

Villeneuve d'Ascq, le 28 Novembre 2024

Rapport sur le manuscrit de thèse de Pierre-Antoine Cabaret intitulé « Design of multi-actuator haptic devices and rendering methods for navigation and virtual interactions »

Le sujet de thèse de M. Pierre-Antoine Cabaret porte sur la conception, l'implémentation et l'évaluation d'un dispositif haptique à retour multi-sensoriel permettant de fournir du retour vibrotactile localisé et directionnel. Ses résultats ont été appliqués à la fois à la réalité virtuelle et à la navigation, en particulier en fauteuil roulant motorisé. Avant toutes choses, je tiens à féliciter M. Cabaret pour l'ampleur et la qualité de son travail. Les études décrites dans la thèse se démarquent tant par leur qualité que par leur nombre et leur couverture du sujet. Les contributions sont diverses, avec une taxonomie des dispositifs haptiques, la conception et implémentation d'un dispositif haptique, de nombreuses études empiriques et des cas d'usages concrets. Remarquablement, malgré la diversité des contributions, elles s'assemblent aisément dans un cadre cohérent avec les motivations et les objectifs du projet dans lequel s'inscrit la thèse.

Le manuscrit comporte 145 pages hors références répartis en une introduction, un chapitre d'état de l'art, cinq chapitres de contributions et une conclusion.

L'introduction décrit trois défis : la création de retour haptique pour des dispositifs tenus en main, la création de retour haptique riche multisensoriel en Réalité Virtuelle, et l'utilisation de l'haptique pour améliorer l'accessibilité. De ces trois défis, M. Cabaret décrit trois axes de contributions : la conception et implémentation d'un dispositif à retour vibrotactile tenu en main ; l'étude du retour haptique pour la réalité Virtuelle ; et l'étude du retour haptique pour la navigation, en particulier dans un contexte d'accessibilité. L'articulation de ces défis avec les contributions de chaque chapitre est bien résumée par la Figure 3 de l'introduction. Ainsi, l'axe 1 est étudié à la fois dans les chapitres 2 et 3, l'axe 2 dans le chapitre 2, et l'axe 3 dans les chapitres 4, 5 et 6. Cette introduction est globalement bien rédigée et motive et structure bien le travail décrit dans le reste du manuscrit. Certaines assertions mériteraient cependant des références pour être appuyées. Par exemple en page 8, M. Cabaret écrit : "haptics attracts the user's attention even when they are not ready to receive it". Il existe des études sur les signaux pré-attentifs. C'était un facteur de notre espace de conception dans Activibes (Cauchard et al., CHI 2016), mais ça a dû être étudié plus en profondeur dans d'autres articles.

La liste de publications est très utile et imposante pour un travail de thèse. Cependant, tout comme les journaux sont séparés des conférences, il convient de séparer les articles de conférence des démos, posters, workshops et autres. Cela ne mettra que plus en avant les articles de conférence eux-même. C'est un conseil à mettre également en pratique dans un dossier de qualification et de candidature académique.

Le premier chapitre est un état de l'art. Il décrit tout d'abord l'haptique, et en fournit des définitions. Sur cette partie, je suis étonné de voir des références si récentes : 2008, 2018, alors que les taxonomies et définitions mentionnées sont en réalité bien plus anciennes et n'ont pas changé depuis. Les références originales se trouvent dans un grand nombre de thèses en haptique. Je m'attends donc à soit la citation des articles originaux, soit une justification de la citation d'articles plus récents. La partie suivante de l'état de l'art est une taxonomie de dispositifs haptiques très intéressante. Cette taxonomie couvre un large spectre de dispositifs, et ils sont très nombreux. Le spectre dépasse d'ailleurs le cadre du projet de thèse, avec par exemple des dispositifs portés. Cependant l'ensemble est bien classifié et permet aussi de justifier les choix de conception du dispositif conçu et décrit dans les chapitres suivants, ainsi que son positionnement. Les tableaux récapitulatifs sont instructifs. Y a-t-il un ordre de présentation des travaux particulier ? Il serait judicieux de publier ce travail sous forme de survey. D'autres travaux de ce genre ont été publiés, comme Haptipedia (Seifi et al., CHI 2019). Il aurait été intéressant de se positionner par rapport à cette taxonomie.

