



Concevoir le possible : usages et enjeux de la réalité virtuelle immersive et des métavers pour l'industrie du futur

Pierre Quesson, Cédric Dalmasso

► To cite this version:

Pierre Quesson, Cédric Dalmasso. Concevoir le possible : usages et enjeux de la réalité virtuelle immersive et des métavers pour l'industrie du futur. Journée de recherche Web 3, Métavers et Management : nouveaux enjeux théoriques et nouvelles pratiques, Laboratoire de Recherche en Sciences de Gestion Panthéon-Assas - LARGEPA, Jun 2023, Paris, France. <hal-04905835>

HAL Id: hal-04905835

<https://minesparis-psl.hal.science/hal-04905835v1>

Submitted on 22 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Concevoir le possible : usages et enjeux de la réalité virtuelle immersive et des métavers pour l'industrie du futur.

Pierre Quesson

MINES Paris, Centre de Gestion Scientifique – PSL Research University, Paris, France

pierre.quesson@minesparis.psl.eu

Cédric Dalmaso

MINES Paris, Centre de Gestion Scientifique – PSL Research University, Paris, France

cedric.dalmaso@minesparis.psl.eu

Résumé

Alors que l'intégration au sein des organisations de la vague de technologies liées au Web 2.0 pose encore de nombreuses questions, industriels et pouvoirs publics commencent à prendre en compte la nouvelle vague technologique du Web 3.0. Parmi ces technologies, celles de réalité virtuelle immersive et des métavers portent déjà de nombreuses promesses. Cependant, elles se déploient dans un contexte particulier, fort de la prise en compte toujours plus importante des enjeux humains, environnementaux et sociaux. Dans ce contexte, nous proposons cette communication ayant pour but d'introduire un programme de recherche ambitionnant d'apporter des pistes pour la conception de l'industrie du futur, et qui s'articule autour des usages de la réalité virtuelle immersive et des métavers. Après avoir introduit la problématique, nous construisons un cadre pour penser le renouveau de l'industrie autour de l'extraction de savoirs divers, leur partage puis la création collective d'idées pour l'industrie du futur. A partir de ce cadre, nous proposons une revue de littérature des avancées de la recherche concernant les applications de la réalité virtuelle immersive, avant d'en pointer les limites. A la suite de cela, nous introduisons notre programme de recherche, dont le point d'entrée est de gagner en robustesse dans l'étude des comportements d'individus au sein d'une expérience immersive.

Mots-clefs : Réalité virtuelle immersive, Métavers, Futur de l'industrie, Exploration, Programme de recherche

Designing what could be: usages and challenges of immersive virtual reality and the metaverse for the industry of the future.

Pierre Quesson

MINES Paris, Centre de Gestion Scientifique – PSL Research University, Paris, France
pierre.quesson@minesparis.psl.eu

Cédric Dalmasso

MINES Paris, Centre de Gestion Scientifique – PSL Research University, Paris, France
cedric.dalmasso@minesparis.psl.eu

Abstract

While there are still many questions about the integration of Web 2.0 technologies in organisations, the industrial sector and public authorities are already considering the new Web 3.0 technologies. Among these technologies, immersive virtual reality and metaverse related technologies are very promising. However, they emerge within a context of significant attention to human, environmental and social issues. In this context, we introduce a research program that aims to bring forth ideas for the renewal of the industry. This program revolves around the use of immersive virtual reality and the metaverse technologies. First, we describe our conception of nowadays' problem regarding the future of the industry. Then, we introduce an analytical framework to think about the renewal of the industry, comprising of three movements, namely knowledge extraction, knowledge sharing and the collective ideation for the future of the industry. Based on this framework, we present a revue of literature that explains the promises of immersive virtual reality and the metaverse technologies, before pointing the limits of the existing research. We then introduce our research program that begins with the study of individual behaviors of immersed individuals, and justify the program with respect to the question of the future of the industry.

Key words: Immersive virtual reality, Metaverse, Future of industry, Exploration, Research program

1. CONSIDERER L'INDUSTRIE ACTUELLE POUR CONCEVOIR CELLE DU FUTUR.

Quels que soient les termes employés pour le désigner, le renouveau de l'industrie, et logiquement de l'organisation des entreprises industrielles, est indubitablement lié à la diffusion des nouvelles technologies, tant par leur potentiel génératif de nouveaux arrangements sociotechniques que par les contraintes qu'elles imposent (Kallinikos, Aaltonen & Marton, 2013). A cet égard, il est intéressant pour introduire notre propos de constater une similitude entre le traitement des changements introduits par les technologies associées au Web 2.0, c'est-à-dire de la transformation digitale dont on cherche toujours à réaliser les promesses (Fitzgerald, Kruschwitz, Bonnet & Welch, 2014 ; McKinsey, 2018), et la manière dont l'industrie du futur, comprenant les technologies associées au Web 3.0, est envisagée.

