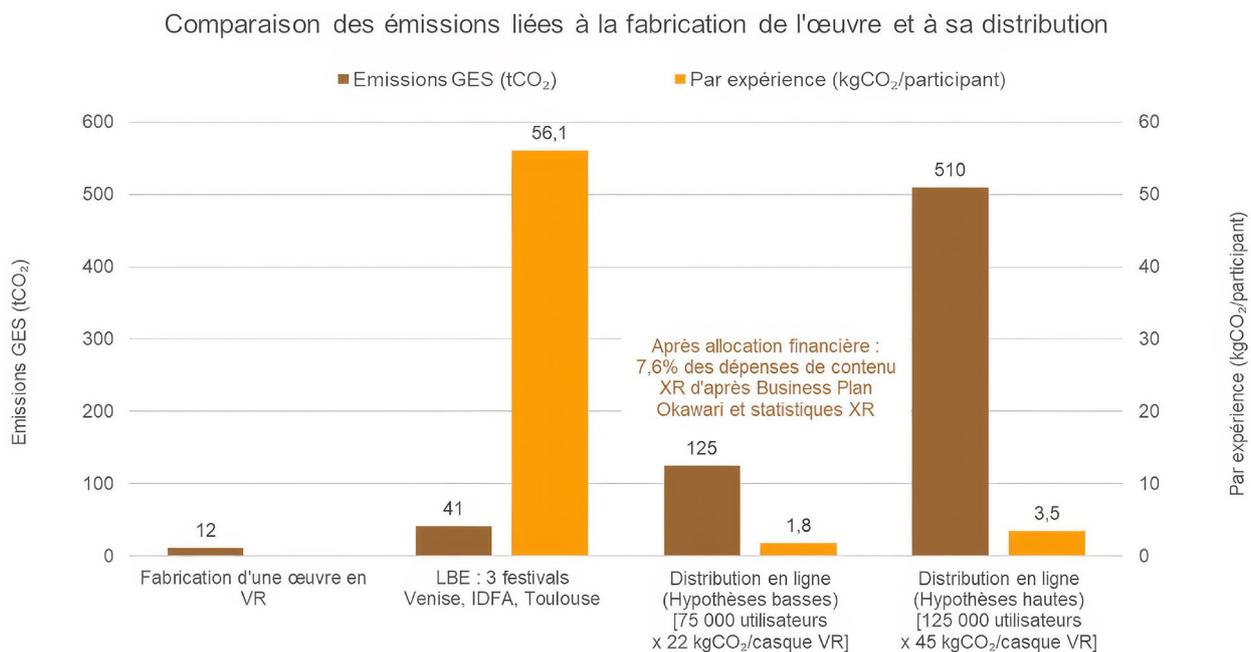
Lorsque nous avons réalisé le Bilan Carbone d'*Okawari*, **il n'existait pas de facteur d'émissions pour la fabrication des casques VR**. Nous avons donc dû estimer les émissions à partir des facteurs d'émissions d'autres équipements numériques et informatiques (smartphone, ordinateur portable, poids et dimensions des écrans, ...).

Pour les réseaux et les centres de données, nous avons extrapolé leur impact carbone en appliquant une règle de 3 à partir des résultats de l'étude [Ademe-Arcep sur l'impact du numérique en France](#), qui donne une répartition de l'impact total entre ces trois tiers (terminaux, réseaux, centre de données) pour les équipements professionnels.

Avec une distribution essentiellement en festivals internationaux (l'objectif premier d'*Okawari* étant de sensibiliser les professionnels de la XR), où le premier poste d'émissions est le déplacement des festivaliers, ces approximations restaient acceptables.

En revanche, **dans le cas d'une distribution en ligne** de l'œuvre, **l'impact de la fabrication des casques VR** (voire aussi leur utilisation dans des pays où le mix électrique reste encore très carboné) **deviendrait prépondérant** et ces approximations ne seraient plus acceptables.

Comme il s'agit d'une œuvre multi-joueurs, nous avons aussi besoin de pouvoir estimer plus précisément **l'impact des centres de données et des réseaux**.



Impact carbone de la distribution en ligne d'*Okawari* selon deux scénarios

Ces estimations nous ont convaincus de la **nécessité de faire une ACV détaillée d'un casque VR**, étape préalable indispensable à toute tentative d'estimation de l'impact environnemental du développement de la XR (et du Métavers).

L'ACV DES CASQUES VR ET LA DIFFUSION DE NOUVEAUX FACTEURS D'ÉMISSIONS

Diversion cinema et Novelab nous ont fourni **quatre casques VR récents mais hors d'usage** (suite à une chute ou à une exposition à la lumière du soleil, les écrans des casques y étant très sensibles à cause des lentilles grossissantes), car l'ACV est destructive.

Etienne, Julie et David ont **démonté les casques et leurs manettes**, et ont pesé ou mesuré les différents composants.

À partir de ces données et des fiches techniques des constructeurs (pour le détail des processeurs et des cartes graphiques), Etienne a réalisé **cinq ACV (quatre casques et une manette)** grâce au logiciel EIME, un outil d'ACV et d'écoconception développé et mis à jour par le département CODDE du LCIE de Bureau Veritas.

Le logiciel dispose d'une base de données conforme aux normes et aux référentiels internationaux, en particulier sur les équipements électriques et électroniques. C'est l'outil qui a été également utilisé dans le cadre du projet NegaOctet, le plus gros référentiel (privé), qui rassemble plus de 1000 inventaires de cycle de vie de services numériques.

Ces ACV ont conduit à la **synthèse de deux facteurs d'émissions** : le premier pour les casques VR avec un écran LCD, et le second pour les casques VR avec un écran OLED, car le type d'écran a un impact significatif sur l'empreinte carbone de la fabrication des casques. Voici les facteurs d'émission retenus :

- **Casque VR écran LCD** + 2 manettes = 50 kgCO₂e/pack (fabrication et distribution)
- **Casque VR écran OLED** + 2 manettes = 92 kgCO₂e/pack (fabrication et distribution)

L'ACV a été réalisée selon la méthodologie européenne PEF (Production Environmental Footprint) dans sa version 3.0.

Seize critères d'impact, ainsi que la consommation de matières premières (indicateur MIPS - Material Input per Unit of Service), ont été évalués **pour chacune des étapes du cycle de vie** : la fabrication, la distribution (transport), l'utilisation et la fin de vie.

La présentation des résultats par Etienne est disponible dans le document : [04 Présentation resultats ACV.pdf](#)

Nous proposons de faire ici un **focus sur cinq critères particulièrement pertinents** pour les équipements électriques et électroniques, avec les unités officielles et des propositions de conversion pour nous permettre de mieux "visualiser" à quoi correspondent ces impacts.

	Casque VR LCD + 2 manettes	Casque VR OLED + 2 manettes	Unité
Poids du matériel	748	933	g
Impact climatique (émissions de GES)	50	92	kgCO ₂ e
GES fossiles/GES total	99,7%	99,4%	%
équivalent km en voiture (200 g/km)	248	459	km voiture (200 gCO ₂ e/km)
équivalent budget individuel quotidien en 2050 (2 tCO ₂ e/an)	9	17	jour budget carbone individuel 2050 (5,5 kgCO ₂ e/habitant.jour)
% des limites planétaires	5%	9%	% limites planétaires ramenées à une personne (985 kgCO ₂ e/habitant.an)
Consommation d'énergies fossiles	663	1 392	MJ
équivalent litre de pétrole	17,2	36,1	litre pétrole (38,5 MJ/litre)
Consommation d'eau	93 401	107 101	litre
équivalent en "français" (consommation annuelle 53 m ³ /an)	1,8	2,0	consommation individuelle annuelle (149 litre/jour)
Consommation de matières premières	207	354	kg matières premières
<i>Matières premières extraites (minéraux, métaux, biomasse) et matières premières énergétiques (fossiles et biomasse)</i>			(indicateur MIPS - Material Input per Unit of Service)
Ratio entre le poids final et la quantité de matières mise en œuvre	0,36%	0,26%	
Ratio entre la quantité de matières mise en œuvre et le poids final	277	380	
Epuisement des ressources minérales et métalliques	5,47	6,68	g Sb eq. (antimoine)
équivalent Cuivre	1 388	1 695	g Cu eq. (cuivre)
équivalent Argent	0,670	0,819	g Ag eq. (argent)
équivalent Or	0,137	0,167	g Au eq. (or)

Indicateurs d'impact de la fabrication des casques VR + manettes

- Matières mises en œuvre (ou "sac à dos écologique") :** un casque VR et ses deux manettes pèsent environ 841 g. Pour sa fabrication, cet ensemble a nécessité près de 281 kg de matières premières (extraction de ressources minérales et métalliques et énergie fossile), soit 333 fois son poids final !
La variété des matériaux utilisés sur le cycle de vie des casques, notamment pour leur production, est également importante. Voici une liste des métaux et matières critiques entrant dans la composition matière des casques (LCD et OLED) démontés : aluminium, antimoine, argent, barium, chrome, cobalt, cuivre, étain, fer, indium, lithium, magnésium, nickel, or, palladium, plomb, tantale, titane, tungstène, zinc.
- Impact climatique :** la fabrication et le transport d'un casque VR et de ses manettes émettent en moyenne 71 kgCO₂e, soit l'équivalent de 350 kilomètres en voiture.
- Consommation d'énergie fossile :** la fabrication et le transport d'un casque VR et de ses manettes consomment l'équivalent de 27 litres de pétrole en moyenne.
- Consommation d'eau :** la fabrication et le transport d'un casque VR et de ses manettes consomment de l'ordre de 100 m³ d'eau, soit l'équivalent de la consommation annuelle de deux français.
- Épuisement des ressources abiotiques (non-renouvelables) minérales et fossiles :**

L'épuisement des ressources fossiles est traduit par l'indicateur ADPe ("Abiotic Depletion Potential of elements", au sens des éléments chimiques de la table de Mendeleïev), qui exprime la quantité de matières "rares" consommée pour la fabrication du produit.

Le calcul correspond à la somme des masses de matières "rares" pondérées en fonction de la rareté des ressources et de l'intensité de leur exploitation : plus la ressource est considérée

comme rare et exploitée, plus la valeur de l'indicateur augmente et plus la fabrication du produit contribue à l'épuisement des ressources.

L'unité choisie est l'antimoine (Sb) équivalent, car l'antimoine est l'une des ressources les plus rares par rapport au stock planétaire et à son rythme de consommation, elle est considérée comme "épuisable" à l'échelle d'une vie humaine ! Par convention, elle a une valeur de 1.

Il existe une dizaine d'approches pour calculer l'indicateur ADPe. La méthodologie européenne PEF, utilisée ici, s'appuie sur la méthode dite "CML", développée par l'Université de Leiden aux Pays-Bas, dans sa version basée sur les ressources ultimes (UR pour "Ultimate Reserves"). L'approche CML-UR présente plusieurs limites :

- elle n'intègre pas les risques géostratégiques d'approvisionnement, en cas de concentration des ressources ou des moyens de production dans quelques pays (voire un seul) ;
- elle intègre l'utilisation de 49 matériaux minéraux et métalliques, mais pas des terres rares.

Une valeur supérieure à 1 pour une ressource indique que l'on consomme une ressource plus rare que l'antimoine. À titre d'exemples, l'ADPe du cuivre vaut 0,00137 mais celle de l'argent vaut 1,18 et celle de l'or vaut 52 !

En moyenne, la consommation de minéraux et métaux pour la fabrication et le transport d'un casque VR et de ses manettes équivaut à 6 g d'antimoine, 1,5 kg de cuivre ou encore 0,15 g d'or, en équivalent "rareté".

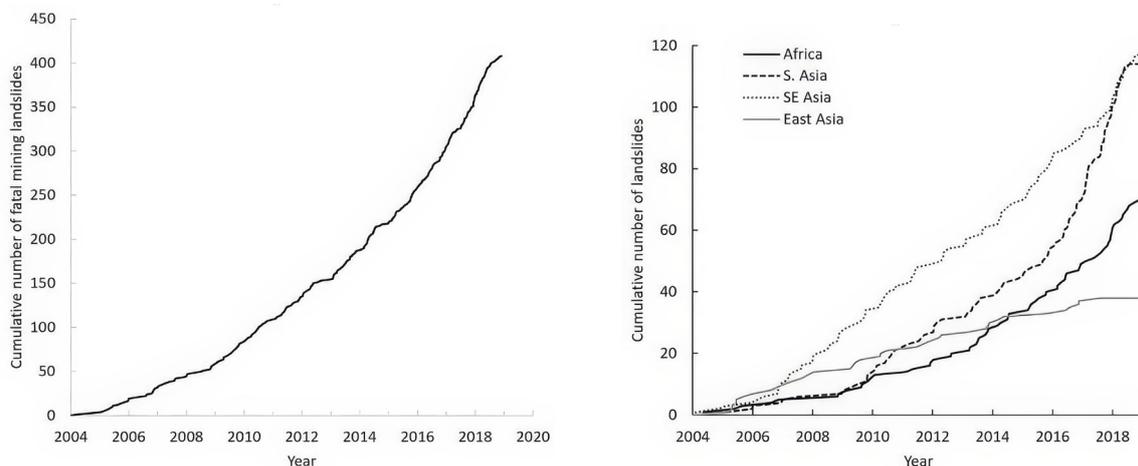
Quid des ACV d'autres équipements spécifiques à la XR ?

Notre veille du secteur de la XR nous fait craindre que le développement de la XR serve de support au **développement d'autres équipements**, tous plus coûteux les uns que les autres sur le plan environnemental, pour maximiser l'immersion : [ordinateurs sac à dos](#), [tapis de course multi-directionnels](#), [caméra VR 360°C](#) (8 objectifs au lieu d'un), [équipements de retours haptiques](#), ...

"*Tout est pour le mieux dans le meilleur des mondes possibles*" (Candide, Voltaire) :

Les calculs d'ACV considèrent que tout se passe bien dans le meilleur des mondes : il n'y a pas d'accidents miniers ou industriels, pas de ruptures de digues et de déversement des effluents à traiter qui vont polluer les sols et les rivières, pas d'orpaillage clandestin, ... sans compter la dépollution des sites, à la charge de la collectivité, en fin d'exploitation.

