



INCORPORER LE VIRTUEL

INCORPORER LE VIRTUEL

**de l'importance du corps dans les jeux en réalité virtuelle
et de son appropriation**

Nathan Zweifel
MA Thesis, 2023
Sous la direction de Nicolas Nova
Master HES-So en Design
Orientation Media Design
HEAD–Genève

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 7

LA QUÊTE DE L'IMMERSION 13

L'origine du fantasme

La recherche d'une expérience immersive et sensorielle

Vers une intégration du corps

Une renaissance

UN CORPS FRAGMENTÉ 27

Les mains, premiers points de contact

La tête, une fenêtre sur le monde virtuel

Des jambes virtuellement absentes

UN CONTRÔLE INTERMITTENT 41

Des défis techniques et de conception

Les limites physiques

Vers des contrôleurs moins tangibles

CONCLUSION 51

RESSOURCES 57

INTRODUCTION

Comprendre et définir le lien entre l'être humain et ses outils est un enjeu qui se renouvelle avec chaque avancée technologique. En cette seconde décennie du 21^e siècle, un nouveau dispositif a fait son entrée dans ce dialogue ancestral : la réalité virtuelle (RV). Héritière des premières machines à calculer, du cinéma et des ordinateurs personnels, la RV s'inscrit dans une longue lignée d'innovations, comme les capteurs de mouvement, l'affichage stéréoscopique ou encore les technologies haptiques. Cependant, sa promesse d'immersion totale nous confronte à des défis d'interaction inédits. Loin d'être une révolution isolée, elle se présente plutôt comme un maillon dans la chaîne de l'évolution des interfaces, avec ses forces et ses faiblesses.

Ce mémoire se propose d'étudier la RV sous le prisme de son état actuel, en se concentrant sur la relation qui se tisse entre l'utilisateur-riche, son corps et le contrôleur pivot central de l'expérience virtuelle. En effet, malgré les progrès visuels, l'interface utilisateur-riche reste une composante fondamentale de l'expérience VR (Novacek et Jirina, 2020). Au cœur de cette recherche se trouve la question centrale : quels sont les défis spécifiques de l'appropriation corporelle en RV pour les joueur-euses habitués aux interfaces de mouvement ? Loin de toute idéalisation, l'objectif est d'analyser avec pragmatisme les interactions humain-machine et de cerner les points de friction qui émergent lorsque la technologie cherche à capter, interpréter et reproduire le complexe ballet des gestes humains.

Jaron Lanier, pionnier de la RV dans les années 80, propose dans son ouvrage (2017) 52 définitions variées de la RV, démontrant sa nature complexe. De l'art du 21e siècle mêlant cinéma, jazz et programmation à un médium capable de transmettre l'essence des rêves, Lanier décrit la RV comme un éventail d'expériences numériques qui enrichissent les interactions humaines. Ses définitions couvrent la RV en tant que miroir et inversion de soi, ensemble de gadgets en constante évolution, et un médium qui défie et approfondit notre perception de la réalité et la coordination des sens et mouvements qui nous relie à notre monde.

Le corps, pivot central de cette immersion, se trouve au cœur de la pertinence du sujet de ce mémoire. En effet, l'expérience en RV est profondément ancrée dans la manière dont les utilisateur-rices s'approprient et utilisent leur corps virtuel pour interagir avec leur environnement. Qu'il s'agisse de saisir des objets, de naviguer dans des espaces numériques ou d'exécuter des tâches complexes, chaque geste et mouvement en VR est une extension de l'expérience physique dans le monde numérique. Ces interactions vont de la manipulation précise d'éléments dans des simulateurs tels que « Job Simulator » (Owlchemy Labs, 2016) où les mains virtuelles permettent de préparer des aliments ou de trier des articles de bureau, à des actions dynamiques dans des jeux comme « Beat Saber » (Beat Games, 2019), où les joueur-euses tranchent des blocs rythmiques avec des sabres virtuels.

Cette multitude d'expériences façonnées par la RV met en lumière la centralité de l'interface utilisateur-riche. Bien que le contrôleur serve d'interface et d'extension de la main, et du reste du corps, dans l'univers virtuel, il existe des limites notables en termes de liberté de mouvement. Contrairement aux interfaces de sortie telles que les écrans et les casques, qui offrent une immersion visuelle et auditive très complète, les contrôleurs actuels ne capturent que partiellement les mouvements du corps, se concen-

trant principalement sur les mains. Cette restriction souligne la complexité de transposer l'intégralité de la dynamique corporelle dans le domaine virtuel. L'étude de l'interaction humain-machine en RV est donc cruciale pour comprendre les limites actuelles de la technologie et ouvrir la voie à des améliorations significatives. Ce mémoire se consacre à explorer la façon dont le corps est capté dans les technologies de RV, en quête de comprendre l'importance accordée au corps par les joueur-euses et les mécanismes par lesquels iels s'en servent et l'intègrent dans leur expérience virtuelle. Cette recherche est guidée par l'hypothèse que, malgré les ambitions d'une immersion sans précédent qu'offre la RV, les joueur-euses se heurtent à une série de contraintes qui perturbent leur expérience, limitant ainsi leur présence et exigeant des compromis dans la manière dont iels interagissent dans cet environnement.

Aborder ce thème implique une approche empirique, en se confrontant aux usages de la RV. Pour ce faire, ce mémoire est basé sur les retours d'une sélection de huit participant-es ayant une expérience préalable avec des contrôleurs de mouvement pour les jeux vidéo, tels que la Wiimote ou le PSMove. Ces profils présentent une variété d'âges (entre 18 et 54 ans) et de degrés d'expérience (de total néophyte à joueur-euse-euse expérimenté) en RV, offrant ainsi une richesse de perspectives.

La procédure d'observation débute par une phase d'accueil dans le lobby virtuel du casque de RV, où les participant-es sont invités à partager leurs premières impressions. Cette introduction est suivie de la réalisation de deux tâches distinctes. La première consiste à interagir avec le jeu « Job Simulator » (Owlchemy Labs, 2016) en tant que cuisinier-ère. Dans cette phase du jeu, les joueur-euses se retrouvent dans une cuisine virtuelle où iels doivent préparer et cuisiner une variété de plats pour des clients. Iels utilisent les contrôleurs de mouvement pour saisir des

ingrédients, utiliser des ustensiles de cuisine, et interagir avec des appareils comme des fours et des mixeurs, offrant la possibilité d'analyser des interactions fines et ciblées. Le second jeu, « Superhot » (Superhot Team, 2016), plonge les participant-es dans un univers où le temps ne s'écoule que lorsque le joueur-euse-euse se déplace. Cet environnement stylisé en blanc avec des ennemis en rouge offre une expérience de combat stratégique où chaque mouvement doit être calculé avec précaution. Les joueur-euses utilisent des armes, évitent les balles et combattent les ennemis dans des scènes qui ressemblent à des puzzles en temps réel, alliant action intense, réflexion tactique, et proposant des mouvements plus larges et dynamiques. L'emploi de « Job Simulator » et « Superhot » pour cette étude est délibéré, car ils incarnent deux extrêmes de l'interaction en RV. « Job Simulator » permet d'explorer la précision et la dextérité des manipulations fines dans un contexte quotidien et contrôlé, tandis que « Superhot » pousse les limites de la réactivité et de la coordination dans un cadre où le temps et l'espace sont des variables actives. Ces contrastes offrent une riche opportunité d'observer comment les utilisateur-rices s'adaptent aux différences d'interaction et de présence corporelle dans des environnements virtuels variés, mettant en lumière les nuances de l'ergonomie et de l'immersion dans la RV.

Les entretiens semi-dirigés suivant les sessions de jeu ont abordé les expériences antérieures des participant-es avec les jeux vidéo et les contrôleurs de mouvement, leur immersion et leur interaction avec la RV à travers les jeux testés, ainsi que leur réaction face aux retours haptiques des contrôleurs. Les discussions ont également sondé la capacité de la VR à transporter les joueur-euses dans son univers, les éventuelles sensations de fatigue ou gêne, et les surprises ou défis rencontrés. Enfin, les participant-es ont partagé leurs idées pour l'amélioration des contrôleurs VR et ont exprimé leurs attentes pour l'avenir de la

technologie. Les sessions sont finalement documentées par des enregistrements audios, avec le consentement explicite des participant-es, et par des notes détaillées. Le matériel méthodologique inclut un casque de RV moderne (Meta Quest 2), équipé des jeux « Job Simulator » et « Superhot ». Des dispositifs d'enregistrement et un carnet de notes sont également prévus pour capturer l'ensemble des observations.

Le déroulement du test se compose d'une phase préparatoire, de l'introduction au dispositif VR, de l'exécution des tâches, de l'entretien post-activité et se termine par des remerciements adressés aux participant-es.

L'analyse des données recueillies lors des entretiens s'est appuyée sur une méthode approfondie de réécriture et de catégorisation. Chaque citation pertinente extraite des notes écrites a été consciencieusement enregistrée dans un tableur, associée à des thèmes spécifiques pour en faciliter le tri et l'interprétation. Les enregistrements audios des entretiens ont été réécoutés pour affiner l'exactitude des citations et enrichir le contexte autour des déclarations des participant-es. Ce processus a permis de constituer une base de données solide, facilitant l'identification de tendances récurrentes et de thèmes émergents, qui serviront de fondement pour les analyses approfondies dans la suite du mémoire.

L'analyse des entretiens est séparée en deux parties distinctes : la première partie, intitulée « Un corps qui devient fragmentaire », aborde la manière dont la RV remodèle la perception du corps et de ses mouvements. Cette section examine les avancées technologiques dans la détection du mouvement corporel, ainsi que les dilemmes posés par la dichotomie entre l'expérience visuelle et corporelle. La deuxième partie centrée sur les observations, intitulée « Un contrôle intermittent », traite des subtilités de l'interaction entre l'utilisateur-riche et les interfaces de RV, soulignant l'importance de la maîtrise et de l'autonomie dans ces expé-

riences immersives. Les problèmes techniques et de conception rencontrés par les utilisateur·rices révèlent les limites actuelles de la technologie VR et l'importance d'une conception centrée sur l'utilisateur·rice, intégrant des principes ergonomiques éprouvés pour une expérience plus naturelle et intuitive.

