

# Interfaces Multimodales pour la Compréhension et Navigation des Environnements Complexes par des Personnes avec Déficiences Visuelles

Thèse soutenue par **Elen Sargsyan**

Thèse dirigée par **Christophe Jouffrais** et **Marcos Serrano**

## Introduction

---

Les déficiences visuelles, qui englobent à la fois la basse vision et la cécité, affectent de manière significative la vie d'environ 2,2 milliards de personnes dans le monde. L'autonomie et la qualité de vie des personnes avec déficiences visuelles (PDV) dépendent en grande partie de leur capacité à s'orienter et à se déplacer de manière indépendante. Ces compétences deviennent un véritable défi en l'absence de vision, pouvant conduire à un isolement social.

Les outils traditionnels d'aide à la navigation, tels que la canne blanche, le chien-guide et les applications GPS, restent insuffisants pour fournir une compréhension spatiale détaillée et favoriser une autonomie complète. Les cartes accessibles sont parmi les outils les plus couramment utilisés par les PDV, car elles permettent une meilleure appréhension de l'environnement et facilitent la construction de cartes cognitives, essentielles à une navigation sécurisée et efficace. Toutefois, ces cartes sont souvent limitées en termes d'informations et de mise à jour, comme par exemple les cartes tactiles pour les bâtiments ou les tableaux aimantés. Par ailleurs, la représentation d'un environnement tridimensionnel (3D) à l'aide d'outils bidimensionnels (2D) pose des problèmes de compréhension et accroît la charge cognitive.

De plus, bien que divers outils de compréhension spatiale existent pour les PDV, aucun ne permet actuellement aux utilisateurs de s'arrêter lors de leur trajet dans un environnement complexe, tel qu'un carrefour, pour comprendre leur position et la configuration spatiale de leur entourage. Contrairement aux personnes avec une vision normale ou corrigée à normale qui peuvent utiliser des cartes "Vous-êtes-ici" (VEI) pour se repérer, les PDV ne disposent pas d'une alternative équivalente.

Cette thèse a identifié deux défis majeurs auxquels sont confrontées les PDV lors de leur navigation dans des espaces complexes : la préparation à la navigation dans des bâtiments à plusieurs étages et la traversée des intersections lors du trajet. Une navigation efficace dans ces espaces requiert une compréhension claire de la disposition, de l'orientation et des relations spatiales entre les différents éléments, ainsi que des connexions entre les étages d'un bâtiment.

Dans cette thèse, nous avons relevé ces défis en concevant et en évaluant deux outils interactifs multimodaux utilisables lors de la préparation du trajet ou sur place, lors de l'arrivée dans un lieu complexe.

## Contributions principales

### 1. Outil de navigation pour les bâtiments à plusieurs étages

Notre première contribution, publiée à CHI 2023 [1], concerne la navigation dans les bâtiments complexes à plusieurs étages.

Nous avons commencé par identifier les besoins des instructeurs en locomotion (IL), qui enseignent aux PDV à se déplacer de manière autonome et en sécurité. Grâce à des focus groups et des entretiens avec deux IL du centre Peyrelongue de Bordeaux, nous avons conçu de manière itérative une maquette 3D interactive représentant une gare. Plusieurs sessions de brainstorming et d'expérimentation avec des prototypes ont été réalisées avec les IL et un utilisateur final non-voyant, afin de concevoir une maquette utilisable et facilement maniable. Dans le prototype final, les étages de la gare sont superposés et tous les moyens d'accès (escaliers, escalators, rampes, ascenseurs) sont représentés en 3D de manière à être reconnaissables au toucher. Des interactions sous forme de retours auditifs ont été intégrées afin de permettre une utilisation autonome aux PDV. Au total nous avons mené deux focus groups, deux sessions de brainstorming et des dizaines de tests itératifs avec les IL et l'utilisateur non voyant.

