

Energie, climat : Quels mondes virtuels pour quel monde réel ?

Orienter nos choix technologiques vers la sobriété numérique

Annexes

Mars 2024

Illustration couverture : Virgile Bellaïche

Table des matières

Table des matières	2
Table des figures	3
Table des tableaux.....	3
ANNEXE 1 : CONTEXTE ET HISTORIQUE	4
ANNEXE 2 : MULTIPLICITE DES DEFINITIONS DES MONDES VIRTUELS.....	6
ANNEXE 3 : « CAS D’USAGE » ET NARRATIFS	7
ANNEXE 4 : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE DE LA CONSTRUCTION DES OFFRES DE MONDES VIRTUELS.....	19
ANNEXE 5 : DIRECTIONS TECHNOLOGIQUES ET MATURITE TECHNOLOGIQUE DES MONDES VIRTUELS.....	24
ANNEXE 6 : QUANTIFICATION DE L’IMPACT ENERGIE-CLIMAT D’UN DEPLOIEMENT INDIFFERENCIE ET D’UNE ADOPTION GENERALISEE DES MONDES VIRTUELS : SCENARIO META-METAVERS.....	27
ANNEXE 7 : QUANTIFICATION DES PRESSIONS EXERCEES PAR LES MONDES VIRTUELS SUR L’INFRASTRUCTURE RESEAUX (MOBILES).....	31
ANNEXE 8 : QUANTIFICATION DE L’IMPACT ENERGIE-CLIMAT D’UNE ADOPTION GENERALISEE DES MONDES VIRTUELS : IMPACT SUR L’INFRASTRUCTURE RESEAUX MOBILES FRANÇAISE.....	34
RÉFÉRENCES	35

Table des figures

Figure 1 - Mention des technologies dans les cycles de « hype » des technologies émergentes publiés par la société de conseil et analyses Gartner entre 1995 et 2023	4
Figure 2 - Nombre de casques de réalité virtuelle de réalité lancé chaque année.....	4
Figure 3 - Lancement par année et par fournisseur de matériel de casques de réalité virtuelle ..	5
Figure 4 - Table 3 de « A metaverse maturity model » (Weinberger M. & Gross D., 2023).....	25
Figure 5 - Dynamique en projection de demande et capacité pour les réseaux mobiles d'Ericsson Source : (Ericsson, 2023).....	33
Figure 6 - Consommation mensuelle moyenne (Go/mois) et trafic total sur le réseau (Eo/an) simulés pour 4 scénarios aux trafics contrastés (Go/mois).	34

Table des tableaux

Tableau 1 - Multiplicité des définitions des mondes virtuels	6
Tableau 2 - Références aux cas d'usage étudiés dans différents corpus parmi lesquels ceux des produits industriels, marketing industrie, prédiction intelligence économique, culture, institutions, presse généraliste, recherche scientifique.....	23
Tableau 3 - Niveaux de maturité technologique (TRL) actuels par directions technologiques des mondes virtuels (Tableau 1).....	26
Tableau 4 - Données d'entrées et hypothèses pour le scénario Méta-Métavers	28
Tableau 5 - Correspondance entre les paramètres du scénario Méta-métavers et les directions technologiques (Table 1).....	29
Tableau 6 - Mise à jour des données d'entrées et hypothèses pour le scénario Conservative et Growth en complément de la scénarisation (The Shift Project, 2021).....	30
Tableau 7 - Comparaison du scénario Méta-métavers (The Shift Project, 2024d) avec le scénario Tendancier (ADEME & Arcep, 2023).....	30
Tableau 8 - Spécifications des mondes virtuels pour le dimensionnement des réseaux mobiles Source : The Shift Project, dans le cadre de ce rapport	33

Annexe 1 : Contexte et historique

L'analyse des cycles de « hype » des technologies émergentes publiés par la société de conseil et analyses Gartner entre 1995 et 2023 mettent en évidence le reflet de l'engouement passé pour les développements des mondes virtuels par les industries du numérique.

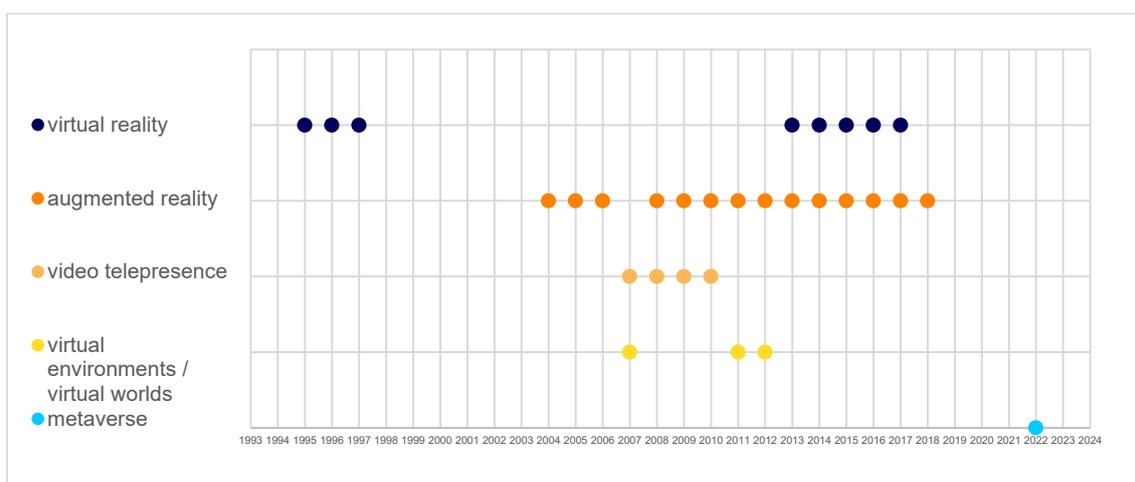


Figure 1 - Mention des technologies dans les cycles de « hype » des technologies émergentes publiés par la société de conseil et analyses Gartner entre 1995 et 2023
 Source : Analyse dans le cadre de ce rapport à partir de (Gartner, 1995)

L'analyse des sorties de casques de réalité indique une intensification des développements technologiques sur la période 2016-2019.

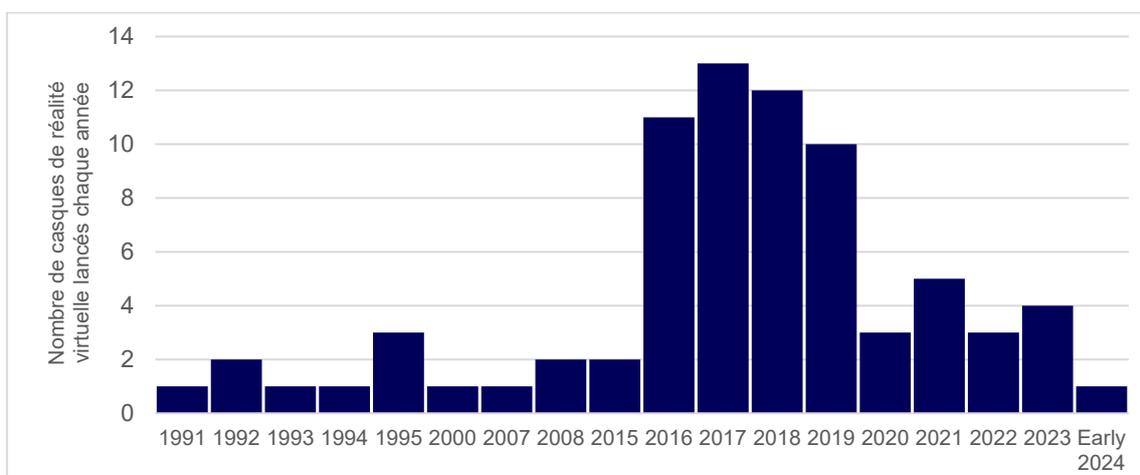


Figure 2 - Nombre de casques de réalité virtuelle de réalité lancés chaque année
 Source: List of virtual reality headsets (Wikipédia, 2024b)

Depuis 2015, pour les 6 principaux constructeurs de casque, les lancements de produit ont lieu en moyenne tous les 1.4 ans.

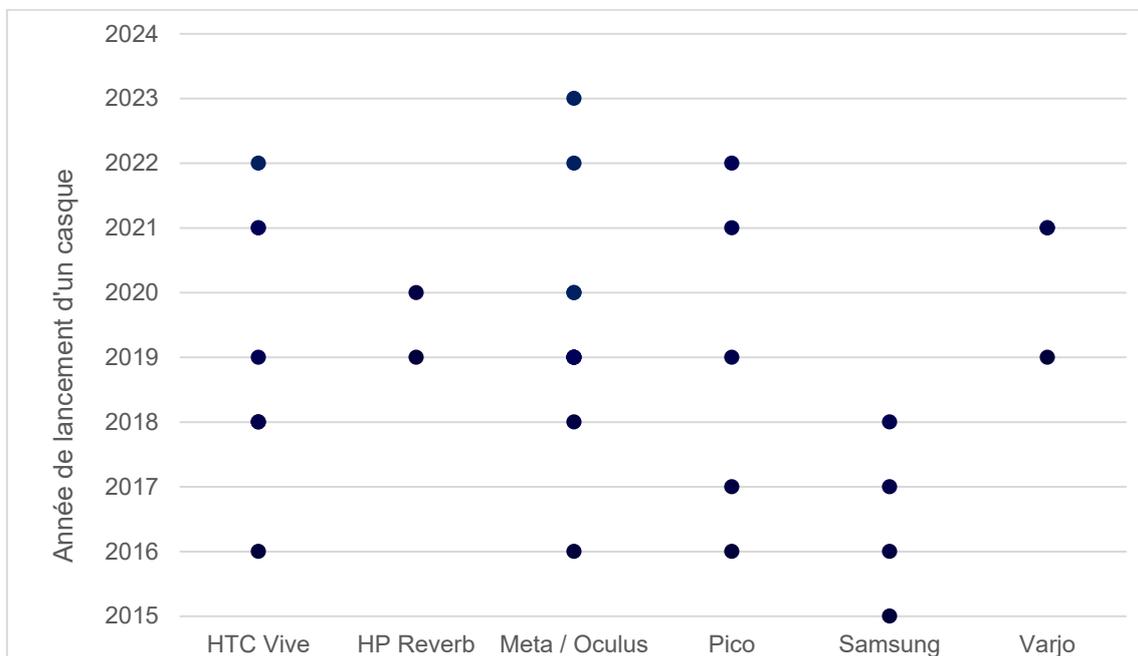


Figure 3 - Lancement par année et par fournisseur de matériel de casques de réalité virtuelle
Source: List of virtual reality headsets. (Wikipédia, 2024b)

Si les graphiques précédents débutent au début des années 1990, les prémices et la construction des mondes virtuels remontent encore à quelques années plus tôt :

- Les premiers dispositifs datent des années 1950-1960 : la cabine Sensorama de Morton Heilig permettait d'expérimenter des films en relief, le premier visiocasque « l'épée de Damoclès » de Ivan Sutherland affichait des images de synthèse (Lécuyer A., 2023) ;
- La première société de commercialisation de produits de réalité virtuelle (VPL Research à San Francisco) fut fondée en 1984 par Jaron Lanier (Lécuyer A., 2023) ;
- Les environnements de réalité virtuelle immersive Cave Automatic Virtual Environment¹ furent inventés en 1992 à l'université de l'Illinois à Chicago (Lécuyer A., 2023) ;
- Des disciplines académiques comme la vision par ordinateur ont rendu possibles les développements conceptuels et algorithmiques permettant les dispositifs actuels de réalité augmentée ou de réalité virtuelle (Lécuyer A., 2023) ;
- La progression des usages est en vigueur dans le milieu industriel depuis plusieurs décennies (Lécuyer A., 2023; Renaissance Numérique & L'Observatoire Société & Consommation, 2023).

¹ Un CAVE est un « environnement automatique virtuel » le plus souvent fermé. On l'assimile à une « caverne » (cave en anglais). Généralement, des « murs-écrans » entourent un ou plusieurs individus qui sont placés au centre de la structure du CAVE. Pour favoriser l'immersion perceptive, les personnes portent des équipements comme des casques et lunettes 3D ou des combinaisons et des gants pour capter les mouvements. Définition du Glossaire de (Renaissance Numérique, 2023).

Annexe 2 : Multiplicité des définitions des mondes virtuels

Les définitions produites (Ball M., 2020; Basdevant A., François C., Ronfard R., 2022; CERRE, 2023; Fuchs P. & Techniques de l'ingénieur, 2023) sont toutes différentes avec néanmoins un consensus atteint autour des quatre caractéristiques d'immersion, de persistance, de simultanéité et de virtualisation.

L'approche par caractéristiques retenue dans le cadre de ce rapport est à retrouver dans la partie « Approche des mondes virtuels par directions technologiques ».

Caractéristiques	(CERRE, 2023)	(Ball M., 2020)	(Fuchs P. & Techniques de l'ingénieur, 2023)	(Basdevant A., François C., Ronfard R., 2022)
<i>Coexistence physique et numérique</i>	X	X	X	
<i>Immersion</i>	X	X	X	X
<i>Simultanéité</i>	X	X	X	X
<i>Localisation</i>			X	
<i>Persistance</i>	X	X	X	X
<i>Virtualisation & remplissage</i>	X	X	X	X
<i>Commercialisation</i>		X	X	
<i>Taille</i>		X	X	

Tableau 1 - Multiplicité des définitions des mondes virtuels

Annexe 3 : « Cas d'usage » et narratifs

Ces narratifs visent à décrire les directions technologiques prises et les modalités d'usage des mondes virtuels envisagées par l'écosystème numérique. Ces narratifs sont construits en prenant au sérieux les offres en vigueur dans le secteur et peuvent donc, par construction, être caractérisés de « techno-push ». D'un point de vue inventaire matériel et donc consommation électrique et empreinte carbone, à date, il semble compliqué de faire plus maximaliste.