Avant de plonger dans l'analyse des entretiens, le mémoire entreprend un détour essentiel par l'histoire de la RV. Cette perspective historique servira de toile de fond pour aborder et discuter de manière éclairée la relation complexe et évolutive entre le corps et la RV.

LA QUÊTE DE L'IMMERSION

L'origine du fantasme

Depuis longtemps, l'être humain s'interroge sur la nature de la réalité et la possibilité d'une illusion sensorielle. Platon, par exemple, avec son allégorie de la caverne, nous introduit au concept d'une réalité perçue, mais trompeuse. Dans une évolution similaire des pensées, René Descartes, dans ses « Méditations métaphysiques » (1641), suggère l'idée d'un « malin génie » : une force qui pourrait brouiller nos perceptions pour nous plonger dans une fausse réalité. Ces réflexions philosophiques, bien qu'anciennes, trouvent un écho particulier dans les débats contemporains sur la RV.

Mais cette interrogation ne s'est pas limitée à la philosophie. Dans la littérature et les films du 20^e siècle, on découvre une abondance de témoignages, qu'ils soient utopiques ou dystopiques, illustrant le désir humain de plonger dans une autre réalité. À titre d'exemple, « Pygmalion's Spectacles » (1935) de Stanley G. Weinbaum est souvent cité comme offrant l'une des premières visions de ce que serait la RV. Le récit de Weinbaum décrivait un appareil qui permettait à l'utilisateur·rice de vivre une expérience multisensorielle en étant transporté dans une histoire fictive. Les lunettes de « Pygmalion's Spectacles » n'étaient pas seulement une fenêtre vers un autre monde, mais une porte d'entrée vers une réalité alternative où tous les sens étaient engagés. L'utilisateur·rice pouvait voir, entendre, sentir et même toucher l'environnement virtuel, préfigurant ce que la RV, des décennies plus tard, chercherait à accomplir.

Cette exploration ne s'arrête pas là. Dans « Neuromancien », William Gibson ne se contente pas de conceptualiser le cyberspace comme un simple espace numérique ; il le présente comme un univers complexe où l'esprit humain peut se connecter et naviguer, révélant une interaction entre le physique et le numérique qui préfigure les expériences de RV. De même, le film « Tron » (Steven Lisberger, 1982) met en scène des personnages physiquement intégrés dans un monde informatique, où ils interagissent avec des programmes et des structures numériques. Enfin, « Matrix » (Lana et Lilly Wachowski, 1999) explore une réalité simulée si convaincante qu'elle remet en question la nature même de l'existence.

Ainsi, que ce soit à travers la philosophie, les œuvres littéraires ou les films cultes, le désir humain de transcender la réalité tangible a toujours été omniprésent. Cette fascination pour une réalité alternative a posé les bases d'une quête technologique, une quête qui, avec le temps, a pris forme, tentant de rapprocher

l'imaginaire du concret. Cependant, si les contes oraux, la littérature et les récits fictifs ont depuis toujours offert des fenêtres sur des mondes imaginaires, et que les premiers jeux vidéo en 2D puis en 3D ont enrichi cette tradition en ajoutant une dimension visuelle et interactive, la RV représente un saut qualitatif distinct. Elle promet non seulement de visualiser, mais d'incarner physiquement ces univers, en procurant une expérience immersive et sensorielle qui sollicite le corps dans son entièreté et non plus seulement l'esprit, les yeux ou l'ouïe.

La recherche d'une expérience immersive et sensorielle

Les premières avancées significatives autour de la RV émergent dans les années 1960, illustrées notamment par le Sensorama de Morton Heilig, souvent perçu comme l'un des premiers systèmes de RV. Inspiré par le potentiel immersif du Cinérama (Pimentel Ken et Teixeira Kevin, 1993), une technique cinématographique employant trois caméras synchronisées, Heilig a minutieusement étudié les sens qui différencient l'illusion de la réalité. Il en a déduit que la vue, l'ouïe, le toucher et l'odorat étaient cruciaux pour une simulation authentique du corps dans un nouvel environnement. Le Sensorama (Pimentel Ken et Teixeira Kevin, 1993), semblable à une borne d'arcade dotée d'un dispositif binoculaire, permettait aux utilisateur·rices de vivre une expérience immersive depuis un siège [Figure 1]. Parmi ces expériences, on comptait une promenade à moto à travers Brooklyn, agrémentée de sensations telles que le souffle du vent, les vibrations de la route et les odeurs typiques, le tout en synchronisation avec une visualisation stéréoscopique.

En parallèle aux États-Unis, Ivan Sutherland a révolutionné notre rapport aux ordinateurs. Il a défendu l'idée que les machines

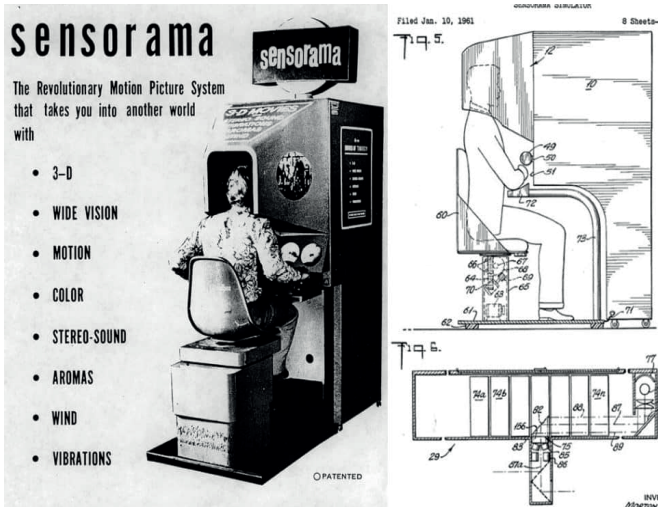


Figure 1: *Le Sensorama de Morton Heilig, publicité et brevet (1961)*, <https://cineuropa.org/fr/newsdetail/324801/>

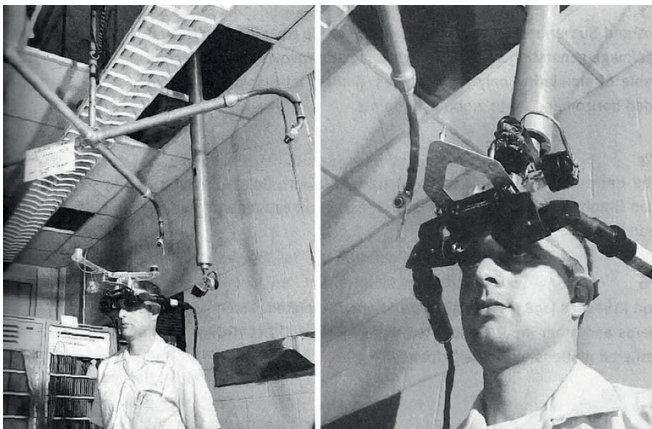


Figure 2: «*The Ultimate Display*», premier HMD (Sutherland, 1968) https://www.researchgate.net/figure/Ivan-Sutherlands-head-mounted-3D-display-c-1968-The-display-had-a-suspending_fig1_337438550

devraient être conçues pour s'adapter à l'humain et non l'inverse. Pour lui, l'enjeu de la RV est de créer un espace où les éléments artificiels sont perçus comme authentiques, où les visuels, les sons et les interactions semblent naturels. Néanmoins, il ne considère pas nécessaire que les environnements virtuels imitent fidèlement le monde réel, mais que cet espace puisse offrir la liberté de façonner un univers où la matière obéit à des règles différentes, offrant ainsi la possibilité de concevoir des espaces et des dynamiques entièrement nouvelles (Quinz, 2017). Avec cette vision en tête, il a conçu en 1968 un des premiers dispositifs d'affichage directement porté sur la tête (HMD), qu'il nomma le « Ultimate Display » [Figure 2]. Cependant, ce dernier, en raison de sa lourdeur, était attaché au plafond et a naturellement gagné le surnom de « The Sword of Damocles ». Cet appareil déterminait mécaniquement où l'utilisateur-riche regardait et générait des visualisations d'objets 3D qui évoluaient visuellement en fonction des mouvements de tête en superposition à la réalité (Pimentel Ken et Teixeira Kevin, 1993). La NASA utilisera un système similaire presque vingt ans plus tard pour accompagner les astronautes dans leurs entraînements (Pimentel Ken et Teixeira Kevin, 1993).

Des innovations issues du cinéma, comme le Cinérama, progressivement transposées à l'informatique, découleront non seulement les premières tentatives de commercialisation à grande échelle de la technologie, mais aussi des initiatives visant à enrichir les interactions possibles.

Les percées technologiques des années 1960, marquées par les travaux visionnaires de pionniers tels que Heilig et Sutherland, ont marqué un tournant décisif dans l'histoire des interactions humain-machine. Ces pionniers ont non seulement exploité les capacités grandissantes des ordinateurs d'après-guerre, mais ils ont aussi anticipé l'importance capitale d'interfaces adaptatives et immersives. En plaçant l'expérience sensorielle et corporelle de

l'utilisateur·rice au cœur de leurs créations, ils ont ouvert la voie à une ère où la technologie ne serait plus une entité extérieure à manipuler, mais un espace à habiter. Cette fusion précoce entre les avancées computationnelles et les besoins humains de navigation et d'interaction dans des mondes numériques a posé les jalons d'une révolution en gestation : l'essor d'une RV centrée sur une intégration toujours plus harmonieuse et instinctive du corps humain dans l'écosystème numérique.

Vers une intégration du corps

Si les premières avancées en matière de RV étaient largement axées sur l'immersion visuelle et auditive, l'ambition d'intégrer l'expérience du corps entier dans des mondes virtuels est rapidement devenue un horizon convoité. Alors que les technologies précédentes nous donnaient un avant-goût des mondes numériques, le désir de ressentir, toucher et interagir avec ces environnements d'une manière plus holistique a ouvert la voie à des innovations majeures.

Dans la quête d'une immersion toujours plus naturelle, Thomas Zimmerman dépose, en 1982, un brevet novateur : un capteur de flexion optique intégré à un gant, permettant une mesure précise de la flexion des doigts. À la suite de son départ d'Atari, société pionnière du jeu vidéo, Jaron Lanier fonde VPL Research en 1984, une entreprise vouée à l'avant-garde de la RV. Rapidement, d'autres éminent·es chercheur·euses le rejoignent, dont Thomas Zimmerman, lui-même ex-collaborateur d'Atari.

