



HAL
open science

Vers une aide à la mobilité basée sur la connaissance de l'espace pour les personnes ayant une déficience visuelle

Marc-Aurèle Rivière, Katerine Romeo, Simon Gay, Edwige Pissaloux, Marion Chottin, Pierre Ancet, Ramiro Velazquez

► To cite this version:

Marc-Aurèle Rivière, Katerine Romeo, Simon Gay, Edwige Pissaloux, Marion Chottin, et al.. Vers une aide à la mobilité basée sur la connaissance de l'espace pour les personnes ayant une déficience visuelle. Handicap 2018, Jun 2018, Paris, France. hal-02353397

HAL Id: hal-02353397

<https://hal.science/hal-02353397>

Submitted on 7 Nov 2019

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.

Vers une aide à la mobilité basée sur la connaissance de l'espace pour les personnes ayant une déficience visuelle

Marc-Aurèle RIVIERE¹, Katerine ROMEO¹,
Simon GAY¹, Edwige PISSALOUX¹

¹LITIS, Université de Rouen Normandie
Saint-Etienne du Rouvray, France
katerine.romeo@univ-rouen.fr

Marion CHOTTIN², Pierre ANCET³,
Iannis TOUSSAINT⁴, Ramiro VELAZQUEZ⁵

² CNRS, IHRIM, ENS Lyon, Lyon
³ INSHS, GCG, Université de Bourgogne, Dijon
⁴ Universités Pierre et Marie Curie, Sorbonne, Paris
⁵ Universidad Panamericana, Aguascalientes, Mexique

Abstract - Cette communication présente un nouveau concept de dispositif d'assistance à la mobilité pour les personnes présentant une incapacité visuelle (PPIV), son implantation dans un simulateur, et son évaluation préliminaire. Ce système, ACCESSPACE, permet de représenter l'essentiel (gist) de l'agencement spatial des alentours immédiats de l'utilisateur, sur une tablette à stimulation tactile. En combinant des données cartographiques, GPS et visuelles, ce système effectue un bi-partitionnement de l'espace (en zones accessibles ou non) et transmet cette information sous forme d'une carte égocentrée augmentée, évoluant en temps réel avec les mouvements de l'utilisateur. L'évaluation préliminaire du simulateur d'ACCESSPACE confirme sa pertinence pour la mobilité en intérieur, notamment dans les musées.

Keywords – Accessibilité, carte tactile dynamique, déficience visuelle, navigation autonome.

I. INTRODUCTION

De très nombreuses tâches de notre vie quotidienne reposent essentiellement sur la vision, de sorte que la cécité (partielle ou totale) pose un problème majeur dans les interactions des PPIV avec leur environnement. Parmi ces tâches, se déplacer de manière autonome et en sécurité est une action très complexe, faisant intervenir une multitude de processus cognitifs et physiques nécessitant l'intégration d'une grande quantité d'informations multi-sensorielles.

De nombreuses solutions ont été développées pour aider les PPIV à regagner une partie de l'autonomie perdue en raison de leur déficience. Parmi celles-ci, l'on distingue : les cartes statiques et les aides technologiques.

1) *Les cartes statiques*, telles que les cartes thermoformées, procurent une représentation allocentrique statique et en relief d'une portion délimitée de l'espace. Ces cartes sont communément employées par les PPIV lors des ateliers d'Orientation et de Mobilité car elles permettent de se faire une idée de l'organisation de l'espace alentour (agencement des rues, des pièces d'un bâtiment, etc.). Cependant, elles présentent plusieurs inconvénients:

l'information présentée est statique (donc limitée à une zone donnée) et l'affichage ne suivra pas les déplacements de l'utilisateur à l'instar d'un GPS. L'utilisateur aura donc des difficultés à savoir où il se trouve sur la carte, ainsi que vers où il doit aller pour atteindre sa destination. De plus, ces cartes ont une échelle fixe, et ne permettent donc pas de varier l'échelle à un endroit particulier pour obtenir des informations plus précises (comme à un carrefour complexe, par exemple).