Dave Petley recense dans ses travaux les [glissements de terrain](#) (408 glissements de terrain associés aux mines entre 2004 et 2018, à l'origine de près de 2 800 morts) et met à jour [The Landslide Blog](#), qui montrent tout le contraire :



Nombre total cumulé de glissements de terrain liés à l'exploitation minière de 2003 à 2018, dans le monde (à gauche) et pour quatre zones géographiques (à droite) (D. Petley)

LA CRÉATION DE DONNÉES

La mine continue de polluer et de tuer... mais ça ne devrait pas être une fatalité.

La grande majorité des glissements de terrain mortels liés à l'exploitation minière se produisent en dehors de l'Europe, de l'Amérique du Nord et de l'Australie/Nouvelle-Zélande. Ils reflètent l'absence ou la mauvaise application de la réglementation minière.

Les fabricants d'équipements numériques ne doivent pas fermer les yeux et faire pression sur les industries extractives pour qu'elles appliquent, partout dans le monde, quelle que soit la législation nationale, **les meilleures normes sociales et environnementales** en la matière.

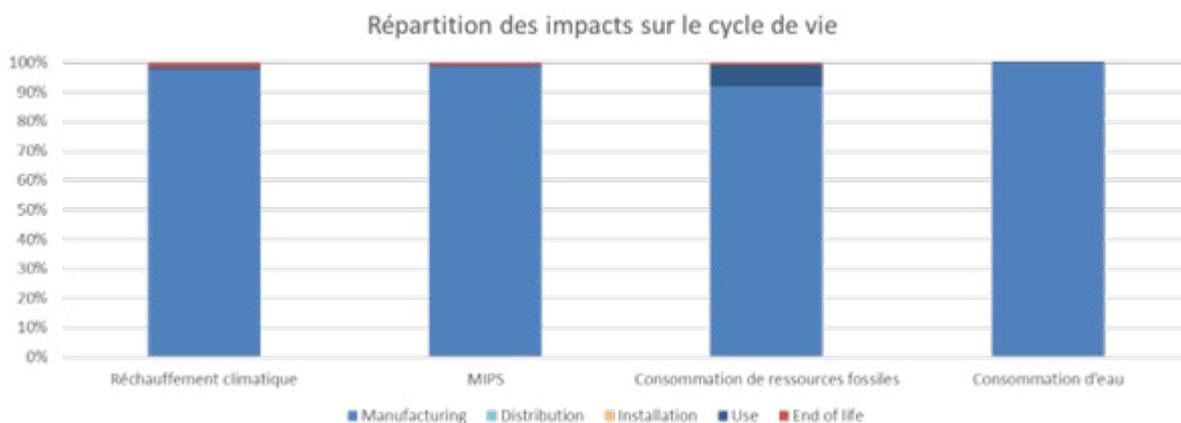
Un mot sur la fin de vie :

La fin de vie ne représente que 1 à 2% des impacts sur le cycle de vie, mais les hypothèses de calculs pour la fin de vie considèrent que les équipements sont collectés et envoyés dans les meilleures filières de recyclage européennes, où ils sont démantelés et recyclés.

En réalité, **seulement 44% (en poids) des DEEE** (Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques) **sont collectés en France** selon l'[Ademe](#) et seulement **17% dans le monde**. Sur la soixantaine d'éléments chimiques contenus dans les appareils électroniques, **seuls une dizaine sont effectivement séparés pour être valorisés** : l'or, le cobalt, l'argent, le cuivre, le fer, le plomb, l'aluminium, l'étain et le platine. Les autres sont soit incinérés, soit stockés.

Utilisation des casques :

Comme pour les smartphones, en particulier en France (avec une électricité plutôt décarbonée), la phase "utilisation" des casques VR représente 1 à 2% de l'ACV complète, en raison de la **faible consommation électrique** et de la **faible durée d'utilisation des casques**.



Répartition des impacts sur le cycle de vie pour les casques LCD analysés (520 heures d'utilisation)

Nous avons donc **gardé cette étape paramétrable** en fonction :

- De la durée de vie des casques,
- De l'intensité d'utilisation pendant cette durée de vie,
- Du type d'expérience XR,
- Du pays d'utilisation et facteurs d'émissions de la production électrique.

L'ACV des casques VR a fait l'objet d'une **revue critique** (par [Firmin Domon](#) du LCIE de Bureau Veritas) et les données ont été transmises au format adéquat à l'équipe de l'Ademe pour leur **intégration dans la Base Ademe Empreinte**.

LA CRÉATION DE DONNÉES

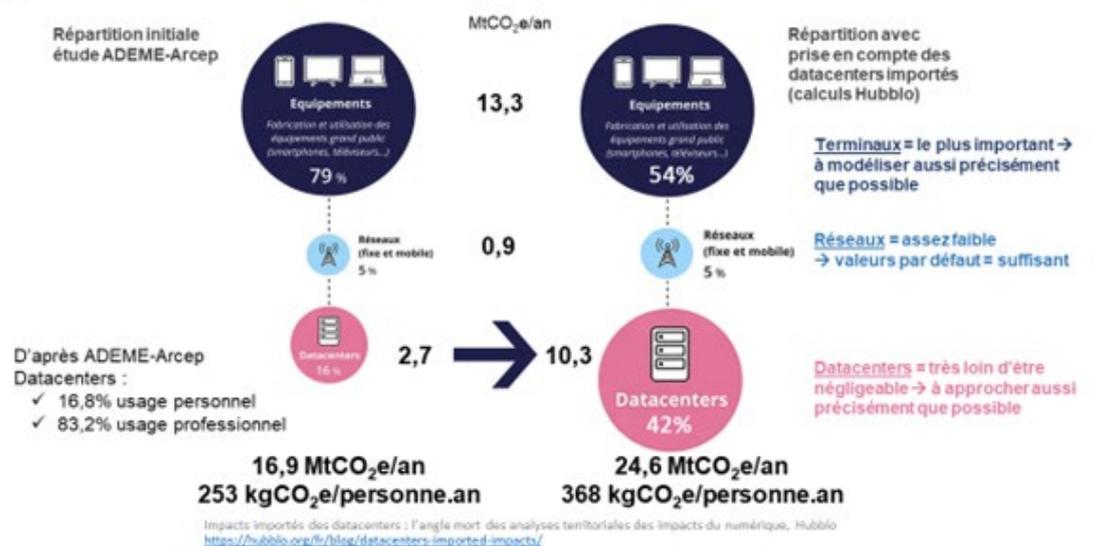
LES FACTEURS D'ÉMISSIONS DES RÉSEAUX ET DES CENTRES DE DONNÉES

Nous avons déjà vu que pour calculer l'impact carbone d'une organisation, d'un produit ou service, l'approche consiste à multiplier une donnée d'activité par un facteur d'émissions :

$$\text{Émissions de GES} = \text{donnée d'activité} \times \text{facteur d'émission}$$

D'après l'étude Ademe-Arcep, complétée par Hubblo pour les centres de données utilisés par les français mais situés en dehors du territoire français, **le poids des centres de données pourrait atteindre 42% de notre impact numérique.**

Poids respectifs des terminaux, des réseaux et des centres de données pour les utilisateurs français



Répartition de l'impact carbone du numérique entre les terminaux, les réseaux et les centres de données (Hubblo)

Il était donc indispensable dans le cadre de CEPIR d'essayer d'évaluer au mieux cet impact.

Nous avons donc réalisé un travail de **compilation des données publiques**, que nous avons documenté et archivé dans le document [05_FE_numerique_CEPIR.pdf](#).

L'ensemble de ces données nous a permis **soit d'extraire** directement des facteurs d'émissions de l'utilisation des réseaux et des centres de données, **soit de calculer** des facteurs d'émissions correspondant à différents services en ligne.

La partie III. *Mode d'emploi* du document [07_Guide_utilisateur_calculatrice_carbone_CEPIR.pdf](#) reprend les principales sources, hypothèses et résultats de ces travaux.

Cette approche doit permettre de **calculer le bénéfice carbone des actions** dont les experts du numérique responsable considèrent qu'elles ont un **réel bénéfice en termes de réduction de l'impact carbone**. Les approches par ratios monétaires sont à éviter autant que possible et ne doivent être utilisées qu'en dernier recours.

Une autre solution est d'**interroger ses fournisseurs de services en ligne** et de leur demander l'impact carbone des services souscrits. Hubblo a réalisé un [comparatif des calculatrices carbone](#) des trois principaux fournisseurs : Microsoft, Google et AWS.



LA CALCULETTE CARBONE



Le lancement du projet CEPIR a coïncidé avec le lancement du **programme TraveRSEe**, animé de décembre 2023 à mars 2024 par La Rochelle Technopôle sous la forme d'Ateliers Collectifs rassemblant une dizaine de TPE (très petites entreprises) tertiaires.

Un des objectifs de ce parcours était de mutualiser les coûts pour **permettre à ces entrepreneurs de réaliser leur Bilan carbone à un coût raisonnable**, à partir du **tableur simplifié** "Tableur B-GES TPE tertiaire" (B-GES = Bilan de Gaz à Effet de Serre) développé par Marie pour l'occasion.

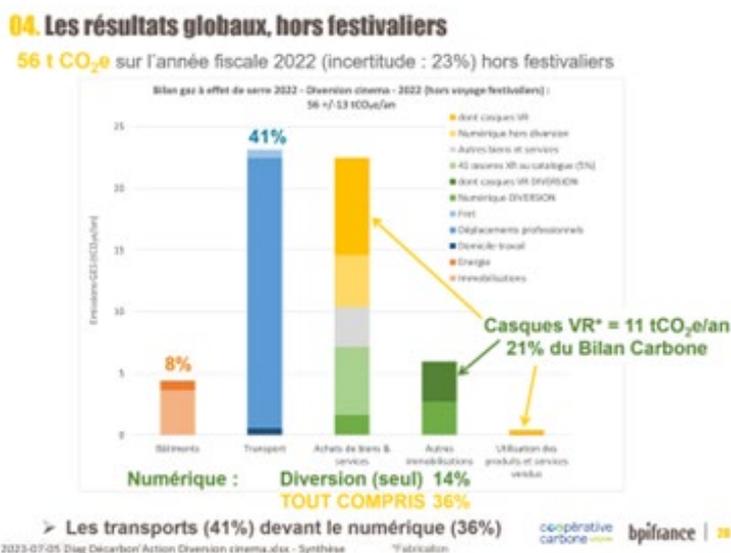
Ce tableur conservait uniquement les postes d'émissions du Bilan Carbone correspondant à une (petite) activité tertiaire, un seul site et une vingtaine d'employés. Il a été complété pour intégrer l'empreinte carbone des services numériques, grâce aux facteurs d'émissions (FE) NégaOctet récemment ajoutés à la Base Empreinte Ademe et illustrés sur le site [ImpactCO2](#), et grâce aux FE collectés à travers la revue bibliographique CEPIR et la revue critique de l'outil WeNR.

LE BILAN CARBONE DE DIVERSION CINEMA

[Diversion cinema](#) est une agence événementielle et un **distributeur de contenus spécialisé dans l'immersif**, qui possède du matériel (231 casques VR et équipements associés) ainsi qu'un catalogue d'une trentaine d'œuvres (226 sélections en 2022 dans une centaine de festivals en France, en Europe et en Asie).

Partenaire historique de Tiny Planets et de Novelab, Diversion cinema a participé à la distribution d'*Umami* et d'*Okawari* à Venice Immersive : location du matériel (casques VR, batteries, routeur, ...) et médiation culturelle (accueil des participants et présentation théâtralisée de la "face cachée" de l'œuvre).

À la suite de Venice Immersive 2022, Diversion cinema a souhaité **réaliser son Bilan Carbone** avec la Coopérative Carbone, dans le cadre du dispositif [Diag Décarbon'Action](#), ce qui a été l'occasion de perfectionner la calculette Tableur B-GES TPE tertiaire, en y ajoutant les facteurs d'émissions de la fabrication des casques VR, l'impact des réseaux et des centres de données et les autres facteurs d'émissions spécifiques à la filière XR produits dans le cadre du projet CEPIR.



Synthèse des résultats du Bilan Carbone Diversion cinema

LA CALCULETTE CARBONE

Les casques VR (231 casques possédés et 210 casques achetés et revendus) **représentent 21% du Bilan Carbone de Diversion cinema** et le numérique tout confondu 36% (hors déplacements des festivaliers).

Cependant, le poste des transports, et principalement celui des **déplacements professionnels, est le premier poste** du Bilan Carbone Diversion cinema et le principal sujet de débat de l'atelier de co-construction de leur plan d'actions.

Les principales actions envisagées par Diversion cinema pour réduire leur Bilan Carbone sont :

- le développement d'un **outil d'aide à la prise de décisions**, sur le modèle de celui de [Scanlab](#), visant à questionner chaque déplacement en avion au regard de la finalité, de l'impact carbone et de l'impact économique pour la société ;
- l'adaptation de cet outil pour pouvoir **afficher le coût carbone prévisionnel des prestations** sur les devis et définitif sur les factures, pour en faire un sujet de discussion avec les clients et qu'ils prennent leur part de responsabilité (ex. la prise en charge de coûts additionnels en cas de déplacement en train plutôt qu'en avion) ;
- le fait de **questionner les fabricants de matériel** sur l'ACV des casques et les éventuels choix d'écoconception, la durée de la garantie et l'indice de réparabilité ;
- le fait de **prendre soin du matériel** pour prolonger sa durée de vie au maximum ;
- essayer de **maximiser la mutualisation du matériel, sa réutilisation et son reconditionnement**, pour les clients qui achètent pour un usage inférieur à la durée de vie espérée des casques.

Pour contribuer à la diffusion de ces résultats et des bonnes pratiques envisagées, Diversion cinema est intervenu lors de la table ronde "Impact & XR" organisée à La Rochelle en juin 2023 dans le cadre du festival [Sunny Side of the Doc](#).

LA CALCULETTE CARBONE CEPIR

L'ensemble de ces étapes a permis d'aboutir à la création de la "**Calcullette carbone CEPIR**", un outil Excel qui permet, dans un seul tableur, de collecter les données d'activités d'une organisation de la filière XR et de calculer en direct les émissions correspondante.

La Calcullette Carbone CEPIR est accessible en open source sous [licence Creative Commons CC BY-NC-ND](#) : attribution, pas d'utilisation commerciale, pas de modification.