Grâce à leurs efforts conjoints, les DataGloves voient le jour. Ces gants équipés de capteurs utilisant la technologie développée par Zimmerman permettent une interaction plus précise et intuitive avec les environnements virtuels. En effet, à cette époque, « vous ne pouviez interagir spatialement avec un ordinateur



Figure 3 : Nicole Stenger portant l'eyephone et le DataGlove de VPL (s. d.)
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nicole_Stenger_with_VR_equipment.jpg

qu'au moyen d'un dispositif tel qu'une souris, un stylo optique ou un joystick - et les souris étaient encore exotiques et difficiles à trouver » (Jaron Lanier, 2017).

À présent, les mains trouvaient enfin leur place légitime au sein du cyberspace. L'intégration du toucher a été le premier objectif de la compagnie avec le développement de ses gants. Pour Jaron Lanier, ce sens est essentiel dans l'immersion : « L'haptique vous permet de faire partie du monde, et non de l'observer. ». Leurs innovations dans le domaine de l'interaction manuelle ont conduit à une collaboration avec le fabricant de jouets Mattel pour créer un contrôleur de jeu novateur. Lancé en 1989 pour la NES (Nintendo Entertainment System), le Power Glove préfigurait les futurs contrôleurs de mouvement comme la télécommande Wii et Kinect, bien avant leur apparition sur le marché (Jaron Lanier, 2017).

L'apogée de VPL fut marqué par sa capacité à permettre à deux personnes d'entrer dans un environnement virtuel partagé pour interagir. En enfilant une version intégrale du DataGlove appelée DataSuit, elles pouvaient incorporer l'ensemble de leur corps dans la simulation et pas seulement leurs mains. Toutefois, l'éclat de cette innovation a été quelque peu assombri par la suite, lorsque l'entreprise a dû s'adapter à une récession mondiale qui a réduit les fonds disponibles pour les dispositifs de RV haut de gamme, comme ceux que proposait VPL.

L'intégration poussée de la main dans l'univers numérique à travers les DataGlove a été une étape significative dans le domaine des interfaces humain-machine. Cependant, comme le soulignent Sturman et Zeltzer dans leur étude (1994), cette innovation n'est pas sans défis. Leur analyse pointe du doigt les obstacles technologiques et ergonomiques tels que la précision de la capture de mouvement, la restitution fidèle des interactions physiques et la fatigue des utilisateur-rices lors de l'utilisation prolongée. En

même temps, leur recherche met en lumière les opportunités offertes par ces dispositifs en termes d'immersion et d'engagement corporel, ouvrant ainsi de nouvelles voies pour la conception d'expériences interactives plus naturelles et intuitives. Cette dualité entre les contraintes techniques et les avancées perceptuelles définit le domaine fluctuant des interfaces de RV, où l'ambition de reproduire la richesse des interactions humaines rencontre les limites de la technologie actuelle. Ce constat souligne l'importance d'une conception centrée sur l'utilisateur-riche, qui tient compte non seulement des capacités techniques, mais aussi des besoins physiologiques et psychologiques des individus pour créer des dispositifs de VR réellement inclusifs et accessibles.

Une renaissance

La traversée du désert qu'a connue la RV durant les années 2000 a trouvé son oasis en 2011, lorsque Palmer Luckey a dévoilé l'Oculus Rift, un prototype de casque qui promettait de concrétiser les visions futuristes des précurseurs de la VR. En août 2012, un appel de fonds sur Kickstarter pour Oculus VR a suscité un engouement spectaculaire, récoltant plus de deux millions de dollars en un mois, propulsant ainsi le développement du casque vers sa commercialisation. Comme l'éclaire Evan Leighton dans son ouvrage sur la résurgence de la RV (2019), « bien que la technologie ait rejoint l'ambition visionnaire de la RV, le contexte culturel global, façonné par le numérique dans les années 2010, a conduit à une adaptation de cette vision utopique au sein d'un écosystème numérique gouverné par des entités aux desseins précis et ciblés ». En effet, l'acquisition d'Oculus par Facebook (aujourd'hui Meta) en 2014 a marqué un tournant financier décisif, offrant à la RV un appui économique de taille pour son expansion et son développement, malgré les critiques d'une partie de la communauté.



Figure 4 : L'Oculus DK1, leur premier kit de développement (2013),
https://www.youtube.com/watch?v=Fvw1tD_wAaU



Figure 5 : Liste non-exhaustive de contrôleurs de RV (2019),
https://twitter.com/vr_sam/status/1085156728474427392

Le chemin parcouru depuis les premiers kits de développement d'Oculus, qui s'appuyaient sur une simple manette Xbox, jusqu'à l'Oculus Rift et ses Oculus Touch, illustre une évolution significative dans leur intégration des mains. En parallèle, des géants comme Sony avec son PlayStationVR, HTC avec le Vive, ou encore Valve avec l'Index, plongent dans l'arène, chacun avec ses propres manettes innovantes, esquissant ainsi les contours d'un standard en gestation.

Ces contrôleurs, hybrides entre les gants sensoriels de VPL et les manettes traditionnelles, ont enrichi l'expérience virtuelle de la détection des mains dans l'espace, de retours haptiques vibratoires et, pour les modèles les plus récents, d'une reconnaissance nuancée des mouvements des doigts. L'évolution spatiale est palpable : de l'utilisateur-riche assis tenant une manette Xbox, on passe à une personne debout, munie de ces avancées technologiques, explorant un champ d'action élargi.

Les casques eux-mêmes n'ont pas été en reste en termes d'innovations. Au-delà des avancées des écrans et des lentilles, la transformation la plus marquante réside dans leur passage d'une conception câblée à une liberté sans fil. Pionnier avec le Meta Quest et parvenu à maturité avec les modèles les plus récents, le casque sans fil offre désormais une expérience autonome, pivot essentiel pour réaliser l'ambition d'une RV immersive et sans entraves.

Ces avancées technologiques, qui incluent les retours haptiques (qui comprennent les retours de forces et les vibrations), la spatialisation du son et la détection de l'environnement et des mains, présentent des défis majeurs dans l'élaboration d'interactions instinctives qui placent le corps humain comme interface centrale entre l'individu et la technologie. Néanmoins, il convient de souligner que les développements dans le domaine de l'interaction corporelle sont souvent le reflet d'une perspective singulière,

typiquement masculine et normative, qui influence la conception et l'expérience de l'utilisateur-riche. Des recherches menées sur le sujet (Gerling Kathrin et Katta Spiel, 2021) expliquent comment les designers adoptent couramment la «norme corporelle» comme point de départ pour la conception, ce qui ne prend en compte les corps minoritaires qu'en second lieu. Ils soutiennent que cette approche est profondément ancrée dans la génération actuelle de systèmes de RV et qu'il est nécessaire de les rejeter comme point de départ pour la conception de la RV accessible. Les auteurs soutiennent que la prise en compte des corps handicapés dès le début offre également la possibilité de créer des technologies qui permettent non seulement aux personnes ayant des corps minoritaires ou marginalisés de s'engager avec la RV, mais également de créer des expériences vraiment engageantes pour tous les utilisateur-rices.

Le parcours historique de la RV, tel qu'il est dépeint dans les sections précédentes, met en lumière une quête incessante d'immersion. Des penseurs de l'antiquité aux conteur-euses modernes, l'impulsion de s'évader dans des réalités alternées est un fil conducteur de la créativité humaine. Avec l'émergence des technologies de la RV, cette impulsion trouve un nouvel écho, où le corps et les sens deviennent des acteurs centraux dans des espaces numériques de plus en plus complexes. L'arrivée de l'Oculus Rift symbolise un jalon important dans l'histoire de la VR, ouvrant la voie à des expériences plus accessibles et diversifiées. Toutefois, ces avancées apportent également leur lot de challenges, tels que l'élaboration de designs inclusifs et la prise en compte de la variété des formes corporelles.

L'objectif est d'examiner comment les utilisateur-rices interagissent, avec leur corps, dans la RV et comment la technologie façonne cette interaction. L'étude s'intéresse aux impacts de la RV

sur la perception et l'expérience corporelle des individus, en s'appuyant sur des analyses d'observations et d'entretiens. Elle vise à explorer les dimensions humaines et expérientielles de la RV, au-delà des aspects techniques, pour mieux comprendre l'interaction entre l'utilisateur-riche et ces environnements numériques.

UN CORPS FRAGMENTÉ

Comme évoqué au chapitre précédent, l'évolution des technologies de la RV est intimement liée avec la conception du corps des concepteur-ices ou de leurs utilisateur-rices. Les ambitions associées à cette technologie demeurent inchangées depuis ses débuts : créer des environnements, qu'ils soient réels ou imaginaires, et procurer une immersion la plus aboutie possible, en y faisant vivre une expérience empreinte de sensibilité et d'aspect corporel. Bien que les progrès récents dans la détection des mouvements corporels par le biais des casques et des contrôleurs aient été significatifs, il est reconnu que les interactions en RV soulèvent des questions complexes et inédites. Les utilisateur-rices font en effet toujours face à une dichotomie entre l'expérience visuelle et l'expérience corporelle, ressentant une fragmentation de leurs sens en immersion. Nous allons voir maintenant comment cette fragmentation du corps est vécue par les participant-es à cette étude.

Les mains, premiers points de contact

Si plusieurs membres sont captés et mis à contribution lors d'une expérience en RV, il est clair que les mains ont tendance à être privilégiées comme principal outil d'interaction. Cette prédominance est palpable, non seulement dans la conception des expériences RV, mais aussi dans les retours des utilisateur·rices.

Après une partie de «Job Simulator», N. a noté : « Dans les tâches de manipulation d'objet, je préférerais le faire juste avec la main, sans cliquer sur des boutons. ». Cette simple déclaration met en lumière une tendance actuelle : la main, plus que tout autre membre, est mise en avant dans les interactions en RV. D'autres utilisateur·rices renchérisent sur cette idée. Par exemple, nombreux sont ceux qui soutiennent que la manipulation d'objets par les mains renforce l'immersion. Une citation illustrative à ce propos serait celle de N. : «J'avais joué à un jeu de puzzle avec les mains et c'était beaucoup plus immersif». Alain Bouldoires (2006) confirme cette importance en citant Merzeau (1998). Il souligne que «Pour le médiologue, le corps est le premier médium, à la fois le plus intime et celui qui sait imposer son rythme à la technique. La prétendue absence du corps dans les espaces virtuels soulève toutes les inquiétudes alors que, nous le verrons, c'est autour de lui que tout se joue. Ne nous y trompons pas, c'est la main qui pilote l'écran. Cette angoisse profonde de la disparition de la chair ne correspond en rien à la réalité des TIC qui prolongent nos capacités physiques et mentales.»