En ce qui concerne la transformation digitale, la littérature s'est depuis longtemps accordée sur son aspect stratégique prééminent ainsi que sur les changements majeurs dont les entreprises ont besoin pour en réaliser les potentialités, aussi bien dans l'aspect structurel des organisations que dans leur culture (Nadkarni & Prügl, 2021). En revanche, un flou subsiste autour de la manière dont ces changements devraient se matérialiser au sein des entreprises, et on relève particulièrement des interrogations quant à la place des acteurs organisationnels dans ce changement (Hanelt, Bohnsack, Marz & Antunes Marante, 2021). Or, l'inclusion à une juste place du facteur humain dans l'équation semble essentielle, tant les bouleversements peuvent être lourds, mais aussi car le potentiel d'innovation des technologies digitales dépend de la manière dont sont combinés les nouveaux savoir avec les compétences existantes qu'il s'agit de conserver (Lanzolla, Pesce & Tucci, 2021).

On peut entrevoir les mêmes éléments dans les réflexions conduites par les institutions françaises ou européennes et portant sur l'industrie du futur, réponse aux enjeux nationaux et supranationaux de réindustrialisation prenant en compte les impératifs écologiques et environnementaux actuels (Redon-Sarrazy & Paoli-Gagin, 2022 ; Breque, De Nul & Petridis, 2021). D'une part, un récent rapport sénatorial constate le besoin de réindustrialisation française et propose, compte tenu de l'importance stratégique du sujet, de prendre appui sur les nouvelles technologies pour faire émerger de nouvelles entreprises industrielles fortes et innovantes, évoquant l'importance des compétences liées à ces nouvelles technologies tout comme celle d'un changement de culture au sein de l'industrie française et de ses entreprises (Redon-Sarrazy & Paoli-Gagin, 2022). D'autre part, au niveau européen, on souligne que si ces questions de renouveau et de changement profond de l'industrie sont effectivement primordiales dans la stratégie de l'Union, d'autres enjeux les complètent (Breque et al., 2021). L'inclusion des individus dans cette nouvelle industrie s'impose comme enjeu majeur, notamment parce que la rétention des compétences d'une population vieillissante représente, outre un impératif social, un impératif dans la construction de ces nouvelles industries (Kaasinen, Anttila & Heikkilä, 2023).

Ainsi, l'énigme qui émerge est de concilier l'invention d'une nouvelle industrie, plus particulièrement des nouveaux agencements sociotechniques sous-jacents aux organisations de cette industrie du futur et portés par les nouvelles technologiques, avec la rétention des savoirs de l'industrie actuelle dans un processus de création permettant l'inclusion du plus grand nombre d'individus. Il s'agit ainsi de mieux connaître l'industrie actuelle afin de concevoir son futur à la fois innovant et contingenté par les connaissances et les individus d'aujourd'hui ou, pour reprendre les mots de l'écrivain Robert Musil, de gagner en connaissance du réel afin de trouver un « *sens du possible* » (Cometti, 1985). Pour cela, il nous semble que la réalité virtuelle immersive, couplée aux métavers, compris comme univers virtuels immersifs, constitue une technologie à la fois prometteuse et dont l'utilisation reste à préciser. En effet, la diffusion de la réalité virtuelle immersive est portée par une plus grande accessibilité de casques de réalité virtuelle de meilleure qualité (les HMD pour *Head-Mounted Display*, McGill, Williamson & Brewster, 2016) et les entreprises commencent à s'en saisir (PWC, 2023) et lui trouver des applications en gestion des connaissances ou pour la formation des opérateurs (Dincelli & Yayla, 2022), mais aussi pour certaines opérations de conception au sein d'un ensemble de technologies telles que les jumeaux numériques (Pinède, 2020). Du côté des pouvoirs publics, on envisage plus facilement des applications dans les industries culturelles et créatives, tout en posant des questions de souveraineté ou de standards technologiques, sans s'apesantir cependant sur les possibilités de renouveau des industries que cette technologie porte (Basdevant, François & Ronfard, 2022)

Devant ce constat, et forts la relative diversité naissante des études scientifiques concernant la réalité virtuelle immersive et ses applications pour la gestion des connaissances, leur formalisation et leur transmission, ainsi que pour la stimulation de la créativité, nous proposons de répondre à la question suivante : *comment concevoir les apports de la réalité virtuelle immersive dans le cadre de la construction de l'industrie du futur ? Dans quelle mesure un programme de recherche pluridisciplinaire permet de mieux envisager ces apports en augmentant nos connaissances sur l'immersion ?*

La seconde question renvoie à un programme de recherche émergent et oriente la manière dont nous concevons cette communication. D'abord, nous allons présenter un cadre d'analyse permettant d'envisager la conception de l'industrie du futur comme la collection de trois éléments renvoyant à notre introduction, à savoir des connaissances, des mémoires, et des idées. A partir de ce cadre d'analyse, nous allons résumer l'état des connaissances actuelles concernant la réalité virtuelle immersive et ses applications. Enfin, nous allons pointer les possibilités d'approfondissement de cette littérature et introduire notre programme de recherche pluridisciplinaire envisageant d'y répondre.

