

Résumé de Thèse:

Design of multi-actuator haptic devices and rendering methods for navigation and virtual interactions

Soutenue le 13/12/24 par Pierre-Antoine Cabaret

Cette thèse, intitulée « *Conception de dispositifs haptiques multi-actionneurs et de méthodes de rendu pour la navigation et les interactions virtuelles* », vise à étudier l'utilisation de l'haptique dans des interfaces portatives comme un moyen de fournir des sensations plus riches et informatives à leurs utilisateurs. En particulier, les travaux menés durant cette thèse se concentrent sur **les interfaces vibrotactiles multi-actionneurs**, conçues pour fournir des **sensations localisées dans la main**. Ce type d'interfaces peut être utiles dans de multiples applications dont **l'aide à la navigation et les interactions en réalité virtuelle (RV)**, mais les dispositifs existants proposent pour l'instant des sensations se limitant à une seule source de vibration ou alors à des sensations difficiles à percevoir.

Ainsi sont présentés dans cette thèse la conception et l'évaluation d'un ensemble d'interfaces vibrotactiles multi-actionneurs, permettant de fournir des sensations tactiles localisées dans la main de leurs utilisateurs. En particulier, une **poignée haptique équipée d'une structure isolante déformable** (voir Figure 1.) permet de fournir des informations directionnelles distinctes. Ce dispositif et les sensations qu'il fournit sont ensuite utilisés pour le développement de plusieurs **méthodes de rendu haptique et stratégies de navigation**. Ces différentes stratégies sont alors évaluées, d'abord dans un contexte de **navigation piétonne**, puis pour le **guidage en fauteuil roulant électrique**. Ces études, montrant la capacité du dispositif à guider les participants le long de trajets définis, ont enfin mené à la réalisation d'une **étude pilote auprès d'utilisateurs** de fauteuil roulant électrique, évaluant l'utilisation et l'acceptation du dispositif.

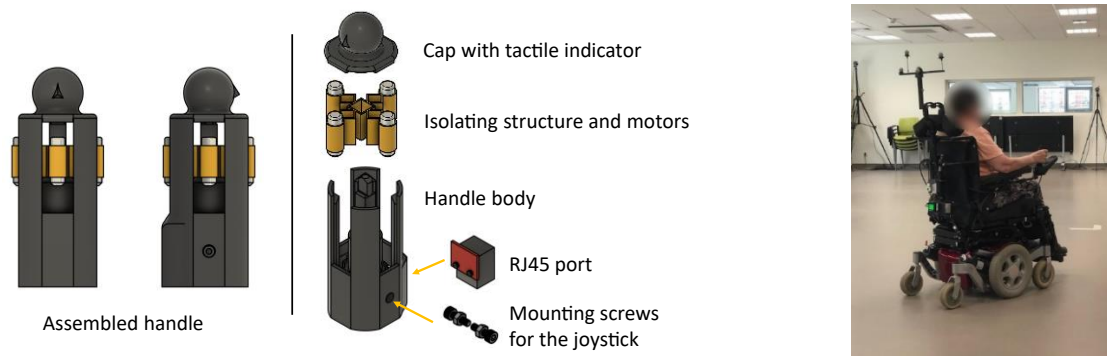


Figure 1 – A gauche, la poignée haptique conçue dans le cadre de la thèse. Quatre moteurs vibrants sur les côtés de la poignée fournissent des sensations localisées dans la main de l'utilisateur. Une structure flexible (en jaune) isole les vibrations à l'intérieur de la poignée. A droite, une utilisatrice de fauteuil roulant électrique se déplace en suivant les indications de guidage données par la poignée, positionnée sur le joystick.

Ainsi, ces travaux ont conduit à la conception d'une poignée haptique multi-actionneurs pour l'aide à la navigation, permettant notamment de guider des piétons ou des utilisateurs de fauteuil roulant électriques. Le dispositif, conçu d'abord pour fournir des sensations localisées distinctes, a aussi été conçu pour être **accessible et adaptable** : la structure de la poignée est imprimée en 3D et les composants sont abordables afin que le dispositif puisse, à terme, être fabriqué et/ou personnalisé facilement et à moindre coût. C'est là l'un des axes du projet Inria **Dornell**, auquel prend part cette thèse, et dont l'objectif global est la conception d'une poignée multisensorielle et personnalisable pour

l'assistance à la mobilité. Dans ce cadre, une enquête auprès de professionnels et d'utilisateurs réalisée par les partenaires du projet a mis en évidence un intérêt pour ce type de dispositif et plusieurs cas d'usage, ainsi que des questionnements sur l'interprétation des vibrations lors de la conduite. Cette thèse explore une partie de ces questionnements, en concevant des dispositifs multi-actionneurs et techniques de navigation de manière itérative, et en les évaluant à travers des évaluations utilisateurs successives et des discussions avec des professionnels de santé. En **collaboration avec les cliniciens** du Pôle de médecine Physique et de Réadaptation Saint-Hélier, à Rennes, le dispositif a pu être **évalué auprès de quatorze usagers** de fauteuil roulant électriques. Cette étude a notamment permis de mettre en évidence un intérêt envers le dispositif, particulièrement pour des usagers moins expérimentés dans la conduite. Bien que certains participants aient eu des difficultés avec les sensations haptiques les plus complexes, la prise en main du dispositif fut rapide malgré l'absence d'entraînement, ce qui laisse présager une marge de progression importante.

