HAL
open science

Expériences utilisateurs de piétons âgés avec deux dispositifs de navigation portatifs : étude en environnement naturel

Angélique Montuwy, Béatrice Cahour, Aurélie Dommes

▶ **To cite this version:**

Angélique Montuwy, Béatrice Cahour, Aurélie Dommes. Expériences utilisateurs de piétons âgés avec deux dispositifs de navigation portatifs : étude en environnement naturel. 30eme conférence francophone sur l'interaction homme-machine, Oct 2018, Brest, France. pp.63-72. hal-01899006

HAL Id: hal-01899006

https://hal.science/hal-01899006v1

Submitted on 19 Oct 2018

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.

Expériences utilisateurs de piétons âgés avec deux dispositifs de navigation portatifs : étude en environnement naturel

Older pedestrians' user experiences with two wearable navigation devices: a study in the city

Angélique Montuwy
COSYS-LEPSIS, IFSTTAR
Route de Bouaye
44340, Bouguenais, France
angelique.montuwy@ifsttar.fr

Béatrice Cahour
I3, Telecom ParisTech
46 rue Barrault
75013, Paris, France
beatrice.cahour@telecom-paristech.fr

Aurélie Dommes
COSYS-LEPSIS, IFSTTAR
25 allée des marronniers
78000, Versailles, France
aurelie.dommes@ifsttar.fr

ABSTRACT

Designing navigation aids for older pedestrians could help them stay autonomous in their daily activities. Here we present a rich description of the navigation experience of older pedestrians either with visual (augmented reality glasses) or auditory (bone conduction headphones) wearable devices adapted to age-related declines. In a study with 18 participants we measured the navigation performance and applied the Explicitation Interview Technique to capture detailed descriptions of the users' experience. We highlight three main phenomena which impact the quality of the user experience with the two devices: (1) the transformation of the peripheral awareness, (2) the contextualization of information, and (3) the emergence of feelings along the route. This study adds a new understanding of the navigation experience by older people and is discussed in terms of design recommendations for navigation devices.

CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → Empirical studies in HCI

KEYWORDS

Wearable, navigation, pedestrian, older people, user experience.

RÉSUMÉ

Concevoir des aides à la navigation pour les piétons âgés peut être un support pour leur autonomie au quotidien. Nous présentons ici en détails l'expérience de navigation de piétons âgés avec deux dispositifs portatifs de guidage : des lunettes de réalité augmentée et un casque à conduction osseuse. Cette étude, auprès de 18 personnes, met en regard des mesures de performances et une description riche de l'expérience vécue, grâce à des entretiens d'explicitation. Trois phénomènes semblent impacter l'expérience de navigation : (1) la transformation de l'attention périphérique, (2) la contextualisation de l'information, et (3) l'émergence d'émotions au cours du trajet. Cette étude contribue à mieux comprendre la navigation des piétons âgés. Les résultats sont discutés en termes de recommandations de conception.

MOTS-CLEFS

Dispositifs portatifs, navigation, piétons, personnes âgées, expérience utilisateur.

1 INTRODUCTION

D'ici 2050, le nombre de personnes âgées de plus de 60 ans devrait dépasser le nombre de personnes jeunes dans le monde [51]. Cette population vieillissante tend à vivre de plus en plus en milieu urbain [49] et dépend plus de la marche que les autres catégories de population pour les déplacements quotidiens [9]. Préserver la mobilité piétonne des personnes âgées en milieu urbain est donc un défi pour leur qualité de vie et leur autonomie.

Cependant, les déclins perceptifs (ex : cataracte, presbytie, surdité) et cognitifs (ex : attention, mémoire de travail ou habiletés visuo-spatiales réduites) liés à l'âge peuvent avoir un impact négatif sur la mobilité piétonne [12, 30, 66], pouvant conduire parfois à l'isolement ou à la dépression [3]. La navigation spatiale, en particulier, est vulnérable au vieillissement [22] car elle nécessite de percevoir et d'intégrer mentalement un grand nombre d'informations de l'environnement pour se déplacer d'un point A à un point B [61]. Fournir aux piétons âgés une aide à la navigation adaptée à leurs spécificités pourrait donc les aider à rester autonomes [20, 57]. Cette étude constitue une étape dans la création d'aides à la navigation adaptées aux piétons âgés.

En s'appuyant sur des travaux de psychologie ergonomique et cognitive, nous questionnons les retours d'expérience de piétons âgés avec deux dispositifs portatifs d'aide à la navigation en contexte urbain : des lunettes de réalité augmentée et un casque à conduction osseuse. Les participants étaient invités à réaliser deux trajets d'un kilomètre avec ces dispositifs leur fournissant des indications pas-à-pas, conçues

pour être facilement perceptibles et compréhensibles par les personnes âgées. Nous avons évalué les performances de navigation basées sur le nombre d'erreurs et le temps de parcours (voir e.g. [56]) et l'expérience utilisateur, grâce à la méthode des entretiens d'explicitation, qui vise à favoriser la verbalisation de l'expérience vécue [7, 67]. Les principales contributions de cette étude sont : 1) la mise en œuvre de deux prototypes d'aide à la navigation conçus pour répondre aux spécificités de la perception et de la cognition des personnes âgées, 2) une évaluation de la performance de navigation avec ces prototypes éclairée par les entretiens d'explicitation et 3) la mise en valeur de trois dimensions impactant l'expérience utilisateur avec des aides de ce type : la transformation de l'attention périphérique, la contextualisation des informations et l'émergence d'émotions. Sur ce dernier point, ces travaux étendent des travaux réalisés précédemment par les mêmes auteurs (voir [44]).

