

# THÈSE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITÉ DE RENNES

ÉCOLE DOCTORALE N°601

*Mathématiques, Télécommunications, Informatique, Signal, Systèmes, Électronique*

Spécialité : *Informatique*

Par

**Erwan NORMAND**

## **Study of the Perception and Manipulation of Virtual Objects in Augmented Reality using Wearable Haptics**

**Thèse présentée et soutenue à Rennes, le 27 janvier 2025**

**Unité de recherche : IRISA (UMR 6074)**

**Rapporteurs avant soutenance :**

|              |  |
|--------------|--|
| Jens GRUBERT | Professeur, Université de Coburg, Allemagne    |
| Seokhee JEON | Professeur, Université Kyung Hee, Corée du Sud |

**Composition du Jury :**

s

Président :

|                    |                      |  |
|--------------------|----------------------|--|
| Examineurs :       | Jens GRUBERT         | Professeur, Université de Coburg, Allemagne                      |
|                    | Seokhee JEON         | Professeur, Université Kyung Hee, Corée du Sud                   |
|                    | Martin HACHET        | Directeur de recherche, Centre Inria de l'Université de Bordeaux |
|                    | Sinan HALIYO         | Professeur des universités, Sorbonne Université, Paris           |
| Dir. de thèse :    | Maud MARCHAL         | Professeure des universités, INSA Rennes, IUF                    |
| Co-dir. de thèse : | Eric MARCHAND        | Professeur des universités, Université de Rennes                 |
| Co-encadrant :     | Claudio PACCHIEROTTI | Chargé de recherche HDR, CNRS, Rennes                            |

**Titre :** Étude de la perception et de la manipulation d'objets virtuels en réalité augmentée à l'aide de dispositifs haptiques portables

**Mots clés :** Réalité augmentée, haptique portable, perception, interaction, textures, mains virtuelle

**Résumé :** Les dispositifs haptiques portables procurent des sensations tactiles tout en étant compacts. Ils ont été peu utilisés avec la réalité augmentée (RA), où le contenu virtuel est intégré à la perception du monde réel. Dans cette thèse, nous étudions leur utilisation pour améliorer les interactions de la main avec des objets virtuels et augmentés en RA. Nous étudions d'abord comment le rendu visuel affecte la perception des textures vibrotactiles virtuelles qui augmentent des surfaces réelles touchées directement par le doigt. Nous proposons un système d'augmentation de textures visuo-haptiques à l'aide d'un casque AR et d'un dispositif vibrotactile portable. Nous évaluons ensuite comment la rugosité perçue des textures augmentées diffère lorsqu'elles

sont touchées via une main virtuelle, en réalité virtuelle (RV) et en RA, ou par sa propre main. Nous étudions alors le réalisme et la cohérence de la combinaison des textures augmentées visuelles et haptiques en RA.

Nous étudions ensuite comment des retours sensoriels visuo-haptiques augmentant la main améliorent les performances et l'expérience utilisateur lors de la manipulation d'objets virtuels en RA. Nous commençons par étudier l'effet de six retours visuels de la main virtuelle comme augmentation de la main réelle. Nous évaluons ensuite deux techniques de contact vibrotactile à quatre endroits différents sur la main et nous les comparons à deux augmentations visuelles de la main.

**Title:** Study of the Perception and Manipulation of Virtual Objects in Augmented Reality using Wearable Haptics

**Keywords:** Augmented Reality, Wearable Haptics, Perception, Interaction, Textures, Virtual Hand

**Abstract:** Wearable haptic devices provide tactile sensations in a compact form. They have been little used in augmented reality (AR), where virtual content is integrated into real world perception. In this thesis, we investigate their use to enhance direct hand interaction with virtual and augmented objects in AR. First, we investigate how visual rendering affects the perception of vibrotactile texture augmentations of real surfaces directly touched by the finger. To this end, we propose a system for rendering visuo-haptic texture augmentations using an AR headset and a wearable vibrotactile device. We evaluate how the perceived roughness of virtual textures differs when touched via a virtual hand vs. one's

own hand, and when in AR vs. virtual reality (VR). We investigate the realism and coherence of combining visual and haptic texture augmentations in AR.

Second, we investigate how visuo-haptic feedback as a hand augmentation improves the direct manipulation of virtual objects with the hand in AR, in terms of performance and usability. We study the effect of six visual feedback of the virtual hand as an augmentation of the real hand. We then evaluate two vibrotactile contact techniques, provided at four different positions on the real hand and compare them to two visual hand augmentations.