La Calcullette Carbone CEPIR se veut conforme à la norme [ISO 14064-1:2018](#), à la Méthode pour la réalisation des Bilans d'émissions de Gaz à Effet de Serre (BeGES) conformément à [l'article L. 229-25 du code de l'environnement](#) (version 5, juillet 2022) et à la [Méthode Bilan Carbone®](#).

Son homologation par l'ABC (Association pour la transition Bas Carbone) ou le CNC (dans le cadre de l'extension de son "Plan Action !" aux producteurs XR) pourra faire l'objet de travaux ultérieurs.

Elle **permet de réaliser un Bilan Carbone** et les extractions correspondantes sur les cinq principales catégories du Bilan GES :

1. **Émissions directes** (aussi appelées "scope 1") : consommation d'énergie fossile (sources fixes, bureaux et mobiles, véhicules) et fuites de gaz frigorifiques ;
2. **Émissions indirectes liées à l'énergie** (aussi appelées "scope 2") : consommation d'électricité (et réseau de chaleur/de froid) ;
3. **Émissions associées au transport** : déplacements professionnels, déplacements domicile-travail, déplacements des visiteurs, fret entrant et fret sortant ;
4. **Émissions associées aux achats** : achats de biens et services, immobilisations, déchets ;
5. **Émissions associées aux produits et services vendus** : utilisation et fin de vie des produits et services vendus, pour la filière XR : fabrication et utilisation des terminaux (casques VR, batteries externes, ordinateurs, sacs à dos, ...), fabrication et utilisation des réseaux et des centres de données et déplacements des utilisateurs (festivals, installations *in situ*).

Les résultats sont présentés sous **deux périmètres : avec et sans les émissions de la phase d'utilisation**.

Le [Guide méthodologique et le mode d'emploi de la Calcullette carbone CEPIR](#) détaille l'approche retenue, les sources des facteurs d'émissions, et propose un certain nombre de valeurs par défaut pour de premières estimations rapides du Bilan Carbone d'une organisation de la filière XR.

Pour tester la Calcullette carbone CEPIR nous l'avons remplie avec un [exemple d'entreprise XR imaginaire](#) mais plausible afin de donner quelques ordres de grandeur des différents postes. Les résultats ont été présentés lors du [webinaire de restitution](#) des travaux le 28 février 2024.

LES LIMITES DU PÉRIMÈTRE DE CALCUL BILAN CARBONE

Les entretiens menés avec les acteurs du numérique responsable et les professionnels XR ont fait remonter **deux préoccupations** :

- Avez-vous prévu de **quantifier les “effets rebond”** de ces nouveaux usages, en particulier le développement du Métavers persistant et son cortège de données personnelles, stockées pour une durée indéterminée ?
- Avez-vous prévu de **quantifier les émissions évitées** (potentiels déplacements évités) grâce à la XR ?

La Calculette Carbone CEPIR repose sur un calcul des émissions avec une **approche dite “attributionnelle”**, en phase avec le Bilan Carbone et la méthode BeGES réglementaire car c’est l’approche recommandée à l’échelle d’une organisation.

Cette méthode est basée sur un inventaire des activités déjà réalisées par une entreprise, un projet ou un individu, c’est-à-dire qu’elle attribue une **responsabilité d’émissions par poste comptabilisé** dans le périmètre retenu (par exemple pour la consommation électrique, le transport, l’achat de biens et services, ...).

L’approche **“conséquentielle”**, tente de **fournir des informations sur les impacts environnementaux qui résultent, directement ou indirectement, d’une décision**, comme par exemple l’apparition d’un nouveau produit/service ou d’une nouvelle réglementation.

Prenons un exemple. En approche attributionnelle, si je décide d’aller travailler à vélo plutôt qu’en voiture, je réduis les émissions de GES et la pollution locale liées à ma consommation de carburant et de matières premières (un vélo est plus léger qu’une voiture).

En approche conséquentielle, je peux tenir compte du fait que je serai en meilleure santé, que cela va réduire mon absentéisme, augmenter ma productivité et diminuer les dépenses de santé (impacts indirects). Si un grand nombre de personnes va travailler à vélo, moins de places de parking seront nécessaires et nous pourrons les remplacer par un espace végétalisé qui aura un rôle rafraîchissant en cas de canicule, qui stockera du carbone, accueillera de la biodiversité et offrira un lieu sympathique pour déjeuner entre collègues quand il fait beau.

Les calculs conséquentiels deviennent vite très compliqués et réservés aux institutions et associations professionnelles.

Comme le rappellent Julie et David dans l’épisode 3 du podcast Numériques Essentiels [“Passer à l’action sans mesurer ?”](#), nous avons aujourd’hui suffisamment de rapports sur l’impact du numérique pour connaître les grands ordres de grandeur (le principal impact du numérique vient de la fabrication des terminaux des utilisateurs) et les leviers d’actions :

- **Augmenter les durées de vie et d’usage des équipements** ;
- **Réduire l’obsolescence** technique (les fabricants) et logicielle (les producteurs de contenus, éditeurs de logiciels ou d’applications...), éventuellement à travers la réglementation (le politique) ;
- **Réduire l’impact de la fabrication et de l’utilisation** des équipements (fabricants : efficacité et écoconception) ;
- **Réduire le nombre d’équipements** (sobriété).

Pour ces experts, lancer **une démarche d’évaluation d’impact spécifique n’a d’intérêt que si elle s’accompagne d’une réflexion “conséquentielle”** : quelles sont les conséquences de la mise sur le marché de mon produit ou service ou du développement de mon activité ?

Pour les acteurs de la XR, une réflexion “conséquentielle” serait : mon activité contribue-t-elle au développement de la XR ? Si oui, quelles seraient les conséquences du développement de la XR à grande échelle ?



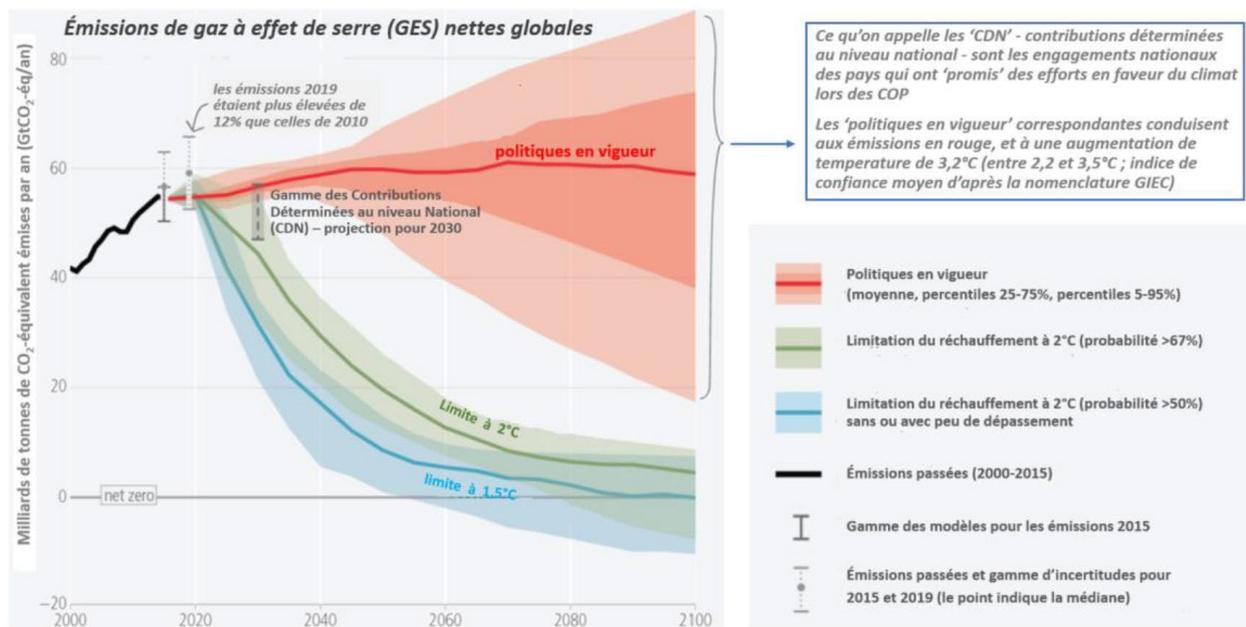
SE PROJETER DANS L'AVENIR



SE PROJETER DANS L'AVENIR

LES TRAJECTOIRES DE RÉDUCTION DE L'IMPACT DU NUMÉRIQUE

Dans son 6ème rapport publié en 2023, le GIEC a rappelé une nouvelle fois l'urgence d'une baisse drastique des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial, indispensable pour limiter le réchauffement climatique à 2°C, et si possible à 1,5°C. **Pour 2030, c'est quasiment une division par deux des émissions actuelles qu'il faut viser et pour 2050 une baisse de -80 à -90% des émissions !**



Trajectoires d'émissions permettant de limiter le réchauffement à 1,5°C ou 2°C et trajectoire d'émissions résultant des politiques en vigueur en 2020 ([traduction The Shift Project](#))

L'initiative Science Based Targets (SBTi) est un projet conjoint du Carbon Disclosure Project (CDP), du Global Compact des Nations Unies, du World Resources Institute (WRI) et du Fonds Mondial pour la Nature (WWF). SBTi a coordonné l'**élaboration de trajectoires de réduction des émissions de GES alignées sur la science pour chacun des grands secteurs économiques.**

Un objectif de réduction des émissions de GES de -45% pour le numérique d'ici 2030 :

Pour le numérique, l'objectif de réduction **élaboré conjointement avec les principaux acteurs mondiaux du secteur** (l'Union Internationale des Télécommunications "ITU", le GeSI et le GSMA), est une **baisse de -45% des émissions du secteur de 2015 à 2030.**

Figure 1: Summary of ICT sector and sub-sector trajectories including embodied emissions and operation

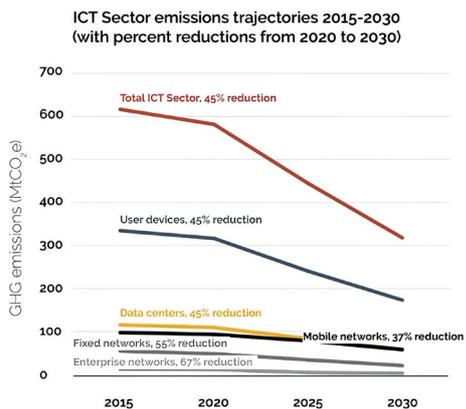
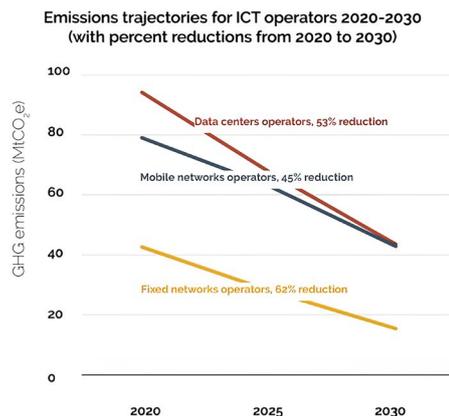


Figure 2: Trajectories for ICT operators for 2020-2030



Trajectoires alignées sur la Science SBTi pour le secteur TIC : -45% entre 2015 et 2030, zoom par sous-secteurs

Le périmètre des émissions prises en compte et les scénarios de réduction pour chacun des maillons de la chaîne de valeur de l'industrie numérique (extraction et transformation des matériaux, fabrication des équipements, utilisation pour les terminaux, les centres de données et les réseaux fixes et mobiles) sont détaillés dans le rapport Recommandation "ITU-T L.1470" "[GHG emissions trajectories for the ICT sector compatible with the UNFCCC Paris Agreement](#)" et dans la note CEPIR [09 trajectoires et budget carbone numériques.pdf](#).

La France ne s'est pas encore fixé d'objectif de réduction des impacts du numérique :

Le think tank **The Shift Project**, qui œuvre en faveur de la [sobriété numérique depuis 2018](#), a défendu au sein des groupes de travail lancés par le Haut Comité du Numérique Écoresponsable (HCNE) la **proposition que la France se dote d'une trajectoire de référence** pour rendre le numérique français compatible avec l'Accord de Paris, **intégrée à la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC)**, au même titre que les autres grands secteurs économiques : transports, agriculture, production électrique, bâtiments, industrie.

The Shift Project propose de recalculer l'objectif SBTi pour l'adapter à la situation française (notamment le fait que l'intensité carbone de l'électricité en France étant plus faible que la moyenne mondiale) et de construire la trajectoire française autour de l'**objectif de -30% de réduction seulement pour la France à horizon 2030**.

Cet objectif réduit l'effort à fournir à l'échelle de la France mais il conviendrait donc dans le même temps d'augmenter l'effort pour les pays dont l'électricité est plus carbonée.

Par ailleurs, est-ce juste de considérer que la trajectoire de référence doit être uniformément de -45% pour tous les pays alors que **certains pays comme la France sont déjà bien connectés** et (sur)équipés tandis qu'il faudrait déployer les infrastructures réseaux, équipements et centres de données permettant de **connecter à Internet les 33% de la population mondiale qui ne le sont toujours pas en 2024 ?**

LE BUDGET CARBONE INDIVIDUEL POUR LE NUMÉRIQUE

Pour calculer l'objectif de la France, nous proposons d'abord de **calculer le budget carbone individuel en 2030** (en moyenne mondiale), **puis de calculer la trajectoire de la France à partir de nos émissions actuelles**, en faisant l'hypothèse qu'en 2030, tous les habitants connectés à l'échelle mondiale auront le même budget carbone pour le numérique.

Pour les scénarios d'émissions mondiales, nous utilisons les données du rapport ITU-T L.1470 dont le périmètre s'approche le plus des études françaises sur l'impact du numérique : [388 MtCO₂e/an en 2030 pour l'ensemble du secteur](#).

Nous avons extrapolé les projections démographiques des Nations-Unis, qui estime à [8,5 milliards le nombre d'habitants sur Terre en 2030](#), puis extrapolé à 2030 l'évolution de la population connectée entre 2020 et 2023 d'[après les statistiques de l'ITU](#) : 7,3 milliards de personnes connectées, soit 86% de la population mondiale.