2 LITTERATURE

2.1 Déclins liés à l'âge et recommandations de conception associées

Les changements qui s'opèrent dans les structures du cerveau avec l'avancée en âge ont des conséquences sur plusieurs des fonctions cognitives utiles à la navigation des piétons [66]. Les plus faibles habiletés spatiales et les changements intervenant dans le traitement des informations spatiales conduisent les personnes âgées à utiliser davantage les informations égocentrées (en vue à la première personne) que les informations allocentrées (en vue du dessus) [35] telles que les cartes. Des aides égocentrées pas-à-pas ou basées sur des repères en première personne ont déjà été utilisées avec succès auprès de piétons âgées (voir e.g. [20]) en comparaison aux cartes classiques. Les plus faibles capacités de mémoire de travail [54] demandent, par ailleurs, de limiter la charge mentale associée à l'interprétation des messages de guidage. Des flèches ou des messages auditifs courts doivent ainsi être préférés à du texte ou à de longues instructions vocales [14, 31, 58]. Les personnes âgées ont également des capacités attentionnelles réduites [63]. Pour limiter le partage attentionnel lié aux aides à la navigation et favoriser des déplacements sécurisés, les messages de guidage peuvent être fournis directement sur le corps ou dans le champ de vision des utilisateurs [4, 28, 56, 62]. De la même manière, les déclins perceptifs doivent être pris en compte pour une conception adaptée. Une grande variété de pathologies telles que les glaucomes, la cataracte, la presbytie, une plus faible sensibilité aux contrastes ou à l'intensité lumineuse peuvent ainsi intervenir avec l'âge. Des couleurs chaudes [71], des polices sans empâtement [19] et des formes simples [17] peuvent faciliter la perception et la compréhension des informations visuelles. Les personnes âgées peuvent aussi connaitre une presbyacousie, une plus faible perception des hautes fréquences, ou avoir des difficultés à comprendre et distinguer les voix dans un environnement bruyant [55]. Des sons de fréquence comprise entre 500 Hz et 2000 Hz [19], un débit de parole relativement lent ne faisant pas appel à une voix de synthèse [17], ou des fonctions d'ajustement de l'intensité sonore [15] sont ainsi recommandées pour fournir des informations sonores aux personnes âgées.

2.2 Aides à la navigation pour les piétons âgés

Relativement peu d'études s'intéressent aux aides à la navigation pour les personnes âgées en environnement naturel. L'étude de Goodman et al. [20] datant de 2005 fait référence et montre que les modalités visuelles basées sur du texte sont préférées aux indications vocales, principalement à cause de problèmes d'audition. Plus récemment, Rassmus-Gröhn et Magnusson [59] ont comparé l'utilisation d'une boussole numérique et d'une application proposant un guidage par flèches auprès de personnes âgées atteintes de pertes de mémoire à court terme. Ils montrent que les flèches paraissent plus simples à suivre que la boussole, bien que le fort contraste lumineux de cette dernière soit préféré.

D'autres travaux, non dédiés aux personnes âgées, peuvent s'avérer toutefois intéressants. Ainsi, la littérature récente a montré un fort intérêt pour l'ajout d'informations de navigation dans des visualisations en première personne (flèches, lignes au sol, annotations). Ces dernières sont généralement préférées aux cartes [8, 69] et aux visualisations non-augmentées [75] et conduisent à moins de difficultés dans la recherche d'itinéraire [69]. Bien que Rehrl et al. [60] fassent mention d'une charge cognitive plus importante lors de l'utilisation d'interfaces de réalité augmentée sur smartphone par rapport à une carte ou un guidage par voix, d'autres études, fournissant directement l'information dans le champ de vision auprès de conducteurs (et non sur un smartphone tenu en main) soulignent une réduction du nombre d'erreurs et de situations dangereuses avec ce type de guidage en comparaison d'un GPS déporté, même pour des personnes âgées [28]. De plus, Mulloni et al. [45] rapportent que les informations de guidage en réalité augmentée sont plutôt utilisées aux points de décision, tandis que la carte est mobilisée tout au long de la route, ce qui peut aider à réduire le partage attentionnel chez les personnes âgées.

Les sons spatialisés et les techniques de sonification ont aussi été utilisées avec succès en navigation. Le bénéfice de signaux sonores pour la navigation a été étudié en environnement virtuel [68] comme en environnement naturel avec des personnes voyantes [73] et malvoyantes [23]. Liljedahl et al. [34] ont ainsi développé une application baptisée Audio Guide qui est plus intuitive et désoriente moins qu'une carte. Pareillement, des applications de spatialisation de musique [27, 38, 65] ont été utilisées avec succès pour guider des personnes en fonction des variations du volume, de la source sonore, ou de la structure musicale elle-même. Bien que des aides non-vocales puissent être utiles pour les personnes âgées en environnement naturel, tout comme des informations incrustées en vue à la première personne, aucune de ces aides n'a été testée auprès de piétons âgés pour l'heure.