2) *Les aides technologiques à la mobilité*, telles que la canne blanche, permettent de localiser et d'éviter les obstacles sur le chemin à une distance de 1 à 2 mètres. Des équivalents électroniques ont également été développés, tels que la canne blanche électronique [1], ou encore des dispositifs de substitution sensorielle (SSD : sensory substitution devices) qui permettent aux PPIV de percevoir en temps réel certains éléments importants de leur environnement (e.g. les obstacles suspendus) par le biais d'une modalité de substitution, comme le toucher. Ces derniers présentent l'avantage de permettre la détection des éléments en temps réel, permettant leur utilisation dans de nombreux lieux, et une adaptation de leur affichage en fonction des déplacements et des spécificités de la tâche que les PPIV cherchent à effectuer. Enfin, des aides électroniques basées sur le GPS [2] existent afin de guider ces personnes vers leur destination, par des indications sonores ou tactiles [3].

Cependant, malgré leur grande utilité, la plupart des dispositifs d'assistance électronique ne donnent pas (ou peu) d'informations nécessaires à la compréhension de l'agencement de l'espace environnant, comme par exemple la disposition des rues dans un quartier, des pièces dans un bâtiment, ou encore des chemins empruntables aux alentours. Pouvoir élaborer une représentation mentale holistique de leur environnement permettrait aux PPIV de se déplacer de manière autonome et indépendante, ce qui améliorerait leur qualité de vie et leur intégration dans la société. Il est donc nécessaire d'élaborer une nouvelle génération de dispositifs d'assistance à la mobilité des PPIV, alliant les capacités

d'affichage égocentré dynamique des systèmes électroniques avec l'affichage allocentriques de la topographie environnante des cartes en relief [4].

Aussi, cette communication propose une description fonctionnelle, une mise en œuvre (sous forme d'un simulateur) et l'évaluation préliminaire d'un système permettant l'affichage égocentré et allocentré, tactile et dynamique d'une carte géographique augmentée, alliant les avantages des cartes en relief, la géolocalisation et la réponse en temps réel des dispositifs électroniques. Un tel système constitue une réponse à un besoin sociétal croissant, sachant que l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) recense 285 millions de PPIV, dont près de 39 millions d'aveugles dans le monde, et qu'elle estime que ce nombre va continuer d'augmenter avec le vieillissement de la population [4].

Cette communication est organisée comme suit : la section II présente quelques dispositifs actuels d'aide à la navigation, et met en évidence leurs limites. La section III identifie les deux concepts de base qui sous-tendent la conception d'une aide à la navigation idéale; et propose les spécifications fonctionnelles d'ACCESSPACE. La section IV présente une mise en œuvre de notre aide à la navigation grâce à un simulateur connecté à une tablette à retour haptique, ainsi que les résultats préliminaires de son évaluation expérimentale par des PPIV. La section V conclut en présentant l'état actuel du projet ACCESSPACE.

II. LES AIDES A LA NAVIGATION ACTUELLES

Depuis la démocratisation du GPS, de nombreux dispositifs électroniques d'aide au déplacement des PPIV ont été créés.

Les lunettes intelligentes [5], [6] sont le premier dispositif visuo-tactile à la fois égocentré et allocentré (cf. Fig. 1). Les images acquises via deux caméras attachées aux branches des lunettes sont traduites en une représentation tactile minimale, affichée sur une surface à stimulation tactile. Cependant, la technologie à mémoire de formes (SMA, *Shape Alloy Memory*) utilisée par cette interface ne permet pas de créer de grandes surfaces tactiles, ou d'augmenter la résolution spatiale. En effet, il n'existe pas de système de dissipation de chaleur suffisamment efficace pour refroidir un grand nombre d'éléments tactiles SMA dans un petit volume.



Fig. 1 Lunettes Intelligentes (URN et Sorbonne).