Le chapitre 2 décrit la conception du dispositif haptique. Je me demande pourquoi le dispositif a été conçu comme une sphère. En effet, la sphère étant parfaitement symétrique l'utilisateur peut avoir des difficultés à la tenir dans la bonne orientation. C'est d'ailleurs un problème qu'Apple avait rencontré avec sa hockey puck mouse qui était circulaire. Ce problème a été correctement adressé sur le dispositif décrit sur le chapitre suivant avec une encoche indiquant la direction. Est-ce que des problèmes d'orientation ont été rencontrés lors des études avec ce dispositif ? Globalement, ce chapitre est très dense en études et résultats de qualité. Il décrit quatre expériences contrôlées. Les deux premières étudient la perception de la localisation du retour haptique et en établissent à la fois la faisabilité et la précision. La troisième expérience permet de comparer le retour multi-sensoriel au retour monolithique. Enfin, la quatrième expérience étudie du retour spatialisé avec deux actuateurs, avec notamment l'étude de plusieurs effets haptiques. Les résultats de la première expérience montrent que les participants arrivaient à identifier le signal différent plus facilement quand il était présenté en premier (page 57). Il n'y a cependant pas de discussion sur les raisons de cette différence. En ce qui concerne les analyses, tout au long du manuscrit, il y a une grande diversité de tests statistiques utilisés. Cependant, le choix de ces tests n'est jamais expliqué. Dans la 3e expérience, les résultats ne permettent pas de montrer d'apport en termes de cohérence du retour localisé pour les impacts. Ne serait-ce pas parce que le retour haptique attendu pour un impact de ce genre soit plutôt une rotation du poignet ? Globalement, est-ce que les effets non observés de cette expérience sont dus à la non-pertinence du retour haptique localisé pour l'effet en question ou à une conception de l'effet à améliorer ? Cette question aurait-elle pu être étudiée grâce à une comparaison avec un apparatus tangible similaire ?

Le chapitre 3 décrit la conception, l'implémentation et l'évaluation d'un autre dispositif, permettant d'isoler les vibrations. La conception est ingénieuse et la diversité des supports de vibreurs est très intéressante. Le chapitre comporte une évaluation technique et deux expériences contrôlées avec des utilisateurs. L'évaluation technique est très intéressante, et permet de guider la conception du dispositif. Je me posais cependant des questions sur la mesure faite sur l'extérieur de la main alors que les vibreurs sont en contact avec l'intérieur de la main. En effet, entre le vibreur il y a entre autres deux couches de peau et l'os. Chaque partie a des propriétés mécaniques complexes. Est-ce

que ce qui est mesuré reflète bien l'effet mécanique produit par le dispositif sous contrainte de la main ? Aurait-il été possible d'effectuer les mesures par-dessus, comme sur la photo de gauche de la Figure 3.6 ? Est-ce que ça aurait été plus pertinent ? Les résultats montrent des différences d'effet mécanique selon la position autour du dispositif. Est-ce qu'une recommandation ne serait pas d'utiliser une structure de supports différents selon la position pour harmoniser l'effet ? La première étude utilisateur révèle des confusions entre la droite et l'arrière sur le prototype rigide. Y a-t-il une explication sur ce phénomène ? Les motifs représentant les directions sont simples et rien ne dit qu'ils sont optimaux. Les résultats suggèrent une meilleure interprétation des signaux statiques par rapport aux dynamiques. Est-ce parce que les signaux dynamiques sont moins efficaces pour représenter les directions ou parce que ces motifs dynamiques ne sont pas optimaux ?