3 ETUDE EN ENVIRONNEMENT NATUREL

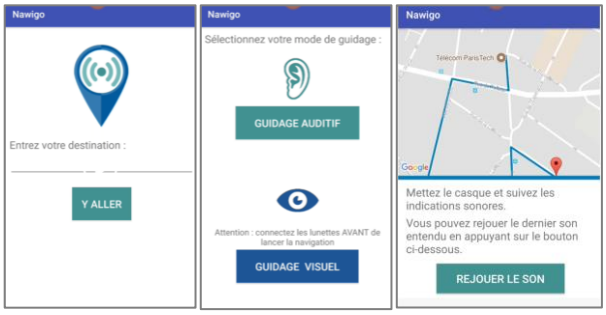
Si beaucoup d'études consacrées aux aides à la navigation s'intéressent à l'efficacité des dispositifs techniques proposés, relativement peu questionnent en détail l'expérience utilisateur en lien avec les performances de navigation. Dans cette étude, nous explorons ces dimensions à la fois quantitatives et qualitatives pour deux dispositifs portatifs sensoriels (visuel et auditif) contrôlés grâce à une application Android.

3.1 Développement de l'application

Compte tenu de la littérature et des bénéfices potentiels des visualisations augmentées et des sons spatialisés pour la navigation en environnement urbain des piétons âgés, nous avons développé une application Android proposant 2 modes de guidage :

- un mode visuel qui, connecté à des lunettes de réalité augmentée, permet d'afficher des flèches dans le champ de vision
- un mode auditif qui, connecté à un casque à conduction osseuse, permet de jouer des sons dans l'oreille gauche et/ou dans l'oreille droite.

L'interface de l'application a été réalisée selon les recommandations de conception pour les personnes âgées. Une police sans empâtement en taille 12 et des icônes et boutons à fort contraste ont été utilisés [15, 19]. Toutes les informations pertinentes pour chaque étape d'utilisation étaient affichées à l'écran, sans besoin d'interaction avec des menus ou des vues différentes. Quand un bouton était pressé, une légère vibration confirmait l'appui. La luminosité était maintenue à un niveau constant pour convenir à des temps de réponses généralement plus longs chez les personnes âgées [15].
Sur l'écran d'accueil (Fig. 1.a), les personnes étaient invitées à entrer leur destination. Une liste de destinations était prédéfinie, mais n'importe quelle destination pouvait être utilisée également, grâce au recours à l'API de Google Maps. Sur une seconde vue (Fig. 1.b), le mode de navigation était choisi : visuel ou auditif. Sur une troisième vue (Fig. 1.c), une carte présentait le chemin à suivre pour se rendre à la destination, de sorte à favoriser la confiance des personnes âgées au cours du trajet [64]. Un bouton permettait de rejouer la dernière indication reçue.
Afin d'améliorer la précision du signal, les données GPS et le réseau téléphonique étaient utilisés pour localiser la personne dans l'environnement. Un message indiquait que la connexion entre le GPS, le téléphone et le dispositif était bien établie avant d'entamer le trajet.



(a) (b) (c)

Figure 1 : Captures d'écran de l'application.

Les lunettes de réalité augmentée utilisées étaient de modèle Optinvent ORA 2 (Fig. 2.a). Les flèches de guidage étaient affichées au niveau de l'œil droit, du fait de la position de l'écran de réalité augmentée, dans un espace correspondant à un écran de 61 pouces placé à 4m de distance. La position verticale de l'écran était ajustée pour chaque participant. Des verres de soleil ont été ajoutés et la luminosité de l'affichage réglée au maximum pour maximiser le contraste en extérieur.
Un casque à conduction osseuse Bluetooth était utilisé en mode auditif (Fig. 2.b), afin d'assurer une plus grande sécurité aux participants en environnement extérieur [74]. Ce type de casque, par ailleurs, bénéficie aux personnes atteintes de surdité de conduction. Le volume était ajusté pour chaque participant.

(a) (b)

Figure 2 : Dispositifs portatifs utilisés.

3.2 Messages de guidage pas-à-pas

Six messages pas-à-pas ont été utilisés dans cette étude : tourner à gauche dans la prochaine rue, tourner à droite dans la prochaine rue, entrer dans un rond-point par la gauche, entrer dans un rond-point par la droite, faire demi-tour et s'arrêter à destination. Par défaut, pour limiter la charge attentionnelle, il était indiqué aux participants de continuer tout droit en l'absence de messages. Les messages visuels et auditifs utilisés étaient issus de travaux relatifs à la perception et à la compréhension de messages de guidage pas-à-pas par les personnes âgées en environnement virtuel [42, 43]. Les flèches imitaient celles utilisées par les GPS, et étaient affichées sur tout l'espace de l'écran de réalité augmentée. Une couleur vert pomme était utilisée pour faciliter leur perception auprès de personnes atteintes de pathologies oculaires [77] (Fig. 3). Les messages auditifs consistaient en des sons stéréo de fréquences comprises entre 500 Hz et 1 kHz. Des signaux de type sonar étaient utilisés pour faciliter leur localisation [68].
La durée des messages de guidage était de 3 secondes pour limiter le partage attentionnel tout en étant facilement perceptibles [46, 52].

Figure 3 : Flèche vue à travers les lunettes de réalité augmentée équipées de verres solaires.