- La métaconférence
- Le « je » dans le jeu
- Un commerce pas si virtuel
- Le métavers culturel
- Le métavers industriel
- La pornographie immersive

La métaconférence

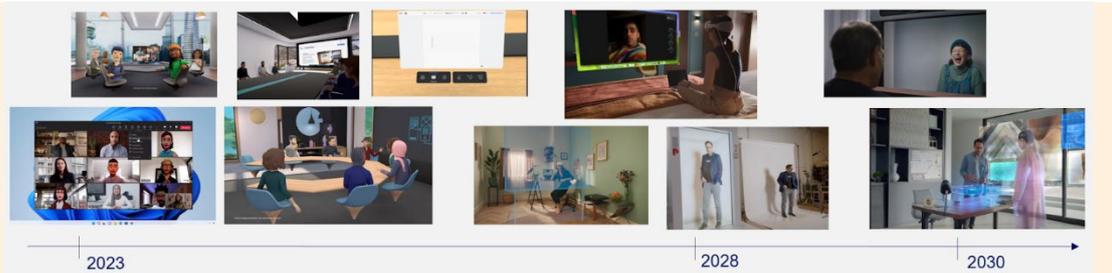
Dès 2023, les avatars se fraient un chemin discret dans les outils de visio-conférence [1]. Tout d'abord en complément de l'audio ou en substitution de la vidéo, pour un public amateur et pour un public professionnel [2,3] séduit par le sentiment de confort et d'inclusion [4].

En parallèle, le secteur du divertissement généralise la réalité virtuelle et les avatars ; les appels familiaux et amicaux généralisent eux la visioconférence.

Dans les outils de visioconférence, les fonctionnalités de collaboration immersive s'enrichissent : elles sont multitâches et plus productives : traduction multilingue simultanée [5], prise de note et synthèse automatique et outils collaboratifs [1].

En entreprise [3], les expériences immersives partagées se multiplient aussi : formations pour des compétences spécifiques, recrutement, on-boarding, bureaux virtuels, accès à des modèles et jumeaux numériques et salons virtuels pour la commercialisation [6].

L'adoption massive de la métaconférence par les professionnels notamment, pourrait être déclenchée par la réalité augmentée, éventuellement mixte [7], et les hologrammes [8,9] autorisant un surplus de réalisme immersif [10].



Références

- [1] This is Meta Horizon Workrooms, Meta for Work, 7 juin 2023, <https://youtu.be/eYiU9mV7-6g?si=QMo60uABv6H-aDAL>, Horizon Workrooms - Remote Collaboration Reimagined, Meta Quest, 19 août 2021, https://youtu.be/lqj50lxRrKQ?si=y6xLioviqH0x1_fj
- [2] Microsoft Mesh | Microsoft Teams, Microsoft Teams, 23 mai 2023, <https://youtu.be/fSKBHOWOcSM?si=AuRe6QYmwQrsaUt>
- [3] How the evolution of VR and AR will impact the network, Nokia, consulté le 24/11/2023, <https://www.nokia.com/metaverse/impact-of-metaverse-on-the-network/>
- [4] Bureaux virtuels, consulté le 24/11/2023, <https://teemew.com/en/>
- [5] Service de traduction multilingue simultanée, consulté le 24/11/2023 : <https://www.heygen.com/>
- [6] Metaverse : evolution then revolution, consulté le 24/11/2023 : <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/accenture-com/document/Accenture-Metaverse-Evolution-Before-Revolution.pdf>
- [7] Introducing Apple Vision Pro, Apple, 5 juin 2023, <https://youtu.be/TX9qSaGXFyg?si=zW0YN47RiPD0jjPI>
- [8] Project Starline : Feel like you're there, together, Google, 18 mai 2021, <https://www.youtube.com/watch?v=Q13CishCKXY>
- [9] Are holograms the next zoom?, Bloomberg Quicktake, 3 mai 2022, <https://www.youtube.com/watch?v=rspXptNysqU>
- [10] The Metaverse and How We'll Build It Together – Connect 2021 , 28 octobre 2021, <https://youtu.be/Uvufun6xer8?si=x4NvBMfoBDXjreBl>
- [11] Représentations et usages du Métavers, Renaissance numérique et L'Observatoire Société & Consommation, octobre 2023, https://www.renaissancenumerique.org/wp-content/uploads/2023/10/renaissance-numerique-representations_usages_metavers.pdf

Images

De gauche à droite : [2], [1], [1] [4], [1], [1], [7], [9], [8], [10]

Le « Je » dans le jeu

En 2025 plus besoin d'aller au cinéma, les joueurs sont désormais les héros d'une intrigue minutieusement orchestrée et en permanence réajustée au gré de leurs actions courantes et passées, influençant de fait un univers en constante évolution, où le sentiment d'immersion est total.

Les pouvoirs publics imposent progressivement aux éditeurs de jeux d'informer les utilisateurs sur leur temps de connexion en ligne. Ces informations sont exploitées par des annonceurs qui anticipent ainsi les besoins des joueurs de se sustenter par notification de leur application de livraison préférée. "Un petit creux ?! Gagnez du temps de jeu en vous faisant livrer votre pizza préférée !!" [1].

La porosité entre annonceurs et jeux vidéo se fait de plus en plus grande au fur et à mesure que les éditeurs migrent vers un modèle « producteur de services » [2] leur permettant de monétiser toujours plus de contenus (abonnements, customisations des avatars, déblocage

d'artefacts, ou de fonctionnalités, etc.). De la même manière, la perméabilité entre secteur culturel et jeux vidéo se renforce (événementiel, concert dans les jeux vidéo). [2bis]

2035 : la standardisation des métavers [3][4] permet aux différents mondes virtuels d'être complètement interoperables. Ils offrent la possibilité aux joueurs d'incarner, s'ils le souhaitent, le même avatar dans différents environnements thématiques [5] en fonction de leur humeur, sans discontinuité dans l'expérience sociale et ludique.

Les outils de traduction automatique en temps réel [6] permettent de passer outre la barrière de la langue et de voir émerger des communautés au-delà des frontières physiques, linguistiques, et culturelles.

Les principaux réseaux sociaux sont totalement intégrés dans les fils de discussion internes au métavers.

Grâce à l'avènement du edge computing [7] et de la 6G [8], même en mobilité, à l'occasion de chasses aux trésors géantes organisées dans les villes en réalité mixte, une pléthore de ressources matérielles est désormais dédiée à traiter en temps réel. Grâce à l'avènement du edge computing [7] et de la 6G [8], une pléthore de ressources matérielles est désormais dédiée à traiter en temps réel des péta-octets de données en provenance des capteurs dont sont bardés les équipements de jeu. Le rythme cardiaque, le suivi des yeux, la transpiration, et même les éventuels commentaires des joueurs pendant la partie (ayant préalablement signé les conditions d'utilisation permettant de "maximiser son expérience de jeu") [9][10].

L'effet "retour de force" (force feedback) d'une combinaison haptique intégrale et de gants haptiques, dont le coût d'acquisition s'est « démocratisé », du moins pour les classes moyennes (600 euros), permet de sentir les balles prises pendant les escarmouches... en version allégée bien sûr, et de « toucher » les objets de l'environnement. La nouvelle génération de casques hybrides permet également de « sentir » les odeurs de l'environnement dans lequel les joueurs évoluent [11]. On recharge ainsi un système de « cartouches » d'huiles essentielles dont les compositions chimiques sont combinées pour produire ces « parfums d'ambiance » (allant du délicat parfum de la rose, aux effluves fétides de la décharge à ciel ouvert).

Des produits dont l'existence est purement numérique sont vendus et promus. On considère à présent normal d'habiller son avatar avec soin, d'autant qu'il est rendu hyper-réaliste grâce à la fonctionnalité "capture morphologique" proposée en ligne par la plupart des éditeurs [12].

Les éditeurs s'adaptent aux nouvelles contraintes et réglementations sanitaires leur imposant la recommandation aux utilisateurs de pauses régulières pour lutter contre la sédentarité accrue et une véritable épidémie d'obésité morbide dans la communauté des "gamers" : le Gameplay et les équipements induisent à présent un nombre de mouvements minimum supposé compenser l'inactivité potentielle des joueurs !

2040 : La convergence d'univers et gameplay de type "action-aventure" [14], "jeu de rôle" [15], et "bacs à sable" [16], auxquels l'accès est proposé « gratuitement », est largement adoptée par une population croissante de joueurs ; l'IA générative [13] ayant permis, depuis plus d'une dizaine d'années déjà, l'adaptation de l'expérience de jeu à chaque joueur, en temps réel.

Toutes les classes d'âge s'y adonnent, en recherche d'alternatives à une expérience de vie physique de plus en plus délétère suite aux nombreuses conséquences des dérèglements climatiques [17].

Captation de l'activité cérébrale (électroencéphalogramme) [18], de l'état de fatigue estimé en fonction du niveau de réflexes remonté par les équipements haptiques, de ses capacités

intellectuelles à résoudre des énigmes, suggérées par les données collectées lors des précédentes parties, tout est mis en œuvre pour cerner le profil du joueur et maximiser son « engagement » dans la durée [19], au profit des annonceurs, qui réutilisent l'ensemble de ces données à des fins marketing, micro-ciblé [20].



Références

- [1] <https://www.cairn.info/revue-geoeconomie-2012-4-page-49.htm>, <https://www.lesechos.fr/tech-medias/hightech/la-publicite-se-fait-une-place-dans-le-jeu-video-1865718>, <https://shs.hal.science/halshs-00305739/document>
- [2] Epic Games où la transition du modèle « développeur de jeux vidéo » (« Gear of War »), vers celui d'éditeur de jeux vidéo en ligne utilisant le jeu comme « modèle de service » (« Fortnite »), Source : <https://aws.amazon.com/fr/solutions/case-studies/EPICGames/>
- [2bis] Travis Scott sur « Fortnite », Alonzo sur « GTA »... Les concerts jouent le jeu du virtuel, Le Monde, 22 juin 2020, https://www.lemonde.fr/m-le-mag/article/2020/06/22/travis-scott-sur-fortnite-alonzo-sur-gta-les-concerts-jouent-le-jeu-du-virtuel_6043664_4500055.html
- [3] Thomas A. Hemphill (2023) The 'Metaverse' and the challenge of responsible standards development, Journal of Responsible Innovation, 10:1, DOI: 10.1080/23299460.2023.2243121
- [4] W. Hyun, "Study on standardization for Interoperable Metaverse," 2023 25th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Pyeongchang, Korea, Republic of, 2023, pp. 319-322, doi: 10.23919/ICACT56868.2023.10079642.
- [5] K. Yang, Z. Zhang, T. Youliang and J. Ma, "A Secure Authentication Framework to Guarantee the Traceability of Avatars in Metaverse," in IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 18, pp. 3817-3832, 2023, doi: 10.1109/TIFS.2023.3288689.
- [6] Z. Lv, « Generative artificial intelligence in the metaverse era », Cognitive Robotics, vol. 3, p. 208-217, janv. 2023, doi: 10.1016/j.cogr.2023.06.001.
- [7] Y. Wang and J. Zhao, "A Survey of Mobile Edge Computing for the Metaverse: Architectures, Applications, and Challenges," 2022 IEEE 8th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC), Atlanta, GA, USA, 2022, pp. 1-9, doi: 10.1109/CIC56439.2022.00011.
- [8] F. Tang, X. Chen, M. Zhao and N. Kato, "The Roadmap of Communication and Networking in 6G for the Metaverse," in IEEE Wireless Communications, vol. 30, no. 4, pp. 72-81, August 2023, doi: 10.1109/MWC.019.2100721.

- [9] J. Wang, S. Chen, Y. Liu and R. Lau, "Intelligent Metaverse Scene Content Construction," in IEEE Access, vol. 11, pp. 76222-76241, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3297873.
- [10] Leonardo Angelini, Massimo Mecella, Hai-Ning Liang, Maurizio Caon, Elena Mugellini, Omar Abou Khaled, and Danilo Bernardini. 2022. Towards an Emotionally Augmented Metaverse: a Framework for Recording and Analysing Physiological Data and User Behaviour. In 13th Augmented Human International Conference (AH2022). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 3, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3532530.3532546>
- [11] Lukaszewicz, M. S., Rossoni, M., Spadoni, E., Dozio, N., Carulli, M., Ferrise, F., and Bordegoni, M. (August 14, 2023). "An Open-Source Olfactory Display to Add the Sense of Smell to the Metaverse." ASME. J. Comput. Inf. Sci. Eng. February 2024; 24(2): 024501. <https://doi.org/10.1115/1.4062889>
- [12] Reay, E., Wanick, V. (2023). Skins in the Game: Fashion Branding and Commercial Video Games. In: Bazaki, E., Wanick, V. (eds) Reinventing Fashion Retailing. Palgrave Studies in Practice: Global Fashion Brand Management . Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11185-3_5 et Joy, A., Zhu, Y., Peña, C., & Brouard, M. (2022). Digital future of luxury brands: Metaverse, digital fashion, and non-fungible tokens. Strategic Change, 31(3), 337–343. <https://doi.org/10.1002/jsc.2502>
- [13] H. X. Qin and P. Hui, "Empowering the Metaverse with Generative AI: Survey and Future Directions," 2023 IEEE 43rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW), Hong Kong, Hong Kong, 2023, pp. 85-90, doi: 10.1109/ICDCSW60045.2023.00022.
- [14] *Grand Theft Auto V*, Rockstar Games, 17/09/2013
- [15] *Red Dead Redemption*, Rockstar Games, 26/10/2018
- [16] *The Sandbox*, Animoca, Bulkipix, 04/03/2012, *Decentraland*, Ari Meilich et Esteban Ordano, 2015, *Roblox*, Roblox Corporation, 27/02/2006
- [17] D. Pal et C. Arpnikanondt, « The sweet escape to metaverse: Exploring escapism, anxiety, and virtual place attachment », *Computers in Human Behavior*, vol. 150, p. 107998, janv. 2024, doi: 10.1016/j.chb.2023.107998. et *Ready Player One*, Steven Spielberg, 28/03/2018
- [18] <https://www.cryptopolitan.com/fr/casque-vr-eeeg-pour-mesurer-l-39-activite-cerebrale/>, <https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/realite-augmentee-realite-virtuelle-premier-jeu-controle-cerveau-68229/>, <https://www.realite-virtuelle.com/looxidvr-ondes-cerebrales-1201/>
- [19] Activision Blizzard, utilisation de l'IA pour renforcer l' « engagement », https://www.youtube.com/watch?v=ir33m9RJxs0&t=1727s&ab_channel=AWSEvents
- [20] Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Wang, Y., Alalwan, A. A., Ahn, S. J., Balakrishnan, J., Barta, S., Belk, R., Buhalis, D., Dutot, V., Felix, R., Filieri, R., Flavián, C., Gustafsson, A., Hinsch, C., Hollensen, S., Jain, V., Kim, J., Krishen, A. S., ... Wirtz, J. (2023). Metaverse marketing: How the metaverse will shape the future of consumer research and practice. *Psychology & Marketing*, 40, 750–776. <https://doi.org/10.1002/mar.21767>

Images

Affiche du jeu vidéo Grand Theft Auto V, Concert de Travis Scott dans le jeu Fortnite, Affiche du film Ready Player One

Un commerce pas si virtuel

En 2024, chaque acteur de la distribution a son métavers-vitrine, comme Amazon en Inde [1]. Une expérience dans un monde virtuel est proposée, quelquefois immersive, souvent promotionnelle, il s'agit avant tout de promettre de nouvelles expériences d'achat et d'encourager le changement des habitudes client.