Ainsi, en s'interrogeant sur la place du corps dans le cyberspace, on se rend compte que, malgré la vaste étendue des possibilités offertes par la VR, les mains conservent une position centrale, servant de pont entre la réalité tangible et les mondes numériques.

La main comme outil ou comme objet

Dans la recherche du domaine de l'interaction humain-machine (IHM), « l'un des objectifs à long terme de l'IHM est de faire migrer les moyens « naturels » utilisés par l'homme pour interagir avec les autres » (Sharma et al., 2015). La main humaine, dans sa complexité et sa dextérité, a toujours été l'instrument le plus naturel et polyvalent dont dispose l'homme pour interagir avec son environnement.

Dans le cas des technologies de RV, cette polyvalence est mise à l'épreuve : d'une part, elle exécute des manipulations délicates, nécessitant précision et finesse, comme l'ajustement de petits objets ou la réalisation de gestes précis. D'autre part, elle est engagée dans l'utilisation d'outils virtuels, où elle doit s'adapter à des interfaces abstraites et parfois complexes, exigeant une compréhension et une réponse adaptées à des stimuli entièrement simulés. Les jeux « Job Simulator » et « Superhot VR » offrent deux perspectives distinctes sur la façon dont la main est engagée dans l'espace virtuel : tantôt comme prolongement direct de nos intentions, tantôt comme un substitut d'objets et d'outils.

M., une des participantes, illustre cette dualité : « Dans « Job Simulator », j'utilisais mes mains en tant qu'outils, alors que dans « Superhot » je devais prendre et utiliser des outils externes. » Pour le contexte, M. considère les objets de « Superhot » comme les armes à feu, bouteilles et autres shurikens comme les outils pour ce jeu, alors que dans « Job Simulator », les mains font office d'outils. On pourrait donc avancer qu'en fonction des interactions, la fonction de la main varie entre deux formes : la main-outil et la main-objet.

Dans cette optique, Régis Ouvrier-Bonnaz analyse l'importance de la main pour les gestes techniques et les outils à travers les travaux de l'ethnologue André Leroi-Gourhan sur la libération de la main (2010) : « Sans libération de la main, pas de geste tech-

nique, pas d'outil - prolongement de la main - ni d'outil - organe de la machine - et au bout du compte pas d'objet fabriqué. L'objet technique est lié au contexte gestuel qui le rend techniquement efficace, avec la disparition de sa mémoire d'usage s'évanouit sa signification technique. ». Cette citation souligne l'importance fondamentale de la main non seulement comme agent de manipulation directe, mais aussi comme vecteur de l'extension technique.

Dans notre contexte, on peut donc présenter la main-outil comme moyen d'agir avec l'environnement sous sa propre forme et d'offrir des capacités plus ou moins similaires à son équivalent réel. Elle est un agent de manipulation directe, incarnant le prolongement du geste humain dans le monde virtuel. La main-objet, quant à elle, s'efface pour céder la place, tant visuellement que fonctionnellement, à un nouvel outil qui offre de nouvelles possibilités et modalités d'interaction. Elle devient un vecteur de l'extension technique, transformant les mouvements naturels de la main en commandes pour manipuler des objets virtuels ou activer des mécanismes au sein de l'environnement numérique, élargissant ainsi le champ des actions réalisables au-delà des capacités humaines ordinaires.

Ces définitions sont renforcées par S., qui s'exprime sur cette notion : « Dans « SuperHot », la main devient une arme. Dans « Job Simulator », ta main est un outil. ». S. corrobore les affirmations de M. en définissant également la main comme arme, et donc comme outil, alors que la main se suffit en elle-même dans le jeu de cuisine.

Visualisation et latéralité des mains

Pour plusieurs participant-es, un des principaux défis dans l'apprentissage de la manipulation des contrôleurs VR est l'invisibilité du monde réel, empêchant ainsi de distinguer avec précision

la position de ses mains sur les contrôleurs. L'omniprésence des mains dans nos interactions VR intensifie d'autant plus cette frustration. Par exemple, pour quitter la partie, les joueur-euses doivent utiliser un bouton sur le contrôleur droit. L'impossibilité de voir ledit contrôleur a obligé quasiment tous les joueur-euses à enlever leur casque pour le trouver.

En guise de solution, Meta offre une représentation virtuelle de la main ainsi que du contrôleur au sein de son menu. Toutefois, cette initiative est souvent omise dans bon nombre de jeux qui privilégient leurs propres esthétiques visuelles. M., lors d'une session test de «Job Simulator», illustre parfaitement ce sentiment de frustration : « Quand j'ai un objet dans les mains, elles disparaissent et ça me perturbe. [...] ça me dérange par rapport à la réalité où je devrais quand même encore voir ma main, même si c'est virtuel. Je ne comprends pas pourquoi ils ne la montrent plus quand on se saisit des objets. ».

Ce discours révèle une tension entre la représentation virtuelle et la perception corporelle. Ce décalage entre l'attente d'une continuité visuelle de la main et sa disparition soudaine lors de la saisie d'objets en RV met en évidence un aspect crucial de l'interface utilisateur-riche : la cohérence de l'expérience sensorielle. L'invisibilité des mains lors de la manipulation d'objets peut rompre le sentiment d'immersion et perturber la continuité de l'expérience, rappelant à l'utilisateur-riche la nature artificielle de l'environnement.

Même si la visualisation des mains pose des défis techniques, la solution actuellement mise en œuvre par Meta laisse encore place à des améliorations. L'incorporation simultanée de la visualisation des mains et des contrôleurs se solde parfois par des boutons occultés par les doigts virtuels. C. propose une perspective intéressante à ce sujet, soulignant un léger désagrément : « En termes d'amélioration, il faudrait que la représentation de nos

mains nous guide pour bien positionner les contrôleurs, et qu'elle s'efface ensuite pour dévoiler clairement les boutons. Il serait aussi intéressant d'ajouter un indicateur nous alertant d'un choc potentiel entre les manettes, comme avec les repères de limite. ». La remarque de C. met en lumière le besoin d'une interface qui guide l'utilisateur-riche de manière intuitive dans la manipulation des contrôleurs de RV. L'idée d'une représentation des mains qui s'efface après avoir positionné correctement les contrôleurs aborde le problème de la perte de visibilité des boutons, qui est une source de confusion et d'erreur pendant le jeu. En fournissant une aide visuelle temporaire, les utilisateur-rices peuvent acquérir une compréhension spatiale précise de l'emplacement des boutons avant de se lancer dans une interaction qui repose davantage sur le toucher et la mémoire musculaire. De plus, l'introduction d'un indicateur de collision potentiel entre les manettes répondrait à un autre problème fréquent : celui des perturbations physiques causées par les collisions accidentelles des contrôleurs, qui peuvent briser l'immersion et mener à des interruptions de jeu. Ensemble, ces améliorations proposées visent à résoudre des problèmes de navigation et de gestion de l'espace dans la RV.

La RV offre une dimension différente : la capacité à utiliser simultanément les deux mains sans prédominance manifeste de l'une sur l'autre. Si les manettes traditionnelles mobilisaient déjà nos deux mains, celles-ci n'agissaient jamais véritablement de manière autonome. Les contrôleurs de mouvement tels que la Wiimote et le PSMove offraient bien une option pour la seconde main - le nunchuck et le navigation controller respectivement - mais ces périphériques demeuraient secondaires, subordonnés à la main principale. L'expérience dans « Job Simulator », entre autres, propose cette liberté et la pousse grâce aux nombreuses manipulations à faire pour préparer des plats.

Lors des tests, plusieurs participant-es ont exprimé leur sur-

prise face à cette innovation : « Je peux jouer qu'avec ma main droite ? Ah non, avec les deux ! ». Dans « Job Simulator », iels se sont rapidement habitués à manipuler les objets avec leurs deux mains. Y. a, par exemple, tenté de saisir un verre d'eau en le portant au creux de ses mains. La représentation visuelle des mains en VR semble inciter à une prise bilatérale : « J'avais envie de prendre le verre à deux mains, parce que j'ai l'impression que, comme la main se présente, elle n'allait pas prendre le verre. [...] le pouce était collé au reste des doigts. L'apparence de ma main suggérait plutôt une manière d'attraper avec deux mains (comme pour prendre un bol). C'était frustrant et contre-intuitif, parce que ce n'est pas possible d'attraper à deux mains le même objet. » Cette observation renforce la pertinence de la visualisation déjà mentionnée. En offrant une représentation plus fine, Y. n'aurait pas pensé à utiliser une manipulation non adéquate avec les contrôleurs.

De plus, l'usage simultané des deux mains offre une palette de mouvements d'une richesse inégalée. Y. a parfaitement illustré ce potentiel lorsqu'il a cherché à remplir une bouilloire : saisissant l'objet de la main droite, il a activé l'eau avec la gauche. Son étonnement fut palpable : « C'est vraiment un geste en apparence compliqué, que le système comprend parfaitement. C'est très pratique et ça aide vraiment à l'immersion ! ». La réaction de Y. démontre un moment de révélation qui contraste fortement avec des expériences antérieures de jeux utilisant des contrôleurs de mouvement. Cette interaction bimanuelle suggère une certaine sophistication dans la reconnaissance des gestes par le système VR, mais soulève également des questions sur la précision et la fiabilité de ces technologies lorsqu'elles sont confrontées à des tâches du quotidien transposées dans un environnement virtuel. Y. semble surpris et satisfait de la capacité du système à comprendre un geste qu'il perçoit comme complexe, ce qui indique

une convergence vers une interaction naturelle et instinctive. Toutefois, cette observation mérite une analyse plus approfondie pour évaluer si ces interactions avancées sont cohérentes à travers diverses applications et si elles améliorent véritablement l'expérience immersive sans introduire de nouvelles barrières à l'engagement de l'utilisateur-riche.