2. LE CONCEPT D'INDUSTRIATION ET LA NECESSITE DE S'ACCORDER SUR DES SAVOIRS PARTAGES.

Il est ainsi question de l'industrie, de sa compréhension et de sa transformation. Or, une analyse généalogique fait émerger que l'industrie telle que nous la connaissons n'est pas uniquement

une conséquence des évolutions et rationalisations successives des formes capitalistiques commencées avec la révolution industrielle des XVIIIème et XIXème siècles (Musso, 2022). Il s'agit plus globalement de la formation et de la réalisation collectives d'un imaginaire aboutissant dans « *les efforts, les arrangements, les inventions qui engendrent des activités que l'on qualifie ensuite d'industrie si elles produisent les richesses que l'on souhaite* », ce que l'on peut appeler « industrialisation » et dont on peut voir une première instanciation dès le Moyen-Âge (Hatchuel, 2015: 38). Le concept d'industrialisation est utile en ce qu'il pointe vers l'activité de conception, à la fois des techniques, des processus de travail, des organisations, génératrice d'industrialisation et se nourrissant de collectifs humains, « *d'idées, de mémoires et de connaissances* » (Hatchuel, 2015: 47). Ce sont avec ces trois éléments fondamentaux que vont s'articuler les efforts nécessaires, en France et en Europe, de mise en place d'un nouveau industriel, une néo-industrialisation devant prendre en compte, entre autres, les évolutions technologiques et attentes sociales et environnementales, aussi bien qu'un rapprochement entre décideurs et citoyens, entreprises et universités (Hatchuel, 2015 ; Hatchuel, 2018). Pour résumer, la conception de l'industrie du futur telle que présentée précédemment ne peut s'envisager sans une connaissance de l'industrie actuelle, connaissance à la fois des techniques se rapportant aux outils, technologies ou autres produits, et des processus organisationnels mettant en jeu des acteurs variés possédant chacun leur rôle et leurs savoirs propres.

Ceci nous amène à distinguer, en vue de présenter la diversité d'usages de la réalité virtuelle immersive et des métavers renseignés dans la littérature académique, les différents types de savoirs et par conséquent de poser la nécessité du partage de ces savoirs. S'il est certainement nécessaire d'avoir une connaissance explicite des outils, artefacts technologiques et les techniques qui leur sont liées, ce ne sont pas les seuls savoirs qui entrent en jeu au sein d'une organisation. En effet, la pratique sociale du travail contribue à la construction de savoirs tacites, peu formalisables, acquis par les échanges quotidiens des individus lors du déploiement de leurs pratiques de travail, qui confèrent aux individus une compréhension partagée de ces pratiques et qui, réciproquement, font que ces pratiques se stabilisent et soient efficaces (Schatzki, Knorr Cetina & von Savigny, 2001). L'importance des savoirs tacites, qui ne peuvent donc pas être issus de manuels ou d'autres documents et qui s'acquièrent par la pratique sociale quotidienne du travail, est double au regard de l'objectif de renouveau de l'industrie. D'une part, puisqu'une nouvelle industrialisation se base sur des connaissances et de la mémoire, elle n'est pas conçue *ex-nihilo* et doit ainsi embarquer tous les savoirs, y compris ceux qui ne sont pas explicites (Hatchuel, 2015 ; Rumsey & Le Dantec, 2023). D'autre part, le futur de l'industrie, dans son optique d'inclusion, doit faire participer le plus grand nombre d'acteurs dans le processus de création, notamment les opérateurs qui sont détenteurs de ces savoirs tacites (Kaasinen et al., 2023). De plus, la nature des savoirs tacites rend difficile leur accès par et leur partage pour des individus externes aux métiers concernés.

C'est sur cette base que nous présentons l'état de la recherche sur les usages de la réalité virtuelle immersive, en montrant qu'elle peut servir à la conception de nouvelles industrialisations, et donc à envisager le futur de l'industrie, en ce qu'elle permet l'extraction de savoirs y compris tacites, le partage et stockage de ces savoirs, ainsi que la créativité sur la base de ces savoirs partagés.