Les travaux conduits durant cette thèse s'articulent donc autour de huit contributions, explorant la conception et l'utilisation de nouvelles interfaces haptiques pour l'assistance à la navigation et les interactions en réalité virtuelle :

- La **conception d'interfaces tangibles** (c'est-à-dire des objets physiques passifs utilisés pour représenter des objets virtuels) avec un nombre variable d'actionneurs **vibrotactiles**. Avec ces prototypes, nous étudions la faisabilité et les limites de cette nouvelle approche, en évaluant combien de localisations peuvent être stimulés et combien d'actionneurs sont nécessaires pour y parvenir. [1]
- Le développement d'un ensemble de **méthodes de rendus haptique pour la manipulation** d'objets en réalité virtuelle, utilisant les nouvelles capacités de rendu haptique de ces interfaces. Comparé au rendu habituel, mono-actionneur, nous montrons que ces interactions sont plus cohérentes grâce aux sensations localisées qu'elles produisent. [1]
- L'étude plus approfondie du **rendu d'impact**, en utilisant les vibrations localisées pour fournir aux utilisateurs des informations plus détaillées sur la direction et la distance d'impacts. [2]
- La **conception d'une poignée haptique** avec quatre moteurs vibrants sur son pourtour, permettant de fournir des informations directionnelles intuitives. En particulier, la poignée comprend une **structure déformable** imprimée en 3D **isolant les vibrations** et visant à fournir des sensations plus distinctes, dont les bénéfices sont évalués via une étude de vibrométrie et des études de perception. [3]
- Le développement de techniques de rendus haptique, utilisant la poignée multi-actionneurs, pour augmenter la **perception de l'environnement** des utilisateurs, en indiquant la présence d'obstacles dans leur environnement proche en réalité virtuelle. La représentation de l'utilisateur et de son espace personnel se fait ici via une interface portable, tenue en main, contrairement aux approches habituelles utilisant des interfaces portées (des vestes, ceintures, etc.), plus invasives. [4]
- La conception de **techniques de rendu haptique pour la navigation** utilisant la poignée haptique et trois stratégies de guidage, ainsi que leur évaluation expérimentale dans une tâche de **navigation piétonne**. [5], [6]
- L'évaluation de l'utilisation de ce dispositif pour le **guidage en fauteuil roulant électrique**, d'abord avec des sujets sains, comparant le positionnement de la poignée sur le joystick ou dans la main libre. Contrairement à d'autres approches, la poignée s'adapte facilement au joystick du fauteuil roulant et ne nécessite pas de lourdes modifications du dispositif ou l'utilisation d'interfaces invasives ou peu confortables. [7]
- Enfin, la réalisation d'une **étude pilote** évaluant l'utilisation et l'acceptation du dispositif **auprès d'utilisateurs de fauteuil roulant électriques**.

- [1] P-A. Cabaret, T. Howard, G. Gicquel, C. Pacchierotti, M. Babel and M. Marchal. "Does Multi-Actuator Vibrotactile Feedback Within Tangible Objects Enrich VR Manipulation?". *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 30, no. 8, pp. 4767-4779, Aug. 2024
- [2] P-A. Cabaret, T. Howard, C. Pacchierotti, M. Babel and M. Marchal. "Perception of spatialized vibrotactile impacts in a hand-held tangible for virtual reality". In *EuroHaptics 2022*
- [3] P-A. Cabaret, C. Pacchierotti, M. Babel and M. Marchal. "In-Hand Haptic Representation of User's Surroundings in Virtual Reality". Submitted to *Worldhaptics 2025*
- [4] P-A. Cabaret, A. Bout, M. Manzano, S. Guégan, C. Pacchierotti, M. Babel and M. Marchal. "Multi-actuator Haptic Handle Using Soft Material for Vibration Isolation". In *EuroHaptics 2024*
- [5] P-A. Cabaret, C. Pacchierotti, M. Babel and M. Marchal. "Conception d'une poignée haptique multi-actionneurs pour l'aide à la navigation". In *Handicap 2024 - 13e conférence de l'IFRATH sur les technologies d'assistance*
- [6] P-A. Cabaret, C. Pacchierotti, M. Babel and M. Marchal. "Design of Haptic Rendering Techniques for Navigating with a Multi-Actuator Vibrotactile Handle". In *EuroHaptics 2024*
- [7] P-A. Cabaret, C. Pacchierotti, M. Babel and M. Marchal. "Investigating Multi-Actuator vibrotactile Feedback for Power Wheelchair Navigation Guidance". Submitted to *Worldhaptics 2025*