Le prototype du projet européen FP7 (ICT) HaptiMap (*Haptic, Audio and Visual Interfaces for Maps and Location Based Services*) [3] fournit une assistance audio à la navigation, sous forme de sons avertissant de la présence d'obstacles et en indiquant les points stratégiques pour la continuation du trajet. Les YAH maps (You-Are -Here maps) [7] offrent l'affichage dynamique des cartes. Le projet NAVIG [8], [9] propose un environnement virtuel avec une description de l'espace environnant pendant une tâche de mobilité avec un retour auditif. Dans l'application ISAS (In Situ Audio Services) [10] le rendu audio des bases de données géographiques a été communiqué à travers un smartphone. Tous ces systèmes utilisent un casque ou au moins un écouteur, or les caractéristiques d'ergonomie indispensables exigent que les retours audio soient minimisés, car actuellement les PPIV utilisent l'écholocalisation et les sons ambiants pour s'orienter dans l'espace ; aussi les informations vitales ou importantes ne doivent pas être transmises par ce canal perceptuel [11].

Le prototype du projet européen Sound of Vision, H2020 [12], fournit une représentation audio-tactile des obstacles proches. Le système ALVU (*Array of Lidars and Vibrotactile Units*) [13], [14] constitue un complément à une canne et introduit la reconnaissance de certains objets.

Parmi les systèmes commerciaux on peut citer le système MNB (*Mission Navigation Belt*) et OPSkin de d'Elitac [15]. Ces systèmes intègrent des vibreurs dans des textiles (ceinture intelligente, veste intelligente, etc.) qui indiquent au porteur, la direction suivre. EVA vision (*Extended Visual Assistant*) [16] propose son système éponyme qui consiste en une application smartphone ainsi qu'une paire de lunettes EVA. L'application utilise des caméras intégrées dans une paire de lunettes pour reconnaître des objets, ou lire un texte. Les informations sont transmises à l'utilisateur via des haut-parleurs à conduction osseuse et qui ne gênent donc pas l'audition, mais ont une influence sur l'équilibre. Les instructions de l'utilisateur sont captées via un micro à l'avant des lunettes, ce qui en fait un dispositif mains-libres. Enfin, EVA vision propose aussi un système d'aide à la navigation, via retour audio, en indiquant l'itinéraire à suivre, sans relever les obstacles présents. Le système TAG (*TActile Glasses for obstacle avoidance*) [17] aide à la navigation dans un espace proche. C'est un système comportant une paire de lunettes surmontée d'un capteur infrarouge, ainsi que d'une carte Arduino commandant un moteur à vibration, placé sur une branche des lunettes. Ce système repère l'obstacle le plus proche et génère une vibration dont l'intensité et la fréquence dépendent de la distance et de la taille de l'obstacle. Néanmoins, il faut noter que l'utilisation de capteurs infrarouges proscrit l'utilisation des TAG en extérieur.

Bien que de nombreux dispositifs existent, ils se focalisent majoritairement sur la mobilité immédiate des PPIV, en leur indiquant soit le chemin à suivre étape par étape, soit la position relative des obstacles les plus proches afin de permettre leur évitement [18]. Même si ces informations sont nécessaires pour permettre aux PPIV de se déplacer en sécurité, elles ne permettent qu'un apprentissage très limité et

qu'une représentation mentale partielle de l'espace parcouru quotidiennement. Or, cet apprentissage est nécessaire pour garantir l'autonomie de la personne en lui permettant de choisir librement le chemin qu'elle désire emprunter parmi tous les chemins possibles.