3. L'INTERET DE LA REALITE VIRTUELLE IMMERSIVE POUR LES SAVOIRS, LEUR PARTAGE, ET LA CREATIVITE.

Les technologies de réalité virtuelle sont multiples et ne sont pas toutes nouvelles. Le fait de plonger, avec une immersion plus ou moins grande, un ou plusieurs individus dans un univers virtuel persistant, c'est-à-dire un métavers, se retrouve en effet déjà dans les jumeaux numériques ou encore dans certains jeux vidéo comme Second Life. Cependant, l'accès facilité à des casques de réalité virtuelle HMD et l'augmentation des capacités de simulation de métavers plus réalistes, par l'augmentation des capacités de calcul des machines et la formation d'artistes 3D spécialisés, a permis une immersion meilleure maximisant la sensation de « présence » des individus immergés dans l'univers virtuel. Cette sensation de présence détermine à quel point un individu pense et agit en fonction du métavers dans lequel il est plongé, et le potentiel de la réalité virtuelle immersive pour la conception de l'industrie du futur dépend de la maximisation de cette sensation de présence (Dincelli & Yayla, 2022).

1. De la 2D à la 3D, la réalité virtuelle immersive pour l'extraction de savoirs.

L'utilité d'une meilleure immersion apparaît lorsque l'on se penche sur l'étude de l'extraction de savoirs, et notamment les savoirs tacites, au sein d'univers virtuels qu'ils soient des univers en 2D ou 3D et en fonction des dispositifs d'immersion utilisés. Déjà, dans le Web 2.0, l'étude des interactions entre utilisateurs de Wikipedia, partageant un même but dans l'édition des différentes pages du site, permet, en traçant leurs données, de faire émerger des routines tacites de collaboration (Zhang, Li, Yoo & Choi, 2022). Cette explicitation du tacite est une part importante du faible nombre d'études sur les usages de la réalité virtuelle disponibles concernant le secteur industriel (Muller Queiroz et al., 2018). Elle donne déjà lieu à une certaine diversité méthodologique mais reste limitée par plusieurs aspects (Haase, Termath & Martsch 2013 ; Vasenev, Hartmann & Dorée, 2013). Notamment, l'utilisation de technologies peu immersives laissent la possibilité d'apparition de biais dans l'extraction du savoir (Arévalo, Piolo, Ibrahim & Schwung, 2022).

Cependant, l'utilisation de technologies récentes maximisant l'immersion, notamment les casques HMD et des univers virtuels de meilleure qualité graphique, permet d'obtenir une meilleure concentration de la part des individus immergés, une meilleure sensation de présence, permettant ensuite de meilleures réponses, cognitive et émotionnelle, aux différents stimuli, et un contrôle accru sur l'apparition de certains biais (Cadet & Chainay, 2020). Une sensation de présence maximisée donne accès à des mises en situations dans lesquelles l'incarnation et la sensibilité des utilisateurs encouragent la verbalisation de savoirs tacites (Hartless, Ayer, London & Wu, 2020). Si un écueil demeure dans ces études en ce que l'immersion reste souvent individuelle, des appels à l'étude d'immersions collectives dans l'extraction de savoirs ont vu

le jour (Vasenev et al., 2013) et deux éléments permettent d'envisager cette piste avec espoir. D'une part, sur les réseaux sociaux actuels, il existe un effet positif de la (télé-)présence collective sur la motivation et la concentration des individus (Pelet, Ettis & Cowart, 2017). D'autre part, la transcription de ces résultats dans une immersion collective accrue reste en suspens mais certaines études pointent vers l'utilité la réalité virtuelle immersive dans l'acquisition collective de savoirs tacites, même si les individus ne sont pas immergés collectivement au même instant (Rumsey & Le Dantec, 2020).

2. Le partage des savoirs pour l'émergence d'une compréhension collective améliorée du réel.

A la suite de ce premier mouvement d'extraction de savoirs parfois tacites, on peut envisager un second mouvement de partage de ces savoirs. Les écueils précédemment pointés concernant l'extraction de savoirs semblent atténués au niveau du partage de connaissances d'un individu à un collectif, en attestent les diverses expériences de cours donnés, à des publics étudiants comme professionnels, dans différents métavers, concernant aussi bien les *hard skills* que les *soft skills* (Hines & Netland, 2022). S'il existe encore beaucoup d'interrogations, autant que de promesses, concernant le partage de connaissances utilisant une immersion collective d'individus en interaction (Kane, 2017), les possibilités de partage de connaissances sont également envisageables dans le cas d'immersions individuelles. Il existe déjà des résultats et usages de la réalité virtuelle immersive et des métavers allant dans le sens de plus grandes possibilités d'appropriation individuelle de savoirs, ce sur quoi les entreprises ont été promptes à se positionner, en vertu notamment des enjeux de rétention des connaissances dans des industries à main d'œuvre vieillissante (Faust, 2007).

