



HAL
open science

Interactions en réalité virtuelle et mixte : le rôle du toucher au niveau des mains dans le sentiment d'immersion

Robin Cherix

► **To cite this version:**

Robin Cherix. Interactions en réalité virtuelle et mixte : le rôle du toucher au niveau des mains dans le sentiment d'immersion. IHM'24 - 35e Conférence Internationale Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, AFIHM; Sorbonne Université, Mar 2024, Paris, France. hal-04490540

HAL Id: hal-04490540

<https://hal.science/hal-04490540>

Submitted on 5 Mar 2024

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.

Interactions en réalité virtuelle et mixte : le rôle du toucher au niveau des mains dans le sentiment d'immersion

Interactions in virtual and mixed reality : the role of hand touch in the feeling of immersion

ROBIN CHERIX, Université de Fribourg, Suisse

Les dernières avancées dans le domaine de la réalité virtuelle et mixte permettent d'atteindre un haut niveau d'immersion chez les utilisateurs. Les performances pour la réalisation de tâches dans des domaines tels que la médecine, la rééducation ou encore le contrôle de robot à distance bénéficient d'une telle immersion. Un des challenges majeurs rencontré lorsque l'on plonge des utilisateurs dans un environnement virtuel immersif et de leur faire ressentir des sensations de toucher. Sans ces informations, les éléments virtuels n'ont aucun poids ni aucune matérialité, rendant les interactions avec l'environnement plus complexes et moins intuitives. Je présente ici une synthèse de ce que j'ai pu trouver dans le domaine de l'immersion en réalité virtuelle et mixte ainsi que le rôle du sens du toucher dans ce sentiment d'immersion.

The latest advances in the field of virtual and mixed reality have made it possible to achieve a high level of immersion for users. The performance of tasks in fields such as medicine, rehabilitation and remote robot control all benefit from such immersion. One of the major challenges faced when putting users in an immersive virtual environment is getting them to feel sensations of touch. Without this information, virtual elements have no weight or materiality, making interaction with the environment more complex and less intuitive. Here I present a summary of what I have found in the field of immersion in virtual and mixed reality and the role of the sense of touch in this feeling of immersion.

Mots Clés et Phrases Supplémentaires: VR, MR, Haptique, Immersion, Présence, Incarnation

Additional Key Words and Phrases: VR, MR, Haptics, Immersion, Presence, Embodiment

Reference:

Robin Cherix. 2024. Interactions en réalité virtuelle et mixte : le rôle du toucher au niveau des mains dans le sentiment d'immersion. *IHM '24 : Rencontres Doctorales de la 35^e conférence Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, March 25–29, 2024, Paris, France*

1 INTRODUCTION

Lorsqu'ils sont plongés dans un environnement virtuel immersif, les utilisateurs interagissent avec celui-ci comme s'il était réel [1]. Avec l'arrivée des casques de type head-mounted display (HMD), le niveau d'immersion qu'il est possible d'atteindre en réalité virtuelle (VR) a passé un nouveau cap. La technologie qui équipe ces casques s'améliore continuellement : Suivi de la tête, définition et taux de rafraîchissement des écrans et audio spatialisé sont aujourd'hui suffisamment performants pour proposer une expérience immersive de qualité.

Certains casques embarquent désormais un système de suivi des mains qui permet aux utilisateurs d'interagir naturellement avec l'environnement virtuel, augmentant encore le sentiment d'immersion. Il devient alors possible de saisir et de manipuler des éléments virtuels. Cependant, aussi réels qu'ils peuvent paraître visuellement, ces éléments ne sont pas touchables, ils n'ont ni poids ni texture. Il suffit de fermer les yeux et il devient impossible de savoir si l'on interagit avec l'environnement virtuel ou non. Apporter ces sensations haptiques présente des challenges qu'il faut relever et des questions auxquelles il faut répondre afin de passer un nouveau cap dans le sentiment d'immersion.

Au travers de ma thèse, je vise à explorer le rôle que joue le sens du toucher au niveau des mains dans le sentiment d'immersion en réalité virtuelle et mixte (MR).