III. ACCESSPACE : MODELE THEORIQUE ET DESCRIPTION FONCTIONNELLE

De nombreuses recherches actuelles semblent soutenir l'idée que les PPIV sont capables d'apprendre et d'utiliser ensuite une représentation mentale de la topographie de leur environnement, même si celle-ci leur est fournie par une autre modalité sensorielle que la vision, pourvu qu'elles acquièrent les informations minimales nécessaires pour cette tâche [19]. Outre la position des obstacles à venir, fournir des informations sur la topographie de l'environnement ainsi que sur la direction à suivre pour atteindre leur destination est nécessaire pour réaliser un système d'assistance à la navigation soutenant les différents processus cognitifs qui sous-tendent la mobilité [20]. Ces informations leur permettront de planifier, emprunter et corriger leur trajectoire de manière autonome.

La conception de notre dispositif a été guidée par l'idée d'une représentation de l'espace en deux parties : les zones empruntables (couloirs, routes...) et non-empruntables (obstacles, murs, bâtiments...) – ou le bi-partitionnement de l'espace – serait le meilleur compromis entre les limites de la mémoire humaine et la nécessité de présenter l'information minimale suffisante pour la compréhension de l'agencement de l'espace environnant [21] : le « *gist* » (cf. Fig. 2). Ces deux concepts de bi-partitionnement de l'espace et de *gist* tactile sont à la base de notre système d'assistance à la navigation qui permettra une meilleure intégration de l'espace par les PPIV.

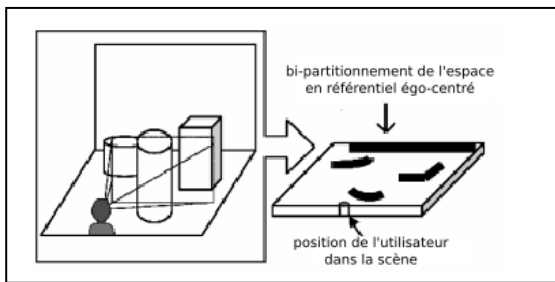


Fig. 2 Espace visible (gauche) et sa représentation par *gist* tactile.

Basé sur ces concepts, notre prototype du système ACCESSPACE présentera les caractéristiques fonctionnelles suivantes : (1) il fournira une carte tactile augmentée des alentours du porteur ; (2) cet affichage sera égo-centré et allocentré à la fois, (3) il suivra les mouvements et déplacements de l'utilisateur en temps réel, (4) cet affichage se basera sur l'intégration de trois sources d'information : des données cartographiques (de l'intérieur d'un bâtiment, ou d'un quartier), des données GPS (pour la navigation en extérieur), et des données visuelles acquises par un système de vision artificielle (pour l'intérieur et l'extérieur).

Le système de vision permettra de pallier l'absence ou l'imprécision des données GPS dans certaines situations [22] en faisant correspondre les mouvements de l'utilisateur à des changements de position sur la carte tactile qui lui est fournie. Cette tâche sera assurée par un algorithme d'odométrie visuelle basée sur l'analyse du flux optique (ORB-SLAM2, [23]) et d'un système de géolocalisation bio-inspirée, basée sur notre modèle de localisation hippocampique [24], qui fonctionne par détection et mise en correspondance de caractéristiques visuelles saillantes de l'environnement, automatiquement stockées dans une carte « cognitive », constituée d'un graphe caractérisant la topologie de l'environnement. Cette carte est construite et mise à jour lors des déplacements de l'utilisateur. Ce modèle utilise comme source visuelle des caméras (grand angle), fixées dans les branches d'une paire de lunettes, à l'instar des Lunettes Intelligentes (cf. Fig 1).

De plus, l'utilisation d'un affichage 2D de type cartographique présente l'avantage d'être un format connu des PPIV, et donne la possibilité de se servir de ce dispositif pour afficher d'autres types d'informations graphiques, comme des transcriptions tactiles de certaines œuvres d'art, quand celui-ci est utilisé pour naviguer à l'intérieur d'un musée. La combinaison de ces deux fonctions ferait de notre dispositif un atout pour les musées, et sa versatilité favoriserait son adoption par les PPIV.