La possibilité de simuler des environnements inaccessibles ou dangereux dans la réalité ouvre la voie à de nouvelles capacités d'entraînement des individus, d'appropriation de gestes métiers par exemple, ou de procédures de sécurité (Dincelli & Yayla, 2022 ; PWC, 2023). Concernant les dynamiques d'apprentissage, des études sur les enfants indiquent l'utilité d'une immersion plus complète, par rapport à la simple utilisation d'écrans, pour l'amélioration des capacités cognitives, la motivation et l'appréciation globale des expériences d'apprentissage (Araiza-Alba, Keane, Chen & Kaufman, 2021). Se posent ainsi les questions des populations adultes et des situations d'apprentissage collectif mais, une fois encore, des résultats encourageants semblent aller en ce sens. Concernant le but que nous nous sommes fixés dans cette communication, à savoir la construction, à partir du partage des connaissances, d'une base de compréhension partagée de l'industrie afin d'envisager son futur, certaines études remarquent un cercle vertueux entre l'expérience sociale de la réalité virtuelle immersive dans la création de cette compréhension partagée (Holopainen et al., 2019), et notamment par l'usage de la réalité virtuelle immersive permettant la mise en empathie d'un individu prenant la perspective d'autres individus (Weigel, Sauter & Niehaves, 2021).

3. La création d'un nouvel imaginaire à partir de la compréhension partagée.

Enfin, un dernier mouvement bien plus exploratoire concerne, à partir d'une compréhension améliorée et partagée du réel, le processus de création d'un imaginaire, l'émergence d'idées orientées vers un but de transformation industrielle contingente. Ici, il est question de jouer sur l'affordance de créativité de la réalité virtuelle immersive et des métavers, qui possède la particularité de concerner à la fois l'utilisateur immergé et les concepteurs des métavers (Dincelli & Yayla, 2022). Le principal résultat pour l'exploration de ce mouvement-ci porte sur la transformation opérée par la pensée d'un individu lorsqu'il est soumis à une tâche de conception dans un métavers. Sur une population de designers de mode, on a pu montrer qu'une fois immergé au sein d'un environnement virtuel, la pensée d'un individu passait d'une pensée perceptuelle, étudiant statiquement l'organisation des différentes parties d'un tout, à une pensée conceptuelle, envisageant une transformation du tout dans une perspective dynamique (Lee, Yang & Sun, 2021). C'est cet accès à une pensée transformatrice, à partir d'une meilleure compréhension de la réalité, par un ensemble d'individus variés et parties prenantes de la société actuelle, qui permet ensuite aux concepteurs de métavers de représenter ce que serait un élément d'une potentielle néo-industriation, invitant une itération du processus. Une fois encore, une contrainte se trouve dans le fait de disposer de créateurs de métavers compétents dans la création d'environnements virtuels maximisant la sensation de présence de l'individu immergé, offrant des possibilités de cognition et de création supérieures, une ressource humaine rare (Mattila et al., 2020). Cependant, on peut affirmer que la réalité virtuelle immersive permet la conception participative, en ce qu'elle permet une base commune de discussion entre le concepteur, les utilisateurs, et d'autres parties prenantes, et c'est ce qui donne accès à l'imagination d'une industrie du futur plus inclusive (Kaasinen et al., 2020)

4. BESOIN DE ROBUSTESSE DES ETUDES, UN PROGRAMME DE RECHERCHE NAISSANT.

Pour résumer, nous venons de détailler une manière d'envisager l'industrie du futur à partir du concept d'industriation, c'est-à-dire que si cette industrie du futur est inclusive d'un plus grand nombre possible d'acteurs organisationnels, alors il faut d'abord bâtir une compréhension partagée de l'industrie actuelle, en partageant les savoirs d'une myriade d'acteurs différents, avant de s'accorder sur une conception collective de son futur. Ensuite, nous avons pu montrer que la réalité virtuelle immersive et les métavers sont d'ores et déjà porteurs de promesses dans la poursuite de cet objectif. Cependant, nous avons relevé des biais et, de manière générale, les études disponibles sur les usages de la réalité virtuelle immersive manquent encore de robustesse et appellent à une consolidation scientifique, notamment au niveau des processus individuels, psychologiques ou physiologiques, qui régissent les comportements d'individus immergés, ou encore des processus sociaux dans les univers virtuels (Dincelli & Yayla, 2022). Ce manque de compréhension est d'ailleurs source d'échec de certaines expériences immersives, pour lesquelles la « vraie » réalité reste supérieure (Oh, Bailenson, Weisz & Zaki,

2016). Comprendre les comportements d'individus immergés dans un univers virtuel est aussi nécessaire au niveau de la créativité, lorsque l'on constate par exemple que la modification de la cognition spatiale dans le passage de la manipulation d'objets 2D à 3D demande des efforts d'appréhension (Barrera Machuca, Stuerzlinger & Asente, 2019). Afin d'enrichir la compréhension des comportements, individuels puis collectifs, d'individus immergés dans un univers virtuel, et *in fine* de mettre en place les trois mouvements d'extraction de savoirs, de partage de ces savoirs et de création collective de ce qui pourrait contribuer au futur de l'industrie, nous proposons un programme de recherche émergent.