2 MOTIVATIONS

Être capable de créer un haut niveau d'immersion et pouvoir transmettre des informations haptiques à l'utilisateur présente un fort intérêt pour beaucoup de domaines. Le contrôle à distance de robots, les chirurgies à distance, la rééducation de personnes amputées ou encore l'apprentissage dans un cadre contrôlé sont d'autant d'applications susceptibles de bénéficier d'avancées dans le domaine.

2.1 Immersion

Comprendre le fonctionnement du sentiment d'immersion est primordial pour extraire le rôle que joue le sens du toucher dans celui-ci. Le modèle que l'on retrouve le plus souvent dans la littérature pour expliquer l'immersion se base sur les concepts d'incarnation et du sentiment de présence [1, 4, 6].

L'incarnation est définie de plusieurs façons dans la littérature, mais il correspond généralement à l'ensemble des sensations qui surviennent lorsqu'un corps virtuel est traité comme étant le corps physique d'un utilisateur [4]. Ce sentiment n'est pas binaire, mais se situe en réalité sur une échelle allant de "pas du tout incarné" à "complètement incarné".

Le sentiment de présence n'est pas rattaché à une définition unique, comme l'incarnation. Le plus souvent, la présence est définie comme le sentiment d'"être là" [10, 15, 20]. Tout comme l'incarnation, le sentiment de présence se situe sur une échelle continue qui est susceptible de changer en fonction de l'immersion des utilisateurs.

Plusieurs questionnaires ont émergé afin de mesurer l'incarnation [7, 16, 19] et le sentiment de présence [20]. Chacun de ces questionnaires sont développés indépendamment et se reposent sur des concepts et des questions différents. Cette multiplicité de la manière de mesurer ces concepts et, surtout, le manque de consensus [4] autour de la question montre l'importance d'approfondir la recherche sur ce sujet. Les limitations liées aux mesures subjectives (questionnaires) sont également soulevées, appelant à l'utilisation de mesures plus objectives, physiologiques par exemple [3, 6]. En 2022, Foster et al. [9] a appelé à repenser notre approche de ces concepts afin de mieux définir et mesurer l'immersion. Selon eux, la proximité et le chevauchement qui existent entre incarnation et présence montrent qu'il est nécessaire de regrouper les deux dans un seul framework uni qu'ils présentent : le Implied Body Framework (IBF). Ce framework n'a, à ma connaissance, pas été repris dans d'autres articles et je n'ai pas trouvé de trace d'autres approches similaires. Au cours de ma thèse, je souhaite explorer l'utilisation de nouveaux modèles de ce type pour évaluer le sentiment d'immersion.

L'immersion dépend de la technologie [21], il est donc intéressant de comparer ce sentiment selon que l'expérience se passe en VR ou MR. Abbey et al. ont comparé en 2021 ces deux approches [1] et ont mesuré la présence et l'incarnation avec différentes quantités d'éléments réels dans un environnement virtuel. Cet article met en évidence, entre autres, la différence entre VR et MR au niveau du sentiment de présence. Cependant, il est nécessaire de prendre en compte que l'expérience présente des limitations technologiques. Le point le plus limitant étant certainement l'utilisation d'une caméra ajoutée au casque afin de pouvoir ajouter la modalité mixte. Cette caméra présentait un champ de vision et une définition sensiblement plus faibles, mais représentait à l'époque la meilleure manière d'intégrer cette modalité. L'arrivée récente des casques intégrant à la fois la VR et la MR, tel que le Meta Quest 3, représente une opportunité pour ce champ de recherche.

2.2 Retours haptiques

Il existe deux grandes catégories de retours haptiques : les kinesthésiques et les cutanés [2]. Les premiers consistent à opposer une force à l'utilisateur, comme lorsqu'il tente de saisir un objet virtuel par exemple. Les seconds se focalisent sur l'activation de nerfs sous-cutanés qui nous servent à ressentir les textures. Ils sont par exemple utilisés pour simuler des surfaces.