388 MtCO₂e/an en 2030 pour l'ensemble du secteur numérique répartis entre 7,3 milliards d'êtres humains, cela fait un budget carbone individuel pour le numérique de **53 kgCO₂e/habitant.an** tout compris (terminaux, centres de données et réseaux).

		2015	2020	2030	Objectifs de réduction SBTi
Emissions mondiales	MtCO ₂ e/an	55 000	59 000	35 000	-36%
Emissions mondiales CO ₂	MtCO ₂ /an	41 000	44 000	22 500	-45%
Total ICT sector - ITU	MtCO₂e/an	740	687	388	-45%
Total ICT sector	% Total	1,3%	1,2%	1,1%	
Total ICT sector	%CO ₂	1,8%	1,6%	1,7%	
User devices - ITU	MtCO₂e/an	401	379	207	-45%
Population mondiale	Milliards	7,4	7,8	8,5	
Users	% world population	41%	59%	86%	
Users (numbers)	Milliards	3	4,6	7,3	
Budget individuel (tout ICT) - ITU	kgCO ₂ e/people.an*	247	149	53	
Budget individuel (user devices) - ITU	kgCO ₂ e/people.an*	134	82	28	

*personnes connectées uniquement

Budget carbone individuel en 2030 pour le numérique calculés par CEPIR à partir des données ITU

Ce budget carbone individuel de 53 kgCO₂e/habitant.an en moyenne mondiale est à comparer à ceux obtenus à partir des émissions modélisées dans le [scénario Ademe-Arcep 2030-2050 "Sobriété - génération frugale"](#) pour 2030 et 2050 : **210 kgCO₂e/habitant.an** en 2030 et **136 kgCO₂e/habitant.an** en 2050, qui sont trois à quatre fois plus élevés.

	2020	2030	2050
Scénario sobriété Ademe Arcep (MtCO ₂ e/an)	17,2	14,4	9,4
Population (millions)	67,3	68,6	69,2
Budget individuel (kgCO ₂ e/habitant.an)	256	210	136

Budget carbone individuel en 2030 et 2050 pour le numérique calculés par CEPIR à partir du scénario "Sobriété - génération frugale" Ademe-Arcep

La France n'est pour l'instant pas alignée sur la trajectoire SBTi pour le secteur du numérique.
Comment réduire l'impact carbone du numérique ?

Pour identifier les leviers d'actions permettant de réduire l'impact global du numérique, nous nous sommes inspirés de l'[équation "de Kaya"](#), popularisée en France par [Jean-Marc Jancovici](#), et nous avons **décomposé l'impact global du numérique pour faire apparaître cinq facteurs** dont la population mondiale et l'intensité carbone de l'énergie.

SE PROJETER DANS L'AVENIR

L'équation obtenue permet d'identifier **trois grands leviers d'action** :

$$CO_2(TIC) = Pop. \cdot \frac{ePop}{Pop} \cdot \frac{TIC}{ePop} \cdot \frac{kWh}{TIC} \cdot \frac{CO_2(TIC)}{kWh}$$

Impact carbone du numérique ↑

Population ↙

Part de la population connectée au « numérique » ↓

Consommation d'énergie (électricité) par équipement fabrication ET utilisation ↓

Taux d'équipement par personne connectée ↓

Intensité carbone de l'électricité ↓

Décomposition de l'impact carbone du numérique "façon Kaya"

Le premier et le plus gros levier d'action d'après ITU et SBTi, c'est l'**intensité carbone de l'électricité**, qui doit baisser de -67% entre 2015 et 2030.

Les deux autres leviers de réduction de l'impact du numérique sont la **réduction de la consommation d'énergie** nécessaire à la fabrication et à l'utilisation des équipements, ce qu'on pourrait appeler "l'efficacité énergétique" des équipements numériques, et le **taux d'équipements par personne**, ce que l'on pourrait appeler la "sobriété" choisie (par opposition à la "pauvreté", qui est subie).

On retrouve finalement pour le numérique, les mêmes leviers d'action que pour tous les autres secteurs économiques, comme le prône l'[association NégaWatt](#) depuis 20 ans avec la démarche **sobriété** (moins d'appareils), **efficacité** (des appareils plus efficaces) et une électricité **renouvelable** bas carbone.



La démarche NégaWatt et le triptyque sobriété-efficacité-renouvelables

Le mot de la fin à l'ITU :

Tomas Lamanauskas, secrétaire général adjoint de l'ITU, a rappelé fin 2023 avant la COP28 que **malgré l'augmentation de la population connectée, le développement de l'intelligence artificielle, du big data, et tout en aidant d'autres secteurs à se décarboner (transport, bâtiment), le secteur du numérique doit impérativement réduire ses émissions de -45% dans les 10 années à venir.**

LA PROSPECTIVE À HORIZON 2030

L'avenir est une question de probabilités et dépend en partie des décisions que l'on prend aujourd'hui. Une citation attribuée à Antoine de Saint Exupéry dit qu'«à défaut de savoir de quoi l'avenir sera fait, nous pouvons faire de notre mieux pour le rendre possible.»

La démarche prospective nous permet de **décrire différents "scénarios" d'avenir possibles** (et les hypothèses qui les sous-tendent : investissements publics et privés, priorisation ou non de la XR par rapport à d'autres usages, évolution du marché, innovations technologiques, ...) et de **vérifier leur compatibilité avec nos objectifs de réduction** des impacts environnementaux pour le secteur du numérique et la filière XR.

Le travail de prospective mené dans le cadre de CEPIR s'est inspiré des méthodologies de [Michel Godet](#) et de [Joseph Voros](#). Il s'est étendu sur une durée de six mois et a été **ponctué d'ateliers**, entre membres de l'équipe CEPIR et avec des professionnels de la filière XR.

La conception des cinq scénarios s'est faite en trois étapes :

1. **Identifier les facteurs-clé structurants** pour l'évolution de la XR française à horizon 2030 : nous avons identifié 28 facteurs-clé répartis en 4 niveaux (contexte, politiques publiques, entreprises et utilisateurs/marché) ;

1. CONTEXTE <ul style="list-style-type: none">▪ Démographie▪ Risques systémiques▪ Compétition pour les ressources▪ Taille du marché mondial▪ Innovation de rupture permettant une forte sobriété (énergétique/ressources)▪ Infrastructures numériques▪ Evolution de l'IA et impacts sur le numérique & la XR▪ Effet de substitution	2. POLITIQUES <ul style="list-style-type: none">▪ Politiques publiques à destination des entreprises▪ Politiques publiques à destination des consommateurs▪ Soutien public à la recherche sur l'XR▪ Soutien à la réindustrialisation▪ Groupes de pression (lobbies)
3. OFFRE <ul style="list-style-type: none">▪ Stratégie des grandes entreprises du numérique▪ Production industrielle (hardware)▪ Tissu économique national▪ Disponibilité du capital-risque/développement▪ Compétitivité dans la création de software▪ Compétitivité dans la production de contenu▪ La XR, l'interface d'accès au numérique▪ Compétences/RH disponibles▪ Eco-conception et économie circulaire▪ Soutenabilité de l'offre	4. DEMANDE <ul style="list-style-type: none">▪ Evolution de la demande▪ Course à l'équipement▪ Imaginaires collectifs / adoptions utilisateurs▪ Attitudes par rapport aux risques sanitaires▪ Attitude face aux risques économiques

2. **Décrire l'évolution** potentielle de chacun des facteurs-clé ;
3. **Définir les scénarios**, en fonction des hypothèses d'évolutions des facteurs-clé, qualitativement puis quantitativement.

Aperçu des scénarios :

Les facteurs-clés et les hypothèses d'évolutions sont détaillés dans [le livrable sur la prospective](#) et nous ont permis de définir **cinq scénarios** :

1. Le **scénario "maximaliste"** repose sur l'hypothèse d'une adoption massive dans la plupart des segments de marché de la XR, dans une économie mondialisée avec des spécialisations par zones géographiques, et fait le pari de substitutions (à d'autres terminaux et secteur plus carbonés) et d'innovations permettant de minimiser les impacts environnementaux et les tensions sur les ressources à l'échelle mondiale ;
2. Le **scénario "filière XR"** repose sur différentes projections proposées par les cabinets de conseil (Gartner, E&Y, ...) et les professionnels de la filière (enquête du CNXR et ateliers réalisés avec certains de ses membres), dans une optique de souveraineté nationale et européenne et de réindustrialisation au moins partielle à l'échelle européenne ;

3. Le **scénario “tendancier”** est une prolongation de la tendance observée sur les dernières années, avec le développement de certains usages comme la visioconférence télé-présentielle, le jeu vidéo ou la formation, mais une adoption lente (comparée au smartphone ou à l'intelligence artificielle) et [un marché qui reste de “niche”](#) ;
4. Le **scénario “sobriété”** repose sur l'idée d'un “techno-discernement” : le développement de la XR est encadré et contraint par rapport à une trajectoire de référence permettant de rester dans le cadre des limites planétaires et à une hiérarchisation des usages en fonction des services rendus et de leur capacité à contribuer à la réduction des impacts environnementaux d'autres secteurs ;
5. Le **scénario “renoncement”** repose sur l'idée d'un abandon progressif (linéaire) de la XR à horizon 2030, que ce soit pour des raisons de conflits ou tensions géopolitiques, de tensions par rapport à l'approvisionnement en matières premières, de priorisation d'autres usages jugés plus essentiels ou par un défaut d'adoption par le marché.

Ces cinq scénarios sont des futurs crédibles parmi une infinité de possibilités. Notre objectif était de présenter **des scénarios contrastés pouvant servir de support de discussion**, au sein de la filière XR et avec les pouvoirs publics.

Chacun des scénarios a fait l'objet d'une **quantification à grosses mailles** pour pouvoir visualiser les ordres de grandeur et les comparer aux budgets numériques du scénario “sobriété” [Ademe-Arcep](#) et SBTi. En voici la synthèse :

	Maximaliste	Industrie	Tendancier	Sobriété	Renoncement
Empreinte carbone des usagers XR (tonne de CO2)	520 169	190 392	162 248	78 562	33 539
Impact carbone individuel de la XR - kgCO2e/utilisateur.an	58	39	46	29	19
Pourcentage dans le budget numérique France-sobriété numérique Ademe-ARCEP-%	28%	19%	22%	14%	9%
Pourcentage dans le budget numérique International-SBTi/ITU-%	110%	74%	87%	55%	36%

Simulation de l'empreinte environnementale des cinq scénarios de la prospective CEPIR

A l'exception du scénario “renoncement”, la XR représente pour tous les autres scénarios 13% à 26% du budget numérique du scénario “sobriété” [Ademe-Arcep](#). A l'horizon 2030, elle **ne pourra donc que faiblement s'ajouter** à d'autres usages ou équipements numériques, puisqu'elle représente à elle seule jusqu'à ¼ du budget disponible.

Par rapport au budget SBTi, l'impact de la XR est très significatif. Dans le cas des scénarios “maximaliste”, “filiale XR” et “tendancier”, **la XR doit devenir le principal terminal d'accès au numérique** pour avoir une chance de respecter le budget SBTi. À l'horizon 2030, elle doit donc notamment remplacer tous les autres terminaux : smartphones, ordinateurs, tablettes, télévisions, ...

Il est important de rappeler ici que **2030 n'est pas la fin de la trajectoire mais un point d'étape** et que la trajectoire de réduction des émissions SBTi - ITU pour 2050 est de -90%. **En 2050, la substitution devra être effective** et la possession personnelle d'équipements numériques qui ne seraient pas mutualisés semble difficilement envisageable.

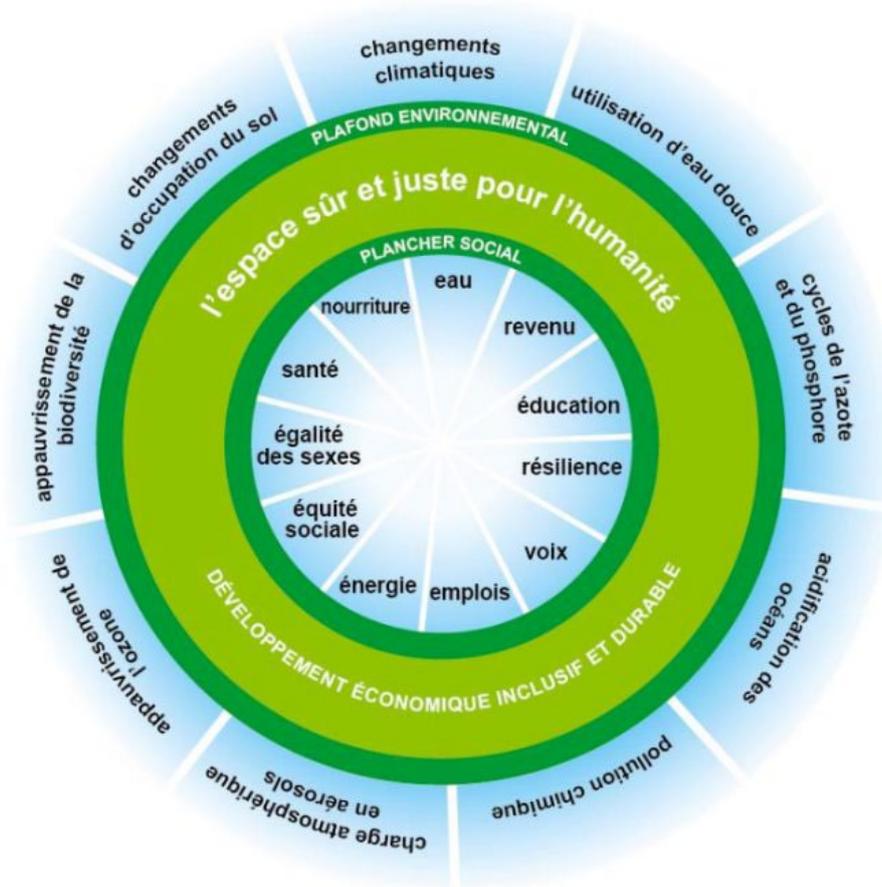
Pour résumer, **aucun scénario compatible avec l'Accord de Paris et le respect des limites planétaires n'envisage un déploiement généralisé dans les foyers de nouveaux équipements (dispositifs immersifs) individuels** qui s'ajouteraient à l'existant, comme les smartphones se sont ajoutés aux TV, au laptop, aux tablettes, ... Encore moins d'équipements dont les cycles d'évolution technologiques sont très courts, ce qui est le cas des casques VR.