Ce programme de recherche propose d'embarquer des acteurs industriels et des acteurs des industries culturelles et créatives afin de concevoir des scénarios innovants, un scénario étant la rencontre entre un environnement virtuel, un individu ou un collectif, un objectif à accomplir dans cet environnement virtuel et une performance envers cet accomplissement. L'équipe de recherche animant ces collectifs, dont l'un des objectifs concerne donc l'invention de nouvelles industrialisations, se compose de chercheurs aux expertises variées, en informatique et robotique, en psychologie cognitive ainsi qu'en sciences de gestion. Le point de départ du programme de recherche est, comme établi précédemment, de contribuer à l'augmentation des connaissances scientifiques des comportements d'individus immergés, et la première piste choisie est celle de l'exploration des réactions d'individus aux stimulations mono-sensorielles. Si les technologies permettant de stimuler l'odorat ou le goût dans des expériences immersives restent peu satisfaisantes, la stimulation de la vue, de l'ouïe ou du toucher, par des dispositifs haptiques pour ce dernier, peut s'avérer prometteuses pour l'exploration des trois éléments que nous avons présenté dans la recherche du renouveau industriel.

En effet, il a été montré l'effet des indices visuels donnés à une personne immergée dans un univers virtuel sur l'apprentissage et la compréhension de mouvements spécifiques (Gerry, 2017), ainsi que sur la capacité des individus à penser différemment et proposer des idées innovantes (Arora et al., 2017 ; Fleury et al., 2020 ; Bourgeois-Bougrine et al., 2022). Les réactions diffèrent également lorsque des indices auditifs sont utilisés au cours de l'expérience immersive. Notamment, un son spatialisé permet d'aider les individus à mieux se repérer dans l'environnement virtuel et acquérir une meilleure cognition spatiale (Vinnikov, Allison & Fernandes, 2017), et la communication orale plutôt qu'écrite lors d'une immersion collective favorise la créativité (Forens, Bonnardel & Barbier, 2015). Enfin, la stimulation du toucher par des dispositifs haptiques, bien que moins connue jusqu'à présent, s'est déjà révélée fructueuse, par exemple, dans l'apprentissage de certains gestes précis (Perry et al., 2017). Il est possible d'étudier les réactions à ces différentes stimulations par des dispositifs tels que les électroencéphalogrammes (Yang et al., 2019), et, à partir des observations récoltées et des analyses multidisciplinaires, d'utiliser le potentiel de la réalité virtuelle immersive en concevant des environnements virtuels enrichis par du son et des dispositifs haptiques dans lesquels l'immersion est, *in fine*, propice à la créativité collective (Gong et al., 2022).

5. CONCLUSION

Pour résumer, l'idée de cette communication est de présenter un programme de recherche ayant pour objectif d'apporter des réponses aux enjeux de renouveau de l'industrie. Les ambitions françaises et européennes pour le futur de l'industrie mettent en avant la nécessité d'une industrie portée par les nouvelles technologies, qu'elles soient associées au Web 2.0 ou 3.0. Devant la nécessité d'embarquer un maximum d'acteurs dans ce renouveau industriel, nous l'avons décrit, en nous inspirant du concept d'industriation, comme émergeant de la réunion de savoirs divers, partagés ensuite dans le but d'accorder une large gamme d'acteurs sur une compréhension de l'industrie actuelle, y compris et surtout les savoirs tacites. Cette compréhension partagée est à la base de la création collective de nouvelles industriations. Ces trois mouvements, l'extraction de savoirs, leur partage et la création collective, sont difficilement envisageables sans les apports de la réalité virtuelle immersive et des métavers, ce sur quoi nous avons discuté à partir de la littérature scientifique disponible, elle aussi émergente, prometteuse toutefois manquant de robustesse. C'est pour à la fois apporter cette robustesse et mettre en place ces trois mouvements, participant à la manifestation d'idées pour le renouveau de l'industrie, que nous proposons enfin un programme de recherche pluridisciplinaire.

6. REFERENCES.

- Araiza-Alba, P., Keane, T., Chen, W. S., & Kaufman, J. (2021). Immersive virtual reality as a tool to learn problem-solving skills. *Computers & Education*, 164, 104121.
- Arévalo N., F., Piolo, C. A. M., Ibrahim, T., & Schwung, A. (2022). Production Assessment Using a Knowledge Transfer Framework and Evidence Theory. *IEEE Access*, 10, 89134-89152.
- Arora, R., Kazi, R. H., Anderson, F., Grossman, T., Singh, K., & Fitzmaurice, G. (2017). Experimental Evaluation of Sketching on Surfaces in VR. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 5643-5654.
- Barrera Machuca, M. D., Stuerzlinger, W., & Asente, P. (2019). The Effect of Spatial Ability on Immersive 3D Drawing. *Proceedings of the 2019 on Creativity and Cognition*, 173-186.
- Basdevant, A., François, C., & Ronfard, R. (2022). *Mission exploratoire sur les métavers*.
- Bourgeois-Bougrine, S., Bonnardel, N., Burkhardt, J.-M., Thornhill-Miller, B., Pahlavan, F., Buisine, S., Guegan, J., Pichot, N., & Lubart, T. (2022). Immersive Virtual Environments' Impact on Individual and Collective Creativity: A Review of Recent Research. *European Psychologist*, 27(3), 237-253.