Les retours kinesthésiques peuvent être générés soit par des appareils qui simulent la force qu'opposerait un objet, ou directement par un objet physique équivalent à un objet virtuel (appelé prop) [5]. On parle alors d'haptique passive. Les retours cutanés sont généralement classés dans deux catégories : vibrotactiles ou électrotactiles. Les deux technologies consistent à activer les terminaisons nerveuses. La première le fait de manière physique (un mouvement est physiquement appliqué sur la peau) alors que la deuxième stimule électriquement les nerfs à l'aide d'électrodes. Plusieurs emplacements sur la main ont été explorés dans la littérature : dos de la main [24], poignet [18], sur le doigt [23], mais plus souvent le bout des doigts [11, 13].

Souvent, les appareils qui permettent de faire ces retours haptiques sont des prototypes fabriqués en interne ([12, 25, 26] par exemple). Pezent et al. a présenté en 2021 un hardware et software open-source pour développer des retours haptiques [17]. Des solutions commerciales existent également. Elles sont souvent coûteuses et beaucoup d'entreprises qui développent ces produits disparaissent après quelques années. D'autres appareils sont apparus sur des plateformes de financement participatif, mais n'ont jamais vu le jour, malgré des campagnes menées avec succès. Cette situation montre à quel point il est difficile de concevoir un produit qui soit suffisamment qualitatif et bon marché pour durer dans le temps. Cette instabilité montre, selon moi, qu'il reste encore beaucoup à faire dans ce domaine, synonyme d'opportunités de recherche.

Il a été montré que les retours haptiques augmentaient l'incarnation en VR [6] et MR [1], mais des résultats clairs n'ont pas encore été trouvés pour le sentiment de présence. Il reste encore beaucoup à explorer autour de l'intégration de retours haptiques en VR et MR, notamment l'utilisation de nouveaux modèles tels que le IBF, pour comprendre le rôle qu'occupe le sens du toucher dans notre expérience des environnements virtuels immersifs.

2.3 Questions de recherche

Les questions de recherche que j'aimerais développer au cours de ma thèse sont :

(1) Comment mesurer efficacement l'immersion d'un utilisateur, en VR et MR ?

- Quel modèle / framework décrit le mieux l'immersion ?
- Quelles mesures prendre ? (questionnaires, physiologiques, etc.)

En effet, la pluralité des définitions autour de l'immersion (présence, incarnation et leurs composantes notamment) fait qu'il est difficile de comparer les résultats des différentes approches qui découlent de ces définitions divergentes. Il n'existe pas non plus, à ma connaissance, de consensus sur les mesures à récolter afin de mesurer l'immersion. Il se dégage toutefois un encouragement à corréler données subjectives et objectives [8, 14, 22].

(2) Quel est l'impact d'un retour haptique sur le sentiment d'immersion ?

- Selon le type de retour (kinesthésique, cutané, les deux)
- Comment concevoir un bon retour haptique ?
- Comment transmettre au mieux un retour haptique à la main ?

Bien que le sentiment d’immersion, au travers des concept de présence et incarnation, et l’effet de l’haptique sur l’expérience utilisateur aient fait l’objet de nombreuses études, il semblerait que l’association des deux n’ait pas eu autant d’attention jusqu’à maintenant.

- (3) Quel est l’impact de la réalité virtuelle et la réalité mixte sur le sentiment d’immersion ?
- Quels sont les cas où l’immersion est meilleure en VR ?
 - Quels sont les cas où l’immersion est meilleure en MR ?
 - Y a-t-il une modalité qui génère systématiquement plus d’immersion ?

Selon moi, la comparaison directe de la réalité virtuelle avec la réalité mixte du point de vue de l’immersion a trouvé un intérêt nouveau avec l’arrivée des derniers casques permettant de passer de l’une à l’autre modalité. Cette nouvelle génération permet de comparer les deux approches dans des conditions bien plus similaires que précédemment. Il n’est pas impossible que cette évolution technologique mène à de nouveaux résultats.

3 AVANCEMENT ET MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Je suis actuellement dans ma première année de thèse, ayant commencé en avril 2023. Jusqu’à maintenant, je me suis principalement attelé à lire un maximum sur tout ce qui touche aux retours haptiques, interactions en VR et MR et mesures de l’immersion. La section précédente représente une synthèse de ce que j’ai pu trouver jusqu’à maintenant.