Nous avons réalisé une étude comparative entre la maquette 3D et deux cartes en relief correspondant chacune à un étage de la gare, avec six paires de participants (un IL et un élève PDV) en conditions de classe. Nous avons mené une dernière séance à la gare pour évaluer le transfert d'apprentissage. Les résultats montrent que la maquette est plus ludique et favorise



une plus grande autonomie que les cartes tactiles en relief. Selon les IL, elle constitue un meilleur outil d'enseignement pour les bâtiments complexes. Une collaboration avec une IL du centre de l'IJA à Toulouse a permis d'évaluer la reproductibilité de la maquette dans un autre

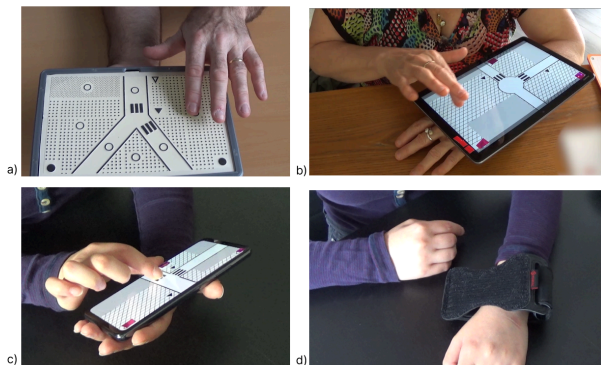
contexte. Cette nouvelle conception destinée à des enfants non-lecteurs tactiles a confirmé l'adaptabilité et le caractère ludique des maquettes interactives pour différents publics.

### 2. Cartes VEI audio-vibratoires pour les intersections complexes

Notre deuxième contribution, publiée à ISS 2024 [2], porte sur la manière dont les PDV traversent les carrefours complexes.

Nous avons travaillé avec huit PDV via des entretiens et des focus groups pour comprendre leurs besoins. Nous avons identifié la nécessité d'un outil portable permettant d'appréhender en temps réel l'organisation spatiale d'un carrefour (passages piétons, feux sonores, obstacles, etc.), sans recourir à une carte tactile encombrante. Nous avons ainsi conçu des cartes audio-vibratoires ne contenant aucun indice tangible. Nos tests ont confirmé

l'utilisabilité du prototype. Au total, nous avons réalisé 5 focus groups, 2 sessions de brainstorming et 2 sessions individuelles.



Nous avons réalisé une étude comparative en laboratoire entre des cartes audio-tactiles et audio-vibratoires avec dix autres PDV. L'évaluation a mis en évidence que les cartes audio-vibratoires sont utilisables et efficaces pour la création de carte mentale de l'environnement, et que les cartes Vous-êtes-ici audio-vibratoires de petite taille (smartphone) sont aussi utilisables que les cartes audio-vibratoires de taille moyenne (tablette).

Nos tests en environnement réel (campus universitaire) montrent que les utilisateurs sont capables de comprendre et de trouver leur chemin grâce à ces cartes VEI audio-vibratoires.

---

## Conclusion

Dans cette thèse de doctorat, nous avons exploré les défis de navigation rencontrés par les PDV dans deux environnements complexes : les intersections routières et les bâtiments à plusieurs étages. Nous avons développé et évalué des dispositifs interactifs multimodaux adaptés à chaque contexte, qu'il s'agisse de la planification du trajet en amont ou de la navigation sur site. Les deux dispositifs ont démontré leur efficacité en aidant les participants à créer des cartes cognitives et à transférer avec succès leurs connaissances spatiales à la navigation réelle sur le terrain.

Dans les différentes études que nous avons menées, nous avons apporté des contributions significatives en démontrant que les PDV peuvent surmonter les défis de navigation grâce à des outils interactifs multimodaux appropriés. Nous avons montré qu'en nous concentrant sur les besoins réels et en suivant un processus de conception itératif, il est possible de créer des interfaces multimodales qui assistent à la fois dans la planification préalable et la navigation sur site. Cependant, nos études ont exploré différentes combinaisons de retours multimodaux (audio et tangible, ainsi qu'audio et vibratoire), et les recherches futures devraient se concentrer sur le développement d'un outil unique et adaptable capable de répondre aux besoins spécifiques de chaque utilisateur final.

[1] Elen Sargsyan, Bernard Oriola, Marc J-M Macé, Marcos Serrano, and Christophe Jouffrais. 2023. 3D Printed Interactive Multi-Storey Model for People with Visual Impairments. In Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 540, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3544548.3581304>

[2] Elen Sargsyan, Bernard Oriola, Marcos Serrano, and Christophe Jouffrais. 2024. Audio-Vibratory You-Are-Here Mobile Maps for People with Visual Impairments. Proc. ACM Hum.-Comput. Interact. 8, ISS, Article 551 (December 2024), 25 pages. <https://doi.org/10.1145/3698151>