LA THÉORIE DU DONUT

Accélération du dérèglement climatique, croissance exponentielle de la consommation d'électricité, de ressources minérales et métalliques, d'eau, "**peak everything**"... nos modes de vie et la croissance des usages numériques depuis cinquante ans nous amènent à dépasser les limites planétaires et **menacent la pérennité de nos sociétés**.

En 2018, l'économiste britannique Kate Raworth publie le livre "[La Théorie du Donut, l'économie de demain en 7 principes](#)", dans lequel elle recommande à nos sociétés de revenir dans l'**espace "sûr", qui se situe entre les fondations sociales**, qui assurent la cohésion de la société (satisfaction des besoins physiologiques et matériels élémentaires, éducation, culture, [justice et équité](#)), **et les limites environnementales**, qui assurent le bon fonctionnement des écosystèmes et des grands cycles biogéochimiques nécessaires au maintien de la vie humaine sur Terre.

Parmi les neuf limites planétaires à ne pas dépasser, **le numérique est particulièrement préoccupant pour son impact sur le réchauffement climatique, l'utilisation d'eau douce, l'occupation des sols et la consommation de ressources minérales et métalliques** (qui ne fait pas partie des neuf limites planétaires).



La [théorie du Donut](#) illustrée : le Donut est l'anneau qui se situe au-dessus des 11 critères sociaux à satisfaire et en-dessous des 9 limites planétaires



RESTER DANS LES LIMITES PLANÉTAIRES



RESTER DANS LES LIMITES PLANÉTAIRES

CHOISIR SES “NUMÉRIQUES ESSENTIELS”

Ce titre est inspiré du **podcast éponyme les Numériques essentiels 2030** qui conclut en général par des questions sur l'équipement numérique des invités : “*en quoi votre prise de conscience de l'impact du numérique a fait évoluer votre consommation numérique ?*”. Il s'agit de **réfléchir à ce à quoi nous tenons le plus** et ce que nous aimerions transmettre aux générations futures en préservant les ressources et en les gérant en “bon père de famille”.

Grâce aux calculs de budget carbone individuel (53 kgCO₂e/habitant.an en moyenne mondiale en 2030 selon SBTi, 210 kgCO₂e/habitant.an en 2030 et 136 kgCO₂e/habitant.an en 2050 pour la France selon le scénario “sobriété” [Ademe-Arcep](#)), aux données de la Base Empreinte Ademe et aux ordres de grandeur de l'impact des réseaux (5% du total) et des centres de données (16% du total), **nous avons créé une [Calculette carbone numérique individuelle](#) pour permettre à chacun d'estimer le poids carbone de son équipement numérique actuel et de simuler l'équipement qui lui permettrait de “rentrer” dans les budgets carbone individuels.** À chacun de choisir ses ambitions en termes de réduction d'impact et de partage de la richesse numérique entre les habitants de la Terre.

Le tableau ci-dessous résume l'empreinte carbone d'un équipement numérique constitué d'un ordinateur portable, un smartphone, un ordinateur fixe et son écran, un téléviseur et un casque VR : 379 kgCO₂e/an au total, si nous ajoutons le poids des réseaux et des centres de données associés à l'utilisation de ces équipements. Ce résultat dépend beaucoup de la durée de vie associée à chaque équipement.

	Empreinte carbone fabrication seule (kgCO ₂ e/appareil)	Durée de vie (an)	Fabrication + Utilisation (kgCO ₂ e/an)
Ordinateur - portable	156	4	42
Smartphone - de 5 pouces	33	2	17
Ordinateur - fixe haute performance)	296	5	69
Ecran - 21,5 pouces	222	6	39
Télévision - 49 pouces	500	6	87
Casque VR OLED + 2 manettes	91	2	46
Terminaux (sous-total)			299
Réseaux			19
Centres de données			61
TOTAL			379

Un tel équipement est largement supérieur à la moyenne française actuelle et aux budgets carbone individuels à horizon 2030, voire 2050.

Le tableau ci-dessous présente un **exemple d'équipement numérique très frugal**, compatible avec le budget carbone SBTi - ITU 2030 : juste un ordinateur portable et un petit smartphone, dont les durées de vie sont prolongées à 5 et 4 ans respectivement.

	Empreinte carbone fabrication seule (kgCO ₂ e/appareil)	Durée de vie (an)	Fabrication + Utilisation (kgCO ₂ e/an)
Ordinateur - portable	156	5	34
Smartphone - classique	16,5	4	5
Terminaux (sous-total)			39
Réseaux			2
Centres de données			8
TOTAL			49

RESTER DANS LES LIMITES PLANÉTAIRES

Il est donc possible de maintenir Internet et de rester connectés tout en respectant les limites planétaires. Nous le voyons bien avec ces deux simulations : le **nombre total d'équipements** et la **durée de vie** de chaque équipement numérique sont les deux critères les plus importants pour déterminer notre impact numérique individuel.

Ces chiffres mettent en lumière l'**importance de l'allongement de la durée de vie des équipements, de leur partage** (mutualisation) entre plusieurs individus mais aussi de la **priorisation** de certains équipements par rapport à d'autres, compte-tenu de la nécessité de restreindre leur nombre total.

L'APPROCHE "LOW-TECH"

En parallèle de la théorie du Donut, les **concepts de "low tech" ou d'"innovation frugale"** se sont développés.

D'après le [rapport Ademe de 2022 sur les démarches "Low tech"](#), le qualificatif de "low-tech" s'applique à une démarche et non à son résultat. Un objet n'est pas low-tech dans l'absolu, il est plus (ou moins) low-tech qu'une solution alternative répondant au même besoin.

L'approche "low-tech" est une démarche innovante et inventive de conception et d'évolution de produits, de services, de procédés ou de systèmes, qui vise à maximiser leur utilité sociale et dont l'impact environnemental n'excède pas les limites locales et planétaires.

Elle implique un **questionnement du besoin visant à ne garder que l'essentiel**, la **réduction de la complexité** technologique, **l'entretien de ce qui existe** plutôt que son remplacement et permet également **au plus grand nombre** d'accéder aux réponses qu'elle produit et d'en maîtriser leurs contenus.

Une suite des travaux CEPPIR pourrait être un groupe d'échanges entre les acteurs de la XR qui aimeraient **poser les bases d'une XR compatible avec les limites planétaires**. Une "XR frugale" ou "low-tech".

Ce groupe de réflexion pourrait avoir trois axes de travail :

- Un **axe "hardware"** : sur quels supports matériels peut se développer la XR pour rester dans les limites planétaires ?
- Un **axe "software"** : comment développer et maintenir des logiciels limitant l'obsolescence des équipements et plus sobres ?
- Un **axe "usage"** : pour quels usages la XR présente-elle le meilleur rapport coûts-bénéfices ? Pour quels usages n'y a-t-il pas d'alternatives à moindre impact pour répondre au besoin ou au problème ?

LE GUIDE DE BONNES PRATIQUES POUR LA XR

Le guide de bonnes pratiques **regroupe l'ensemble des actions permettant d'écoconcevoir des contenus XR**, pour chacune des étapes de fabrication. Il se veut concis et facilement actionnable.

Ce guide est composé de **fiches de bonnes pratiques** proposées par CEPIR qui se sont directement inspirées du [Guide de l'animation écoresponsable](#) proposé par [Ecoprod](#) et [La Cartouch'Verte](#). Elles sont présentées de la façon suivante :

- L'en-tête indique le titre de la fiche, l'étape de production concernée, l'effort financier et de mise en œuvre, le gain économique et environnemental, ainsi que la priorité de mise en œuvre de cette bonne pratique ;
- Le corps de la fiche présente une description du problème (le constat) et les leviers d'actions pour y répondre.

Il s'inscrit dans la **philosophie du "permacomputing"** (adaptés de la permaculture), dont les principes sont les suivants :

- **Prendre soin de la vie** : créer des systèmes économes/sobres en ressources, générant peu de pollutions et faire preuve de transparence à ce sujet ;
- **Prendre soin des équipements** : la production de nouveaux équipements consomme beaucoup d'énergie et de ressources et leur recyclage est limité, il est donc crucial de maximiser la durée de vie, en particulier des puces électroniques ;
- **Penser "petit"** : les petits systèmes sont plus sobres, plus faciles à comprendre, à gérer et à remanier ;
- **Espérer le meilleur, se préparer au pire** : concevoir des systèmes aussi autonomes et tolérants aux pannes et aux ruptures de continuité des services que possible pour maximiser leur résilience ;
- **Rester flexibles** : la flexibilité signifie qu'un système peut être utilisé pour une variété d'usages et de finalités. Dans un système idéal et élégant, la taille, la simplicité et la flexibilité se renforcent mutuellement ;
- **Construire sur des bases solides** : il peut être intéressant d'expérimenter de nouvelles idées, de nouveaux concepts et de nouveaux langages, mais en dépendre est risqué. Privilégier des technologies matures et des architectures claires pour créer quelque chose qui est destiné à durer ;
- **Amplifier la prise de conscience** : utiliser les projets créés pour accroître la conscience (des limites planétaires, de la manière dont les choses fonctionnent, de l'éléphant) ;
- **Tout exposer** : ne pas cacher l'information, garder tout ouvert, modifiable et flexible. Partager votre code source et votre philosophie de conception quand c'est possible ;
- **S'adapter aux changements de l'environnement (vitesse du réseau, énergie, ...)** : il n'est généralement pas nécessaire que toutes les parties du système soient disponibles 24h/24 et 7j/7, ni que les performances de fonctionnement soient constantes ;
- Rien n'est "universel", **chaque chose a sa place** : renforcer les racines locales, éviter la centralisation, trouver sa place au sein d'un écosystème.

Le guide de bonnes pratiques CEPIR, comme les principes du permacomputing, sont applicables à tous les types de contenus.

Questionner les besoins et comparer les alternatives :

Les travaux de la **mission interministérielle numérique responsable**, co-pilotée par la Direction interministérielle du numérique (DINUM), le Ministère de la Transition Écologique, l'Ademe et l'Institut du Numérique Responsable, et qui ont rassemblé d'autres acteurs du numérique responsable (l'Arcep, l'Arcom, la CNIL et l'Inria), ont abouti fin 2022 à la publication du [Référentiel général d'écoconception de services numériques \(RGESN\)](#), qui décrit dans le détail la **procédure à suivre pour écoconcevoir un service numérique**.

La toute première action s'intitule : **“Le service numérique a-t-il été évalué favorablement en termes d'utilité en tenant compte de ses impacts environnementaux ?”** C'est un très bon point de départ pour réfléchir à l'écoconception d'un projet XR : dès l'idée du projet, se demander si ce projet ne risque pas de contribuer au dépassement des limites planétaires (ex. en faisant la promotion de comportements contraires aux enjeux de sobriété) ou permet au contraire une modification des comportements en faveur de la soutenabilité.

Ces questions, qui concernent la scénarisation et le design au-delà des aspects techniques, sont fondamentales. **L'écoconception est l'affaire de tous les métiers et de toute la chaîne de décision, pas seulement une problématique technique.**

Dans la partie “Définition des besoins” de la fiche sur les [bonnes pratiques pour l'écoconception d'un service numérique](#), les scientifiques auteurs du [Mooc Impact'Num](#) de l'Inria invitent à **s'interroger avant toute chose sur l'utilité du service numérique envisagé** :

Éviter le service numérique de trop

Le service qui pollue le moins est celui qui n'existe pas. Avant de vous lancer dans un projet de création, assurez-vous que le besoin auquel vous souhaitez répondre n'est pas déjà couvert. D'ailleurs, ce besoin s'inscrit-il dans les Objectifs de Développement Durable ? Ce service aura-t-il un impact positif sur l'environnement, participant ainsi à la compensation de ses propres impacts ? Se poser la question de l'utilité est la première étape de l'écoconception.

Dans la [démarche générale d'écoconception](#) de l'association Pôle Eco-conception, il s'agit de montrer que la solution proposée à un plus faible impact environnemental que la solution de référence.

Avant de commander, financer ou produire un projet XR, il convient donc à la fois de **questionner la finalité, la contribution du projet au dépassement ou au respect des limites planétaires, et d'explorer les solutions alternatives** moins gourmandes en matériel high-tech.

Pour respecter l'objectif de réduction de nos émissions de 90% à horizon 2050, nous devons aussi nous assurer de **favoriser un usage partagé** de tous les équipements numériques et notamment des terminaux, un **allongement de leur durée de vie et de leur réparabilité**, et une **gestion optimale de leur fin de vie**.

RESTER DANS LES LIMITES PLANÉTAIRES

L'empilement d'équipements high-tech n'est pas durable : les équipements XR devront être mutualisés, il faudra remplacer nos téléviseurs, nos ordinateurs et/ou nos téléphones (comme le propose l'Apple Vision Pro) ou s'appuyer sur les équipements existants (smartphones) comme le Google Cardboard, dans une version plus design et plus ergonomique :



*Google cardboard, Apple Vision Pro
Et vous, quelle XR compatible avec les limites planétaires imaginez-vous pour 2030 ?*

La production et la distribution de terminaux et de contenus XR devra bien sûr aussi **veiller à ne pas induire de déplacements carbonés** (avion, voiture), **de la part des professionnels comme des utilisateurs** (ex. déplacements dans des festivals internationaux).

Dans le cas de la mutualisation des équipements, la question des usages se pose : **quels sont les usages actuels qui nécessitent le public le plus large ? Quels usages restent pertinents dans l'hypothèse d'un public plus limité ?**

Si la XR ne concerne que les 1% les plus riches de la population mondiale (ce qui pose la question de l'équité et de la justice sociale) **ou reste limitée** à quelques millions d'utilisateurs dans le monde pour des usages considérés comme prioritaires et utiles à la société, **les risques sur le plan environnemental restent modérés.**

Conserver les usages de "niche" les plus positifs (pour la recherche, le secteur de la santé, la formation ou la diffusion d'œuvres culturelles *in situ* pour un public très local) est sans doute préférable au déploiement généralisé d'usages qui ne serviraient que des intérêts privés et ne seraient que difficilement compatible avec les limites planétaires, sauf à remplacer la quasi totalité des terminaux actuels.