En 2027, Amazon envoie à ses 300 millions d'abonnés Amazon Prime un casque de réalité virtuelle ; produit d'appel permettant de réaliser ses courses dans un magasin virtuel avec étalages reconstitués et personnalisés [2]. Dans le même temps, l'adoption massive de lunettes connectées permettent aux plateformes de mieux cerner l'environnement et les habitudes du consommateur.

Les assistants de shopping virtuels, véritable personnalisation de l'UX (User Experience) et des parcours d'achat, décuplent les ventes grâce à leur potentiel de persuasion permis à la fois par des données cérébrales, corporelles et visuelles collectées en temps-réel, et à la fois un historique persistant de ces données.

Le marketing géolocalisé et le marketing émotionnel ont fait du chemin depuis les algorithmes de compréhension d'émotions dans les centres d'appel et jeux vidéo ; et depuis le jeu Pokemon Go qui déplaçait ses joueurs dans les centres commerciaux [3,4].

Les expériences d'achat en réalité augmentée se sont aussi multipliées : dans les magasins [5,6] ou à domicile où un scanner LIDAR est désormais nécessaire à quiconque compte concevoir sa cuisine [7].

Ce ne sont pas des biens virtuels qui sont vendus et achetés mais des biens réels [1].

En 2040, sentir virtuellement l'odeur du cuir d'un sac à main ou pouvoir en évaluer sa texture est permis par de nouveaux terminaux haptiques et sensoriels [8,9] et la sixième génération de réseaux mobiles [10].



Références

- [1] Amazon takes big metaverse step with immersive shopping experience, Chain Store Age, 5 septembre 2023, <https://chainstoreage.com/amazon-takes-big-metaverse-step-immersive-shopping-experience>
- [2] How the metaverse will remake your strategy, BCG, juillet 2022, <https://www.bcg.com/publications/2022/impact-of-metaverse-on-business>
- [3] Métavers : ce jeu dont qui sera le héros?, LINC, CNIL, 24 janvier 2022, <https://linc.cnil.fr/metavers-ce-jeu-dont-qui-sera-le-heros>
- [4] Métavers : réalités virtuelles ou collectes augmentées?, LINC, CNIL, 4 novembre 2021, <https://linc.cnil.fr/metavers-realites-virtuelles-ou-collectes-augmentees>
- [5] Projet de développement immobilier en Arabie Saoudite, consulté le 24/11/2023, <https://newmurabba.com/#inside-mukaab>
- [6] Metaverse : evolution then revolution, consulté le 24/11/2023 : <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/accenture-com/document/Accenture-Metaverse-Evolution-Before-Revolution.pdf>
- [7] Apple unveils new iPad Pro with breakthrough LiDAR Scanner and brings trackpad support to iPadOS, Apple, 18 mars 2020, <https://www.apple.com/pl/newsroom/2020/03/apple-unveils-new-ipad-pro-with-lidar-scanner-and-trackpad-support-in-ipados/>
- [8] Produit de technologie olfactive portable, consulté le 24/11/2023, <https://ovrtechnology.com/>
- [9] Réalité virtuelle : un masque génère des odeurs synthétiques, Le Monde, 17 mai 2023, https://www.lemonde.fr/sciences/article/2023/05/17/realite-virtuelle-un-masque-genere-des-odeurs-synthetiques_6173771_1650684.html
- [10] Decision of the governing board of the Smart Networks and Services Joint Undertaking No 12/2021, Adopting the Joint Undertaking's Strategic Research and Innovation Agenda, p29, consulté le 24/11/2023, https://smart-networks.europa.eu/wp-content/uploads/2022/10/122021_sns_gb_decision_sria_including_annexdocx_89dnouztkolqi0m6dij7feh9da_8207_9_compressed-1.pdf
- [11] Le baromètre du numérique, ARCEP, 30 janvier 2023, <https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffrees/barometre-du-numerique/le-barometre-du-numerique.html>

Images

[11], [1], [7], [8]

Le culturel c'est virtuel ?

Cas en présentiel :

2025 : dans les sites français les plus touristiques [1,2], les audioguides disparaissent progressivement remplacés par une application de réalité augmentée couplée à un guide animé par de l'intelligence artificielle mise à disposition des visiteurs sur une plateforme de téléchargement installée sur des smartphones ou tablettes loués le temps de la visite.

Des casques de réalité virtuelle accompagnés de manettes sont par ailleurs proposés pour une expérience "Premium" dans les cadres s'y prêtant.

On peut ainsi se voir saluer par Gustave Eiffel [3] en gravissant les marches de la tour du même nom, ou inviter à suivre le roi soleil dans sa balade matinale dans les jardins de Versailles, tout en accomplissant des quêtes, ou résolvant des énigmes sous forme d'escape games pédagogiques.

2030 : l'utilisation de la réalité augmentée s'est généralisée dans les grands musées français notamment.

Les applications en réalité augmentée proposant un guide virtuel sont disponibles dans tous les petits musées également équipés d'un WIFI performant.

Les plus grands musées proposent des expériences immersives permettant la mise en situation d'une œuvre dans son contexte de création : au Louvre, on peut ainsi se voir projeter dans l'atelier de Léonard de Vinci peignant la Joconde. Il est possible d'interagir avec la Joconde en train de poser, ainsi qu'avec l'artiste au travail, qui nous explique le contexte historique de son œuvre, les techniques employées, jusqu'à nous proposer de nous essayer en tant qu'apprenti sur une toile virtuelle disposée devant nous dans l'atelier, selon la même technique et les mêmes principes de composition.

Des gants haptiques s'ajoutant au casque de réalité virtuelle permettront de se saisir d'objets du décor, tels qu'une palette et un pinceau.

L'œuvre ainsi créée restera disponible sous forme de NFT dans la collection "visiteurs" du musée [4].

Nombre d'autres applications sont ainsi proposées selon les sites touristiques et culturels : mise en contexte visuel et linguistique dans les musées historiques, et certaines pièces jusqu'ici inaccessibles au public (œuvres ou antiquités protégées) le deviennent.

Les expériences peuvent être déplacées sur d'autres lieux [1,6].



Références

- [1] Eternelle Notre -Dame est une expérience immersive de découverte de la cathédrale, <https://www.eternellenotredame.com/>
- [2] Réalité virtuelle : 3 expériences à ne pas manquer cet été, Orange, 13 juin 2023 : <https://bienvivredigital.orange.fr/societe/tendances/realite-virtuelle-3-musees-a-ne-pas-manquer-cet-ete.html>
- [3] En Floride, Salvador Dali ressuscité par l'intelligence artificielle, Le journal des arts, 19 mai 2019, <https://www.lejournaldesarts.fr/patrimoine/en-floride-salvador-dali-ressuscite-par-lintelligence-artificielle-144196>
- [4] Le Centre Pompidou passe à l'heure NFT, Centre Pompidou, 6 avril 2023 : <https://www.centrepompidou.fr/fr/magazine/article/le-centre-pompidou-passe-a-lheure-nft>
- [5] Les usages immersifs, de la réalité virtuelle au métavers, CNC, juin 2023, page 8 : <https://www.cnc.fr/documents/36995/1872922/Les+usages+immersifs%2C+de+la+r%C3%A9alit%C3%A9+virtuelle+au+m%C3%A9tavers.pdf/2c3693f2-4085-6ca6-5e37-2c0995b15d0b?t=1693558191224>
- [6] Micro-Folie, plateforme culturelle au service des territoires, Ministère de la culture, <https://www.culture.gouv.fr/Regions/Drac-Provence-Alpes-Cote-d-Azur/Politique-et-actions-culturelles/Micro-Folies>

Images

Affiche de l'expérience immersive Eternelle Notre-Dame

Application Spatial pour la vente de photographies d'art : Metavers, le nouvel Eldorado, France 24 : <https://youtu.be/Fg5EBHS22Jl?si=17KjVWRwqZjQ92O6>

Le culturel c'est virtuel ?

Cas en distanciel :

En 2030 la visite culturelle en réalité virtuelle à distance se déploie, à la faveur d'un taux de pénétration des équipements et casques de réalité virtuelle bien meilleur dans les ménages et d'une commande publique [1].

On peut maintenant visiter un musée depuis chez soi, dans un monde virtuel, proche du jumeau numérique, peuplé d'avatars d'autres visiteurs. Il est possible de profiter des services d'un guide interactif, paramétrable en termes d'époque, de rendu, manière de s'exprimer, etc.

En termes d'expérience immersive [2], le même type d'interactions (artistes, contexte etc.) qu'en présentiel est proposé, mais avec un rendu et un accès moindre : toutes les œuvres ne sont pas numérisées et la visite virtuelle reste un produit d'appel, à venir découvrir le lieu réel. Les limitations induites par le virtuel telles l'absence d'odeur des peintures, craquement du parquet sous les pas, etc. font que l'offre de visite virtuelle ne saurait par ailleurs pas se substituer à l'offre de visite réelle.

Parallèlement, les concerts internationaux en réalité virtuelle convainquent massivement [3], favorisé par l'instauration de quota carbone pour les transports de longue distance et la reconstruction virtuelle de lieux après leur destruction ou leur disparition [4].



Références

[1] Mission exploratoire sur les métavers, A. Basdevant, C. François, R. Ronfard, octobre 2022, page 60, <https://www.economie.gouv.fr/files/files/2022/Rapport-interministeriel-metavers.pdf>

[2] La Joconde en réalité virtuelle chez vous, Le Louvre, 23 février 2021, <https://www.louvre.fr/en-ce-moment/vie-du-musee/la-joconde-en-realite-virtuelle-chez-vous>

[3] Comment VRROOM a téléporté Jean-Michel Jarre dans la réalité virtuelle ? AFXR, 12 juillet 2020, <https://www.afxr.org/articles/58356-comment-vrroom-a-teleporte-jean-michel-jarre-dans-la-realite-virtuelle>

[4] L'archipel de Tuvalu duplique son territoire et sa culture dans le métaverse, Radio France, 9 janvier 2023, <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/affaire-en-cours/l-archipel-de-tuvalu-duplique-son-territoire-et-sa-culture-dans-le-metaverse-9138431>

Images

Affiche concert Jean-Michel Jarre 21 juin 2020

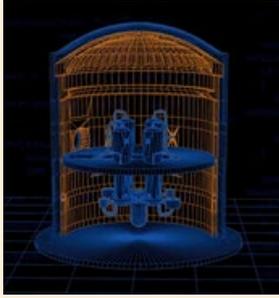
Le métavers industriel

Les jumeaux numériques sont des représentations synchronisées d'une entité ou d'un système existant [1][2]. En 2025, que ce soit sur des outils de production industrielle ou sur des équipements de pointe comme des sièges d'avion de chasse [3], des capteurs embarqués sur des dispositifs permettent de produire des données transmises vers un jumeau numérique. Les opérations de maintenance ou de remplacement peuvent ainsi faire l'objet d'une optimisation permettant l'économie de pièces et de main d'œuvre, tout en produisant des connaissances sur les comportements des dispositifs dans diverses situations [4]. Les industriels adaptent leurs lignes logistiques et de transport [5]. L'ingénierie et la conception deviennent de plus en plus immersives avec des casques de réalité virtuelle plus puissants [6].

En 2030 l'entretien du réseau ferré Français, majoritairement couvert par des capteurs envoyant quotidiennement des données relatives à l'état des voies, est programmé à partir de jumeaux numériques [7]. Des services d'aide à la décision ou des données relatives à l'usage des voies sont mises à disposition des différents services du gestionnaire et des compagnies ferroviaires. Le temps de travail dédié à la surveillance des voies est réduit.

En 2035, les EPR2 sont conçus nativement avec un jumeau numérique. Les capteurs placés dans la tuyauterie permettent le suivi de l'état des centrales nucléaires en continu et avec une intervention humaine minimale. Les capteurs couvrant les chaînes d'approvisionnement [8], les infrastructures, les réseaux [9], les flux logistiques [10] et centres de données [11] sont désormais souvent accompagnés d'objets connectés agissant sur l'entité réelle. Les informations et actions ne circulent plus simplement de l'entité réelle vers les jumeaux numériques, mais également dans le sens inverse. L'entité réelle peut donc être pilotée directement via le jumeau numérique.

En 2040, les jumeaux numériques commencent à être déployés dans le domaine de la santé [12]. La multiplication de capteurs externes et la consommation de gélules communicantes permettent la production de jumeaux numériques des patients. Ces jumeaux favorisent les dépistages, facilitent les diagnostics, et permettent la mise en place de traitements personnalisés ou prédictifs. L'existence d'un jumeau numérique est un standard de la bonne gestion des systèmes physiques, et les villes ne font pas exception. Les réseaux d'énergie et de transport, les flux de biens et de personnes tous sont jumelés afin de réguler en temps réel le système urbain [13-15].