- Breque, M., De Nul, L., & Petridic, A. (2021). *Industry 5.0. Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry* (R&I Paper Series, Policy Brief). European Commission.
- Cadet, L. B., & Chainay, H. (2020). Memory of virtual experiences: Role of immersion, emotion and sense of presence. *International Journal of Human-Computer Studies*, 144, 102506.
- Cometti, J.-P. (1985). 2—Le réel et le possible. In J.-P. Cometti (Éd.), *Robert Musil ou l'alternative romanesque* (p. 53-87). Presses Universitaires de France.
- Dincelli, E., & Yayla, A. (2022). Immersive virtual reality in the age of the Metaverse: A hybrid-narrative review based on the technology affordance perspective. *The Journal of Strategic Information Systems*, 31(2), 101717.
- Faust, B. (2007). *Implementation of Tacit Knowledge Preservation and Transfer Methods*. International Conference on Knowledge Management in Nuclear Facilities, Vienna, Austria.
- Fitzgerald, M., Kruschwitz, N., Bonnet, D., & Welch, M. (2014). Embracing Digital Technology: A New Strategic Imperative. *MIT Sloan Management Review*, 55(2), 1-12.
- Fleury, S., Agnès, A., Vanukuru, R., Goumillout, E., Delcombel, N., & Richir, S. (2020). Studying the effects of visual movement on creativity. *Thinking Skills and Creativity*, 36, 100661.
- Forens, M., Bonnardel, N., & Barbier, M.-L. (2015). How Communication Modalities Can Impact Group Creativity in Multi-User Virtual Environments. *Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics 2015*, 1-4.
- Gerry, L. J. (2017). Paint with Me: Stimulating Creativity and Empathy While Painting with a Painter in Virtual Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(4), 1418-1426.
- Gong, Z., Lee, L.-H., Soomro, S. A., Nanjappan, V., & Georgiev, G. V. (2022). A systematic review of virtual brainstorming from the perspective of creativity: Affordances, framework, and outlook. *Digital Creativity*, 33(2), 96-127.
- Haase, T., Termath, W., & Martsch, M. (2013). How to Save Expert Knowledge for the Organization: Methods for Collecting and Documenting Expert Knowledge Using Virtual Reality based Learning Environments. *Procedia Computer Science*, 25, 236-246.
- Hanelt, A., Bohnsack, R., Marz, D., & Antunes Marante, C. (2021). A Systematic Review of the Literature on Digital Transformation: Insights and Implications for Strategy and Organizational Change. *Journal of Management Studies*, 58(5), 1159-1197.

- Hartless, J. F., Ayer, S. K., London, J. S., & Wu, W. (2020). Comparison of Building Design Assessment Behaviors of Novices in Augmented- and Virtual-Reality Environments. *Journal of Architectural Engineering*, 26(2), 04020002.
- Hatchuel, A. (2015). De l'industrie aux nouvelles "industriations". Approche historique et critique du renouveau industriel. In P. Veltz & T. Weil (Éds.), *L'industrie, notre avenir* (p. 37-52). Editions Eyrolles.
- Hatchuel, A. (2018). L'entreprise en France et en Allemagne : Divergences actuelles et convergences futures. In W. Asholt, M. Calle-Gruber, E. Heurgon, & P. Oster-Stierle (Éds.), *L'Europe en mouvement* (p. 259-268). Hermann.
- Hines, P., & Netland, T. H. (2022). Teaching a Lean masterclass in the metaverse. *International Journal of Lean Six Sigma*.
- Holopainen, J., Mattila, O., Parvinen, P., Pöyry, E., & Tuunanen, T. (2019). *Enabling Sociability When Using Virtual Reality Applications: A Design Science Research Approach*. Hawaii International Conference on System Sciences.
- Kaasinen, E., Anttila, A.-H., & Heikkilä, P. (2023). New Industrial Work: Personalised Job Roles, Smooth Human-Machine Teamwork and Support for Well-Being at Work. In C. Rocker & S. Büttner (Éds.), *Human-technology interaction: Shaping the future of industrial user interfaces* (p. 271-301). Springer.
- Kaasinen, E., Schmalfuß, F., Öztürk, C., Aromaa, S., Boubekur, M., Heilala, J., Heikkilä, P., Kuula, T., Liinasuo, M., Mach, S., Mehta, R., Petäjä, E., & Walter, T. (2020). Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105678.
- Kallinikos, J., Aaltonen, A., & Marton, A. (2013). The Ambivalent Ontology of Digital Artifacts. *MIS Quarterly*, 37(2), 357-370.
- Kane, G. C. (2017). The evolutionary implications of social media for organizational knowledge management. *Information and Organization*, 27(1), 37-46.
- Lanzolla, G., Pesce, D., & Tucci, C. L. (2021). The Digital Transformation of Search and Recombination in the Innovation Function: Tensions and an Integrative Framework*. *Journal of Product Innovation Management*, 38(1), 90-113.
- Lee, J. H., Yang, E., & Sun, Z. Y. (2021). Using an Immersive Virtual Reality Design Tool to Support Cognitive Action and Creativity: Educational Insights from Fashion Designers. *The Design Journal*, 24(4), 503-524.