La mutualisation comme le fait de ne conserver la XR que pour certains usages spécifiques présente un autre avantage de taille : empêcher le développement de modèles économiques basés sur la commercialisation des données personnelles des utilisateurs.

Et la place de l'art dans tout ça ?

Depuis de nombreuses années, **les artistes se sont emparés du numérique et de la XR**. Ils en révèlent le potentiel, dénoncent ses limites et dérives. Il est couramment admis que l'art ne doit pas être censuré (y compris au regard de ses impacts environnementaux), que l'art n'a pas à être "utile" (il échapperait donc à la hiérarchisation). Mais **l'art peut-il être exempté de se questionner par rapport à son propre impact ?**

Dans une tribune pour Usbek & Rica, l'auteur et metteur en scène **Samuel Valensi**, co-auteur du rapport "*Décarbonons la culture !*" de The Shift Project, **appelle l'ensemble des acteurs culturels** (y compris les artistes donc !) **à questionner chacun de leurs choix** (récits, modèles de production, de diffusion, image qu'ils renvoient, ...) **par rapport aux enjeux de la transition écologique**. Chaque choix est un choix politique. Décider de ne pas se poser ces questions en est un également, "*c'est un choix que l'on appelle généralement le conservatisme*".

Nous sommes aussi convaincus qu'il est de la responsabilité des artistes d'avoir "*les yeux plus ouverts*", "*les antennes plus longues*" et de **servir d'éclaireurs au reste de la société**, notamment en créant des œuvres et des récits qui rendent l'imaginaire de la sobriété (et du "techno-discernement") désirables et "sexy", pour **transformer les comportements** et qu'elle ne soit plus perçue et vécue comme une contrainte au niveau individuel.

Nous faisons cependant face à la **problématique de la "submersion"**, liée à la **surabondance de contenus**.

Les services de streaming musical comme Spotify, Deezer ou Apple music revendiquent chacun plus de 100 millions de titres, soit l'équivalent de 570 années d'écoute ! YouTube contiendrait 800 millions de vidéos d'une durée moyenne de 11 minutes, soit l'équivalent de 17.810 ans pour regarder l'intégralité de son contenu...

Ces quantités dépassent largement notre entendement, paralysent notre capacité de choix, créent de la frustration (peur de rater quelque chose) **ainsi qu'un manque de références communes**. Cette surabondance nous pousse parfois à déléguer aux machines la sélection des contenus que nous consommons, ce qui soulève des interrogations sur la qualité, la pertinence et aux intérêts des acteurs opérant ces sélections.

Les artistes (XR ou non) sont donc aujourd'hui confrontés aux mêmes choix (politiques) que les autres acteurs et ont une **double responsabilité**, celle de réduire leurs impacts environnementaux de leur pratique et celle de nous aider à changer de rêve pour rendre nos modes de vie compatibles avec la préservation de nos conditions de vie sur Terre, dans un contexte de **saturation de l'offre de contenus et du temps de cerveau disponible** des individus.



POUR CONCLURE



RECOMMANDATIONS À L'ATTENTION DES POUVOIRS PUBLICS

Nous espérons être parvenus à rendre évidente la nécessité et l'urgence de ralentir et de s'interroger avant d'investir des ressources matérielles, humaines et financières dans le développement des technologies et des usages XR. **Un cadre réglementaire et une gouvernance clairs sont aujourd'hui nécessaires.**

Sur la base de ces résultats, nous proposons **dix mesures** qui nous semblent pertinentes pour permettre un développement de la XR compatible avec le respect des limites planétaires.

- 1. Définir une trajectoire de réduction des impacts environnementaux pour le secteur du numérique, intégrée à la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC),** au même titre que les autres grands secteurs économiques : transports, agriculture, production électrique, bâtiments, industrie.
- 2. Hiérarchiser les usages du numérique** selon leur importance et leur capacité à réduire les impacts d'autres secteurs, afin de définir la liste des usages considérés comme prioritaires, ceux qu'il convient d'interroger et ceux qu'il convient de réduire (voir la proposition de hiérarchisation des usages de la biomasse [locale du Secrétariat Général à la Planification Écologique](#)).
- 3. Sur la base de la trajectoire et de la hiérarchisation, définir les modalités de développement de la XR à horizon 2030 et 2050.**
- 4. Adapter les lois visant à réduire les impacts environnementaux du numérique à la XR :**
 - Étendre à la XR les dispositions de la **loi REEN** (loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France) relatives à la limitation du renouvellement des appareils numériques aux équipements et logiciels XR
 - Étendre à la XR les dispositions de la **loi AGECS** (loi anti-gaspillage pour une économie circulaire) relatives à l'allongement de la durée de vie des équipements (indice de réparabilité, indice de durabilité, réparation et pièces détachées, économie circulaire, information et maintien de la compatibilité logicielle, bonus réparation)
 - Enrichir le **RGESN** (référentiel général d'écoconception de services numériques) : le "RGESN mère", qui s'applique pour le moment indistinctement à tous les services, pourrait s'accompagner de "RGESN filles" spécifiques à certains services numériques comme la XR
- 5. Limiter l'obsolescence matérielle, logicielle et culturelle :**
 - Obsolescence matérielle : **publier un cahier des charges à destination des fabricants** sur la durée de vie minimum des composants, la démontabilité de tous les terminaux et la communication des schémas techniques pour permettre la réparation ;
 - Obsolescence logicielle : **réglementer les systèmes d'exploitation** des casques comme ceux des téléphones afin que les mises à jour minimales (sécurité) soient compatibles avec les appareils des générations précédents ;
 - Obsolescence culturelle : **ne pas soutenir la course à la nouveauté sur le plan matériel et technique**, valoriser la capacité des auteurs et des techniciens à créer de belles choses vraiment nouvelles (pas comme Midjourney) avec du matériel et des logiciels anciens.
- 6. Instaurer un seuil plafond :**
 - Définir pour les fabricants de casques VR un **seuil plafond d'émissions par appareil** rapporté à sa durée de vie ;

- Pour les fournisseurs de contenu et les distributeurs, l'idéal serait de pouvoir fixer un seuil plafond d'émissions GES par unité fonctionnelle, mais étant donné la complexité d'accéder aux données d'activité dans le numérique et de construire des facteurs d'émissions spécifiques (seules les statistiques a posteriori sont vraies), nous proposons plutôt de définir des seuils sur les données stockées et échangées :
 - un **seuil plafond sur les données personnelles** par utilisateur stockées par les plateformes de distribution (Mo/utilisateur),
 - un **seuil plafond sur les données échangées par heure d'expérience en ligne** ou pour le Métavers (Mo/heure/utilisateur),
 - pour les expériences à télécharger : un **seuil plafond pour le téléchargement initial** rapporté à la durée moyenne de l'expérience (Go/h),Reste à **définir la ou les unités fonctionnelles** : par utilisateur et par an ? par heure d'utilisation ?
- Ces seuils pourraient d'ailleurs s'appliquer à d'autres usages numériques (jeux vidéo, vidéo à la demande)
- **Réduire ces seuils tous les trois ans** pour les rendre compatibles avec la trajectoire de décarbonation définie pour le numérique dans le cadre de la SNBC.

7. Accès aux subventions :

- Le Gouvernement a lancé de nombreux appels à projets dans le cadre du plan de relance France 2030, qui stipulent qu'*"aucune dépense ne doit être défavorable à l'environnement"*. **Les commissions évaluant les projets doivent être formées, disposer d'outils et d'un accompagnement pour être capables d'estimer de manière "conséquentielle" les impacts des candidatures** pour garantir le respect de cette condition ;
- **Étendre les dispositions du "Plan Action !" du CNC**, notamment l'obligation de fournir un bilan carbone prévisionnel et définitif pour pouvoir bénéficier de subventions, aux producteurs de contenus XR ;
- **Conditionner l'obtention de subventions au respect du seuil plafond d'émissions ;**
- Un **écobonus** sera accordé aux entreprises particulièrement vertueuses par rapport à ce seuil plafond (un **mix entre contrainte et incitation** peut constituer une formule efficace pour guider les entreprises dans leur transition).

8. Organiser une **convention citoyenne du numérique responsable** pour :

- Hiérarchiser les usages
- Évaluer la pertinence et l'acceptabilité sociale d'instaurer des quotas individuels : d'équipements numériques (TVA selon la fréquence de renouvellement des terminaux, passeport carbone numérique, bonus/malus, ...) et de consommation de données (tarification)

9. Justice sociale : **permettre au plus grand nombre d'accéder aux mêmes services et équipements**, par la mutualisation au sein des équipements culturels collectifs comme les médiathèques par exemple

10. **Sensibiliser les entreprises et les utilisateurs**, promouvoir des imaginaires compatibles avec le respect des limites planétaires, faire la promotion de la sobriété heureuse (ex. publicités "Dévendeurs").

RECOMMANDATIONS À L'ATTENTION DES PROFESSIONNELS XR

La prise de conscience de la part des professionnels de la filière XR est un préalable nécessaire pour permettre un alignement et non une opposition lorsque des mesures fortes seront décidées par les pouvoirs publics.

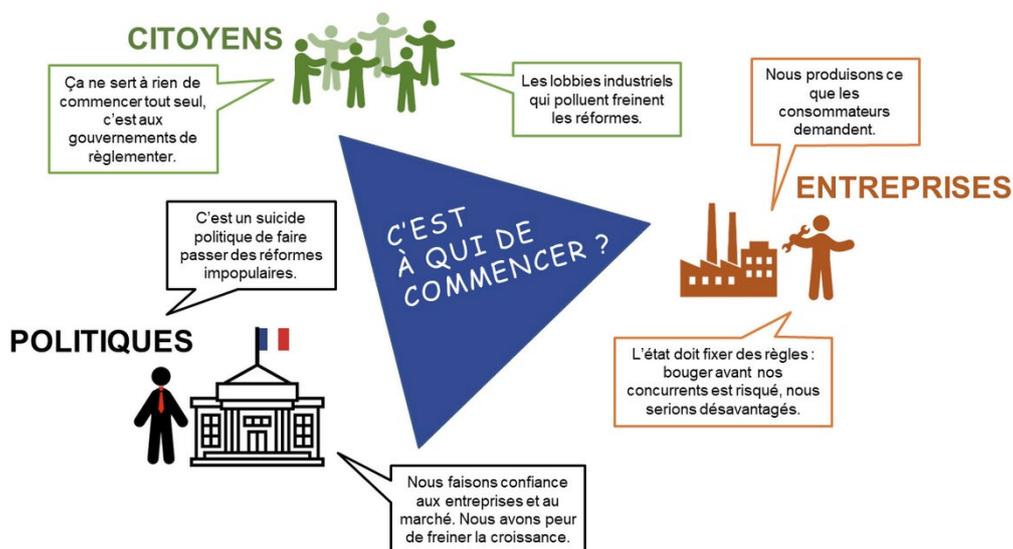
Dans leurs réponses au questionnaire "XR & Environnement", les professionnels de la filière XR se sont dit en majorité conscients des enjeux environnementaux et prêts à accepter un encadrement réglementaire de la part de l'Etat. Le fait de soutenir, même passivement, ces mesures, est déjà un grand pas.

Mais au-delà de ce qui relève de l'action des pouvoirs publics, nous pensons qu'il est de la **responsabilité des entreprises de la filière XR d'être force de propositions, d'initiatives et d'innovations au regard de ces enjeux** et non dans une position attentiste vis-à-vis de l'Etat, dont on attendrait passivement les directives.

Face à l'ampleur des défis environnementaux auxquels nous faisons face, l'approche *top down* (qui supposerait que les gens d'*en haut* devraient avoir toutes les réponses avant d'engager des actions concrètes), que ce soit au sein d'une entreprise ou d'un pays, a ses limites.

Nous avons **besoin de l'intelligence collective de beaucoup plus de personnes pour transformer nos entreprises et nos modèles économiques** et les rendre compatibles avec le respect des limites planétaires. Notre capacité à innover par rapport à ces enjeux conditionne la survie de nos organisations. **C'est une question de stratégie de d'entreprise.**

Au lieu de nous renvoyer la "patate chaude", en attribuant la responsabilité de ces initiatives tantôt à l'État, tantôt aux utilisateurs, nous pouvons considérer qu'il est de notre responsabilité partagée de nous engager dans cette aventure.



La meilleure chance que nous avons de rendre l'avenir aussi joyeux et résilient que possible, c'est qu'un maximum de personnes, au cœur de chaque secteur, se posent ces questions et fassent des choix individuels et collectifs ambitieux. **Il est temps de transformer le triangle de l'inaction en un triangle d'action.**

CEPIR est un bon exemple d'innovation par rapport à ces enjeux. Des acteurs de la filière ont pris l'initiative d'essayer de documenter le problème auquel ils étaient confrontés, de produire des données et des outils, d'engager une discussion avec d'autres acteurs de la filière et de proposer des recommandations. L'Etat a apporté son soutien au projet et des entreprises, des chercheurs et des associations se sont joints à cet effort.

POUR CONCLURE

Le résultat est un **projet collectif ayant réuni dans un même élan des acteurs très différents, en créant un pont entre différentes expertises et visions**, et un champ de discussion véritablement passionnant.

Ce projet ovni est en soi un Cas d'Étude qui tend à prouver que l'**"innovation" n'est pas l'apanage de la technologie** et peut prendre des formes très diverses.