Le chapitre 4 traite du retour haptique pour augmenter la perception de l'environnement. M. Cabaret y décrit deux expériences en réalité virtuelle. La première expérience porte sur l'évitement d'objets mobiles et la seconde de l'évitement d'obstacles fixes sur un trajet. Le manuscrit mentionne "the handle provides intuitive feedback about the proximity of obstacles within their personal space". Le mot « intuitif » est généralement très trompeur car de nombreuses notions peuvent se cacher derrière. Qu'y a-t-il d'intuitif dans le retour haptique proposé ? Je me demande aussi comment la vitesse des objets (3 m/s) a été choisi. Cette vitesse me semble trop rapide pour une personne qui marche et trop lente pour un vélo par exemple. Il aurait été intéressant d'étudier l'influence de la vitesse sur les stratégies d'évitement, ainsi que l'impact du retour haptique sur ces stratégies. En ce qui concerne la deuxième étude, il serait intéressant d'étudier les travaux sur Teletact par Bellik et al. Les résultats ne montrent pas de différence majeure entre les trajectoires en condition visuelle et en condition visuel + haptique. Pourquoi ces différences seraient attendues ? Mon intuition est que le retour visuel est largement suffisant pour réaliser la tâche, et comme ils s'agit d'une modalité dominante, l'effet de l'haptique est probablement négligeable. Une légère différence est observée en ce qui concerne la distance aux obstacles. Mais est-ce que cette différence ne serait pas due à une sous-évaluation de cette distance dans le système et que les utilisateurs s'y soient alignées dans la condition visuelle + haptique ? Cette hypothèse pourrait être vérifiée en faisant varier la distance de l'espace personnel.

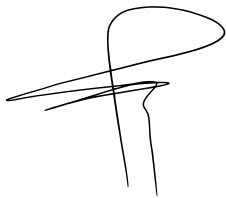
Dans le chapitre 5, M. Cabaret propose des méthodes de retour haptique pour du guidage sur un chemin. Le chapitre d'état de l'art couvre cet aspect très rapidement. J'ai par exemple étudié une technique similaire qui est une combinaison des méthodes attractive et répulsive proposées dans la thèse il y a quelques années (Pietrzak et al., Interact 2009). L'étude est peut-être plus détaillée dans ma thèse (2008). Le retour et contexte est différent, mais il serait intéressant de comparer les stratégies de navigation des utilisateurs. Concernant le codage des instructions de direction, je suis curieux de savoir pourquoi la zone avant est plus petite que les autres dans la condition 4Dir. Ce chapitre décrit deux expériences contrôlées : une sur de la navigation à pied, et la seconde sur de la navigation avec un fauteuil roulant motorisé. M. Cabaret discute des avantages et inconvénients d'un retour haptique continu pour le guidage. Généralement, le retour haptique continu finit par causer des phénomènes d'accommodation qui font que les vibrations ne sont plus ressenties ou reconnaissables. Bien que je n'aie pas de référence en tête, je suis persuadé que l'effet est documenté dans la littérature de psychologie expérimentale et cognition.

Le chapitre 6 décrit une étude préliminaire sur le retour haptique pour la navigation en fauteuil roulant motorisé avec des participants utilisant ces dispositifs au quotidien. Les participants ayant un handicap moteur, l'étude est soumise aux difficultés usuelles de ce contexte. En particulier, chaque participant a un handicap différent, ce qui rend difficile l'analyse des résultats de manière globale. Alors que les résultats sont préliminaires, cette étude reste une expérience très formatrice pour M. Cabaret.

Enfin, le chapitre 7 reprend les résultats principaux et décrit des perspectives intéressantes.

En résumé il s'agit d'un travail de grande qualité, avec de nombreux résultats pour lesquels M. Cabaret a su mobiliser des compétences dans de nombreux domaines. Ses travaux ont été publiés à plusieurs reprises, dont un journal TVCG et les conférences Eurohaptics 2022 et Eurohaptics 2024. J'ai pris beaucoup de plaisir à lire ce manuscrit. Pour toutes ces raisons, c'est avec enthousiasme que je donne un avis favorable à la soutenance de thèse de M. Pierre-Antoine Cabaret.

Thomas Pietrzak

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'T' with a large loop at the top and a horizontal stroke crossing it.