Si A., Y. et S. ont tous-tes les trois commencés à attraper les objets avec leur deux mains, M., en revanche, a mis en exergue le rôle central de sa main dominante : « J'ai remarqué que j'ai quasiment tout fait avec la main droite. Il y a bien eu quelques fois où j'ai utilisé les deux et ce n'était pas par facilité, mais parce que j'avais plusieurs choses à prendre. Dans ce cas-là, ça m'est venu naturellement d'utiliser les deux mains. Mais s'il y a une manipulation, je la fais avec ma main dominante. » Les testeur-euses, tous-tes rompus aux jeux vidéo et aux contrôleurs de mouvement, ont trouvé que l'utilisation bimanuelle offerte par la RV constituait une rupture impressionnante avec leurs expériences passées. Ce sentiment d'impression se justifie par la transition d'une interaction principalement basée sur les gamepads à une manipulation plus organique et immersive. Bien que les DataGloves de VPL dans les années 80 aient déjà introduit cette possibilité, la technologie actuelle de VR démocratise et raffine l'expérience, offrant une immersion et un réalisme que les utilisateur-rices trouvent remarquables par rapport aux contrôleurs traditionnels.

Retours haptiques

Le rôle crucial des retours haptiques dans l'expérience immersive de la RV a été souligné par les observations des participant-es. Le degré d'importance accordé à ces retours semble varier en fonction de la régularité et de l'expérience de jeu des utilisateur-rices. Les joueur-euses réguliers, tels qu'A. et N., mettent particulièrement en avant l'impact positif des vibrations : A. relève que « dans

« SuperHot », les vibrations étaient très naturelles, cela permettait de comprendre qu'on pouvait se saisir des objets », tandis que N. apprécie leur confirmation tacite d'une action réussie, essentielle à son immersion : « C'est très important pour moi parce que cela valide et confirme mes actions et ça participe à l'immersion. »

En revanche, les joueur-euses occasionnel-les se montrent plus ambivalent-es. C., par exemple, parle de ces retours discrets selon elle : « Je n'ai pas vraiment senti les vibrations, en tout cas dans les jeux, mais peut-être juste dans les menus au début. C'était peut-être très naturel, mais je n'ai rien senti. » M. poursuit dans la même veine, indiquant que les vibrations ne lui ont pas spécialement marqué, ce qui, selon elle, indique qu'elles étaient intégrées de manière suffisamment naturelle ou efficace pour ne pas perturber l'expérience de jeu. Par conséquent, il semble que les retours haptiques, bien que discrets et non intrusifs, n'apportent pas de valeur ajoutée notable à l'expérience de ces joueur-euses.

Parmi les joueur-euses les plus occasionnels et plus âgés, on retrouve moins d'enthousiasme, voire même un certain rejet. Y., par exemple, exprime qu'il n'y est pas très sensible : « Je n'ai pas trop fait attention aux vibrations. Peut-être que ça m'a un tout petit peu aidé parfois, mais pas beaucoup. Je pense qu'ils étaient très basiques. » Le cas de P., la moins expérimentée et plus âgée des joueur-euses, est encore plus parlant. Elle exprime sa perplexité face à l'objectif des vibrations, ressenties comme aléatoires et sans lien apparent avec l'action de jeu : « Je n'ai pas compris pourquoi les vibrations venaient. Pour moi, ce n'était lié à rien, je ne comprenais pas. »

Ces commentaires illustrent clairement un manque de référence partagées concernant les vibrations haptiques, une lacune qui tend à se réduire avec l'accumulation des heures de jeu. Pour combler ce fossé, certains utilisateur-rices expriment le désir de voir les vibrations devenir plus fines et sensibles, comme l'évoque

S. en référence à la manette PS5 : « Je n'ai vraiment pas ressenti les vibrations, alors que je les ressens d'habitude. Par exemple avec la manette PS5, il y a beaucoup plus de retours sur les boutons. Je trouve qu'il y a un grand potentiel d'amélioration dans les retours haptiques pour les contrôleurs. Cela permettrait de se sentir plus dans l'expérience ».

Cependant, l'ambition de perfectionner les retours haptiques doit être abordée avec prudence. En effet, une étude sur le sujet (Berger et al., 2018) met en garde contre le risque d'induire un effet de « vallée de l'étrange » dans la perception haptique. Cet effet désigne la répulsion ressentie face à un réalisme trop poussé dans une représentation virtuelle ou robotique. Ainsi, plus de sensations haptiques ou des sensations plus réalistes ne riment pas nécessairement avec une meilleure expérience. À mesure que les simulations virtuelles cherchent à s'enrichir de retours multisensoriels, la cohérence de ces retours devient cruciale. Un déséquilibre dans la restitution haptique peut non seulement contrecarrer les avancées escomptées, mais aussi nuire à l'immersion que la RV s'efforce de créer. Pour une expérience virtuelle équilibrée, il est primordial d'harmoniser les retours haptiques avec les stimuli visuels et auditifs, afin d'éviter une surcharge sensorielle. Une intégration judicieuse des retours tactiles peut renforcer l'immersion sans submerger l'utilisateur-riche, préservant ainsi le sens et l'intention de chaque interaction. L'objectif est de créer une immersion complète où le toucher complète la vue et l'ouïe, enrichissant l'expérience sans la surcharger.

Les retours haptiques dans les contrôleurs des mains jouent donc un rôle subtil, mais essentiel dans l'enrichissement de l'expérience de RV. Ils agissent comme des guides invisibles qui renforcent l'immersion sans s'imposer au conscient de l'utilisateur-riche. Cependant, leur intégration requiert une finesse qui équilibre la sensibilité naturelle et l'intuitivité. Il s'agit d'une

alchimie délicate où la technologie doit chercher à compléter plutôt qu'à dominer, suggérant des interactions plutôt que les dictant, afin de laisser place à une immersion où le corps, guidé par les retours tactiles des contrôleurs, devient un acteur plus engagé dans l'aventure virtuelle.

La tête, une fenêtre sur le monde virtuel

Le casque de RV équipe la tête d'un ensemble de capteurs sensoriels, apportant non seulement la vision stéréoscopique, mais aussi l'acuité auditive, deux éléments cruciaux pour une représentation spatiale cohérente et une immersion convaincante. Les utilisateur·rices de la RV partagent une conception commune de l'immersion, la décrivant comme le sentiment d'être transporté dans un lieu autre, une présence enveloppante dans l'espace virtuel proposé.

Cette immersion est souvent amplifiée par l'interaction entre l'audition et la vision, une synergie particulièrement saisissante lorsque l'utilisateur·rice ressent un projectile passer près de la tête, comme le décrit S. dans le jeu « SuperHot » : « La sensation de la balle que je me prenais en pleine tête était aussi très intéressante. J'ai cru un instant que j'allais mourir, ça m'a fait un gros choc, mon corps a réagi, même si j'avais toujours conscience que c'était un jeu. » Ces expériences mettent en évidence l'importance cruciale de l'alignement des stimuli sensoriels pour une immersion approfondie. Contrairement à un jeu vidéo derrière un simple écran, où la mort du personnage crée essentiellement de la frustration, le casque permet tout de même de jouer avec ses sens et rapprocher l'utilisateur·rice du premier plan.

La qualité des retours visuels est généralement bien reçue par les utilisateur·rices, qui apprécient les apparences soignées et les graphismes détaillés des jeux. Cependant, Y. évoque une

perspective intéressante : « Je pense que si j'étais face à un grand écran, avec une scène qui se passait avec une belle image, je serais presque plus dedans que je l'étais avec le casque. » Cette observation suggère qu'il existe une distance perceptible, même avec le port d'un casque de RV, une barrière subtile entre l'expérience immersive et la participation active.

Bien que la tête soit centrale pour l'orientation et la perception dans la RV, elle ne facilite pas l'engagement physique de manière aussi directe que les mains. La technologie actuelle, principalement basée sur l'usage de contrôleurs manuels, confine souvent la tête à un rôle passif, limitant ainsi sa participation active dans l'expérience immersive. Il y a donc une séparation entre la richesse de l'immersion visuelle et auditive et la portée plus restreinte de l'interaction physique. Pourtant, les capacités expressives du visage et les mouvements de la tête offrent un potentiel inexploité pour une interaction plus riche. Par exemple, le suivi des expressions faciales pourrait permettre aux utilisateur-rices de communiquer non verbalement, offrant une nouvelle dimension aux interactions sociales dans la RV. De même, le suivi des mouvements oculaires pourrait introduire une manière intuitive de naviguer dans l'environnement virtuel ou de sélectionner des objets, rendant l'expérience plus naturelle. En outre, l'intégration de commandes vocales pourrait servir de substitut aux actions manuelles, libérant les mains pour d'autres tâches et approfondissant l'engagement physique dans l'expérience immersive. Cette réalité met en lumière les défis auxquels fait face la RV dans sa quête pour engager l'utilisateur-riche de façon intégrale et sans restriction.

Des jambes virtuellement absentes

L'évolution récente de la RV a vu l'intégration essentielle du suivi spatial, une fonctionnalité absente des premières générations de dispositifs VR. La capacité de se déplacer et d'agir dans un espace virtuel est fondamentale pour instaurer une sensation de présence authentique (Coley, 2019), ce qui est devenu un critère incontournable des casques modernes pour garantir une immersion convaincante. Pourtant, il est surprenant de remarquer que lors des entretiens, les membres inférieurs ont rarement été évoqués comme s'ils n'existaient pas, ou n'étaient pas pris en compte.

M., l'une des rares participantes à avoir abordé ce sujet, exprime un manque ressenti lors de ses interactions virtuelles : « Dans « SuperHot » je devais bouger tout mon corps. Je me demande si je n'aurais pas préféré un repère pour me situer, voir mes jambes par exemple. ». Sa réflexion laisse entrevoir une aspiration à une représentation complète de son corps dans l'espace numérique, une visualisation qui pourrait faciliter son immersion et sa navigation dans l'univers virtuel. La référence de M. à ses jambes invisibles met en lumière le besoin d'un ancrage spatial qui transcende la simple représentation des extrémités supérieures et englobe l'intégralité de la posture physique. L'absence perçue de ses jambes virtuelles suggère un manque qui pourrait entraver une plongée totale dans le virtuel, un monde où l'utilisateur-riche s'attend à interagir pleinement et de manière intuitive.