Références

- [1] Voir la norme ISO 23247-1 de 2021 pour une définition exhaustive des jumeaux numériques.
- [2] Wright L. & Davidson S. 2020. "How to tell the difference between a model and a digital twin" *Adv. Model. and Simul. in Eng. Sci.* 7, 13.
- [3] James O., 2020. "Les avionneurs s'emparent du jumeau numérique" *L'Usine Nouvelle*, 24 avril 2020. <https://www.usinenouvelle.com/editorial/les-avionneurs-s-emparent-du-jumeau-numerique.N953846>
- [3] Thelen A. et al., 2022. "A comprehensive review of digital twin — part 1: modeling and twinning enabling technologies". *Structural and Multidisciplinary Optimization*, n°65, 354. <https://doi.org/10.1007/s00158-022-03425-4>
- [4] EY et Nokia, 2013. *The metaverse at work*, Juin 2023, p.12
- [5] McKinsey & Company, 2022. *Value creation in the metaverse*, p.38
- [6] <https://www.usine-digitale.fr/article/ces-2024-sony-presente-un-casque-de-realite-mixte-dedie-a-la-cao-en-partenariat-avec-siemens>
- [7] <https://www.sncf-reseau.com/fr/entreprise/newsroom/sujet/innovation-jumeau-numerique>
- [8] <https://media.renaultgroup.com/renault-group-lance-le-premier-metaverse-industriel/> à la collecte des données en masse, optimisation flux et stocks
- [9] Pour étudier le comportement d'une centrale, EDF modélise son « jumeau numérique », EDF : <https://youtu.be/O7bRiIPvuCU?si=Mrq7yxtzocEy-V59> : Exploitation. Voir également "GE Digital Twin, Analytic Engine for the Digital Power Plant", a White Paper by General Electric, 2016
- [10] Amazon Robotics Builds Digital Twins of Warehouses with NVIDIA Omniverse and Isaac Sim, Nvidia : <https://youtu.be/-VQLqs6s9y0?si=PPRRbljmXqWYtGqS> à jumeau numérique d'entrepôts
- [11] Building a data center digital twin in NVIDIA omniverse, NVIDIA : <https://youtu.be/gGg2wpzukPA?si=62o33HRI7Zf9Yv> à jumeau numérique de DC
- [12] Sun T, He X, Li Z. Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges. *Digit Health*. 2023 Jan 3;9:20552076221149651. doi: [10.1177/20552076221149651](https://doi.org/10.1177/20552076221149651)
- [13] AI and 6G into the Metaverse: Fundamentals, Challenges and Future Research Trends, Zawish et al, IEEE, 2021 à spatial computing
- [14] WhiteG. et al., 2021. "A digital twin smart city for citizen feedback" *Cities*, Vol.110, 103064.
- [15] The Smart Cultural City to leverage the Heritage: the Digital Twin experience : <https://www.interregeurope.eu/good-practices/the-smart-cultural-city-to-leverage-the-heritage-the-digital-twin-experience>

Images

- Pour étudier le comportement d'une centrale, EDF modélise son « jumeau numérique », EDF : <https://youtu.be/O7bRiIPvuCU?si=Mrq7yxtzocEy-V>
- EY et Nokia, 2013. *The metaverse at work*, Juin 2023, p.12
- Why digital twins will be the backbone of industry in the future, Siemens Knowledge Hub : <https://youtu.be/ObGhB9CCHP8?si=56nP9LH8Q0mx8GMG>

La pornographie immersive

2025: Augmentation des contenus vidéo 360° en ligne et équipement en casque VR

L'industrie pornographique investit de plus en plus dans la production de contenus immersifs en commençant par la distribution de vidéos 360° en ligne. Les revenus ont dépassé le milliard de dollars pour ces contenus [1], [2] soit une augmentation de 1506 % comparé à 2018. Alors que la VR représentait 5 % du marché en 2018 [3], elle représente à présent 10 %.

Une seconde de vidéo 360 à l'acquisition pèse environ 24 fois plus qu'une équivalente en 2D avec le format MPEG4. En 2020, la moyenne du temps de consommation des vidéos en ligne serait de 6 minutes [5]. Ainsi, en 2025, le poids des vidéos pornographiques en ligne augmente et demande une bande passante plus élevée qu'auparavant, et plus d'espace serveur. Les utilisateurs adoptent lentement les casques de réalité virtuelle en remplacement des écrans PC.

2030: Renforcement des contenus vidéo 360° et progression des contenus rendus en 3D temps réel

La pornographie immersive légale s'est démocratisée par sa capacité à provoquer une activation physiologique plus élevée que devant un écran 2D [6]–[8].

60 % des flux d'internet anciennement dédiés (estimés à 4 % du total [9]) sont substitués par des contenus immersifs impliquant plus de bande passante et plus d'espace sur les serveurs. Les vidéos 360° avec de réels acteurs de la fin des années 2010 [10] sont peu à peu remplacées par des avatars reproduisant les gestes des acteurs avec des rendus 3D hautement photoréalistes. Les utilisateurs adoptent de plus en plus les casques de réalité virtuelle en remplacement des écrans PC.

2040: Démocratisation de l'IoT dédié et de l'haptique, dimension sociale et IA générative

L'évolution des sex-toys connectés [11]–[13] et des équipements haptiques [14] produisent des données utilisées par la pornographie immersive [15] dont une partie est stockée pour améliorer les systèmes mais aussi suggérer de nouvelles expériences ou réaliser du marketing individualisé. Les casques de réalité virtuelle sont les terminaux principaux pour accéder à ces contenus.

Certaines applications proposent de rencontrer de vrais partenaires à travers leurs avatars [16], [17] dans des univers dédiés. Mais, de plus en plus de pornographie immersive est associée à de l'IA générative et du deepfake afin de produire à la volée des scénarios sauvegardés répondant aux divers fantasmes des utilisateurs [18].

Grâce à cette montée en gamme de la personnalisation et des stimulations possibles, la consommation moyenne de pornographie au moins une fois par mois a augmentée de 91.5 % (hommes) 60.2 % (femmes) en 2018 [19] à 95 % (hommes) 80 % (femmes) en 2040. Une population s'ennuyant de plus en plus [20] et avec un stress élevé motive également cette consommation. La bande passante et l'espace sur les serveurs dédiés ont explosé.

Références

[1] J. Booton, « Porn industry's billion-dollar new frontier », MarketWatch. Consulté le: 15 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.marketwatch.com/story/how-the-future-of-virtual-reality-depends-on-porn-2015-07-15>

[2] Market Research Engine, « Virtual-Reality Pornography Market by Regional Analysis - Global Forecast by 2022-2027 », Marketresearch. Consulté le: 15 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.marketresearchengine.com/virtual-reality-pornography-market>

- [3] D. Ng, « Porn industry gets a boost from VR, but manufacturers aren't thrilled », Los Angeles Times. Consulté le: 15 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.latimes.com/business/hollywood/la-fi-ct-virtual-reality-porn-20180105-story.html>
- [4] T.-W. Mi et M.-T. Yang, « Comparison of Tracking Techniques on 360-Degree Videos », *Appl. Sci.*, vol. 9, n° 16, Art. n° 16, janv. 2019, doi: 10.3390/app9163336.
- [5] M. Castleman, « How Much Time Does the World Spend Watching Porn? », Psychology Today. Consulté le: 15 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.psychologytoday.com/us/blog/all-about-sex/202010/how-much-time-does-the-world-spend-watching-porn>
- [6] J. W. B. Elsey, K. van Andel, R. B. Kater, I. M. Reints, et M. Spiering, « The impact of virtual reality versus 2D pornography on sexual arousal and presence », *Comput. Hum. Behav.*, vol. 97, p. 35-43, 2019, doi: 10.1016/j.chb.2019.02.031.
- [7] D. Rosenkjær, A. Pacey, R. Montgomerie, et A.-B. Skytte, « Effects of virtual reality erotica on ejaculate quality of sperm donors: a balanced and randomized controlled cross-over within-subjects trial », *Reprod. Biol. Endocrinol. RBE*, vol. 20, n° 1, p. 149, oct. 2022, doi: 10.1186/s12958-022-01021-1.
- [8] S. C. Simon et T. Greitemeyer, « The impact of immersion on the perception of pornography: A virtual reality study », *Comput. Hum. Behav.*, vol. 93, p. 141-148, avr. 2019, doi: 10.1016/j.chb.2018.12.018.
- [9] K. Buchholz, « Infographic: How Much of the Internet Consists of Porn? », Statista Daily Data. Consulté le: 12 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.statista.com/chart/16959/share-of-the-internet-that-is-porn>
- [10] S. Ashton, K. McDonald, et M. Kirkman, « What does 'pornography' mean in the digital age? Revisiting a definition for social science researchers », *Porn Stud.*, vol. 6, n° 2, p. 144-168, avr. 2019, doi: 10.1080/23268743.2018.1544096.
- [11] N. Döring et S. Pöschl, « Sex toys, sex dolls, sex robots: Our under-researched bed-fellows », *Sexologies*, vol. 27, n° 3, p. e51-e55, juill. 2018, doi: 10.1016/j.sexol.2018.05.009.
- [12] « Size of the global sex toy market 2016-2030 », Statista. Consulté le: 12 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.statista.com/statistics/587109/size-of-the-global-sex-toy-market/>
- [13] Z. Stardust, K. Albury, et J. Kennedy, « Sex tech entrepreneurs: Governing intimate data in start-up culture », *New Media Soc.*, p. 14614448231164408, avr. 2023, doi: 10.1177/14614448231164408.
- [14] M. Mello, M. Fusaro, G. Tieri, et S. M. Aglioti, « Wearing same- and opposite-sex virtual bodies and seeing them caressed in intimate areas », *Q. J. Exp. Psychol.*, vol. 75, n° 3, p. 461-474, mars 2022, doi: 10.1177/17470218211031557.
- [15] L. Evans, « Virtual Reality Pornography: a Review of Health-Related Opportunities and Challenges », *Curr. Sex. Health Rep.*, vol. 15, n° 1, p. 26-35, mars 2023, doi: 10.1007/s11930-022-00352-9.
- [16] A. D. Cheok et E. Y. Zhang, « Sex and a History of Sex Technologies », in *Human-Robot Intimate Relationships*, A. D. Cheok et E. Y. Zhang, Éd., in Human-Computer Interaction Series. , Cham: Springer International Publishing, 2019, p. 23-32. doi: 10.1007/978-3-319-94730-3_2.
- [17] A. Aleksandrovich et L. M. Gomes, « Shared multisensory sexual arousal in virtual reality (VR) environments », *Paladyn J. Behav. Robot.*, vol. 11, n° 1, p. 379-389, janv. 2020, doi: 10.1515/pjbr-2020-0018.
- [18] P. Pataranutaporn *et al.*, « AI-generated characters for supporting personalized learning and well-being », *Nat. Mach. Intell.*, vol. 3, n° 12, Art. n° 12, déc. 2021, doi: 10.1038/s42256-021-00417-9.
- [19] I. Solano, N. R. Eaton, et K. D. O'Leary, « Pornography Consumption, Modality and Function in a Large Internet Sample », *J. Sex Res.*, vol. 57, n° 1, p. 92-103, janv. 2020, doi: 10.1080/00224499.2018.1532488.
- [20] A. B. Moynihan, E. R. Igou, et W. A. P. van Tilburg, « Pornography consumption as existential escape from boredom », *Personal. Individ. Differ.*, vol. 198, p. 111802, nov. 2022, doi: 10.1016/j.paid.2022.111802.

Image

Immersive pron image caption : "Pink Supernova" © Death_Burger / Josan Gonzalez

Annexe 4 : Analyse bibliographique de la construction des offres de mondes virtuels

En complément des références listées en-dessous de chaque narratif (en « Annexe – « Cas d’usage » et narratifs »), ce tableau vise à référencer des études faisant part des cas d’usage étudiés, dans **différents corpus** parmi lesquels ceux des **produits industriels, marketing industrie, prédiction intelligence économique, culture, institutions, presse généraliste, recherche scientifique.**

Type d'offre	Type d'acteurs	Références justifiant ce type d'offres
Achats en ligne	Produits industrie	ByondXR. (2024). Metaverse Shopping Platform. ByondXR. https://www.byondxr.com/solutions/use-case/metaverse/ Semblance World. (2024). https://semblance.world/ Royex Metaverse. (2024). Metaverse Shopping App Development. Royex Metaverse. https://royexmetaverse.com/services/metaverse-services/metaverse-shopping-app/ Onversed fashion metaverse shop. (2022, décembre 18). Onversed. https://onversed.com/
Achats en ligne	Marketing industrie	Mutual Mobile. (2017). Walmart : Reimagining retail with virtual reality. Mutual Mobile. https://mutualmobile.com/ Accenture. (2022, novembre 29). Accenture metaverse shopping solutions for retailers. https://www.youtube.com/watch?v=IAT3qMYFLKI
Achats en ligne	Prédiction intelligence économique	Deloitte. (2022). Metaverse for The Future of Retail. Deloitte United States. https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/articles/metaverse-for-the-future-of-retail.html Standish, J., & Reddy, G. (2022). Retailers, meet me in the metaverse (Vision 2022). Accenture. https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/pdf/pdf-175/accenture-retail-tech-vision-final.pdf#zoom=40 Statista Market Insights. (2023). Metaverse eCommerce—Worldwide Statista Market Forecast. Statista. https://www.statista.com/outlook/amo/metaverse/metaverse-ecommerce/worldwide
Achats en ligne	Culture	Matsuda, K. (Réalisateur). (2016, mai 16). Hyper-Reality [Court-métrage, Science-fiction]. Spielberg, S. (Réalisateur). (2018, mars 28). Ready Player One [Action, Aventure, Science-fiction]. Warner Bros., Amblin Entertainment, Village Roadshow Pictures
Achats en ligne	Institutions	Niestadt, M. (2023). Virtual worlds (metaverses) (At a Glance PE 751.408). European Parliament - Think Tank. https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_ATA(2023)751408