Pour aider tout de même à la création d'un "mode d'emploi", voici **dix propositions** :

1. **Prendre conscience, s'informer, accepter de se laisser toucher émotionnellement par ces enjeux** : faire avec ses collaborateurs une Fresque du Climat, une Fresque du Numérique, un Atelier 2tonnes, un Atelier de l'Adaptation au Changement Climatique, lire des livres ou écouter des podcasts qui traitent de ces enjeux, certains rapports de la bibliographie de CEPIR, ... ce ne sont pas les (excellentes) ressources qui manquent !
2. **Se lier aux autres** : ne pas faire ce chemin seul (c'est un gros morceau !), en parler avec ses proches et ses collègues, rejoindre des associations de partage d'informations et de bonnes pratiques (comme Ecoprod pour les acteurs de l'audiovisuel), créer des ateliers ou des groupes de travail et faire appel, justement, à l'intelligence collective
3. **Questionner la vision (le cap) de son entreprise et son modèle économique** pour s'assurer qu'elle contribue effectivement au respect des limites planétaires. En cas d'incompatibilité (ex. modèles économiques basés sur la captation des données personnelles alimentant l'entraînement d'algorithmes d'IA et le ciblage publicitaire), il sera nécessaire de changer de cap et/ou de modèle économique. Ou d'entreprise.
4. Avant de mettre en œuvre un projet XR, **s'assurer que le besoin auquel vous souhaitez répondre existe**, car aujourd'hui la XR est poussée par les entreprises dans une logique d'offre, plutôt que par le public dans une logique de demande. Si ce besoin existe, vérifier **qu'il n'est pas déjà couvert directement, ou par des alternatives plus sobres**, indirectement.
5. Avant de mettre en œuvre un projet XR, **adopter une approche "conséquentielle"** et se demander : quelles sont les conséquences de la mise sur le marché de mon produit, de mon service ou de mon contenu ? Est-ce qu'il contribue au respect des limites planétaires ou plutôt à leur dépassement ? Est-ce qu'il implique/contribue à l'accroissement du nombre de terminaux sur le marché ? Est-ce qu'il implique/contribue au déplacement carbonés (avion, voiture) d'utilisateurs ?
6. Si la contribution "nette" du projet en termes de valeur sociale et/ou environnementale est positive, **réduire au maximum les impacts environnementaux associés** à mon projet en appliquant les principes du "permacomputing" et les règles d'écoconception et d'écoproduction (ex. éviter les vols en avion), qui sont l'affaire de tous les métiers (des scénaristes ou designers aux distributeurs) et de toute la chaîne de décision, pas uniquement une problématique technique.
7. Réfléchir à la façon de **contribuer**, à travers son activité professionnelle et éventuellement ses projets XR, **à la prise de conscience et à la prise en compte des enjeux environnementaux à une échelle plus large** (sensibilisation, nouveaux récits, imaginaires) et susceptible d'amener des changements de comportements allant dans le sens de la transition écologique.
8. Nous mobiliser collectivement pour **créer des communs numériques** et appeler à plus de transparence dans le partage des données d'activité et informations relatives aux impacts environnementaux.

POUR CONCLURE

9. **Mutualiser** : mettre en place des ressourceries numériques, des systèmes de mutualisation d'équipements et d'assets non critiques afin de limiter le nombre d'équipements et permettre ainsi la réutilisation de l'existant.
10. **Être proactifs par rapport à ces enjeux** ou suivre ceux qui le sont, ne serait-ce que pour pouvoir répondre à nos enfants qui, de plus en plus conscients des défis qu'ils auront à relever, nous demandent : *"et toi, qu'est-ce que tu fais ?"*.

Le changement de paradigme est immense et l'ampleur des changements à mettre en œuvre peut sembler vertigineuse tant il nous pousse à interroger et à redéfinir l'ensemble de nos choix personnels et professionnels.

Deux actions toutes simples peuvent aider à passer ce cap : ne pas rester seuls, partager ses doutes et questionnements avec d'autres, continuer à dérouler la pelote et **sortir de la dissonance cognitive** en essayant progressivement d'aligner ses actions par rapport à ces enjeux.

La bonne nouvelle, c'est qu'en commençant à avancer sur ce chemin, on voit s'ouvrir plein de nouvelles pistes qu'on ne connaissait pas au départ. **Quand on essaye des choses, on n'est jamais seuls.** Tellement de gens aujourd'hui sont en quête de plus de sens dans leur vie et leur travail que de nouvelles collaborations et possibilités apparaissent, avec lesquelles on est souvent bien plus alignés.

Les impacts non-environnementaux :

Dans le cadre de CEPIR, nous nous sommes intéressés presque exclusivement aux impacts environnementaux de la XR, le respect des limites planétaires n'étant pas "un enjeu parmi d'autres" mais le cadre qui conditionne le fait même que d'autres questions puissent se poser.

Nous proposons ici une **note d'ouverture par rapport à d'autres impacts** que nous pourrions intégrer à la réflexion "conséquentielle" préalable à la mise en œuvre d'un projet XR.

La question de l'équité : les ressources étant limitées, va-t-on déployer les usages XR uniquement pour une élite économique et dans des pays déjà bien équipés alors qu'un tiers de la population mondiale n'est toujours pas connectée à Internet ?

La question de l'inclusion : le numérique a amélioré à bien des égards l'inclusion, l'accessibilité et l'indépendance des personnes souffrant de handicaps (GPS, descriptions visuelles grâce à son smartphone, scan de codes-barre au supermarché, ...) mais certains casques ne sont plus adaptés au port de lunettes de vue (en France, sept personnes sur dix portent des lunettes), un rapport d'E&Y de 2017 montre que les femmes sont beaucoup moins intéressées par la VR que les hommes, ...

La question de la sûreté : l'objectif de certains contenus et plateformes étant de minimiser les écarts de ressentis entre réalité et virtualité tout en incarnant un avatar, peut-on être violé dans un monde virtuel ? Quel est le rôle du témoin ? Comment identifier l'agresseur ? Il existe aujourd'hui un vide juridique par rapport à ces questions. Nous avons aussi peu d'informations sur les personnes qui accèdent à ces contenus et leur âge, la question se pose donc de savoir comment protéger les enfants et les adolescents.

La question de l'éducation... et de la démocratie : le modèle économique basé sur l'économie de l'attention et la commercialisation des données personnelles nécessite de nous garder connectés le plus longtemps, le plus souvent possible. Ce n'est pas la qualité du contenu qui compte, c'est combien de temps vous y passez. Les contenus choquants se propageant mieux que les autres, les algorithmes sont conçus pour les mettre en avant, ce qui a pour conséquence la diffusion du mensonge et des *fake news*, et crée des réalités alternatives ("bubbles" ou "bulles"). **Ce modèle économique est, dans sa conception même, incompatible avec les exigences démocratiques, éducatives et culturelles : les intérêts économiques sont ici opposés à l'intérêt sociétal.**

Nos usages numériques sont aujourd'hui **dictés par six ou sept macro-entreprises** (qui rachètent toutes les autres), **avec un pouvoir d'influence immense** sur les pouvoirs publics et les usagers via la publicité, le profiling, leur capacité à évaluer leurs réponses émotionnelles/mémoire/attention pour prédire leurs comportements futurs et, éventuellement, les influencer.

Comment s'assurer que la XR ou le Métavers n'amplifient pas ce phénomène, compte-tenu l'impressionnante capacité à identifier une personne avec juste un casque et deux manettes (qui peut être renforcée en utilisant des données biométriques) et le potentiel de ces dispositifs immersifs (qui filment notre regard et ce que nous voyons autour de nous, par ex. notre appartement) pour la collecte de données personnelles ?

Les impacts sanitaires sont étroitement liés aux enjeux environnementaux dans la mesure où, sur le plan de la santé, les effets délétères sont liés à l'utilisation directe des outils numériques (perturbation du développement et du fonctionnement du cerveau, addiction, sédentarité, troubles du sommeil, troubles visuels, ... la liste est longue !) mais aussi consécutifs à la dégradation environnementale générée par cette industrie.

POUR CONCLURE

L'addiction aux jeux vidéo en ligne est désormais reconnue officiellement par l'OMS comme une pathologie mentale. Les adolescents jouent massivement en ligne : 96% des 10-17 ans sont des joueurs, et ils représentent 60% des joueurs en ligne français. Dans cette même classe d'âge, 70% utilisent les réseaux sociaux.

Servane Mouton, neurologue, a pris l'initiative et dirigé un ouvrage collectif intitulé "Humanité et numérique : Les liaisons dangereuses", dressant un état des lieux des impacts sanitaires du numérique. Servane se questionne : comment se fait-il que des produits à caractère addictif soient librement proposés aux mineurs ?

Dans le cas de la XR, l'écran est porté directement sur le visage, à quelques centimètres de la rétine, et pose des questions spécifiques pour la santé des utilisateurs : cyber cinétose, effets en lien avec la recalibration du système sensori-moteur, qui perdurent après l'immersion, ...

"L'important, ce n'est pas d'être le meilleur aujourd'hui, c'est de courir encore demain"
(Emelie Forsberg, traileuse) :

En mars 2022, le Président de la République déclarait que "l'Europe ne devait pas rater le train du métavers". En novembre 2022, pour le Ministre délégué chargé de la transition numérique déclarait que "la France ne devait pas laisser passer le train du Web3". Le 11 décembre 2023, le Président déclarait cette fois au sujet de l'IA qu'il fallait "continuer à investir, y aller, foncer" et le 14 Juin 2023 qu'il fallait "investir avant de réguler".

Investir avant de réguler, investir avant de vérifier que ces projets sont viables au regard des contraintes physiques qui s'appliquent à ces équipements et infrastructures matérielles.

Les arguments avancés en faveur d'un soutien massif pour le déploiement rapide de la XR sont les suivants :

- **Favoriser le développement des entreprises françaises et européennes** et les positionner sur la scène internationale : le secteur du numérique garde en mémoire le traumatisme de batailles industrielles perdues par le passé (ex. le Minitel, perçu comme un échec de politique industrielle, le jeu vidéo, les VFX pour lesquels nous possédions des entreprises de pointes aujourd'hui pour beaucoup rachetées et concurrencées à l'international) ;
- **Défendre la position française en faveur d'un internet ouvert et interopérable, qui préserve nos valeurs** : démocratiques, de souveraineté numérique, de protection des citoyens et de leur vie privée, d'ouverture, d'inclusion, de liberté, de sécurité, ... ;
- **Défendre les intérêts économiques des entreprises françaises** face aux entreprises internationales (notamment américaines) en permettant à nos "champions" d'exprimer tout leur potentiel (avec un soutien public massif et en levant les freins réglementaires) ;
- **Valoriser et promouvoir la création culturelle et de divertissement XR française** à l'international.

Il est donc nécessaire et urgent d'investir et de foncer, et nous verrons dans un second temps, les problèmes qui se poseront et comment les résoudre.

Cet argument qui consiste à dire que c'est l'expérimentation qui permet d'identifier les problèmes à résoudre a ses limites : c'est grâce à la pollution plastique des océans que nous sommes en train d'apprendre à recycler et à réutiliser le plastique. Certes, mais si on en déversait moins dans les océans ce serait encore mieux, même si ça a permis de faire des progrès dans le domaine du recyclage et du réemploi !

POUR CONCLURE

Mais le plus problématique à nos yeux n'est pas d'investir avant d'avoir pris le temps d'évaluer la pertinence de ces investissements au regard des "budgets environnementaux" à respecter, c'est de **déployer sans avoir identifié le besoin auquel nous cherchons à répondre**.

La **polémique autour du déploiement de la 5G** illustre bien cette course ou fuite en avant. Lorsque Amaury travaillait chez Novelab (un studio de création), deux opérateurs télécom (un français et un américain) lui ont demandé d'imaginer des cas d'usages possibles à la 5G, qu'ils étaient en train de déployer, et d'en faire la promotion dans le cadre d'expériences VR.

Le déploiement précède l'usage : aujourd'hui, on déploie des technologies parce que c'est techniquement possible, avant d'avoir identifié un besoin. Comme le rappellent les auteurs du [rapport de la mission exploratoire sur le Métavers](#) : "À l'heure actuelle, les métavers sont poussés par l'industrie dans une logique de l'offre, beaucoup plus que par le public dans une logique de la demande. Les enquêtes montrent même une certaine défiance vis-à-vis des métavers, surtout en France et en Europe. Cette défiance intègre plusieurs aspects qui se cumulent. Les visiocasques sont perçus négativement par une grande majorité de la population qui y voit l'expression d'une séparation du monde réel et surtout du monde social."

Cette course effrénée, poussée par la compétition internationale, les promesses potentielles de ces nouvelles technologies et les imaginaires qui les sous-tendent, sont telles qu'elles semblent empêcher les gouvernements (la France n'est pas un cas isolé) de prendre le temps d'une réflexion préalable.

Pour les entreprises, il s'agit donc non seulement de **résoudre les problèmes que cela va créer, mais aussi trouver les problèmes que ça résout !** Bienvenue chez les Shadoks :



C'est pourtant exactement l'inverse qu'il faudrait faire : avant de travailler à essayer de rendre ces nouvelles technologies "socialement acceptables" et d'essayer d'identifier des besoins auxquelles elles pourraient répondre, il convient de **s'assurer de notre capacité à satisfaire les besoins déjà identifiés de la population pour les décennies à venir**.

Il semble **urgent non pas de foncer, mais de ralentir**, pour réfléchir collectivement à ces enjeux. Or le numérique accélère les flux, l'échange d'informations, la production de biens et services et leur consommation (qui génère à leur tour des pollutions et consomme des ressources). Le numérique est "l'**accélérateur de la grande accélération**".

POUR CONCLURE

Le Shift Project l'explique bien dans son rapport sur les mondes virtuels : "là où il est déployé, il permet d'optimiser, accélérer, fluidifier, paralléliser... **Le déployer sans stratégie mène donc à l'accélération de toutes les dynamiques, y compris des plus éloignées de nos objectifs de résilience.** En faire un véritable outil de réinvention de nos activités pour les rendre compatibles avec le XXI^{ème} siècle réclame une stratégie et une compréhension systémique des impacts du numérique."

C'est le serpent qui se mord la queue... Mais **quelle que soit la vitesse à laquelle nous déployons ces technologies et notre capacité à ne pas rater les trains, les limites planétaires, elles, ne bougeront pas**, comme un phare planté sur un rocher.

Cette situation nous fait penser à une blague maritime très à-propos :

- "Veuillez vous dérouter de 15 degrés Nord pour éviter une collision. À vous.
- Veuillez plutôt vous dérouter de 15 degrés Sud pour éviter une collision. À vous.
- Ici le capitaine d'un navire des forces navales américaines. Je répète : veuillez modifier votre course. À vous.
- Non, veuillez vous dérouter, je vous prie. À vous.
- Ici, c'est le porte-avion USS Lincoln, le second navire en importance de la force navale des Etats-Unis d'Amérique. Nous sommes accompagnés par trois destroyers, trois croiseurs et un nombre important de navires d'escorte. Je vous demande de dévier de vous route de 15 degrés Nord ou des mesures contraignantes vont devoir être prises pour assurer la sécurité de nos navires. À vous.
- Ici, c'est un phare. À vous."