Les jeux sélectionnés pour cette étude illustrent deux approches du déplacement en RV. « Job Simulator » confine l'interaction à un espace immédiat, accessible par les mouvements naturels des bras, tandis que « SuperHot » encourage l'utilisateur-riche à se déplacer plus activement, invitant à des actions telles que s'accroupir pour esquiver des obstacles. Ces différences de design révèlent des attentes diverses en matière de représen-

tation des jambes, comme le laisse entendre M. : son expérience avec « SuperHot » implique un besoin de visualiser ses jambes pour une navigation optimale et une immersion renforcée dans le jeu.

La non-présence des jambes dans la RV n'annule cependant pas les réflexes acquis, comme l'illustre C. pendant son expérience dans « SuperHot » : « J'ai particulièrement vécu l'immersion quand j'ai levé la jambe pour passer au-dessus d'un câble, alors qu'il n'existait pas dans la réalité. Mais en même temps, je ne savais pas si j'avais réussi à l'éviter, ce qui m'a mise mal à l'aise ». Cet épisode révèle une compensation cognitive spontanée face à l'invisibilité des membres inférieurs. Cependant, cette réaction instinctive révèle également une faille dans la trame de l'expérience VR – une rupture ou une altération de l'immersion due à un manque de synchronisation entre l'environnement virtuel et la perception physique. Ces écarts entre l'intention et la réalisation dans la VR posent des défis aux concepteur-ices qui visent à élaborer des expériences cohérentes et complètes, intégrant non seulement les stimuli visuels et auditifs, mais aussi la proprioception et la kinesthésie.

La question de la visualisation des jambes a été source de controverses, notamment avec le lancement de Horizon World par Meta en 2021. Ce réseau social en RV a initialement présenté des avatars amputés de leurs jambes, une décision qui a suscité des réactions variées et parfois moqueuses de la part des utilisateur-ices et des expert-es du domaine (David Heaney, 2023). Ce n'est qu'en septembre 2023 que Meta a répondu à ces critiques en intégrant enfin les jambes aux avatars, reflétant ainsi une reconnaissance tardive de leur importance pour l'expérience utilisateur-ice.

UN CONTRÔLE INTERMITTENT

Alors que le chapitre précédent s'est concentré sur la fragmentation de l'expérience corporelle en RV, il devient essentiel d'examiner comment cette expérience influence la capacité de l'utilisateur-riche à contrôler et à manipuler son environnement virtuel. En abordant le thème du contrôle explicite, nous plongeons plus profondément dans l'analyse des interfaces humain-machine, en lien étroit avec la problématique du corps, pour révéler comment les joueur-euses se les approprient et exercent leur influence sur le monde virtuel. Cette continuité dans notre exploration des interfaces RV nous mène à discuter l'importance du sentiment d'autonomie et de maîtrise, qui représente un enjeu crucial pour une expérience optimale.

Bastien et Scapin, spécialistes en ergonomie cognitive et psychologie ergonomique, ont élaboré une série de critères heuristiques dédiés à la conception ergonomique. Parmi ces critères, le « Contrôle explicite » retient particulièrement notre attention (Bastien & Scapin, 1993, p. 64-66). Il énonce que l'utilisateur-riche doit être le maître-esse de l'interaction, sans jamais ressentir une quelconque pression ou contrainte imposée par le système. Cette maîtrise se traduit par la liberté de l'utilisateur-riche d'entamer, de diriger et de conclure une action. Le système, quant à lui, ne devrait pas initier de comportements surprenants sans l'accord de l'utilisateur-riche. En présence de procédures automatisées, une option d'arrêt doit toujours être à sa portée. Ce critère met en exergue la nécessité d'assurer à l'utilisateur-riche une interaction transparente et contrôlable avec l'interface, ce qui renforce sa confiance et optimise son efficacité.

Des défis techniques et de conception

Durant les essais, deux formes principales de frustrations liées à une perte de maîtrise ont été relevées par les utilisateur-rices : une correspondant aux défis techniques et technologiques, et l'autre associée à la conception des jeux et à leurs mécanismes d'interaction.

Dans la première catégorie se retrouvent des commentaires plutôt liés aux choix de conceptions et d'interaction relevant directement des jeux et de la partie logicielle. Par exemple, Y., M. et P. se plaignent de la compréhension de l'action de lancer d'objet avec le contrôleur : « Je vois qu'il y a un petit décalage au lancé, il tire plus à gauche. Est-ce que c'est de la latence ? », « Pour les lancers d'objets, soit cela ne captait pas très bien, soit c'était lié au temps qui défilait d'un coup dans le jeu, mais c'était compliqué de bien viser. », « Je l'ai lancé, mais il n'est pas parti

sur l'objet que je visais, ça manque de précision. ». Pour compléter ces témoignages, on peut également citer le commentaire d'un-e internaute (2018) sur le site metacritic qui démontre que ce n'est pas un problème isolé : « It's a «super fun» game... one of my favorites on the PSVR. Good graphics, okay controls, stellar gameplay. My biggest complaint is the throwing of objects does not work very well, should stick with guns and fists only. ». Les interactions de lancer sont difficiles à simuler dans un environnement virtuel, mais la recherche a montré qu'une combinaison du mouvement avec des retours haptiques pouvait améliorer le ressenti et la précision. Néanmoins, les problèmes se situent plus pour le lancer à longue distance. Par exemple N. s'amuse à jongler avec une cartouche et s'en sors très bien : « J'arrive à lancer la cartouche en l'air et à la rattraper, c'est vraiment bien fait ! ». De plus afin de limiter les dérangements liés à cette problématique, certains jeux proposent une marge de précision. Y. l'a particulièrement senti dans « Job Simulator », et cela l'a rassuré : « Au bout d'un moment, j'ai senti que je pouvais être approximatif avec les mains, et heureusement. ». Des systèmes des préventions d'erreurs et simplifications de l'interaction existent déjà tant dans la conception d'interface mobile que dans le jeu vidéo (coyote time).

La loi de Fitt précise que le temps nécessaire pour pointer ou atteindre une cible dépend à la fois de la distance à celle-ci et de sa taille (Raluca Budiu, 2022). Cette loi, bien établie en ergonomie, suggère qu'une cible plus grande ou plus proche sera atteinte plus rapidement et avec plus de précision. Dans le contexte de la RV, cela peut se traduire par la nécessité de fournir des zones cibles de taille suffisante, ou de tolérer une certaine imprécision, afin de faciliter l'interaction. Les remarques de Y. sur « Job Simulator » montrent que le jeu semble avoir intégré cette notion, permettant aux utilisateur·rices une marge d'erreur dans leurs actions. En offrant une tolérance dans l'interaction, les jeux peuvent compen-

ser les difficultés inhérentes à la simulation de mouvements complexes, comme le lancer d'objets, assurant ainsi une expérience utilisateur-riche plus fluide et satisfaisante. Dans l'ensemble, il est crucial pour les concepteurs de jeux en RV de comprendre et d'appliquer des principes ergonomiques tels que la loi de Fitts pour optimiser l'interface et les interactions, et ainsi répondre au mieux aux attentes et aux capacités des joueur·euses.

Dans la deuxième catégorie, les problèmes survenus sont principalement liés à l'affordance de la saisie d'objets avec le contrôleur et ses boutons, ainsi que moins souvent à la perte du traçage de la manette. Par exemple, S. nous parle de cette perte de contrôle liée à sa main droite de manière assez explicite : « Je n'ai aucun problème avec la main gauche, mais ma main droite ne suit pas la position dans laquelle je suis. Ça me donne un sentiment de perte de contrôle. ». Très vite, il songe que cela puisse être lié à la pièce très exposé au soleil qui perturberait les capteurs et il décide de baisser les stores. On ne saura pas si c'était bien le problème, mais il n'en a plus souffert après. Au début de l'expérience, C. se plaint également d'un léger décalage de traçage : « C'est perturbant d'avoir mes mains qui ne suivent pas mes mains ». Néanmoins le problème se règle rapidement après quelques mouvements. Les deux participant·es ont toutefois exprimé le fait que la menace du problème restait présente encore un moment après le problème. Ces défis techniques, évoqués par les participant·es, reflètent une autre facette de la fragmentation corporelle en RV. Lorsque S. décrit la perte de contrôle de sa main droite, ou que C. mentionne un décalage, iels ne signalent pas seulement des problèmes techniques, mais aussi une discontinuité dans la représentation de leur corps dans l'espace virtuel. Cette discordance entre leurs mouvements physiques et la réactivité du système VR renforce la sensation d'un corps segmenté, où certaines parties semblent détachées de l'expérience globale.

Un autre problème évoqué est l'affordance des manettes pour la manipulation d'objets. Cette notion, inspiré du travail en psychologie de James Gibson, est définie par Don Norman dans son livre « Le design des objets du quotidien » (2020, p. 28) comme « La relation entre les propriétés d'un objet et les capacités de l'agent à déterminer comment l'objet peut être utilisé. » La capacité de se saisir d'un objet étant la base de la plupart des interactions en RV, le contrôleur se doit de proposer une affordance idéale. Néanmoins, la première confrontation des participant-es dont c'était la première utilisation (ou presque) aux contrôleurs ne s'est pas faite de manière très fluide. Les témoignages des participant-es révèlent les défis inhérents à la conciliation entre la conception des manettes et les attentes intuitives des utilisateur-rices. Même si les contrôleurs de RV ambitionnent de reproduire fidèlement les mouvements et les interactions naturelles des mains, la pratique montre qu'ils ne parviennent pas toujours à répondre à cette aspiration de manière transparente pour tous les utilisateur-rices. L'observation : « Ce n'est pas le doigt de derrière, mais celui de devant qu'on doit utiliser, comme dans la vraie vie. » soulève une question fondamentale correspondance (« mapping ») concept central évoqué par Don Norman (2020). Dans ce contexte, la correspondance fait référence à la relation entre ce que l'on souhaite réaliser (par exemple, saisir un objet) et l'action requise sur la manette. Quand cette correspondance est intuitive, les utilisateur-rices peuvent interagir avec l'appareil sans réfléchir. Cependant, comme le suggère ce commentaire, si la correspondance est mal conçue, cela peut entraîner une confusion, voire une frustration. La remarque « J'étais un peu frustré de devoir faire toujours la même chose pour l'utilisation des mains (avec le majeur), alors que j'aimerais bien prendre des choses entre le pouce et l'index. » témoigne également de cette déconnexion. En somme, tout en

cherchant à innover, les concepteurs doivent veiller à ce que les contrôleurs soient en phase avec les attentes et intuitions naturelles des utilisateur-rices, en s'appuyant sur des principes d'ergonomie tels que l'affordance et la correspondance décrits par Don Norman. La remarque témoigne également de la difficulté à reproduire la variabilité et la richesse des saisies manuelles dans un environnement virtuel. Les difficultés rencontrées avec la correspondance entre les attentes naturelles et les actions requises par les manettes de RV mettent en exergue une forme de fragmentation même au niveau de la main, où la granularité de l'interaction se perd. Chaque doigt, capable de gestes distincts et fins dans la réalité, se voit souvent réduit à une fonctionnalité plus limitée et homogène dans l'environnement virtuel, reflétant la fragmentation du corps observée à une échelle plus globale. Ce phénomène accentue la nécessité de concevoir des interfaces qui non seulement respectent la dextérité complète de la main, mais qui embrassent également la complexité de son utilisation naturelle.