Achats en ligne	Presse généraliste	Murphy, H., & Lee, D. (2022, février 23). Retailers seek real-world profits in the metaverse. https://www.ft.com/content/ed66a2a0-dfe6-41e9-9d09-64b71acc5e50 Dogadkina, O. (2022, octobre 14). Why Retailers Are Racing To Have A Metaverse Presence. Forbes. https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2022/10/14/why-retailers-are-racing-to-have-a-metaverse-presence/ Huang, M. (2016, novembre 10). Alibaba Offers Virtual-Reality Shopping on Singles' Day. Wall Street Journal Video. https://www.wsj.com/video/alibaba-offers-virtual-reality-shopping-on-singles-day/8D484747-9555-4AFA-810B-596E2D684587
Achats en ligne	Recherche scientifique	Yoo, K., Welden, R., Hewett, K., & Haenlein, M. (2023). The merchants of meta : A research agenda to understand the future of retailing in the metaverse. Journal of Retailing, 99(2), 173-192. https://doi.org/10.1016/j.jretai.2023.02.002
Réunions et conférences en ligne	Produits industrie	Lang, B. (2021, août 31). 27 VR Apps for Remote Work, Education, Training, Design Review, and More. Road to VR. https://www.roadtovr.com/vr-apps-work-from-home-remote-office-design-review-training-education-cad-telepresence-wfh/
Réunions et conférences en ligne	Marketing industrie	Langston, J. (2021, mars 2). Microsoft Mesh. Microsoft. https://news.microsoft.com/source/features/innovation/microsoft-mesh/ Apple Vision Pro. (2023, juin 5). Apple Newsroom (France). https://www.apple.com/fr/newsroom/2023/06/introducing-apple-vision-pro/ Remote Work in the Metaverse. (2024). Workplace from Meta. https://www.workplace.com/metaverse-work-infinite-office HTC VIVE (Réalisateur). (2022, février 27). VIVERSE - A Day in the Metaverse with VR, AR, AI, 5G & NFTs. https://www.youtube.com/watch?v=4FISqGq5XEg
Réunions et conférences en ligne	Prédiction intelligence économique	Virtual Meeting Software Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis (FBI104064; p. 160). (2019). Fortune Business Insights. https://www.fortunebusinessinsights.com/virtual-meeting-software-3d-virtual-event-market-104064 Statista Market Insights. (2023, octobre). Metaverse Workplace—Worldwide. Statista. https://www.statista.com/outlook/amo/metaverse/metaverse-workplace/worldwide
Réunions et conférences en ligne	Culture	Gibson, W. (1984). Neuromancer (1 ^{re} éd.). Ace. Vaughn, M. (Réalisateur). (2015, février 13). Kingsman : The Secret Service [Action, Adventure, Comedy]. Twentieth Century Fox, Marv Films, Cloudy Productions.
Réunions et conférences en ligne	Institutions	Niestadt, M. (2023). Virtual worlds (metaverses) (At a Glance PE 751.408). European Parliament - Think Tank. https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_ATA(2023)751408
Réunions et conférences en ligne	Presse généraliste	Doherty, B. (2024, janvier 3). Can AR and VR finally disrupt the exhausting culture of video meetings? BBC. https://www.bbc.com/worklife/article/20240125-can-ar-and-vr-finally-disrupt-the-exhausting-culture-of-video-meetings Isaac, M. (2021, août 19). Facebook's New Bet on Virtual Reality : Conference Rooms. The New York Times. https://www.nytimes.com/2021/08/19/technology/facebooks-new-bet-on-virtual-reality-conference-rooms.html
Réunions et conférences en ligne	Recherche scientifique	Park, H., Ahn, D., & Lee, J. (2023). Towards a Metaverse Workspace : Opportunities, Challenges, and Design Implications. Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1-20. https://doi.org/10.1145/3544548.3581306
Jeux vidéo	Produits industrie	List of augmented reality video games. (2024). In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_augmented_reality_video_games&oldid=1194912058 List of VR games. (2023, septembre 21). PCGamingWiki. https://www.pcgamingwiki.com/wiki/List_of_VR_games
Jeux vidéo	Marketing industrie	Meta (Réalisateur). (2021, octobre 28). Gaming in the metaverse. https://www.youtube.com/watch?v=5FwztKGQmd8

		Steam (Réalisateur). (2023, décembre 5). Steam Link : Play Steam VR games on Meta Quest 2, 3, and Pro. https://www.youtube.com/watch?v=wYJwxsRhPrY
Jeux vidéo	Prédiction intelligence économique	Metaverse Gaming. (2023, octobre). Statista. https://www.statista.com/outlook/amo/metaverse/metaverse-gaming/worldwide Porter, S., Harrison, J., Ang, A., Golik, R., & Gupta, S. (2022). What's possible for the gaming industry in the next dimension? (Survey US SCORE no. 15854-221US ED 2204; p. 15). Ernst & Young. https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_us/topics/tmt/ey-tmt-gaming-metaverse-report-final.pdf?download Bloomberg Intelligence. (2021, décembre 1). Metaverse may be \$800 billion market, next tech platform Insights. Bloomberg Professional Services. https://www.bloomberg.com/professional/blog/metaverse-may-be-800-billion-market-next-tech-platform/
Jeux vidéo	Culture	Lisberger, S. (Réalisateur). (1982, décembre 15). Tron [Action, Aventure, Science-fiction]. Walt Disney Productions, Lisberger/Kushner. Pyun, A. (Réalisateur). (1994, mars 30). Arcade [Science-fiction]. Full Moon Entertainment. Dietter, S. (Réalisateur). (2000, mars 19). A Bicyclops Built for Two (9). In Futurama—Season 2. Oshii, M. (Réalisateur). (2002, mars 27). Avalon [Action, Drame, Fantastique]. Deiz Production, Bandai Visual Company, Media Factory. Kawahara, R. (2012). Sword Art Online (ソードアート・オンライン) : Arc 1—Aincrad (1 ^{re} éd., Vol. 1). Kadokawa. Cline, E. (2011). Ready Player One (1 ^{re} éd.). Crown Publishers.
Jeux vidéo	Institutions	On E-sport and videogames : Motion for a resolution (Draft Repport PE731.488v01-00; p. 10). (2022). European Parliament - Committee on Culture and Education. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/CULT-PR-731488_EN.pdf
Jeux vidéo	Presse généraliste	Marr, B. (2023, juillet 11). Two Technology Trends Shaping The Future Of Gaming. Forbes. https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2023/07/11/two-technology-trends-shaping-the-future-of-gaming/ The video-game industry has metaverse ambitions, too. (2021, novembre 17). The Economist. https://www.economist.com/business/the-video-game-industry-has-metaverse-ambitions-too/21806341?utm_medium=cpc.adword.pd&utm_source=google&ppccampaignID=18151738051&ppcadID=&utm_campaign=a.22brand_pmax&utm_content=conversion.direct-response.anonymous&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA5rGuBhCnARIsAN11vgSNRPJrcyGloI8m8y_DpqDda8jFyW5ZqU8rw3ZL8rn9PftMDYdSYmkaAhGPEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
Jeux vidéo	Recherche scientifique	Gil, R. M., Gutiérrez-Ujaque, D., & Teixidó, M. (2023). Analyzing the Metaverse : Computer Games, Blockchain, and 21st-Century Challenge. International Journal of Human-Computer Interaction, 0(0), 1-18. https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2290380
Expériences culturelles	Produits industrie	Slice XR - Business in the Metaverse (Réalisateur). (2023, mars 23). 10 striking museums in the metaverse 2023. https://www.youtube.com/watch?v=4rN1-wNBk1w
Expériences culturelles	Marketing industrie	HTC VIVE (Réalisateur). (2022, février 27). VIVERSE - A Day in the Metaverse with VR, AR, AI, 5G & NFTs. https://www.youtube.com/watch?v=4FISqGq5XEg Meta (Réalisateur). (2023, février 2). LGBTQ+ VR Museum—Meta—Community Voices. https://www.youtube.com/watch?v=w8bnCaFmoaM
Expériences culturelles	Prédiction intelligence économique	
Expériences culturelles	Culture	

Expériences culturelles	Institutions	UK Research and Innovation. (2022, octobre 11). National capability for R&D in screen and performance. https://www.ukri.org/opportunity/national-capability-for-rd-in-screen-and-performance/ European Commission. (2022). Horizon Europe Work Programme 2023-2024 : 5. Culture, Creativity and Inclusive Society [Decision C(2022)7550]. https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2023-2024/wp-5-culture-creativity-and-inclusive-society_horizon-2023-2024_en.pdf Ministère de la culture. (2024). Appel à projets France 2030 Culture immersive et métavers. https://www.culture.gouv.fr/Aides-demarches/Appels-a-projets-partenaires/Appel-a-projets-France-2030-Culture-immersive-et-metavers
Expériences culturelles	Presse généraliste	Meta Future (Réalisateur). (2022, août 28). Museums Of The Future in The Metaverse. https://www.youtube.com/watch?v=AJY4QGg5LSA Carter, R. (2023, mars 21). Why Are Museums Curating Their Content in the Metaverse? XR Today. https://www.xrtoday.com/mixed-reality/why-are-museums-curating-their-content-in-the-metaverse/
Expériences culturelles	Recherche scientifique	Sylaiou, S., Dafiotis, P., Koukopoulos, D., Koukoulis, K., Vital, R., Antoniou, A., & Fidas, Chr. (2024). From physical to virtual art exhibitions and beyond : Survey and some issues for consideration for the metaverse. Journal of Cultural Heritage, 66, 86-98. https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.11.002
Jumeaux numériques	Produits industriels	Marr, B. (2022, janvier 20). The Best Examples Of Digital Twins Everyone Should Know About. Forbes. https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2022/06/20/the-best-examples-of-digital-twins-everyone-should-know-about/
Jumeaux numériques	Marketing industriel	Virtual Twins, Digital Twins and the Metaverse. (2022, octobre 14). Dassault Systèmes. https://www.3ds.com/virtual-twin/digital-twins-and-metaverse Siemens. (2024). Digital Twins : First Strides Into the Industrial Metaverse [fw_Inspiring]. Siemens.Com Global Website. https://www.siemens.com/global/en/company/digital-transformation/industrial-metaverse/digital-twins-first-strides-into-the-industrial-metaverse.html
Jumeaux numériques	Prédiction intelligence économique	Digital Twin Market Size 2030 Technology & Metaverse Use Cases (Industry Report and Statistics 80848645). (2022). Strategic Market Research. https://www.strategicmarketresearch.com/market-report/digital-twin-market
Jumeaux numériques	Culture	Wachowski, L., & Wachowski, L. (Réalisateurs). (1999, mars 31). The Matrix [Action, Sci-Fi]. Warner Bros., Village Roadshow Pictures, Groucho Film Partnership.
Jumeaux numériques	Institutions	European Union. (2023, décembre 20). European Virtual Human Twins Initiative. Digital-Strategy.Ec.Europa.Eu. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/virtual-human-twins
Jumeaux numériques	Presse généraliste	Marr, B. (2023, mai 23). Digital Twins, Generative AI, And The Metaverse. Forbes. https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2023/05/23/digital-twins-generative-ai-and-the-metaverse/ Carlini, S. (2023, mars 29). The Industrial Digital Twin Metaverse Of Today And Its Path To The Future. Forbes. https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2023/03/29/the-industrial-digital-twin-metaverse-of-today-and-its-path-to-the-future/
Jumeaux numériques	Recherche scientifique	Lyu, Z., & Fridenfolk, M. (2023). Digital twins for building industrial metaverse. Journal of Advanced Research. https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.11.019
Pornographie	Produits industriels	18 Best VR Porn Sites : Full-Length VR Porn and VR Sex Videos. (2024, février 5). Chicago Reader. http://chicagoreader.com/reader-partners/best-vr-porn-sites/
Pornographie	Marketing industriel	BBC (Réalisateur). (2023, octobre 29). Love, Sex and Porn in VR - BBC. https://www.youtube.com/watch?v=OHnYi8BDxwg BEME News (Réalisateur). (2017, décembre 8). Is This The Future Of Porn? https://www.youtube.com/watch?v=T-Ct6wQlnas

Pornographie	Prédiction intelligence économique	<p>Boaton, J. (2015, juillet 26). Porn industry's billion-dollar new frontier. MarketWatch. https://www.marketwatch.com/story/how-the-future-of-virtual-reality-depends-on-porn-2015-07-15</p> <p>Market Research Engine. (2017, novembre 20). Virtual-Reality Pornography Market by Regional Analysis—Global Forecast by 2022-2027 [Text]. Marketresearch. https://www.marketresearchengine.com/virtual-reality-pornography-market</p>
Pornographie	Culture	<p>Compton, R. (Réalisateur). (1998, juin 22). Virtual Slide. In Sliders, les mondes parallèles.</p> <p>Dietter, S. (Réalisateur). (2000, mars 19). A Bicyclops Built for Two (9). In Futurama—Season 2.</p> <p>Anthony, P. (2013). Eroma (1^e éd.). Premier Digital Publishing.</p> <p>MacGregor, & Zacarías, B. (Réalisateurs). (2018, février 14). The VR Shrine. In Future Sex.</p> <p>VR Porn. (2019, février 4). In Slutever.</p> <p>Harris, O. (Réalisateur). (2019, juin 5). Striking Vipers. In Black Mirror.</p>
Pornographie	Institutions	<p>Galissaire, J., Isaac, H., & Lucas, J.-F. (2023). Governing the Metaverse and tomorrow's internet. Renaissance Numérique. https://www.renaissancenumerique.org/en/publications/governing-the-metaverse-and-tomorrows-internet/</p>
Pornographie	Presse généraliste	<p>Krueger, A. (2017, octobre 28). Virtual Reality Gets Naughty. The New York Times. https://www.nytimes.com/2017/10/28/style/virtual-reality-porn.html</p> <p>Ng, D. (2018, janvier 5). Porn industry gets a boost from VR, but manufacturers aren't thrilled. Los Angeles Times. https://www.latimes.com/business/hollywood/la-fi-ct-virtual-reality-porn-20180105-story.html</p> <p>Waugh, R. (2023, novembre 19). VR expert reveals how « metaverse sex » will replace porn apps and websites in 10 years. Mail Online. https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-12752499/VR-metaverse-sex-replace-porn-apps.html</p>
Pornographie	Recherche scientifique	<p>Simon, S. C., & Greitemeyer, T. (2019). The impact of immersion on the perception of pornography: A virtual reality study. Computers in Human Behavior, 93, 141-148. https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.12.018</p>

Tableau 2 - Références aux cas d'usage étudiés dans différents corpus parmi lesquels ceux des produits industriels, marketing industrie, prédiction intelligence économique, culture, institutions, presse généraliste, recherche scientifique

Annexe 5 : Directions technologiques et maturité technologique des mondes virtuels

Dans le chapitre Approche des mondes virtuels par directions technologiques, une caractérisation des mondes virtuels pour le cadre de cette étude est fixée : est considéré comme un monde virtuel, toute application ou service présentant tout ou partie des caractéristiques suivantes **à des degrés divers** : coexistence physique et numérique, immersion, simultanéité, localisation, persistance, virtualisation et remplissage, commercialisation et taille.