3.3 Participants

18 participants ont pris part à l'étude (10 hommes, 8 femmes) âgés de 60 à 77 ans (M=68,7, SD=5,1). Les critères de participation étaient : être retraité, être habitué à se déplacer en environnement urbain, être capable de marcher 30 minutes et posséder un smartphone. Le critère d'être retraité permettait de s'assurer de la disponibilité des participants. Tous les participants savaient entrer une destination dans une application GPS sur téléphone ou sur un GPS pour voiture. Tous les participants portaient des lunettes ou des lentilles pour voir de près et/ou de loin, et deux présentaient une surdité partielle (sans aide auditive). Les participants ont reçu un bon d'achat de 30€ en compensation de leur participation.

3.4 Protocole et recueil de données

Les participants étaient invités à parcourir deux trajets inconnus dans le 13e arrondissement de Paris. Chaque trajet faisait 1km et comprenait 1 rond-point, 3 changements de direction à gauche, 3 changements à droite et un message d'arrivée (Fig. 4.a et 4.b). Les trajets, très similaires, étaient réalisés dans le même ordre de sorte à raconter une histoire cohérente aux participants (premier trajet vers une association, et deuxième trajet vers un restaurant, afin d'y terminer l'étude à l'heure du déjeuner ou du goûter), mais les modes de guidage étaient contrebalancés. Au total, l'étude durait environ 2 heures.

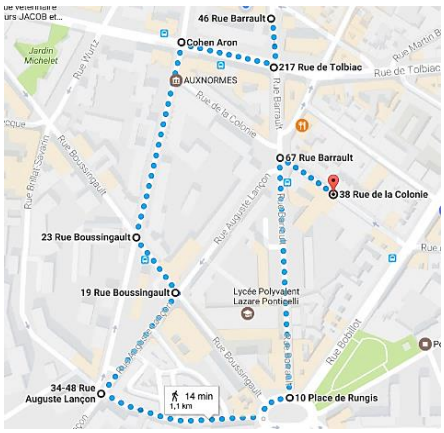


Figure 4.a : Premier trajet réalisé, vers une association locale.

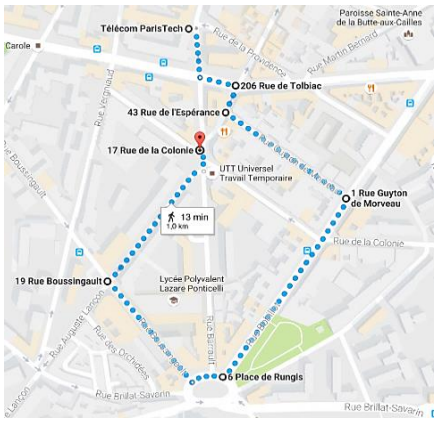


Figure 4.b : Second trajet réalisé, vers un restaurant.

Avant chaque trajet, une familiarisation aux messages de guidage et au dispositif portatif était réalisée en intérieur. Les participants avaient la possibilité de conserver leurs lunettes de vue sous les lunettes de réalité augmentée ou de les enlever à leur guise. Moins d'un quart des participants ont conservé leurs lunettes. L'inclinaison de l'écran de réalité augmentée était ajustée pour limiter les effets de distorsion et l'intensité du son du casque était adaptée à chaque participant au cours de cette familiarisation.

Avant de partir, le participant était informé de la destination et une carte postale représentant l'arrivée lui était remise. Le participant était invité à entrer la destination sur le smartphone fourni pour l'occasion. Il était informé qu'il pouvait appuyer sur le bouton pour rejouer la dernière indication ou consulter la carte numérique comme il le souhaitait au cours du trajet, en étant libre d'interagir à loisir avec le téléphone (seul un participant utilisera en effet la carte numérique au cours de son trajet). L'expérimentateur indiquait également au participant qu'en cas de changement de direction, le message lui serait fourni dans un rayon de 20m autour de l'intersection, dépendant de la qualité du signal GPS en environnement extérieur. Bien que de nombreuses micro-déconnexions du GPS aient pu être relevées (jusqu'à 250 par trajet), ce rayon de 20m permettait toutefois de s'assurer que le participant obtienne l'information de changement de direction avant de s'être engagé dans le prolongement de la rue. En cas de sortie de ce périmètre sans avoir tourné, un message de demi-tour était envoyé. En cas de non-perception du message de demi-tour, l'expérimentateur intervenait pour réorienter le participant.

Au cours du trajet, un expérimentateur suivait le participant à une distance d'1 à 2 mètres pour s'assurer de sa sécurité, et enregistrait le trajet en vidéo. Le participant pouvait discuter avec l'expérimentateur s'il le souhaitait. L'expérimentateur posait également des questions pour connaitre l'état d'esprit du participant. Les positions GPS et interactions avec le smartphone étaient enregistrées chaque seconde par l'application.

À la suite de chaque itinéraire, un entretien d'explicitation était réalisé avec le participant pour recueillir son expérience vécue. Cette technique d'entretien consiste à questionner les personnes sur ce qu'elles ont pensé, perçu, ressenti, ou fait à des moments précis [7, 67] sans chercher à donner d'explication rationnelle à leur comportement [53]. Les questions concernaient des dimensions synchrones (e.g. « Comment vous sentiez-vous à ce moment ? ») et asynchrones (e.g. « qu'est-ce que vous percevez ensuite ? ») de l'expérience. L'expérimentateur, sans induire de réponse, cherchait à accompagner le participant dans le rappel de son expérience vécue. Cette technique a été utilisée avec succès dans de précédentes études consacrées aux IHM [6, 33, 47, 48]. Les entretiens étaient entièrement enregistrés et une pause effectuée entre les 2 parcours.