Silence.

Des imaginaires incompatibles ?

On observe depuis quelques semaines des gens déambuler avec le casque Apple Vision Pro sur la tête. Humains augmentés, promesse d'un avenir meilleur, zombies, catastrophe sociale et environnementale ? Tout dépend des représentations et des imaginaires que l'on projette sur ces innovations dans le champ de la XR.

Les imaginaires collectifs qui sous-tendent les développements de la XR sont multiples.

Essayer de les résumer dans un encart nous oblige à simplifier, à perdre en nuance, en richesse, en diversité. Mais il nous paraît inenvisageable de ne pas aborder la question des imaginaires dans ce rapport, tant elle nous semble centrale.

Voici quelques imaginaires que l'on retrouve assez fréquemment dans les interventions des professionnels de la filière XR :

Exploration, infini, liberté "au-delà du réel" : on retrouve souvent dans les discours des promoteurs des "mondes virtuels" l'idée d'exploration/conquête de nouveaux territoires et l'excitation par rapport à ce qui nous est encore inconnu mais pourrait exister demain.

Dans un monde qui se contracte en raison de sa surexploitation, les mondes virtuels proposent de repousser les frontières, d'**inventer de nouveaux mondes dans lesquels les limites physiques ne s'appliquent pas**. Tout ce qui nous est impossible dans le réel devient alors possible : n'est-ce pas ça la liberté ?

POUR CONCLURE

On ressent cette hâte d'être "après-demain", l'impression d'assister à un moment important, transformateur et positif de l'histoire humaine : il va se passer des choses incroyables dont on n'a pas encore idée, il faut faire confiance au "progrès", ne surtout pas l'entraver et être "po-si-tifs" !

Amélioration de la productivité et de la qualité de vie : il y a la conviction profonde que **ces innovations constituent un "progrès"** dans le domaine de la santé (traitement de certaines phobies, aide à la rééducation, ...), de l'inclusion de l'éducation et de la formation (en permettant un meilleur apprentissage par l'expérience), de la sécurité (prévention des accidents en pratiquant les gestes techniques dans un environnement immersif sécurisé), de la communication longue distance, avec un immersif "social" qui n'enferme pas dans un casque mais qui connecte les individus.

La XR est parfois vue comme **la prochaine interface de "computing"**, permettant d'accéder à tout à distance (tout est digitalisé, stocké dans le cloud, accessible facilement grâce à la 5G/6G/xG), de **vivre et de travailler où on le souhaite**, avec des casques, des lunettes ou des implants qui remplacent progressivement les TV, smartphones, ordinateurs, ... devenus des objets du passé.

Ces gains de productivité permis par la XR entraîneraient une **amélioration de la qualité de vie**. Par exemple, en pouvant se sentir physiquement connectés à des personnes physiquement éloignées, nous n'aurons plus besoin de nous déplacer : au lieu de faire 7h d'avion pour aller à un salon à New York, je vais pouvoir faire mes rencontres en XR et dîner en famille. Nous pourrions donc, **sans que cela n'impacte notre productivité**, décider de l'endroit où nous voulons vivre et avoir plus de temps libre.

L'imaginaire "technosolutionniste" a compris qu'il y avait un problème climatique et essaye d'y répondre avec un ensemble de technologies (voiture électrique, réacteur avec fusion nucléaire, IA ou XR, qui réduirait la nécessité de se déplacer).

En offrant **une vision rassurante et optimiste** de l'avenir, la confiance en la technologie pour résoudre des problèmes comme le changement climatique permet de calmer les angoisses et de retrouver un sentiment de contrôle.

Ré-enchanter le réel : en offrant de nouveaux moyens créatifs d'expression, à travers l'art numérique immersif, les narrations interactives en réalité virtuelle, des nouveaux outils pour jouer ou stimuler notre créativité, la XR contribue à réenchanter le monde.

Pour résumer, l'imaginaire autour de la XR attire parce qu'il est présenté comme un "progrès" indiscutable, censé faciliter nos vies, améliorer la qualité des soins, de la formation et de l'enseignement, réduire l'empreinte écologique des activités humaines et repousser certaines limitations du réel. Un monde sans innovation technologique manquerait de merveilleux, de magie, de perspectives et d'espoir en un avenir meilleur.

Il est donc compréhensible que les acteurs de la XR ne s'intéressent pas beaucoup à la question des limites planétaires, **les bénéfices liés à ces déploiements sont considérés comme tellement importants qu'ils éclipsent les effets négatifs**.

En tant que créateurs de contenus XR, la première fois que nous avons mis un casque sur la tête, nous avons été fascinés par la puissance de l'immersion et le champ des possibilités créatives qui s'ouvrait à nous. Pendant des années, nous avons partagé cet enthousiasme avec un maximum de personnes autour de nous, essayé de convaincre, d'acculturer...

Mais à force de dérouler la pelote, ces imaginaires ont progressivement fait place à un **imaginaire de sobriété (heureuse !), qui s'applique au numérique et propose une approche de "techno-discernement"** : est-ce que j'utilise mes ressources pour fabriquer un IRM, un panneau solaire, un casque XR ou un distributeur de croquettes pour chat à reconnaissance faciale connecté ?

POUR CONCLURE

L'imaginaire de la sobriété s'oppose à l'accélération et au productivisme-consumérisme à outrance. Un monde moins connecté, plus lent mais qui laisse plus de temps à la réflexion et la capacité à imaginer par soi-même, plus de temps hors écran et à s'émerveiller du réel et de la nature.

Faute de gouvernance et d'encadrement, ce que semble pouvoir faire le numérique pour la transition écologique semble assez marginal. Aujourd'hui, **l'essentiel des capacités du numérique ne sont pas tournées vers des usages qui sont susceptibles d'avoir un effet de levier important permettant à d'autres secteurs de réduire leurs émissions.**

Si on veut que le numérique serve à faciliter la transition, il faut réfléchir aux applications et aux conditions de déploiement dans lesquelles ce serait possible : **il y a des usages du numérique qui n'ont aucune chance d'avoir un effet de levier positif et d'autres usages qui ont une chance d'en avoir.** Quand ils ont une chance d'en avoir, le fait qu'ils en aient ou pas **dépend davantage de la gouvernance** que l'on va mettre en œuvre autour de la solution numérisée que de la qualité de la technologie.

Le numérique aurait pu permettre de réduire les déplacements (le téléphone et les visioconférences également) mais les compagnies aériennes s'attendent à battre un "record historique" en 2024 avec 4,7 milliards de passagers dans le monde et le télétravail a aussi créé les "digital nomads", qui font 100 km en voiture deux fois par semaine au lieu de 10 km par jour pour aller travailler.

Les déplacements en avion sont sans doute le plus gros poste du bilan carbone des professionnels de la XR dans la culture et le divertissement (cf. Bilan Carbone de Diversion cinema). Les professionnels étant équipés de casques VR depuis des années, les déplacements vers des festivals internationaux aux Etats-Unis ou en Asie auraient dû être fortement réduits, ce qui n'a pas été le cas (hors covid).

Ce n'est donc pas principalement la technologie qui permet de transformer les comportements mais les imaginaires, ce qui est socialement valorisé ou perçu comme désirable.

L'imaginaire technosolutionniste, qui est un pari risqué, ne semble par ailleurs pas avoir compris qu'il y a d'autres limites planétaires (ex. la principale cause d'extinction des espèces n'est pas le réchauffement climatique mais l'absence d'espaces de vie non exploités par l'homme) et est **un frein à la sobriété et aux changements de comportements.**

Une **convergence existe cependant peut-être entre ces deux visions.** Elle tient à la **capacité effective de la XR à se substituer à d'autres équipements** (remplacer les TV, ordinateurs et smartphones) et à **réduire les impacts environnementaux d'autres secteurs** (notamment la mobilité, en supprimer la quasi totalité des déplacements carbonés), et en limitant fortement les effets rebonds directs et indirects de ces usages.

Dans l'article intitulé "**Le monde a définitivement changé, c'est l'heure du 3e écran**", rédigé en mai 2020, Nicolas Dupain, Président de France Immersive Learning, **propose une prospective en ce sens** : les habitants se sont regroupés dans des petites communautés ou de petites villes, le télétravail est la règle. Les habitants sont majoritairement équipés de visiocasques qui leur permettent de travailler, étudier, faire les courses, aller au musée, aux concerts, au théâtre, assister aux événements sportifs, ... Le mode de vie est plus local, fait de partage d'espaces de coworking, de liens de confiance. Mais la vie est aussi plus frugale et respectueuse de l'environnement, de proximité en particulier.

CONCLUSION

Il est temps pour nous de conclure.

Nous aurions pourtant encore tellement de choses à vous dire !

En rédigeant ce rapport, nous avons été plus d'une fois pris d'un soudain : "*il faut absolument qu'on ajoute une partie sur ça !*" Mais plutôt que d'ajouter, nous avons retiré, et pas qu'un peu. Ces coupes, ces renoncements, étaient nécessaires pour ne pas desservir l'objectif premier de ce rapport, qui est d'être lu.

Nous avons essayé de trouver le meilleur compromis entre notre envie de tout dire et l'objectif de faire court pour que ce rapport ait une chance d'être lu, à une époque accélérée où nous n'avons plus le temps de lire, de nous arrêter, de réfléchir.

Merci d'avoir pris le temps de lire ce rapport.

Nous vous avons préparé dans un *doggy bag* **quelques messages qui nous semblent importants** à emporter :

1. Courir vite n'a d'intérêt que si nous savons où nous voulons aller. Être efficaces pour foncer dans un mur, comme le bateau de l'US Navy dans le phare, ne débouchera pas, *in fine*, sur un futur souhaitable. **Se doter d'un cap compatible avec le respect des limites planétaires est donc le préalable à toute action.**
2. Malgré l'hyper-spécialisation, le fractionnement, le "bubblement" du monde, essayer de **ne pas être trop aveugles pour voir l'éléphant et pour voir, aussi, au-delà de 2030 et 2050** :
 - développer la XR et le Métavers a peut-être du sens au regard des opportunités économiques, de souveraineté numérique et de compétition internationale, mais peut-être pas au regard de sa viabilité écologique et de ses impacts sanitaires ;
 - si nous ne regardons que les "budgets environnementaux" du scénario "sobriété" Ademe-Arcep à horizon 2030, nous pouvons avoir l'impression que "ça passe pour la XR" mais 2030 n'est qu'un point d'étape. Si "ça ne passe pas" par rapport aux budgets de 2050, il faut se poser la question de développer des usages auxquels il sera à l'avenir plus difficile de renoncer (il est aujourd'hui plus difficile de se passer de nos smartphones, commercialisés depuis seulement 17 ans, que de l'Apple Vision Pro).
3. **Hiérarchiser, prioriser et "renoncer"** (ce mot qu'il est aujourd'hui à peine politiquement correct de prononcer) est la suite logique à partir du moment où nous acceptons que nous ne vivons pas sur une planète extensible aux ressources illimitées. Nous le faisons quotidiennement à une échelle individuelle : nous n'avons pas (pour la majorité d'entre-nous) un budget illimité à dépenser tous les mois, nos journées ne font que 24h, ...

Prioriser, et choisir ses renoncements, nous force à **nous poser la question de ce que nous voulons vraiment**. Dans un monde trop complexe où on est submergés par l'offre, nous allons devoir nous poser la question de ce qui est essentiel. Et peut-être, quelque part, retrouver le temps de vivre et de nous demander vers quoi on court et si quitter la course n'est pas notre meilleure chance de pouvoir marcher encore demain.

4. **Les décisions prises aujourd'hui façonnent notre vie de demain et nous concernent tous.** Pas seulement les grandes entreprises du numérique (plus puissantes que certains Etats et dont la force de persuasion est immense) ou nos gouvernements, dont les intérêts et les enjeux sont différents des nôtres, en tant que citoyens. Ces décisions doivent être prises avec un cap et une temporalité qui n'est ni celle des entreprises (performances annuelles et versement de dividendes), ni celle du Gouvernement (mandat). Mais alors par qui ? Une **convention citoyenne du numérique responsable** dont les recommandations seraient réellement appliquées, sans l'ingérence des groupes d'intérêts privés (lobby) ?

Pour nous aider à voir plus loin, prenons un instant pour nous demander : quel âge aura un enfant qui m'est cher en 2050 ? Peut-être qu'il sera plus jeune que je ne le suis aujourd'hui. Dans quel monde vivra-t-il ?

5. Et si nous essayions de regarder encore plus loin ? Au-delà de notre propre existence et de celle de nos enfants, pour **considérer l'aventure de l'humanité à long terme**, son insatiable curiosité pour le monde qui l'entoure, les mystères de la vie et de l'univers, les avancées dans la connaissance qui ont été possibles parce que des générations d'humains se sont succédées... **Pour que cette aventure puisse se poursuivre, l'urgence est aujourd'hui de parvenir à maintenir une planète habitable.** À la question "que faut-il faire ?" qui lui était posée à l'occasion d'une conférence en 2022, l'astrophysicien Aurélien Barrau répondait "**est-ce que le problème ce n'est pas précisément que l'on fait beaucoup trop ?**".

Préserver la vie sur Terre, éviter d'étendre "la griffe de l'homme" partout où c'est encore possible (exploitation minière des fonds marins, des astéroïdes, ...), donner la possibilité à cet enfant de l'habiter et de s'y projeter à horizon 2050 et au-delà, à l'espèce humaine mais aussi aux autres espèces de continuer leur évolution, **est un projet bien plus enthousiasmant que le développement de n'importe quel usage numérique.**

Dans la bande dessinée *L'An 01*, Gébé avait imaginé **au tournant de 1970 un moment historique singulier et soudain** : « **on arrête tout, on réfléchit...** ». Dans quel but ? Prendre le temps de redéfinir collectivement nos besoins et désirs profonds, puis repenser de fond en comble l'organisation de la production des biens et services.

Nous lui empruntons ces quelques mots, faciles à retenir puisqu'il s'agit d'un alexandrin, pour mettre le point final à ce rapport :

***On arrête tout.
On réfléchit.***

Et c'est joyeux.