Cette approche est inspirée de la publication « A metaverse maturity model » (Weinberger M. & Gross D., 2023), dans laquelle, en complément des caractéristiques, est proposée une échelle normée de « niveau de maturité » pour chaque caractéristique.

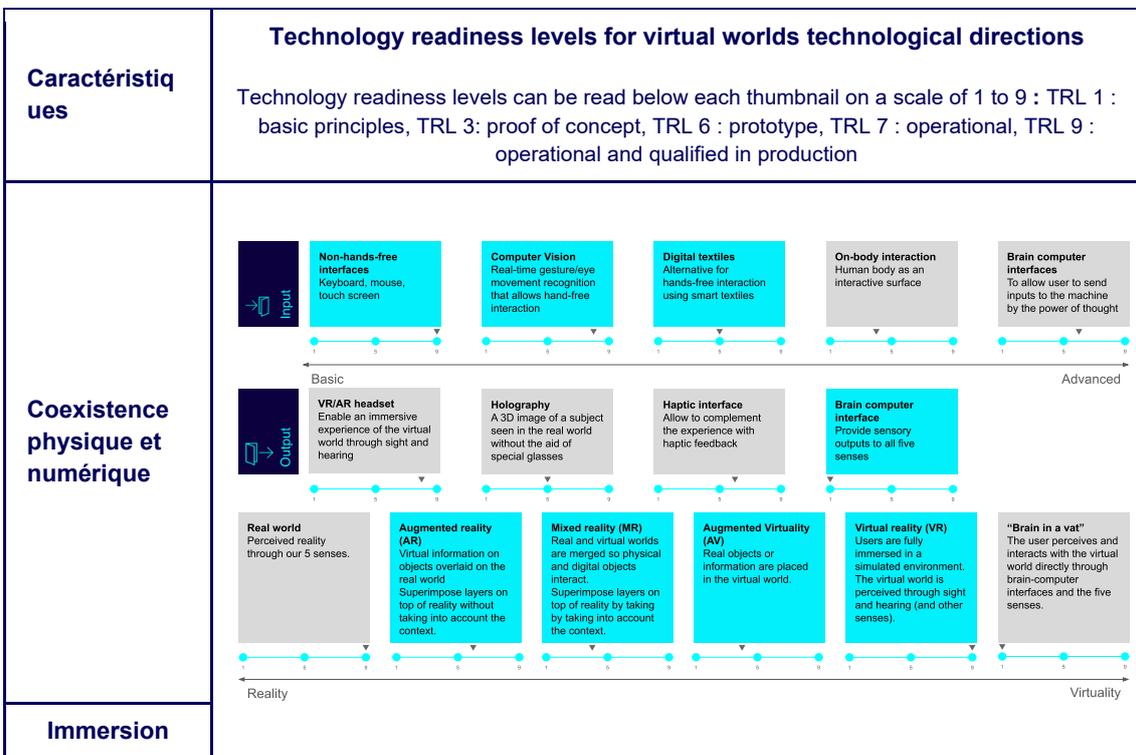
C'est ce que sous-entend dans notre caractérisation le « à des degrés divers ». La figure suivante (Figure 12) reprend l'échelle de Weinberger, là où la table plus-bas (Tableau 7) reprend les éléments d'une analyse par Technology Readiness Level (TRL) de « The metaverse beyond fantasy. Synthetic world, real economy, » (Arthur D Little, 2022a). Dans le cadre de ce rapport, n'est pas proposée une échelle de notation ou de maturité pour les mondes virtuels. L'échelle appropriée à la mise en valeur de nos travaux n'étant pas par niveau de maturité mais plutôt par quantité d'énergie ou d'émissions de gaz à effets de serre. Le cadre d'analyse mis en place par Pirson et al sur les produits d'IoT permettant de mener de façon paramétrique les analyses quantifiées (avec la définition de niveaux selon les blocs fonctionnels et les profils de matériels IoT) pourrait renforcer le cadre mis en place dans le cadre de ce rapport pour l'étude d' (Pirson T., Bol D., 2021).

Core Attribute	Maturity Levels				
	1	2	3	4	5
Persistence	turn-based; no persistence; resets are normal	persistent online-platform; not turn-based; continuously online and accessible; planned resets, respawns and updates occur sometimes	persistent virtual world, continuously online; entering or leaving has no impact on the world; no resets; partly not persistent	Large parts of the virtual world are fully persistent; some exceptions exist	Fully persistent virtual world - no exceptions
Synchronicity	Not an online world; no real-time interaction	Live interaction with a limited number of users in a limited space (e. g. lobby)	Live interaction with all users in the virtual world, but limited to regions of the physical world	Live interaction with all users in the virtual world; worldwide; sometimes exceptions with increasing latency or pausing	Whole virtual world is accessible in real time; live communication and interaction; worldwide

Scalability	Up to 10 users simultaneously	Up to 250 users simultaneously	Up to 1000 users simultaneously	Up to 10,000 users simultaneously	No limit
Physical and digital coexistence	No connection to the physical world, except for screen and controller-based means to control an avatar.	One interface, e. g. VR or virtual currency tradable for fiat money	Additional interfaces, several interfaces	Generic changes in the physical world influences virtual world and vice versa	physical and virtual worlds are continuously interfacing
Interoperability	No interoperability; prohibitive	One component, e. g. avatar or asset transferable	Several components transferable	Interoperability with several other virtual worlds	Interoperability with all other virtual worlds

User-generated content (UGC)	No UGC is possible. UGC is not in vendors focus.	Users have very limited possibilities to change the virtual world. UGC is not in vendors' focus.	UGC plays an important role. Users can create worlds or spaces, assets, etc.	UGC is possible in a large variety and complexity; UGC can be monetized	Virtual world depends heavily on UGC. The world has to be created by users building on a given base environment. Everything can be monetized.
Economy	No economy; in-app purchases available	virtual economy with virtual currency; fiat money can be exchanged for virtual currency	virtual economy; free self-regulating market (supply and demand); fiat money purchases	virtual economy; free self-regulating market (supply and demand); virtual jobs and services can generate physical world income	Fully developed economy; self-regulating markets; virtual economy blending with physical world economy
Immersive realism	Hardly any feeling of immersion; text chats; avatars without facial expressions	Little immersive experience; avatars provide feeling of individual presence; user can act freely; voice chat	Individual avatars with facial expressions and gesture; voice chat; VR; 3D audio; motion tracking; individual social presence for all users	Including haptic feedback; high-end VR	High level of realism perfectly serving all human senses; creates an immediate immersive experience; hardly distinguishable from the physical world

Figure 4 - Table 3 de « A metaverse maturity model » (Weinberger M. & Gross D., 2023)



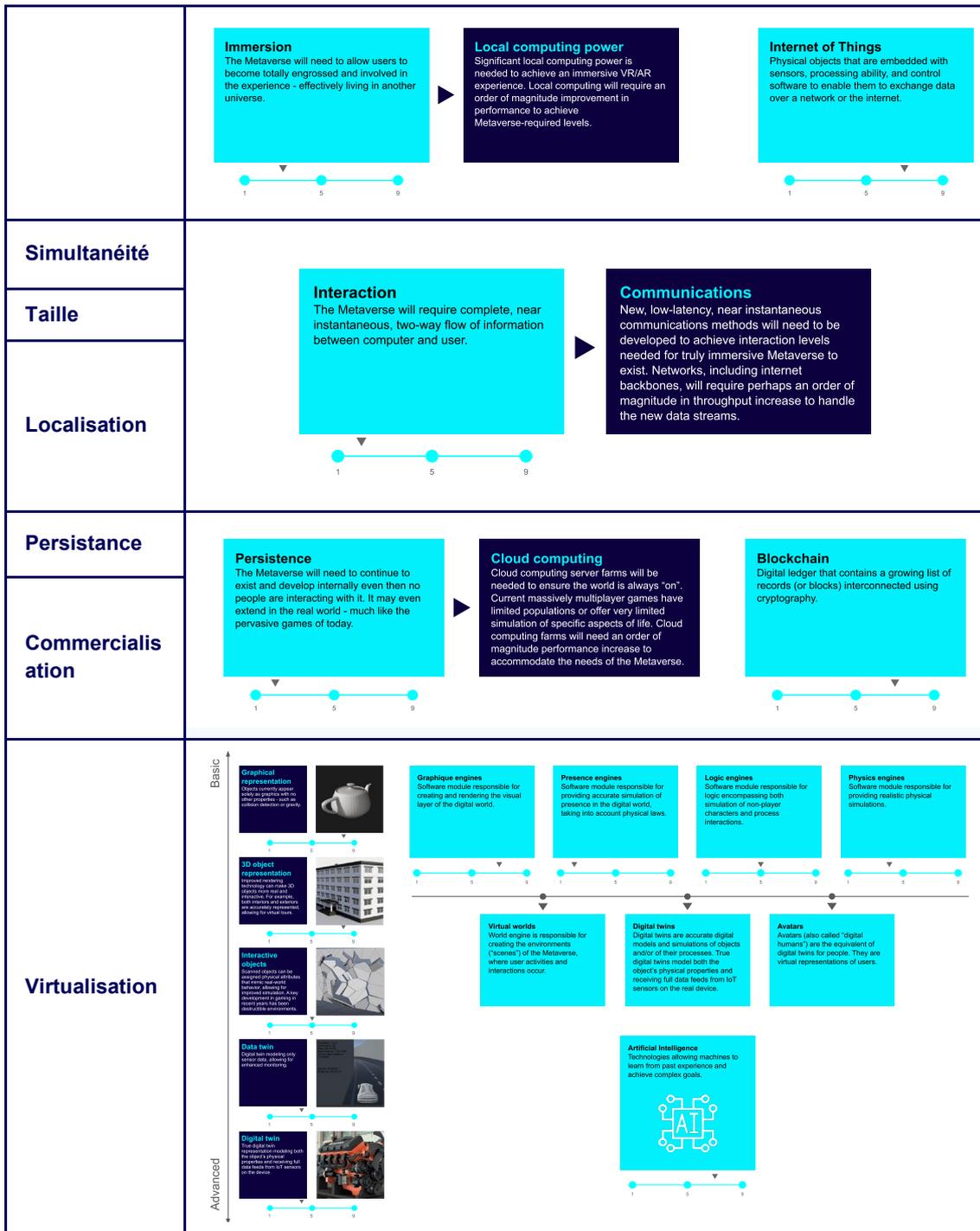


Tableau 3 - Niveaux de maturité technologique (TRL) actuels par directions technologiques des mondes virtuels (Tableau 1)

Source : Mise en forme *The Shift Project* dans le cadre de ce rapport, à partir des analyses du rapport « *The metaverse beyond fantasy. Synthetic world, real economy,* ». Figures 12 à 17 (Arthur D Little, 2022a)

Annexe 6 : Quantification de l'impact énergie-climat d'un déploiement indifférencié et d'une adoption généralisée des mondes virtuels : scénario Méta-métavers

Les données d'entrées et hypothèses du scénario Meta-métavers telles que décrites dans le chapitre : « Quantification de l'impact énergie-climat d'un déploiement indifférencié et d'une adoption généralisée des mondes virtuels » sont listées ici et évaluées dans le fichier de calcul (The Shift Project, 2024c).

Consumer devices	Meta-métavers	
VR headsets	CAGR 2023-2030	Summary
Devices Production (in millions of units)	61%	Compliant from connected devices (Gartner, 2022), with hypothesis of 2-years life duration (Statista Research Department, 2023b; Wikipédia, 2024b)
Production GHG Intensity (in kgCO ₂ e/unit)	7%	VR headset, OLED, battery, integrated computing (CEPIR, 2023)
Production Energy Intensity (in kWh/unit)	7%	Same hypothesis as production GHG intensity
Connected Devices (in millions of units)	36%	By 2026, 25% of people will spend at least 1h per day in the metaverse (Gartner, 2022), hypothesis to postpone to 2030
Connected Devices Unitary Elec. Cons. (in kwh/year)	3,6%	VR headset, OLED, battery, integrated computing (CEPIR, 2023)

Consumer devices	Meta-métavers	
IOT	CAGR 2023-2030	Summary
Devices Production (in millions of units)	24%	CAGR is 2% higher than for the Conservative scenario to model an increased need for real / virtual communication
Production GHG Intensity (in kgCO ₂ e/unit)	40% / 35%	Production GHG/energy intensity increase (Pirson T., Bol D., 2021) (entanglement of physical and virtual words thanks to IOT modules, the

Production Energy Intensity (in kWh/unit)	35%	carbon footprint of each module is rising) - except 40% for 2023-2025 period
Connected Devices (in millions of units)	20%	CAGR is 3% higher than for the Conservative scenario to model an increased need for real / virtual communication
Connected Devices Unitary Elec. Cons. (in kWh/year)	-2%	CAGR is 3% higher than for the Conservative scenario to model the intelligence gain in the IOT modules

Consumer devices	Meta-métavers	
IP cameras	CAGR 2023-2030	Summary
Devices Production (in millions of units)	28%	CAGR is 2% higher than for the Conservative scenario to model an increased need for real / virtual communication (expert advice based on (Allied Market Research, 2023))
Production GHG Intensity (in kgCO ₂ e/unit)	2%	CAGR conservative kept (expert advice based on (Allied Market Research, 2023))
Production Energy Intensity (in kWh/unit)	3%	CAGR conservative kept (expert advice based on (Allied Market Research, 2023))
Connected Devices (in millions of units)	25% / 30%	CAGR of the Conservative scenario is increased by 5% (2023-2025) and then 5% (2025-2030) to model virtual/real communication entanglement (expert advice based on (Allied Market Research, 2023))
Connected Devices Unitary Elec. Cons. (in kWh/year)	2% / 4%	CAGR of the Conservative scenario is increased by 2% (2023-2025) and then 2% (2025-2030) to model virtual/real communication entanglement (expert advice based on (Allied Market Research, 2023))

Networks and data centers	Meta-métavers	
	CAGR 2023-2030	Summary
Traffic fixed wired (EB)	29%	By 2026, 25% of people will spend at least 1h per day in the metaverse (Gartner, 2022), hypothesis to postpone to 2030
Traffic fixed wifi (EB)	35%	
Traffic mobile (EB)	37%	Hypothesis : Users substitute 1h of VOD by 1h of metaverse Peak traffic speed downlink : 50 Mbps (Ericsson, 2023)
Traffic Hyperscale (EB)	30%	Hypothesis : data allocation to fixe wired, wi-fi, mobile : 1/3, 1/3, 1/3
Traffic Others (EB)	25%	Consolidation between : vision of computation power and computational efficiency increase (Intel, 2021): hypothesis to x2.5 data center electrical consumption 2023-2030 ; traffic increase higher for hyperscale than edge (DatacenterDynamics, 2023; Synergy Research Group, 2023)

Tableau 4 - Données d'entrées et hypothèses pour le scénario Méta-Métavers

Ont aussi été utilisés pour comparaison et consolidation : (ABI Research, 2023; ADEME & Arcep, 2023; Amazon Web Services, 2018; Andrae A., 2017; Cisco, 2020, p. 2; DatacenterDynamics, 2023; IEA 4E EDNA, 2019; Instant gaming, 2024; Iphonote, 2020; ITU, s. d., 2022; Oko Institute, 2016; Pirson T., 2022; Schneider Electric, Energy Management Research Center, 2023; Statista Research Department, 2023a, 2023c, 2023d; Synergy Research Group, 2023; United Nations, s. d.).