3.5 Analyse des données

Le temps de parcours entre le départ du participant et l'arrivée à destination a été mesuré, et un pourcentage d'erreurs de navigation a été calculé sur la base du nombre de fois où les participants n'ont pas suivi les messages de guidage. Le nombre de fois où le bouton pour rejouer la dernière indication a été

pressé a également été comptabilisé. Compte tenu du faible nombre de participants, des tests non paramétriques de Wilcoxon pour groupes appareillés ont été réalisés.

Les 36 entretiens ont été retranscrits dans leur intégralité et analysés selon une analyse thématique hybride [18]. Dans un premier temps, une grille d'analyse en 12 thèmes (voir tableau 1) a été constituée sur la base d'une littérature spécifique relative aux aides à la navigation et à l'expérience utilisateur chez les personnes âgées en particulier [1, 24, 29, 32]. Une littérature plus générale consacrée aux concepts de l'expérience utilisateur [21, 36] a également été mise à profit, afin d'identifier les dimensions pragmatiques, hédoniques et émotionnelles en jeu leur de l'activité de navigation. Deux codeurs ont associé indépendamment chaque verbatim aux thèmes d'analyse, avec un accord inter-codeurs relativement élevé [5] (Kappa de Cohen k> 0.65). Pour mieux correspondre aux réalités des verbatims, dans un second temps, les thèmes d'analyse ont été raffinés ou agglomérés, en accord avec les deux codeurs (voir tableau 1). Il en a résulté 8 catégories. Chaque verbatim a été réduit, enfin, à un ensemble de mots-clés et à une temporalité au cours du trajet leur a été associée, ce qui a permis de mettre en valeur trois phénomènes principaux qui impactent l'expérience de navigation des piétons âgés avec les deux dispositifs portatifs.

Grille d'analyse initiale	Catégories de mots-clés	Phénomènes impactant l'UX
Visibilité des messages [1]	Perception des messages	Transformation de l'attention périphérique
Charge mentale [1]	Attention aux messages	
Vécu subjectif [32]	Attention aux alentours	
Sécurité [24]		
Facilité à apprendre et utiliser [29, 32]	Compréhension des la situation	Contextualisation de l'information
Orientation [1]		
Confiance à priori [24]	Sentiment de confiance	Emotions au cours du trajet
Sentiment de compétence [29]		
Emotion [32]	Emotion	
Satisfaction [1]	Confort physique et psychologique	
Discretion et autonomie [24, 32]		
Valeur subjective [32]	Utilité	

Tableau 1 : 3 phases d'analyse thématique hybride.

4 RESULTATS

4.1 Performances de navigation

Le temps de parcours a duré en moyenne 17 minutes (min=13,5 minutes ; max=25 minutes) avec le dispositif visuel (SD=182s) et 16 minutes avec le dispositif auditif (min=11,75 minutes ; max=20,75 minutes ; SD=160s) pour des trajets de même distance et comportant le même nombre de traversées de rue. Il ne diffère pas significativement entre les deux dispositifs portatifs (p=.17).

Le pourcentage d'erreurs de navigation a été toutefois plus élevé avec les lunettes de réalité augmentée 16,7% (min=0% ; max=82% ; SD=18) qu'avec le casque à conduction osseuse 3,7% (min=0% ; max=21% ; SD=5,4) (p<.01). Similairement, le nombre de fois où un message a été rejoué était plus élevé avec le guidage visuel (min=0 ; max=26 ; M=7,7 ; SD=8.2) qu'avec le guidage auditif (min=0 ; max=3 ; M=0,8 ; SD=1,1) (p<.0005). Les performances de navigation sont donc globalement meilleures avec le guidage auditif mobilisant un casque à conduction osseuse.

4.2 Expériences de navigation

Les expériences de navigation rapportées par les participants sont dessinées par 3 éléments principaux : la transformation de l'attention périphérique lors du port du dispositif, l'activité de contextualisation de l'information de guidage pour prendre la bonne direction, et l'émergence d'émotions au cours du trajet.

4.2.1 Transformation de l'attention périphérique. Le partage attentionnel a été un élément clé pour la compréhension de l'activité de navigation avec chacun des dispositifs portatifs. Les participants ont décrit ainsi les arbitrages qu'ils ont opérés afin d'allouer leurs ressources attentionnelles à la perception des messages de guidage, à l'environnement (les bâtiments, les personnes croisées) et/ou au trafic routier. Plus les messages leurs semblaient faciles à percevoir, meilleure était leur attention périphérique à l'environnement bâti et routier et leur sentiment de sécurité.

Avec le casque à conduction osseuse, 16 participants sur 18 ont estimé ne pas avoir de difficultés de perception, y compris des personnes atteintes de surdité. La durée, l'intensité et le contraste des sons avec les sons issus de l'environnement permettait de ne pas y prêter d'attention constante : « les sons étaient suffisamment bons pour que je ne doive pas y faire attention » [Participant 07]. Compte tenu des fréquences utilisées dans le casque, une vibration a pu également être perçue en même temps que le son par 5 participants, ce qui « rendait la perception encore meilleure » [P06].