En parallèle de cela, je participe à la conception et au développement de plusieurs projets de recherche autour de ces sujets. Ces projets sont réalisés autour d’une conception centrée utilisateurs et les résultats sont obtenus grâce à des tests utilisateurs. Les premiers résultats liés à ces projets sont attendus pour courant 2024. Mon but est de soumettre des articles liés à ces résultats à différentes conférences autour de l’interface humain-machine courant 2024 et début 2025.

RÉFÉRENCES

- [1] Alexandre Abbey, Thibault Porssut, Bruno Herbelin, and Ronan Boulic. 2021. Assessing the Impact of Mixed Reality Immersion on Presence and Embodiment. In *Motion, Interaction and Games*. ACM, Virtual Event Switzerland, 1–10. <https://doi.org/10.1145/3487983.3488304>
- [2] Adilzhan Adilkhanov, Matteo Rubagotti, and Zhanat Kappasov. 2022. Haptic Devices : Wearability-Based Taxonomy and Literature Review. *IEEE Access* 10 (2022), 91923–91947. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3202986>
- [3] Cagatay Basdogan, Frederic Giraud, Vincent Levesque, and Seungmoon Choi. 2020. A Review of Surface Haptics :Enabling Tactile Effects on Touch Surfaces. *IEEE Transactions on Haptics* 13, 3 (July 2020), 450–470. <https://doi.org/10.1109/TOH.2020.2990712>
- [4] Anthony Basille, Élise Lavoué, and Audrey Serna. 2023. Présence et incarnation dans les jeux sérieux : Une revue de la littérature. In *IHM '23 : Proceedings of the 34th Conference on l'Interaction Humain-Machine*. ACM, TROYES France, 1–12. <https://doi.org/10.1145/3583961.3583982>
- [5] Pierre-Antoine Cabaret, Thomas Howard, Guillaume Gicquel, Claudio Pacchierotti, Marie Babel, and Maud Marchal. 2023. Does Multi-Actuator Vibrotactile Feedback Within Tangible Objects Enrich VR Manipulation? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* (2023), 1–13. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3279398>
- [6] Diane Dewez, Ludovic Hoyet, Anatole Lécuyer, and Ferran Argelaguet Sanz. 2021. Towards “Avatar-Friendly” 3D Manipulation Techniques : Bridging the Gap Between Sense of Embodiment and Interaction in Virtual Reality. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Yokohama Japan, 1–14. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445379>
- [7] James Coleman Eubanks, Alec G. Moore, Paul A. Fishwick, and Ryan P. McMahan. 2021. A Preliminary Embodiment Short Questionnaire. *Frontiers in Virtual Reality* 2 (April 2021), 647896. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.647896>
- [8] William M. Felton and Russell E. Jackson. 2022. Presence : A Review. *International Journal of Human-Computer Interaction* 38, 1 (Jan. 2022), 1–18. <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.1921368>
- [9] Pierre-Pascal Forster, Harun Karimpur, and Katja Fiehler. 2022. Why we Should Rethink Our Approach to Embodiment and Presence. *Frontiers in Virtual Reality* 3 (July 2022), 838369. <https://doi.org/10.3389/frvir.2022.838369>
- [10] Adelaïde Genay, Anatole Lécuyer, and Martin Hachet. 2022. Being an Avatar “for Real” : A Survey on Virtual Embodiment in Augmented Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 28, 12 (Dec. 2022), 5071–5090. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2021.3099290>
- [11] Xiaobin Ji, Xinchang Liu, Vito Cacucciolo, Yoan Civet, Alae El Haitami, Sophie Cantin, Yves Perriard, and Herbert Shea. 2021. Untethered Feel-Through Haptics Using 18- μ m Thick Dielectric Elastomer Actuators. *Advanced Functional Materials* 31, 39 (Sept. 2021), 2006639. <https://doi.org/10.1002/adfm.202006639>