La table suivante indique les caractéristiques prises en compte dans le calcul de la généralisation des mondes virtuels :

Consumer devices	Immer sion	Coexistence physique et numérique	Simulta néité	Localisa tion	Utilisation au pic	Persista nce	Virtualisation et remplissage	Commerciali sation	Taille critique requise
VR headsets									
Devices Production									x

Production GHG Intensity	x						x		
Production Energy Intensity	x						x		
Connected Devices									x
Connected Devices Unitary Elec. Cons.	x						x		
Consumer devices IOT modules et IP cameras	Immersion	Coexistence physique et numérique	Simultanéité	Localisation	Utilisation au pic	Persistance	Virtualisation et remplissage	Commercialisation	Taille critique requise
Devices Production									x
Production GHG Intensity		x					x		
Production Energy Intensity		x					x		
Connected Devices									x
Connected Devices Unitary Elec. Cons.		x					x		
Networks and data centers	Immersion	Coexistence physique et numérique	Simultanéité	Localisation	Utilisation au pic	Persistance	Virtualisation et remplissage	Commercialisation	Taille critique requise
Traffic fixed wired			x		x		x		
Traffic fixed wifi			x		x		x		
Traffic mobile			x	x	x		x		
Traffic Hyperscale						x	x	x	
Traffic Others						x	x	x	

Tableau 5 - Correspondance entre les paramètres du scénario Méta-métavers et les directions technologiques (Table 1)

De plus, les scénarios « Conservative » et « Growth » ont été prolongés avec une mise à jour d'hypothèses. Le modèle « Lean ICT » est disponible ici : (The Shift Project, 2024b).

Consumer devices	Conservative	
VR headsets	CAGR 2019-2025	CAGR 2025-2030
Devices Production (in millions of units)	67%	30%
Connected Devices (in millions of units)	40%	11%
Smartphones	CAGR 2019-2025	CAGR 2025-2030
Devices Production (in millions of units)	3,5%	2%
Connected Devices (in millions of units)	7%	5%
Smart speakers	Conservative, Growth	
	CAGR 2023-2023	CAGR 2025-2030
Connected Devices (in millions of units)	40%	20%

Networks and data centers	Conservative	
	CAGR 2019-2025	CAGR 2025-2030
Traffic fixed wired (EB)	15%	9%

Traffic fixed wifi (EB)	31%	13%
Traffic mobile (EB)	37%	23%
Traffic fixed wired (TWh/EB)	-22%	-16%
Traffic fixed wifi (TWh/EB)	-22%	-16%
Traffic mobile (TWh/EB)	-20%	-15%
Networks and data centers	Growth	
	CAGR 2019-2025	CAGR 2025-2030
Traffic fixed wired (TWh/EB)	-22%	-18%
Traffic fixed wifi (TWh/EB)	-22%	-18%
Traffic mobile (TWh/EB)	-20%	-22%

Tableau 6 - Mise à jour des données d'entrées et hypothèses pour le scénario Conservatif et Growth en complément de la scénarisation (The Shift Project, 2021)

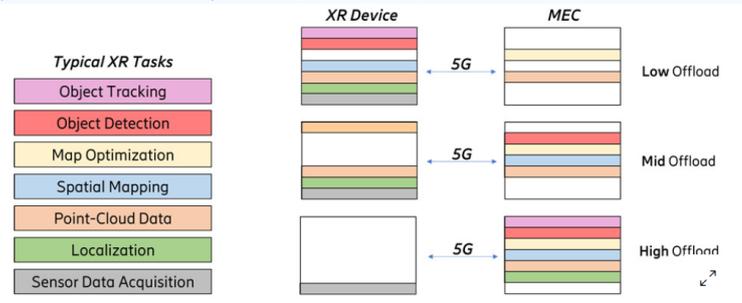
Le scénario *Méta-métavers* se situe au-delà du scénario *Tendanciel* parmi les scénarios ADEME-Arcep à 2030 :

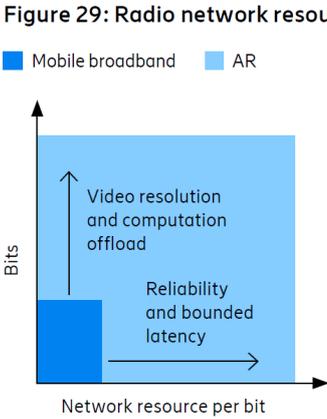
	Méta-métavers - monde	ADEME-Arcep - France, scénario tendanciel 2030
Consumer devices - Tier 1 : VR headsets	CAGR 2023-2030	CAGR 2020-2030
Connected Devices (in millions of units)	36%	37.4% until 2025 / 9.9% then
Consumer devices - Tier 1 : IOT modules		
Connected Devices (in millions of units)	20%	12%
Networks - Tier 2		
Traffic fixed wired (EB)	29%	20%
Traffic fixed wifi (EB)	35%	
Traffic mobile (EB)	37%	
Data centers - Tier 3		
Traffic Hyperscale (EB)	30%	[4%; 8%] in surface area
Traffic Others (EB)	25%	
Electricity consumption (TWh)	Hyperscale : 16%	Commercial data centers : 5.62 in 2020, 13.4 in 2030
Electricity consumption (TWh)	Others : 13%	Edge : 0 TWh in 2020, 1.62 TWh in 2030

Tableau 7 - Comparaison du scénario Méta-métavers (The Shift Project, 2024d) avec le scénario Tendanciel (ADEME & Arcep, 2023)

Annexe 7 : Quantification des pressions exercées par les mondes virtuels sur l'infrastructure réseaux (mobiles)

Ont été rassemblés des indicateurs (de différents acteurs) caractérisant les spécifications réseaux qui seraient requises pour un déploiement de mondes virtuels :

Données d'entrées	Description
<p>Débits descendants</p>	<p>Dispositifs réalité augmentée en mobilité et calculs déportés : 50 Mbps en vitesse maximale du trafic <i>Source : (Ericsson, 2023)</i></p> <p>VR streaming : 17 Mbps ; HD VR : 167 Mbps ; UHD VR : 500 Mbps ; UHD cameras (security) : 16 Mbps ; Cloud gaming : 30 Mbps <i>Source : (Cisco, 2020)</i></p> <p>Réalité virtuelle : 30 Mbps (pour un flux codé H.264 2K) - 800 Mbps (pour un flux codé H.266 8K) <i>Source : (Ericsson, 2022; GSMA, 2019)</i></p> <p>Réalité augmentée : selon les tâches qui sont reportées sur le edge cloud (schéma ci-dessous), 20 Mbps – 80 Mbps</p>  <p><i>Figure 3 : Illustration des scénarios de déchargement faible, moyen et élevé entre les dispositifs de réalité augmentée et un cloud périphérique pour une exécution typique de tâche de calcul de réalité augmentée (modifié à partir de la source).</i></p> <p><i>Source : (Ericsson, 2022)</i></p>

	<p>Cloud gaming : 10 Mbps (720p) à 35 Mbps (4K) <i>Source : (Wikipédia, 2024a)</i></p> <p>Jeux vidéo : 10 kbps Peu de données sont échangées : positions des objets, actions (utilisation d'algorithmes locaux pour assurer cohérence entre joueurs) <i>Source : Audition</i></p> <p>Remarque : Les débits sont fonction des choix d'architecture technique : toutes les informations transitent-elles sur les réseaux ? (illustration : WebGPU vs pixel streaming) <i>Source : Audition</i></p>
<p>Débits montants</p>	<p>Dispositifs réalité augmentée en mobilité et calculs déportés : 10 Mbps en vitesse maximale du trafic <i>Source : (Ericsson, 2023)</i></p> <p>Réalité augmentée : selon les tâches qui sont déchargées sur le edge cloud, 10 Mbps – 40 Mbps <i>Source : (Ericsson, 2022)</i></p> <p>Réalité virtuelle : < 2 Mbps (seule l'orientation du visiocasque, commandes via gants haptiques sont transmises) <i>Source : (Ericsson, 2022)</i></p> <p>Cloud gaming : 500 kbps <i>Source : Audition</i></p>
<p>Latence (et fiabilité)</p>	<p>Dispositifs réalité augmentée en mobilité et calculs déportés : la consommation unitaire (par bit) de ressources est 4 fois supérieure à de la vidéo en haute résolution.</p> <p>Figure 29: Radio network resource consumption (busy hour)</p>  <p>Stringent delay requirements (bounded latency) and limited packet loss (high reliability) are needed for emerging real-time applications such as AR. This can be achieved by adopting more conservative operating parameters in the RAN, in essence, using more network resource to deliver a given amount of traffic. Additionally, an AR user will consume more bits.</p> <p><i>Source : (Ericsson, 2023)</i></p> <p>Réalité virtuelle : projection des images en 20 ms (idéalement moins de 10 ms) pour éviter des symptômes de mal des transports. <i>Source : (Ericsson, 2022)</i></p> <p>Réalité augmentée : < 30 ms pour que les objets soient ancrés dans l'environnement (valeur pour un seul utilisateur ; la valeur doit être inférieure pour plusieurs utilisateurs). Certaines techniques existantes pourraient diviser ces exigences par 1,5 à 3)</p>

	<p>Source : (Ericsson, 2022)</p> <p>XR : diffusions : 10 – 20 s ; Vidéoconférence XR : 200 ms ; Jeux en ligne ou jeux sportifs engageants : < 20 ms Source : (Ericsson, 2022; GSMA, 2019)</p> <p>Retour d'expérience de joueur : 50 ms suffisant Source : Audition</p> <p>Retour d'expérience de concepteur de jeu vidéo : Très bonne expérience : < 20 ms Bonne expérience : [20 ms ; 50 ms] Expérience convenable si la latence est constante : [50 ms ; 100 ms] Source : Audition</p>
<p>Modifications de l'infrastructure proposées</p>	<p>Dispositifs réalité augmentée en mobilité et calculs déportés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nouvelles bandes de fréquences autour de 3-7GHz • Direction du trafic selon les débits ou selon les latences • Densification du réseau • La génération mobile 5G ne suffira pas à remplir les spécifications appelées • Fréquences 7-15 GHz exploitées • Calculs déportés <p>Source : (Ericsson, 2023)</p> <p>Edge-cloud (délocalisation, déport ou décharge des tâches vers le cloud) essentiel pour permettre le métavers en rendant les appareils XR économiquement abordables, légers mais puissants, et connectés avec une durée de vie de batterie suffisante. Source : (Ericsson, 2022)</p>

Tableau 8 - Spécifications des mondes virtuels pour le dimensionnement des réseaux mobiles
Source : The Shift Project, dans le cadre de ce rapport

Prenant en compte les contraintes techniques provenant d'usages AR/VR à grande échelle, Ericsson prévoit un doublement en 2030 des ressources de réseau mobile par rapport à un scénario tendanciel (Ericsson, 2023) :

Figure 30: AR and mobile broadband traffic and capacity evolution

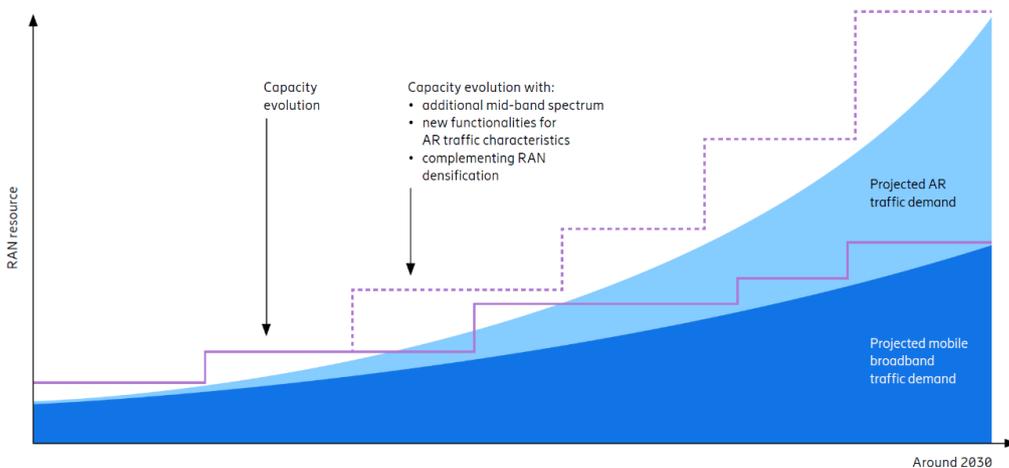


Figure 5 - Dynamique en projection de demande et capacité pour les réseaux mobiles d'Ericsson
Source : (Ericsson, 2023)

Annexe 8 : Quantification de l'impact énergie-climat d'une adoption généralisée des mondes virtuels : impact sur l'infrastructure réseaux mobiles française

Dans les quatre scénarios de la partie « Quantification de l'impact énergie-climat d'une adoption généralisée des mondes virtuels : impact sur l'infrastructure réseaux mobiles française », la consommation mensuelle simulée est la suivante :

La construction des scénarios et les valeurs quantifiées sont disponibles ici : (The Shift Project, 2024a).