Parmi les 18 participants, 13 ont estimé avoir eu plus de difficultés à percevoir les flèches dans leur champ de vision que les sons. Bien que la couleur verte utilisée a été évaluée positivement (« Je pense que c'est la couleur que les gens voient le mieux » [P18]), les flèches ont été décrites comme trop brèves (bien qu'elles durent 3 secondes également), trop pâles (bien que l'intensité soit maximale) et même parfois incomplètes dans le champ de vision (bien que l'écran soit ajusté pour chaque personne) « c'était presque invisible, comme une mouche qui passerait dans mon champ de vision » [P14]). Ces difficultés de perception avec les lunettes de réalité augmentée ont conduit à un niveau d'attention et une charge cognitive plus élevés chez 13 des participants. Ils ont utilisé aussi plusieurs stratégies leur permettant d'améliorer la perception des flèches en environnement extérieur telles que modifier leur vitesse de marche, allouer plus d'attention aux flèches au détriment de l'environnement, focaliser leur regard sur l'écran, ou encore ne pas tourner la tête.

Ces stratégies ont eu des conséquences sur le sentiment de sécurité des participants, 10 d'entre eux ayant des difficultés à faire attention aux voitures en approche : « j'ai eu du mal à faire

attention aux voitures quand nous avons traversé en face du bar. C'est comme si je ne pouvais pas tourner la tête, et je ne voyais pas s'il y avait un véhicule en approche. » [P15]. Le risque de chute a été également largement mentionné lors du port de lunettes (7 participants sur 18), à cause d'une altération dans la perception des distances : « c'était comme si le trottoir ondulait sous mes pieds » [P16]. L'utilisation des flèches a également conduit 3 participants à traverser sans faire attention, du fait d'un stress plus grand : « je pense que j'ai traversé plus vite que d'habitude, parce que j'ai vu le message, et je savais qu'il n'allait pas rester longtemps » [P09], tandis que d'autres participants craignaient de réagir dans l'instant : « sans les lunettes, j'aurais traversé je pense. Mais j'avais peur de ne pas être assez attentif, de ne pas être à 100% » [P05].

Si le port de dispositifs de guidage a pu interférer avec le sentiment de sécurité, il a touché également à l'attention allouée à l'environnement. Ainsi, le vocabulaire utilisé pour décrire l'expérience de navigation avec le casque s'est rapproché du vocabulaire de la contemplation (« faire une balade », « regarder autour », « être dans ses pensées ») tandis que le parcours avec les lunettes semblait moins orienté vers la promenade : « je ne pouvais rien voir. Je voyais mes pieds, et un peu devant moi, j'ai fait moins attention qu'avec les sons » [P16]. Les participants ont décrit un champ de vision réduit avec les lunettes : « je dirais que je pouvais voir 60° à gauche, et 30°, peut-être moins, à droite » [P03]. L'attention à l'environnement a été également réduite du fait de la présence de l'écran dans le champ de vision : « le petit rectangle où les flèches apparaissent et disparaissent me dérangeait » [P18].

Enfin, il semble également que le partage attentionnel à des fins d'interactions sociales a été plus difficile avec les lunettes qu'avec le casque : « à un moment, je vous parlais, et je me suis dit que je devais arrêter, que je devais me concentrer car j'aurais pu rater une flèche. » [P10].

4.2.2 Contextualisation de l'information. Les messages de guidage, qu'ils soient visuels ou auditifs, n'ont pas présenté de difficulté de compréhension : « j'interprétais ce que je voyais instantanément, et c'était pareil pour les sons » [P13]. Similairement, les règles de fonctionnement du système de guidage ont été intégrées rapidement quant au fait d'utiliser deux messages dans les ronds-points (un pour l'entrée et un pour la sortie) et d'aller tout droit en l'absence d'indication. Cependant, la contextualisation des informations de navigation fournies par le dispositif d'aide a pu poser des problèmes dans certains contextes, compte tenu d'une inadéquation entre l'environnement perçu par les participants et l'information fournie par le système.

Ainsi, 7 participants ont interprété comme étant des ronds-points des zones qui n'en étaient pas pour le système, générant attente et désorientation : « je pensais que c'était un rond-point, même si je n'avais pas eu le message d'entrer dans un rond-point. J'ai tourné à droite, et je me suis mis à attendre ensuite un nouveau message pour sortir du rond-point » [P15]. Trois participants, également, ont pu interpréter les indications de changement de rue comme des indications les invitant à traverser la chaussée : « quand j'ai entendu le son de tourner à gauche, j'ai pris le passage piéton, j'ai traversé à gauche, et je me suis retrouvé face à un mur. J'ai dû m'arrêter car la règle est de continuer tant qu'il ne dit rien, mais là, je ne pouvais pas » [P03].

Outre ces erreurs, la temporalité des messages a joué également un rôle crucial dans l'interprétation spatiale des indications de guidage. Ainsi, des indications fournies sur une base régulière et suffisamment tôt, « 10m avant à plus ou moins 2m » [P08], ont été associées à une prise de décision apaisée et à une mise en œuvre décontractée : « la distance entre le son et l'intersection était suffisamment longue et courte à la fois pour me permettre de comprendre et d'agir calmement » [P09]. Au contraire, une temporalité des indications trop variable, et trop tardive a pu engendrer des doutes et une mise en œuvre parfois hâtive : « j'ai eu un doute, parce que la flèche précédente était arrivée plus tôt, alors je ne savais pas si je devais tourner à droite là, tout de suite, ou dans la rue qui était un peu plus loin » [P10]. La temporalité des messages sonores est apparue bonne pour 12 participants, contre seulement 5 participants avec le guidage visuel : « avec les lunettes, c'était plus instable qu'avec le casque, ça a beaucoup varié au cours du trajet » [P10], ce qui a conduit à un plus grand sentiment de désorientation avec les lunettes de réalité augmentée. Nous supposons que ce sentiment a pu être renforcé par une moins bonne qualité de la connexion Bluetooth entre les lunettes et le smartphone.