IV. REALISATION D'UN SIMULATEUR

Notre première mise en œuvre de ce système est un prototype simplifié simulant les concepts de bi-partitionnement et de *gist*, mais ne faisant pour l'instant usage que de données cartographiques. Ce simulateur permet de déplacer un avatar dans un environnement virtuel en ayant pour seul retour une carte tactile présentant le *gist* de la disposition de l'espace autour de l'avatar de manière égo-centrée (cf. Fig. 3).

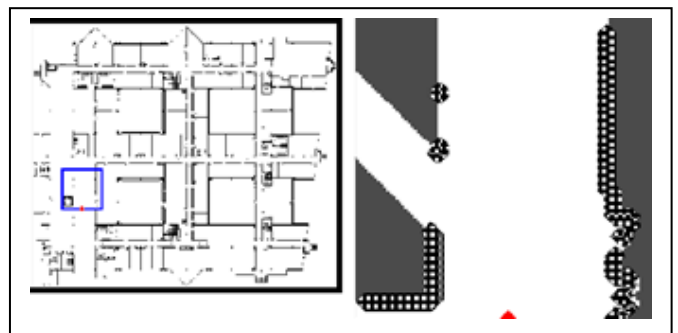


Fig. 3 Carte allocentrée de l'intérieur d'un bâtiment et de l'espace perçu (carré bleu dans la figure de gauche), et représentation du *gist* de l'espace perçu avec l'origine du référentiel de l'avatar correspondant au triangle rouge (droite). Ce triangle rouge est l'ancrage du référentiel anatomique (donc cérébral) de l'homme. La présence de ce triangle met en correspondance ce référentiel avec le référentiel de la carte.

Plus précisément, à partir d'une carte géographique ou d'un plan d'intérieur d'un bâtiment, une carte simplifiée représentant l'espace avoisinant est automatiquement générée. Cet affichage est subdivisé en zones non-navigables

(représentées visuellement par une alternance de blanc et noir) et zones navigables (représentées en blanc pour les zones directement visibles par l'utilisateur, et gris pour les zones masquées par des obstacles) (cf. Fig. 3, partie de droite).

La transcription de cette représentation visuelle en stimulation tactile est assurée par une tablette à retour haptique permettant de générer des textures tactiles artificielles : la tablette STIMTAC (développée par l'université de Lille 1, cf. Fig. 4). Au vu des principes du fonctionnement de cette tablette, le ressenti des zones navigables visibles (blanc) et cachées (gris) sera relativement similaire, mais très différent de celui des obstacles (alternance de blanc et noir) qui généreront une texture rugueuse ralentissant fortement le doigt de l'utilisateur lorsqu'il le passera sur ces obstacles.

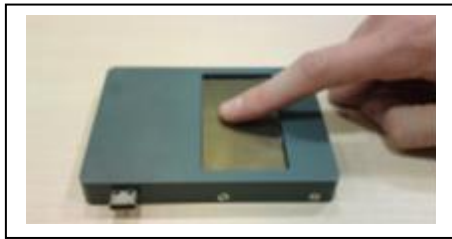


Fig. 4. Prototype de la tablette à stimulation tactile STIMTAC (Univ. Lille 1).

L'origine du référentiel attaché à la portion de l'espace représentée est indiquée sur la tablette avec un point spécifique (non montré sur la Fig. 4, mais représenté sous forme d'un triangle rouge sur la Fig. 3 droite). La taille de cette portion est limitée à une zone de quelques mètres devant l'utilisateur, correspondant à une partie du champ visuel dans laquelle se trouveront les obstacles les plus imminents. Cette fenêtre suit les mouvements et rotations (de la tête) de l'utilisateur, à l'instar des variations de notre perception visuelle. Cet affichage dynamique « en temps réel » égocentré permet de mettre en lien les mouvements de l'utilisateur et les variations perceptives qu'elles engendrent, point crucial pour l'émergence d'une perception externalisée de l'espace [25].