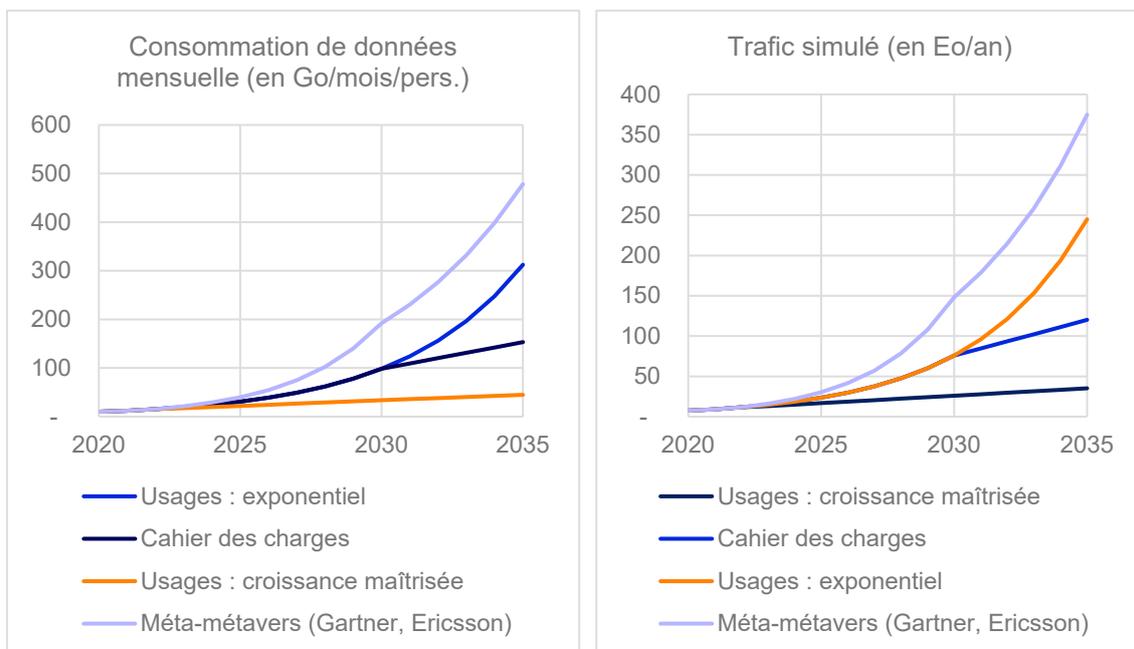


Figure 6 - Consommation mensuelle moyenne (Go/mois) et trafic total sur le réseau (Eo/an) simulés pour 4 scénarios aux trafics contrastés (Go/mois).

Source : The Shift Project dans le cadre de ce rapport (Arcep, 2023; Arthur D Little, 2023)

Références

- ABI Research. (2023, octobre 19). Key Enabling Technologies, Like AI, Will Fuel the Build-Up Toward the Metaverse, Keeping the Path Open to 1 Billion Users by 2030. <https://www.abiresearch.com/press/key-enabling-technologies-like-ai-will-fuel-the-build-up-toward-the-metaverse-keeping-the-path-open-to-1-billion-users-by-2030/>
- ADEME, & Arcep. (2023). Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective—Analyse prospective à 2030 et 2050 (3/3). https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/etude-prospective-2030-2050_mars2023.pdf
- Allied Market Research. (2023, novembre). Video Surveillance Market Research, 2032. <https://www.alliedmarketresearch.com/Video-Surveillance-market>
- Amazon Web Services (Réalisateur). (2018, novembre 28). AWS re:Invent 2018 : Chris Dyl, Director of Platform at Epic Games, Speaks at Monday Night Live (4'33"). <https://youtu.be/MCLrA401vHw?si=HfYDrm1OgNBqYBpi>
- Andrae A. (2017). Life Cycle Assessment of a Virtual Reality Device. <https://www.mdpi.com/2078-1547/8/2/15>
- Arcep. (2023). Marché des communications électroniques en France—Les chiffres au 2ème trimestre 2023. https://www.arcep.fr/fileadmin/cru-1677573101/reprise/observatoire/2-2023/obs-marches-T2-2023_oct2023.pdf
- Arthur D Little. (2023). The evolution of data growth in Europe. Evaluating the trends fueling data consumption in European markets. <https://www.adlittle.com/en/insights/report/evolution-data-growth-europe>
- Ball M. (2020). The Metaverse : What It Is, Where to Find it, and Who Will Build It. <https://www.matthewball.co/all/themetaverse>

Basdevant A., François C., Ronfard R. (2022). Mission exploratoire sur les métavers. <https://www.economie.gouv.fr/files/files/2022/Rapport-interministeriel-metavers.pdf>

CEPIR (Réalisateur). (2023, juin). Cas d'Etude Pour un Immersif Responsable, webinaire de restitution intermédiaire. <https://www.cepir.info/webinaire-juin-2023>

CERRE. (2023). Defining virtual worlds: Main features and regulatory challenges. <https://cerre.eu/wp-content/uploads/2023/07/CERRE-Virtual-Worlds-Issue-Paper-0723.pdf>

Cisco. (2020). Cisco Annual Internet Report 2018-2023. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>

DatacenterDynamics. (2023). The future of the edge and metaverse. <https://www.datacenterdynamics.com/en/magazines/the-future-of-the-edge-and-the-metaverse/>

Ericsson. (2022). Qu'est-ce que le métaverse et pourquoi a-t-il besoin de la 5G pour s'imposer ? La relation entre le métaverse et la 5G expliquée. <https://www.ericsson.com/fr/blog/2022/4/the-metaverse-5g-relationship>

Ericsson. (2023). AR uptake enabled by mobile networks, Ericsson Mobility Report. <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports/june-2023>

Fuchs P., & Techniques de l'ingénieur. (2023). Finalités et définitions de la réalité virtuelle, de la réalité augmentée et du Métavers. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/realite-virtuelle-42299210/de-la-realite-virtuelle-aux-metavers-te5973/finalites-et-definitions-de-la-realite-virtuelle-de-la-realite-augmentee-et-du-metavers-te5973niv10001.html>

Gartner. (1995, 2022). Hype Cycle for Emerging Tech. <https://www.gartner.fr/fr/articles/quelles-sont-les-nouveautes-du-hype-cycle-2022-de-gartner-consacre-aux-technologies-emergentes>, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020>, <https://hubinstitute.com/2019/data-tendances-hypecycle-gartner-technologies-emergentes-ia-ecosysteme-capteurs-analytics>, <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-08-20-gartner>

identifies-five-emerging-technology-trends-that-will-blur-the-lines-between-human-and-machine , <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017>, <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2016-08-16-gartners-2016-hype-cycle-for-emerging-technologies-identifies-three-key-trends-that-organizations-must-track-to-gain-competitive-advantage> , <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2015-08-18-gartners-2015-hype-cycle-for-emerging-technologies-identifies-the-computing-innovations-that-organizations-should-monitor>, https://www.researchgate.net/figure/Gartner-2014-hype-cycle-of-emerging-technologies-Source-Gartner-Inc_fig1_307466504, <https://www.zdnet.com/article/gartners-2013-emerging-technologies-hype-cycle-focuses-on-humans-and-machines/> , <https://www.forbes.com/sites/gartnergroup/2012/09/18/key-trends-to-watch-in-gartner-2012-emerging-technologies-hype-cycle-2/> , <https://www.paperblog.fr/4753950/gartner-hype-cycle-des-technologies-emergentes-2011/>, https://www.researchgate.net/figure/Hype-Cycle-of-Emerging-Technologies-2010-Gartner-2010_fig5_268200261, https://www.researchgate.net/figure/Hype-cycle-for-emerging-technologies-2009-by-Gartner-2009_fig1_242012197, <https://www.zdnet.fr/blogs/media-tech/gartner-publie-son-hype-cycle-des-technologies-2008-quo-vadis-39601871.htm>, <https://www.pinterest.fr/pin/253186810279135292/>, <https://structure101.com/2006/08/22/gartner-2006-technology-hype-cycle/>, <https://danielneamu.ro/2005/09/13/hype-cycle-for-emerging-technologies-2005/>, https://www.researchgate.net/figure/The-Gartner-Hype-Cycle-cited-in-Henten-Skouby-2004-Retrieved-February-2-2005-from_fig1_232656419/download, <https://www.pinterest.fr/pin/253186810279135286/>, <https://www.pinterest.fr/andrepiazza512/>

Gartner. (2022). Qu'est-ce qu'un metaverse ? Devez-vous investir dans ce domaine ? <https://www.gartner.fr/fr/articles/qu-est-ce-qu-un-metavers>)

GSMA. (2019). Cloud AR/VR Whitepaper. <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/cloud-ar-vr-whitepaper/>

- IEA 4E EDNA. (2019). Total Energy Model for Connected Devices. https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2021/01/A2b_-_EDNA_TEM_Report_V1.0.pdf
- Instant gaming. (2024, janvier 12). Les joueurs de Fortnite ont passé 1,6 milliard d'heures à jouer en décembre 2023. <https://news.instant-gaming.com/fr/articles/4308-les-joueurs-de-fortnite-ont-passe-1-6-milliard-d-heures-a-jouer-en-decembre-2023>
- Intel. (2021, décembre 14). Powering the metaverse. Intel is working on the plumbing for a persistent and immersive internet. <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/opinion/powering-metaverse.html>
- Iphonote. (2020, octobre 2). 10,4 millions d'années ! C'est le temps passer à jouer à Fortnite. <https://www.iphonote.com/actu/163636/104-millions-dannees-cest-le-temps-passer-a-jouer-a-fortnite>
- ITU. (s. d.). Aspirational targets for 2030. Consulté 7 décembre 2023, à l'adresse <https://www.itu.int/itu-d/meetings/statistics/wp-content/uploads/sites/8/2022/04/UniversalMeaningfulDigitalConnectivityTargets2030.pdf>
- ITU. (2022). Measuring digital development, Facts and figures. https://www.itu.int/hub/publication/d-ind-ict_mdd-2022/
- Lécuyer A. (2023). Comprendre le métavers.
- Oko Institute. (2016). Resource Efficiency in the ICT Sector. https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Resource_Efficiency_ICT_LV.pdf
- Pirson T. (2022). The Environmental Footprint of IC Production : Meta-Analysis and Historical Trends. https://www.researchgate.net/publication/366172064_The_Environmental_Footprint_of_IC_Production_Review_Analysis_and_Lessons_from_Historical_Trends
- Pirson T., Bol D. (2021). Assessing the embodied carbon footprint of IoT edge devices with a bottom-up life-cycle approach. <https://arxiv.org/abs/2105.02082>
- Renaissance Numérique. (2023). Gouverner le Metavers et l'internet de demain. https://www.renaissancenumerique.org/wp-content/uploads/2023/11/renaisancenumerique_rapport_metavers_web.pdf

- Renaissance Numérique, & L'Observatoire Société & Consommation. (2023). Représentations et usages du Métavers. https://www.renaissancenumerique.org/wp-content/uploads/2023/10/renaissance-numerique-representations_usages_metavers.pdf
- Schneider Electric, Energy Management Research Center. (2023). The AI Disruption : Challenges and Guidance for Data Center Design. https://www.se.com/us/en/download/document/SPD_WP110_EN/
- Statista Research Department. (2023a, juillet 21). Number of smartphones sold to end users worldwide from 2007 to 2022. <https://www.statista.com/statistics/263437/global-smartphone-sales-to-end-users-since-2007/>
- Statista Research Department. (2023b, août 31). Statista. (2023, août 31). U.S. : Smartphones replacement cycle 2013-2027. <https://www.statista.com/statistics/619788/average-smartphone-life/>
- Statista Research Department. (2023c, octobre). Metaverse Worldwide—Highlights. <https://fr.statista.com/outlook/amo/metaverse/worldwide>
- Statista Research Department. (2023d, octobre 24). Nombre d'utilisateurs actifs de Facebook par trimestre dans le monde 2008-2022. <https://fr.statista.com/statistiques/565258/facebook-nombre-d-utilisateurs-actifs-mensuels-dans-le-monde/>
- Synergy Research Group. (2023, octobre 17). Hyperscale Data Center Capacity to Almost Triple in Next Six Years. <https://www.srgresearch.com/articles/hyperscale-data-center-capacity-to-almost-triple-in-next-six-years-driven-by-ai>
- The Shift Project. (2021). Impact environnemental du numérique : Tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G. The Shift Project. <https://theshiftproject.org/article/impact-environnemental-du-numerique-5g-nouvelle-etude-du-shift/>
- The Shift Project. (2024a). [Energie, Climat : Des réseaux sobres pour des usages connectés résilients—Materials] Données issues de la modélisation du modèle Réseaux.
- The Shift Project. (2024b). [Energie, Climat : Quels mondes virtuels pour quel monde réel ? - Materials] Lean ICT Model.

The Shift Project. (2024c). [Energie, Climat : Quels mondes virtuels pour quel monde réel ? - Materials] Meta-metavers scenario.

The Shift Project. (2024d). Energie-climat : Quels mondes virtuels pour quel monde réel ?

United Nations. (s. d.). Population. Consulté 7 décembre 2023, à l'adresse <https://www.un.org/en/global-issues/population>

Weinberger M. & Gross D. (2023). A metaverse maturity model. https://www.researchgate.net/publication/366920442_A_Metaverse_Maturity_Model_A_Metaverse_Maturity_Model

Wikipédia. (2024a). Google Stadia. https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Stadia

Wikipédia. (2024b, février 20). List of virtual reality headsets. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_virtual_reality_headsets&oldid=1208303712

The Shift Project est un think tank qui œuvre en faveur d'une économie post-carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, notre mission est d'éclairer et influencer le débat sur la transition énergétique en Europe. Le développement exponentiel du numérique, et la façon dont ce développement peut interagir avec les objectifs de décarbonation de nos sociétés, constitue l'un des angles essentiels des enjeux de la transition carbone.

Nos membres sont de grandes entreprises qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité.

Contacts:

Hugues Ferreboeuf

Chef de projet « Numérique »

Maxime Efoui-Hess

Coordinateur du programme « Numérique »

maxime.efoui@theshiftproject.org

Marlène De Bank

Ingénieure de recherche

marlene.debank@theshiftproject.org

Ilana Toledano

Responsable Communication



16 rue de Budapest, 75009 Paris

contact@theshiftproject.org

www.theshiftproject.org