Il est intéressant de noter que seulement 3 participants ont déclaré suivre « aveuglément » les indications, contrairement à ce qui est souvent reproché aux aides à la navigation [42]. Une très grande majorité de participants (15/18) a été engagée dans un processus actif de prise de décision. Ce processus, toutefois, reposait davantage sur le fait de rejouer les indications (dans le cas du mode de guidage visuel notamment) ou sur le rappel conscient des règles du système pour lever les ambiguïtés que sur la mise en rapport des indications du système et des informations issues de l'environnement : « l'application m'a dit de tourner à gauche. C'était un peu tard, mais je sais qu'elle m'indique toujours la première rue, donc j'ai tourné » [P13]. Alors que les cartes sont aujourd'hui le mode de guidage le plus courant parmi les personnes âgées, la carte fournie par l'application n'a été utilisée que par un seul participant, mettant en valeur que d'autres stratégies cognitives que celles mobilisées habituellement ont été à l'œuvre avec ces deux aides.

4.2.3 Emotions au cours du trajet. Au fil du temps, l'engagement des participants dans des activités visant à la perception et/ou à la compréhension des indications de guidage avec les deux dispositifs portatifs a conduit à l'émergence d'émotions liées à la confiance, au sentiment de compétence ou encore au confort avec les deux aides proposées, émotions qui ont dessiné en profondeur l'expérience utilisateur.

Ainsi, le temps nécessaire à la familiarisation avec le dispositif de guidage a été perçu comme plus court lorsqu'il s'agissait du casque à conduction osseuse que des lunettes de réalité augmentée : « mon esprit était libre plus rapidement. Je me suis senti confortable presque dès le début du trajet. » [P08, auditif]. Cette familiarité contrastée entre les deux aides se reflétait aussi dans le sentiment de confiance porté au dispositif. Ainsi, le niveau de confiance a été élevé tout au long du trajet pour 14 participants lorsqu'ils portaient le casque, tandis que la confiance a décru dans le temps pour 11 participants lorsqu'ils portaient les lunettes : « quand j'ai commencé avec les lunettes, j'étais relax, comme avec le casque. Mais j'ai rapidement perdu ma sérénité. » [P09]. La confiance dans le dispositif de guidage semblait dépendante de 3 éléments principaux : (1) la perception des indications de navigation et le coût attentionnel

associé : « je sais que j'entends les sons, donc je fais une pleine confiance au casque » [P02] ; (2) le recours possible au message de demi-tour en cas de doute : « le demi-tour est rassurant parce que je sais que si je fais une erreur, je vais le savoir rapidement, avant d'arriver au prochain croisement » [P13] ; (3) le sentiment de ne pas perdre de temps avec l'aide : « quand je me suis trompé, j'ai marché 20m. C'est une courte distance, c'est rassurant, parce que je déteste être en retard » [P12]. Le sentiment de compétence avec l'aide à la navigation semblait également très dépendant de la perception et de la compréhension des messages. Par exemple, 5 participants se trouvaient « stupides » [P14], « incompétents » {P07], voire « coupables » [P18] lorsqu'ils ne voyaient pas les flèches.

Au-delà des émotions liées à la perception et à l'interprétation des messages de guidage, le dispositif en lui-même était également générateur d'émotions relatives au confort physique et psychologique à porter une telle aide sur soi. Alors que 17 participants ont trouvé le casque confortable physiquement, ils n'ont été que 6 s'agissant des lunettes. Le faible poids, la stabilité et l'absence de douleur physique apparaissaient comme les principaux critères du confort physique avec le casque : « je suis agréablement surpris par le casque. Il ne pèse rien, il n'appuie pas sur les tempes. C'était presque comme si je ne portais rien » [P12]. En revanche, les lunettes étaient plutôt inconfortables : « ce n'était pas stable et ça me blessait le nez. Ce n'était pas des conditions optimales pour marcher » [P18]. Les lunettes ont été également source de douleurs oculaires et de nausées pour 4 participants : « mes yeux étaient fatigués à la fin » [P04].

Concernant le confort psychologique, la discrétion et la familiarité du dispositif auditif ont été hautement valorisés par une grande majorité des participants (15/18) : « la discrétion est totale, les gens ne peuvent pas savoir que je porte une aide » [P08]. Au contraire, les lunettes sont apparues comme très « visibles », à tel point que 3 participants se sentaient ridicules ou évitaient le regard des autres : « j'ai traversé la rue parce que j'ai vu des gens arriver en face de moi. Je voulais éviter le regard, parce que les lunettes n'étaient pas discrètes du tout » [P06]. Le port du casque était, par ailleurs, synonyme de détente pour 11 des participants : « je me sentais libre, parce que j'étais capable de regarder autour de moi » {P02], tandis que le port des lunettes convoquait des imaginaires plus forts, allant du techno-espion : « j'étais amusé par ça, parce que je me sentais comme Mac Gyver ou comme James Bond, c'est wow, c'est de la technologie » [P01], au pervers aux lunettes noires : « je ressemblais à une personne mal intentionnée » [P17].