Les premières évaluations psychophysiques de ce dispositif auprès de PPIV sont encourageantes, mais ont fait ressortir les limites de l'interface tactile utilisée. En effet, le signal est difficilement perceptible par les utilisateurs, leur demandant une grande concentration pour localiser les frontières des « objets » indiqués, ce qui rend la détection rapide d'obstacles impossible. Une interface alternative devrait permettre de pallier les faiblesses de la STIMTAC est en cours d'étude, basée sur un système de retour de force dynamique à 2 dimensions.

V. CONCLUSION

Cette communication a présenté le cadre théorique et les spécificités fonctionnelles d'un dispositif d'assistance à la navigation, basé sur une représentation des obstacles et de la topographie de l'espace proche par le biais de cartes tactiles 2D simplifiées. Cette représentation se fonde sur un bipartitionnement de l'espace (zones navigables ou non),

représentée de manière minimaliste (*gist*) sur une interface 2D tactile. Le format de représentation tactile choisi repose sur un compromis entre l'information minimale nécessaire à l'émergence d'une compréhension de l'agencement de l'espace et les limites de l'empan mnésique humain.

En alliant les points forts des cartes en relief statiques et des algorithmes de suivi existants, le système ACCESSPACE permettra aux PPIV de se déplacer en sécurité, tout en percevant et intégrant l'organisation spatiale de leur environnement proche. Par conséquent, le système conçu pallie bien les inconvénients des aides à la mobilité classiques, et complètera parfaitement la canne blanche (y compris électronique).

La réalisation du prototype matériel du système ACCESSPACE a débuté ; son simulateur génère une représentation de l'espace proche à partir d'une simple carte géographique classique et pourra intégrer les données numériques des futurs bâtiments intelligents. Nos premières évaluations du dispositif sont prometteuses, mais l'intégration de données GPS et visuelles, ainsi que l'utilisation d'un autre type d'interface tactile permettra d'en faire une aide à la navigation efficace qui devrait répondre aux attentes des PPIV.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet international ACCESSPACE (soutiens financiers de la FIRAH et du CCAH) ainsi que du projet TETMOST (soutien du CNRS mission Interdisciplinarité) ; il a également bénéficié de soutiens de l'Espace Handicap de l'Université de Rouen Normandie, du laboratoire NormaSTIC et de la COMUe Normandie Université. Nous remercions beaucoup pour tous ces soutiens.

Nous remercions enfin M. Amar Bacha, étudiant de l'Université de Rouen Normandie, pour sa contribution à la réalisation de notre simulateur.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. Farcy et Y. Bellik, « Locomotion Assistance for the Blind », in *Universal Access and Assistive Technology*, S. Keates, P. Langdon, P. J. Clarkson, et P. Robinson, Éd. London: Springer London, 2002, p. 277-284.
- [2] R. Farcy, R. Leroux, A. Jucha, R. Damaschini, C. Grégoire, et A. Zogaghi, « Electronic Travel Aids and Electronic Orientation Aids for blind people: technical, rehabilitation and everyday life points of », p. 13, 2006.
- [3] « Haptimap: Haptic, Audio and Visual Interfaces for Maps and Location Based Services ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.haptimap.org/>. [Consulté le: 09-févr-2018].
- [4] R. R. A. Bourne *et al.*, « Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis », *Lancet Glob. Health*, vol. 5, n° 9, p. e888-e897, sept. 2017.
- [5] R. Velazquez, E. E. Pissaloux, M. Hafez, et J. Szewczyk, « Tactile Rendering With Shape-Memory-Alloy Pin-Matrix », *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 57, n° 5, p. 1051-1057, mai 2008.
- [6] E. Pissaloux, R. Velazquez, et F. Maingreud, « Intelligent glasses: A multimodal interface for data communication to the visually impaired », 2008, p. 120-124.
- [7] L. Zeng et G. Weber, « Exploration of Location-Aware You-Are-Here Maps on a Pin-Matrix Display », *IEEE Trans. Hum.-Mach. Syst.*, vol. 46, n° 1, p. 88-100, févr. 2016.