Les limites physiques

La présence physique dans la RV peut parfois se heurter à des limites inattendues. Les utilisateur-rices, comme C., font l'expérience de ces contraintes lorsqu'ils mentionnent des incidents mineurs, mais perturbants : « Mince, j'ai heurté le casque. Maintenant, je connais ses dimensions. Mais heurter les manettes entre elles, ça peut vraiment rompre l'immersion. » L'immersion, en effet, peut nous faire oublier notre environnement réel. Pour pallier ces difficultés, les derniers modèles de casques de Meta ont intégré une fonctionnalité double : un mode stationnaire qui dessine une limite circulaire autour de l'utilisateur-riche, et un mode à l'échelle de la pièce, où l'on doit tracer soi-même les frontières avec le contrôleur. En s'approchant de ces limites, le casque

superpose une vue de la pièce réelle à l'environnement virtuel, alertant ainsi l'utilisateur-riche d'un risque de collision. La plupart des participant-es à l'étude se montrent satisfaits de ce système, mais S. nuance : « J'apprécie le système d'alerte des limites, mais il reste un risque de ne pas les remarquer si l'on est trop absorbé par le jeu. »

Cette observation souligne les limitations de telles mesures de sécurité. Tandis qu'un jeu calme et posé comme « Job Simulator » peut s'accommoder aisément de ce système, un jeu dynamique et plein d'action tel que « SuperHot » peut rapidement rencontrer ses limites. Lors des tests, Y., jouant pour la première fois à « SuperHot », a réagi instinctivement à une attaque soudaine en donnant un coup de pied, qui a malheureusement abouti sur la porte de son salon. Dans une situation similaire, P. a tenté de se protéger d'une balle en frappant son casque avec ses contrôleurs, ce qui l'a contraint à interrompre le jeu pour reprendre ses esprits. Bien que ces incidents n'aient pas causé de dommages sérieux, ils révèlent un risque inhérent à cette expérience de jeu intensément immersive.

Un espace restreint amène aussi des choix de conception différents. Par exemple, A. s'exprime sur le sujet en parlant de « Job Simulator » : « D'un côté c'est bien que ce soit un espace très réduit, comme ça on n'a pas besoin de trop se déplacer. De l'autre côté, ça implique d'avoir plusieurs fonctions au même endroit (par exemple la casserole ou la plaque de cuisson). ». Ce jeu est donc bien adapté à une limite stationnaire, contrairement à « SuperHot », qui a besoin d'espace pour des mouvements plus amples.

Finalement certain-es participant-es évoquent également la contrainte physique d'avoir un contrôleur en main. Dans « Job Simulator », alors que le terme de main-outil était évoqué dans le chapitre précédent, N. évoque son besoin de se séparer de cet outil

après une interaction : « J'avais envie de lâcher la manette après l'interaction, une fois le travail terminé. ».

Vers des contrôleurs moins tangibles

La forme et la fonction des contrôleurs en RV suscitent des réflexions diverses chez les utilisateur·rices, qui s'interrogent sur l'évolution de ces dispositifs d'interaction. A. remet en cause la nécessité d'une prise à deux doigts pour la manette : « Je me demande s'il y aurait besoin de garder toujours deux doigts qui tiennent la manette. Cela pourrait être accroché à la main. L'auriculaire et l'annulaire ne sont jamais libres. Néanmoins, le côté physique est vraiment important dans « SuperHot ». Ça serait donc bien de l'avoir accroché à la main par exemple, mais sans besoin de le tenir. ». M., quant à elle, explore l'idée de dépasser les contrôleurs physiques pour une interaction directe avec les mains, anticipant une évolution vers des expériences plus intuitives et naturelles : « Selon moi, les mains sont de plus en plus utilisées et l'avenir sera plutôt le contrôle avec les mains, et une détection de l'environnement avec le casque pour interagir avec. Le côté physique devrait être présent uniquement selon la spécificité de l'action, si c'est utile. » Elle envisage même une personnalisation des périphériques selon les besoins spécifiques de chaque jeu : « Je pense que ça va être de plus en plus difficile d'avoir des contrôleurs universels. Je pense que ce sera plus lié aux expériences de chaque jeu, quitte à ce que chaque jeu ait son propre objet ou contrôleur. ».

N., P., et Y. imaginent l'avenir des contrôleurs sous forme de gants sophistiqués, chacun pour des raisons propres. Y. exprime le désir d'une expérience sensorielle enrichie : « qu'il y ait plus de retours sur la main », tandis que P. préfère une approche épurée : « Je pense que les manettes vont être de plus en plus discrètes.

Peut-être juste des retours haptiques sur les mains avec des capteurs ou des gants. ». N. considère cette évolution avec prudence : « Je pense que dans le futur, les contrôleurs seront soit les mains, soit des sortes de gants, même si ça serait compliqué de faire de la RV aujourd'hui avec ces derniers. ». Leur vision semble faire écho à l'approche initiale de VPL avec les DataGloves, faisant ressortir la boucle historique de la technologie en RV.

Par ailleurs, une étude récente de Khundam et al. (2021) a exploré l'ergonomie des interactions en RV, comparant les contrôleurs et le suivi des mains. Les résultats indiquent une équivalence en termes de temps d'interaction et une satisfaction similaire quant à l'utilisabilité et l'apprentissage des deux méthodes. Bien que cette technologie de suivi des mains n'ait pas été expérimentée par tous les testeur-euses lors des entretiens, l'idée d'une interaction sans contrôleurs semble captiver l'imaginaire et projeter des attentes sur une expérience de RV encore plus immersive et libérée des contraintes matérielles.

En conclusion, les perspectives sur l'avenir des interfaces en RV reflètent un désir commun d'intuitivité et de naturel dans l'interaction. Les utilisateur-rices aspirent à une immersion sans entraves, où la frontière entre l'outil et la main s'estompe, voire disparaît. Si l'histoire de la RV nous a enseigné quelque chose, c'est que l'innovation est cyclique et que l'avenir pourrait bien renouer avec les visions pionnières d'antan, transformant les contrôleurs d'aujourd'hui en reliques de demain.

CONCLUSION

Dans le cadre de cette étude, l'examen des interactions entre l'utilisateur-riche et les contrôleurs de RV a révélé une tension entre les progrès technologiques et les exigences ergonomiques. Les témoignages recueillis ont mis en évidence la nécessité d'une maîtrise et d'une transparence de l'interaction pour une expérience d'immersion réussie. Les défis identifiés comprennent l'adéquation des actions intentionnelles de l'utilisateur-riche avec les réponses du système de RV, ainsi que la difficulté d'atteindre, avec les contrôleurs, une bonne cohérence et une prévisibilité des actions dans divers scénarios de jeu. Ces observations soulignent par conséquent l'importance d'une conception centrée sur l'utilisateur-riche et indiquent une évolution vers des interfaces plus intuitives et immersives, reflétant un besoin croissant d'intégration naturelle du corps dans l'environnement virtuel. Cette analyse a dégagé des pistes pour l'amélioration future des systèmes de contrôle VR, en mettant l'accent sur l'importance des principes ergonomiques dans la conception de ces technologies.

La rétrospective historique de la RV, éclairée dans les premiers chapitres de ce mémoire, résonne fortement avec les constats actuelles. Elle révèle que l'aspiration à l'immersion et à l'évasion dans des mondes alternatifs est une quête intemporelle qui a traversé les époques, prenant de nouvelles formes avec l'avancée de la technologie. Le Meta Quest et ses successeurs ne sont pas une fin en soi, mais plutôt un point de passage vers des expériences toujours plus intégrées et personnelles, où le corps et les sens jouent un rôle prépondérant dans des environnements numériques en constante complexification.

Malgré la promesse d'un corps totalement immergé, qui fait office d'interface naturelle avec le numérique, les utilisateur·rices font face à une expérience corporelle fragmentée, où chaque membre n'a pas la même place ni la même importance. Les mains, héritières des interfaces traditionnelles comme la souris et le clavier, sont mises au premier plan, à la fois porte d'entrée et de sortie de l'interaction et des sens. De plus, au-delà de la main dans son ensemble, le besoin se fait sentir en RV de prendre en compte individuellement les actions des doigts. La précision, la dextérité et la variabilité des saisies qu'offrent les doigts représentent un défi significatif dans la conception des interactions en RV. Les frustrations exprimées par les utilisateur·rices, tel que le désir de saisir des objets de manière plus naturelle, entre le pouce et l'index, soulignent l'importance d'une correspondance plus intuitive et réaliste entre les mouvements des doigts et les réponses du système. La tête, équipée d'un casque immersif, sert également d'entrée pour l'immersion visuelle et auditive, ancrant l'utilisateur·rice dans une spatialité virtuelle cohérente. Cependant, cette prééminence du visuel et de l'auditif ne s'accompagne pas toujours d'une interaction physique équivalente, laissant parfois le reste du corps comme un spectateur passif de l'expérience immersive. L'asymétrie dans la représentation corporelle est d'autant

plus marquée lorsque l'on considère l'absence ou la sous-utilisation des jambes et des pieds dans la RV. Tandis que la mobilité et le déplacement sont des aspects fondamentaux de l'expérience humaine, leur translation dans le virtuel reste superficielle, souvent réduite à des commandes ou des mouvements limités. Cette limitation suggère un décalage entre la capacité de déplacement dans le monde réel et la représentation souvent statique ou artificiellement contrainte dans les mondes virtuels.