- [12] Itsuo Kumazawa, Souma Suzuki, Yoshikazu Onuki, and Shunsuke Ono. 2017. Tactile feedback enhanced with discharged elastic energy and its effectiveness for in-air key-press and swipe operations. In *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*. IEEE, Los Angeles, CA, USA, 317–318. <https://doi.org/10.1109/VR.2017.7892304>
- [13] Uriel Martinez-Hernandez and Gorkem Anil Al. 2022. Wearable fingertip with touch, sliding and vibration feedback for immersive virtual reality. In *2022 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. IEEE, Prague, Czech Republic, 293–298. <https://doi.org/10.1109/SMC53654.2022.9945316>
- [14] Aske Mottelson, Andreea Muresan, Kasper Hornbæk, and Guido Makransky. 2023. A Systematic Review and Meta-analysis of the Effectiveness of Body Ownership Illusions in Virtual Reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 30, 5 (Oct. 2023), 1–42. <https://doi.org/10.1145/3590767>
- [15] Nicolas Nostadt, David A. Abbink, Oliver Christ, and Philipp Beckerle. 2020. Embodiment, Presence, and Their Intersections : Teleoperation and Beyond. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction* 9, 4 (Dec. 2020), 1–19. <https://doi.org/10.1145/3389210>
- [16] Tabitha C. Peck and Mar Gonzalez-Franco. 2021. Avatar Embodiment. A Standardized Questionnaire. *Frontiers in Virtual Reality* 1 (Feb. 2021), 575943. <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.575943>
- [17] Evan Pezent, Brandon Cambio, and Marcia K. O'Malley. 2021. Syntacts : Open-Source Software and Hardware for Audio-Controlled Haptics. *IEEE Transactions on Haptics* 14, 1 (Jan. 2021), 225–233. <https://doi.org/10.1109/TOH.2020.3002696>
- [18] Evan Pezent, Marcia K. O'Malley, Ali Israr, Majed Samad, Shea Robinson, Priyanshu Agarwal, Hrvoje Benko, and Nicholas Colonnese. 2020. Explorations of Wrist Haptic Feedback for AR/VR Interactions with Tasbi. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Honolulu HI USA, 1–4. <https://doi.org/10.1145/3334480.3383151>
- [19] Daniel Roth and Marc Erich Latoschik. 2020. Construction of the Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 26, 12 (Dec. 2020), 3546–3556. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3023603>
- [20] Richard Skarbez, Frederick P. Brooks, Jr., and Mary C. Whitton. 2018. A Survey of Presence and Related Concepts. *Comput. Surveys* 50, 6 (Nov. 2018), 1–39. <https://doi.org/10.1145/3134301>
- [21] Mel Slater. 2009. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences* 364, 1535 (Dec. 2009), 3549–3557. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>
- [22] Mel Slater, Domna Banakou, Alejandro Beacco, Jaime Gallego, Francisco Macia-Varela, and Ramon Oliva. 2022. A Separate Reality : An Update on Place Illusion and Plausibility in Virtual Reality. *Frontiers in Virtual Reality* 3 (June 2022), 914392. <https://doi.org/10.3389/frvir.2022.914392>
- [23] Zhongda Sun, Minglu Zhu, Xuechuan Shan, and Chengkuo Lee. 2022. Augmented tactile-perception and haptic-feedback rings as human-machine interfaces aiming for immersive interactions. *Nature Communications* 13, 1 (Sept. 2022), 5224. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32745-8>
- [24] Yudai Tanaka, Alan Shen, Andy Kong, and Pedro Lopes. 2023. Full-hand Electro-Tactile Feedback without Obstructing Palmar Side of Hand. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Hamburg Germany, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3544548.3581382>
- [25] Velko Vechev, Juan Zarate, David Lindlbauer, Ronan Hinchet, Herbert Shea, and Otmar Hilliges. 2019. TacTiles : Dual-Mode Low-Power Electromagnetic Actuators for Rendering Continuous Contact and Spatial Haptic Patterns in VR. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. IEEE, Osaka, Japan, 312–320. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8797921>
- [26] Anusha Withana, Daniel Groeger, and Jürgen Steimle. 2018. Tacttoo : A Thin and Feel-Through Tattoo for On-Skin Tactile Output. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. ACM, Berlin Germany, 365–378. <https://doi.org/10.1145/3242587.3242645>