Mattila, O., Korhonen, A., Pöyry, E., Hauru, K., Holopainen, J., & Parvinen, P. (2020). Restoration in a virtual reality forest environment. *Computers in Human Behavior*, 107, 106295.

McGill, M., Williamson, J. H., & Brewster, S. (2016). Examining The Role of Smart TVs and VR HMDs in Synchronous At-a-Distance Media Consumption. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 23(5), 1-57.

McKinsey. (2018). *Unlocking success in digital transformations*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/people-and-organizational-performance/our-insights/unlocking-success-in-digital-transformations>

Muller Queiroz, A. C., Moreira Nascimento, A., Tori, R., Brashear Alejandro, T., Veloso de Melo, V., de Souza Meirelles, F., & da Silva Leme, M. I. (2018). *Immersive Virtual Environments in Corporate Education and Training*. 24th Americas conference on information systems, New Orleans.

Musso, P. (2022). L'industrie, « création collective ». *Administration*, 274(2), 12-15.

Nadkarni, S., & Prügl, R. (2021). Digital transformation: A review, synthesis and opportunities for future research. *Management Review Quarterly*, 71(2), 233-341.

Oh, S. Y., Bailenson, J., Weisz, E., & Zaki, J. (2016). Virtually old: Embodied perspective taking and the reduction of ageism under threat. *Computers in Human Behavior*, 60, 398-410.

Pelet, J.-É., Ettis, S., & Cowart, K. (2017). Optimal experience of flow enhanced by telepresence: Evidence from social media use. *Information & Management*, 54(1), 115-128.

Perry, S., Bridges, S. M., Zhu, F., Leung, W. K., Burrow, M. F., Poolton, J., & Masters, R. S. W. (2017). Getting to the Root of Fine Motor Skill Performance in Dentistry: Brain Activity During Dental Tasks in a Virtual Reality Haptic Simulation. *Journal of Medical Internet Research*, 19(12), e371.

Pinède, N. (2020). Industrie du futur : Les sciences de l'information et de la communication au cœur de la construction d'une recherche interdisciplinaire. *Approches Théoriques en Information-Communication (ATIC)*, 1(1), 81-94.

PWC. (2023). *What does virtual reality and the metaverse mean for training?* <https://www.pwc.com/us/vlearning>

Redon-Sarrazy, C., & Paoli-Gagin, V. (2022). *Rapport d'information fait au nom de la mission d'information sur le thème « Excellence de la recherche/innovation, pénurie de champions industriels—Cherchez l'erreur française »*. Sénat.

- Rumsey, A., & Le Dantec, C. A. (2020). Manufacturing Change: The Impact of Virtual Environments on Real Organizations. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-12.
- Rumsey, A., & Le Dantec, C. A. (2023). Escaping the Holodeck: Designing Virtual Environments for Real Organizations. In C. Rocker & S. Büttner (Éds.), *Human-technology interaction: Shaping the future of industrial user interfaces* (p. 223-249). Springer.
- Schatzki, T. R., Knorr Cetina, K., & von Savigny, E. (Éds.). (2001). *The Practice Turn in Contemporary Theory*. Taylor and Francis.
- Vasenev, A., Hartmann, T., & Dorée, A. G. (2013). *Employing a Virtual Reality Tool to Explicate Tacit Knowledge of Machine Operators*. 248-256.
- Vinnikov, M., Allison, R. S., & Fernandes, S. (2017). Gaze-Contingent Auditory Displays for Improved Spatial Attention in Virtual Reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 24(3), 1-38.
- Weigel, A., Sauter, L., & Niehaves, B. (2021). More than you know—An Investigation of VR to Support Tacit Knowledge Transfer within Organisations. *PACIS 2021 Proceedings*, 166.
- Yang, X., Lin, L., Cheng, P.-Y., Yang, X., & Ren, Y. (2019). Which EEG feedback works better for creativity performance in immersive virtual reality: The reminder or encouraging feedback? *Computers in Human Behavior*, 99, 345-351.
- Zhang, Z., Lee, H., Yoo, Y., & Choi, Y. T. (2022). Theorizing Routines with Computational Sequence Analysis: A Critical Realism Framework. *Journal of the Association for Information Systems*, 23(2), 589-630.