- [8] B. F. G. Katz *et al.*, « NAVIG: augmented reality guidance system for the visually impaired: Combining object localization, GNSS, and spatial audio », *Virtual Real.*, vol. 16, n° 4, p. 253-269, nov. 2012.
- [9] S. Kammoun *et al.*, « Navigation and space perception assistance for the visually impaired: The NAVIG project », *IRBM*, vol. 33, n° 2, p. 182-189, avr. 2012.
- [10] S. A. Panëels, A. Olmos, J. R. Blum, et J. R. Cooperstock, « Listen to it yourself!: evaluating usability of what's around me? for the blind », p. 2107-2116, 2013.
- [11] P. Conradie, T. Mioch, et J. Saldien, « Blind User Requirements to Support Tactile Mobility », TacTT14 (Tactile/Haptic User Interfaces for Tabletops and Tablets), Dresden, Germany, p. 6, 2014.
- [12] « Sound of Vision : Natural sense of vision through acoustics and haptics », *Sound of Vision*. [En ligne]. Disponible sur: <https://soundofvision.net/>. [Consulté le: 09-févr-2018].
- [13] R. Katzschmann, B. Araki, et D. Rus, « Safe Local Navigation for Visually Impaired Users with a Time-of-Flight and Haptic Feedback Device », *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, p. 1-11, 2018.
- [14] H.-C. Wang, R. K. Katzschmann, S. Teng, B. Araki, L. Giarre, et D. Rus, « Enabling independent navigation for visually impaired people through a wearable vision-based feedback system », 2017, p. 6533-6540.
- [15] « Elitac | Adding intelligence to textiles ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.elitac.nl/>. [Consulté le: 09-févr-2018].
- [16] « EVA - Extended Visual Assistant ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.eva.vision/>. [Consulté le: 09-févr-2018].
- [17] G. Korres, A. El Issawi, et M. Eid, « TActile Glasses (TAG) for Obstacle Avoidance », in *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, 2014, p. 741-749.
- [18] W. Elmannai et K. Elleithy, « Sensor-Based Assistive Devices for Visually-Impaired People: Current Status, Challenges, and Future Directions », *Sensors*, vol. 17, n° 3, p. 565, mars 2017.
- [19] D.-R. Chebat, V. Harrar, R. Kupers, S. Maidenbaum, A. Amedi, et M. Pito, « Sensory Substitution and the Neural Correlates of Navigation in Blindness », in *Mobility of Visually Impaired People*, E. Pissaloux et R. Velazquez, Éd. Cham: Springer International Publishing, 2018, p. 167-200.
- [20] E. E. Pissaloux, R. Velazquez, et F. Maingreud, « A New Framework for Cognitive Mobility of Visually Impaired Users in Using Tactile Device », *IEEE Trans. Hum.-Mach. Syst.*, vol. 47, n° 6, p. 1040-1051, déc. 2017.
- [21] G. A. Miller, « The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information », *Psychol. Rev.*, vol. 101, n° 2, 343-352, 1994.
- [22] M. Modsching, R. Kramer, et K. ten Hagen, « Field trial on GPS Accuracy in a medium size city: The influence of built-up », in *3rd workshop on positioning, navigation and communication*, 2006, vol. 2006, p. 209-218.
- [23] R. Mur-Artal et J. D. Tardos, « ORB-SLAM2: An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras », *IEEE Trans. Robot.*, p. 1-8, 2017.
- [24] H. Frezza-Buet et N. P. Rougier, « De la nécessité de l'intégration d'un modèle d'hippocampe dans une approche corticale de la sélection de l'action », in *Neurosciences et Sciences pour l'Ingénieur*, Munster, France, 1998, p. 4 p.
- [25] C. Lenay, O. Gapenne, S. Hanne-ton, C. Marque, et C. Genouëlle, « Sensory substitution: Limits and perspectives », *Touching Knowing*, p. 275-292, 2003.