La RV, en privilégiant principalement les mains et les sens visuels et auditifs, façonne ainsi l'expérience de jeu en faveur de scénarios où ces éléments sont essentiels. Les jeux qui nécessitent une interaction fine et précise avec les mains, comme certains simulateurs ou les puzzles, tirent parti de cette focalisation. Les jeux d'aventure ou d'action, par exemple, où la navigation et l'évitement actifs sont essentiels, sont souvent bridés par l'absence de suivi des jambes et du reste du corps. En résulte une expérience qui peut parfois sembler disjointe, où les mouvements sont soit trop simplifiés par des commandes de déplacement abstraites, soit réduits à des gestes limités qui ne reflètent pas la pleine gamme de la mobilité humaine. Cette restriction affecte non seulement l'immersion, mais également la stratégie et le gameplay, privant les joueur·euses de certaines nuances de mouvement et de stratégies potentielles qui seraient naturelles dans un environnement physique. En explorant des solutions pour intégrer le suivi complet du corps, on pourrait non seulement enrichir l'expérience de certains genres de jeux déjà existants, mais aussi envisager de nouveaux types de jeux qui en exploiteraient pleinement le potentiel.

Les observations issues de cette étude révèlent que l'immersion en RV est une affaire complexe qui va bien au-delà du visuel. L'expérience immersive est inextricablement liée à la reconnaissance et à l'intégration holistique du corps humain et de ses divers

membres. Le besoin d'un contrôle intuitif et d'interactions transparentes suggère que l'immersion ne se limite pas à l'engagement visuel et auditif, mais implique également la prise en compte des capacités proprioceptives et kinesthésiques de l'utilisateur-rice. La concordance entre les intentions de l'utilisateur-rice et la réponse du système VR est essentielle, et la recherche a mis en lumière l'importance de la constance et de la fiabilité des contrôleurs pour chaque membre engagé. Ces défis soulignent les multiples dimensions de l'immersion et appellent à une conception diversifiée des interfaces de RV, reflétant la variété des expériences corporelles. En tant que designer, aborder la RV avec une perspective qui embrasse pleinement le corps peut ouvrir la voie à des modèles d'interaction plus nuancés et personnalisés, permettant de s'éloigner d'un modèle monolithique pour explorer des approches plus adaptatives et inclusives qui honorent la diversité des formes et des mouvements humains.

Les constats tirés de cette étude identifient des besoins auxquels devront répondre l'innovation et les recherches futures dans le champ de la RV. Une piste notable concerne la représentation incomplète du corps au sein de l'interface utilisateur-rice. La question des membres inférieurs, souvent omis ou sous-représentés, mérite une attention particulière. Bien que des initiatives aient déjà exploré leur intégration, tant sur le plan physique que visuel, il reste essentiel d'identifier et de surmonter les obstacles qui freinent leur adoption dans les produits destinés au grand public. De plus, plutôt que de se limiter à la création d'interfaces dédiées à leur capture, d'autres possibilités pourraient être envisagées. Par exemple, des algorithmes de prédiction de mouvement pourraient être développés pour simuler de manière réaliste les déplacements des jambes en se basant sur les actions du torse et des bras, offrant ainsi une expérience plus cohérente sans nécessiter de matériel supplémentaire. Une autre piste, ins-

pirée du concept de design avec coutures (seamful), consisterait à utiliser sciemment les discontinuités liées à l'absence de suivi des jambes comme un élément explicite de l'interaction (Chalmers et MacColl, 2003). Cela pourrait se traduire par des jeux qui mettent en scène de manière ludique et consciente les limites actuelles du suivi, transformant ce qui pourrait être perçu comme une lacune en un aspect délibéré du design qui encourage les utilisateur·rices à s'engager avec l'expérience virtuelle d'une manière nouvelle et inventive.

Par ailleurs, il apparaît capital de poursuivre l'examen de la RV à travers le prisme des interactions sociales. Une étude approfondie des dynamiques sociales au sein de plateformes telles que VRChat (VRChat, 2014) ou Horizon Worlds (Meta, 2021) pourrait fournir des recommandations précieuses sur les conséquences de l'incarnation dans un corps virtuel alternatif. Par exemple, Philip Jeffrey (1998) explique comment les individus ont tendance à maintenir une certaine distance physique entre eux et les autres avatars lorsqu'ils interagissent en ligne. Il explique également que le corps de l'avatar joue un rôle important dans la gestion de la proxémie en ligne, et que la violation de cette dernière peut entraîner un sentiment de malaise ou de gêne chez les individus, comme dans le monde réel. Cette exploration contribuerait à une meilleure compréhension de l'influence de la représentation visuelle d'autrui sur l'identité virtuelle et l'interaction sociale dans ces environnements numériques émergents.

RESSOURCES

Ouvrages

EVANS Leighton. 2019. *The Re-Emergence of Virtual Reality. Routledge Focus on Digital Culture*. New York, NY: Routledge.

GIBSON William, et QUEYSSI Laurent. 2020. *Neuromancien*. Vauvert: Au diable vauvert.

LANIER, Jaron. 2017. *Dawn of the new everything: encounters with reality and virtual reality*. First edition. New York: Henry Holt and Company.

NORMAN, Donald A. 2013. *The design of everyday things. Revised and Expanded edition*. New York, New York: Basic Books.

PIMENTEL Ken, et TEIXEIRA Kevin. 1993. *Virtual reality: through the new looking glass*. 1st ed. New York: Intel/Windcrest.

PLATON, et LEROUX Georges. 2016. *La république*. Éd. corrigée et Bibliographie mise à jour en 2016. GF 653. Paris: Flammarion.

QUINZ Emanuele. 2017. *Le cercle invisible: environnements, systèmes, dispositifs*. Figures. Dijon: les Presses du réel.

Articles

BERGER Christopher C., GONZALEZ-FRANCO Mar, OFEKE Eyal, et HINCKLEY Ken. 2018. « The Uncanny Valley of Haptics ». *Science Robotics* 3 (17): eaar7010. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aar7010>.

BOULDOIRES Alain. 2006. « Le jeu vidéo au regard de la corporéité ». Communication. *Information médias théories pratiques*, no Vol. 24/2 (avril): 141 58. <https://doi.org/10.4000/communication.3414>.

BOUVIER Patrice. 2009. « La présence en RV, une approche centrée utilisateur-riche ». Phdthesis, Université Paris-Est. <https://theses.hal.science/tel-00581550>.

DESCARTES René et PELLEGRIN Marie-Frédérique. 2009. *Méditations métaphysiques*. GF 1410. Paris: Flammarion.

GERLING Kathrin, et SPIEL Katta. 2021. « A Critical Examination of Virtual Reality Technology in the Context of the Minority Body ». In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1 14. CHI '21. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445196>.

KHUNDAM Chaowan, VORACHART Varunyu, PREEYAWONGSAKUL Patibut, HOSAP Witthaya, et NOËL Frédéric. 2021. « A Comparative Study of Interaction Time and Usability of Using Controllers and Hand Tracking in Virtual Reality Training ». *Informatics* 8 (3): 60. <https://doi.org/10.3390/informatics8030060>.

LEROI-GOURHAN André. 2014. « Libération de la main ». Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé 16 (janvier). <https://doi.org/10.4000/pistes.3627>.

MCGREEVY Michael W. 1991. « The virtual environment display system ». In . <https://ntrs.nasa.gov/citations/19910013709>.

NOVACEK Tomas, et JIRINA Marcel. 2020. « Overview of Controllers of User Interface for Virtual Reality ». PRESENCE: Virtual and Augmented Reality 29 (décembre): 37 90. https://doi.org/10.1162/pres_a_00356.

Ouvrier-Bonnaz, Régis. 2014. « La libération de la main d'André Leroi-Gorhan ». Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé, no 16 3 (janvier). <https://doi.org/10.4000/pistes.3629>.

ROGERS Katja, RIBEIRO Giovanni, WEHBE Rina R. , WEBER Michael, et NACKE Lennart E.. 2018. « Vanishing Importance: Studying Immersive Effects of Game Audio Perception on Player Experiences in Virtual Reality ». In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1 13. CHI '18. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173902>.

SHARMA Ram Pratap et VERMA Gyanendra K. . 2015. « Human Computer Interaction using Hand Gesture ». Procedia Computer Science, Eleventh International Conference on Communication Networks, ICCN 2015, August 21-23, 2015, Bangalore, India Eleventh International Conference on Data Mining and Warehousing, ICDMW 2015, August 21-23, 2015, Bangalore, India Eleventh International Conference on Image and Signal Processing, ICISP 2015, August 21-23, 2015, Bangalore, India, 54 (janvier): 721 27. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.06.085>.

STURMAN D.J., et ZELTZER D. .1994. « A survey of glove-based input ». IEEE Computer Graphics and Applications 14 (1): 30-39. <https://doi.org/10.1109/38.250916>.

Sites web

Experience, World Leaders in Research-Based User. s. d. « Fitts's Law and Its Applications in UX ». Nielsen Norman Group. Consulté le 3 novembre 2023. <https://www.nngroup.com/articles/fitts-law/>.

« Meta's Horizon Metaverse Avatars Finally Have Legs ». 2023. UploadVR. 14 septembre 2023. <https://www.uploadvr.com/meta-avatars-horizon-worlds-metaverse-legs/>.

« SUPERHOT VR ». s. d. Consulté le 17 novembre 2023. <https://www.metacritic.com/game/superhot-vr/>.

« The evolution of virtual reality headsets ». s. d. Consulté le 19 novembre 2023. <https://en.retail-vr.com/blog/levolution-des-casques-de-realite-virtuelle>.

Films

LISBERGER Steven, réal. 1982. *Tron*. Science-Fiction. Walt Disney Productions.

WACHOWSKI Lana, et WACHOWSKI Lilly, réal. 1999. *The Matrix*. Science-Fiction. Warner Bros.

Illustrations additionnelles : <https://store.steampowered.com>

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier sincèrement Nicolas Nova pour son accompagnement et ses conseils éclairés tout au long de la rédaction de ce mémoire ainsi que Daniel Sciboz pour son aide précieuse en matière d'édition.

Ma gratitude s'étend aux huit participant·es de mes entretiens, dont les contributions ont été essentielles à l'élaboration de ce travail. Leur engagement et leur disponibilité ont été très appréciés.

Enfin, un merci tout particulier à mes amis et à ma famille pour leur soutien constant et leur encouragement, qui ont été une source de motivation tout au long de ce parcours.