L'évaluation de l'utilité des deux aides est apparue enfin comme une méta-évaluation de l'expérience globale de navigation : les participants s'estimaient plus enclins à porter un casque à conduction osseuse (10 participants) que des lunettes de réalité augmentée (2 participants) pour naviguer à pied dans une ville inconnue.

5 DISCUSSION

Cette étude permet de mettre en valeur un certain nombre de résultats quant aux performances et à l'expérience de navigation piétonne avec deux dispositifs technologiques bien spécifiques (une paire de lunettes de réalité augmentée et un casque à conduction osseuse), testés parmi un groupe de personnes retraitées. A l'évidence, ces choix technologiques, s'ils avaient pour objectif premier d'exploiter des types d'information de guidage peu mobilisés pour l'heure (flèches incrustées dans le champ de vision et sons spatialisés), ont impacté grandement les performances et l'expérience de navigation globales. Aussi, nous proposons un certain nombre de recommandations de conception, à l'aune des limites techniques observées avec ces deux dispositifs, et en accord avec les 3 niveaux de besoins relatifs aux aides à la navigation piétonne mis en valeur par Fang et al. [16].

Au-delà de l'utilisation de messages de guidage et d'une application pensés pour être adaptés aux personnes âgées sur les plans perceptifs, cognitifs et émotionnels [11], nous mettons en avant l'importance capitale du dispositif portatif utilisé en termes de transformation de l'attention périphérique et confirmons ainsi l'importance de la lisibilité du message [1] (niveau sensitif/physique [16]) pour une expérience de navigation positive. Bien qu'ayant suivi les recommandations de la littérature relatives à l'usage de lunettes de réalité augmentée auprès de personnes déficientes visuelles [77], les limitations techniques et notamment la faiblesse du contraste autorisé par les lunettes actuelles semble un frein à l'utilisation de tels dispositifs portatifs pour des applications demandeuses sur le plan attentionnel auprès de personnes âgées. D'autres dispositifs, tels que les montres connectées, pourraient présenter une alternative intéressante. Les bénéfices de la multi-sensorialité des informations de guidage pourraient également être investigués, et notamment de l'ajout de vibrations d'alerte, dans la mesure où la perception conjointe d'une vibration et d'un son dans le cas du port du casque a pu être une aide pour certains participants afin de percevoir les indications. Même s'il demeure compliqué d'utiliser des dispositifs 100% vibrants pour la navigation en environnement réel [39], l'ajout de vibrations d'alerte pourrait améliorer la perception des messages visuels et auditifs et serait en lien avec les recommandations émises par les participants : « vous devriez ajouter quelque chose qui dise 'hey, ho, regarde !', quelque chose comme un bip, et 2 ou 3 secondes plus tard, il y aurait la flèche » [P12].

La temporalité des messages est également un élément capital dans l'expérience de navigation, en ce qu'elle aide à contextualiser l'information (niveau sécurité/compréhension [16]). Cette temporalité demande une précision relativement élevée du signal GPS, alors que celle-ci demeure faible sur les téléphones grand public, en particulier en environnement urbain dense [40] ; les développements récents devraient toutefois contribuer à améliorer les choses dans les années à venir [37] et bénéficier en particulier aux utilisateurs âgés d'aides à la navigation. Alors qu'un seul participant a utilisé la carte fournie au cours du trajet, une grande majorité de participants était activement impliquée dans la recherche d'itinéraire à l'aide des dispositifs proposés, ceci remettant en cause l'hypothèse de passivité habituellement imputée aux aides à la navigation [26, 72]. Par ailleurs, on observe au cours de cette étude que la résolution de problèmes spatiaux par les participants s'appuie davantage sur la logique propre de l'aide à la navigation que sur les éléments de l'environnement, laissant entendre le recours à d'autres fonctions cognitives que celles mises généralement en œuvre durant la navigation, et qui

sont altérées avec l'âge [66]. Alors que des messages personnalisés pourraient être pertinents afin de faciliter davantage la compréhension des indications [15], la personnalisation des règles de fonctionnement du système de guidage pourrait également être pertinente afin de mieux coller aux attentes et façons de penser des personnes (guidage passage piéton par passage piéton, différenciation entre rond-point et intersection simple etc.). L'ajout d'informations visant la sécurisation des traversées (ex. [2, 70]) pourrait aussi aider à améliorer l'expérience de navigation des personnes âgées en limitant le nombre de traversées hâtives observées au cours de l'étude.

Enfin, alors que des aspects techniques tels que la lisibilité des messages, la temporalité offerte par le système ou la récupération des erreurs jouent un rôle important dans l'expérience de navigation, le confort et l'esthétique du dispositif portatif (niveau de satisfaction mentale [16]) sont également capitaux pour les personnes âgées. Bien que l'emphase soit mise préférentiellement sur les qualités pragmatiques lors de la conception de systèmes à destination des personnes âgées [10], ces dernières étant prétendument moins sensibles aux qualités hédoniques des produits [15, 25], on observe que des imaginaires et des émotions fortes sont associées aux lunettes et au casque. La discrétion de l'objet et le regard des autres, en particulier, occupent une place importante dans l'expérience vécue. C'est pourquoi nous recommandons d'apporter un soin particulier aux choix des couleurs et des formes des aides à la navigation, afin de faciliter leur dissimulation, comme recommandé par certains participants : « si je pouvais, je choisirais une couleur qui irait avec mes cheveux » [P07].

Même si le temps d'acceptation des technologies est réputé pour être plus long chez les personnes âgées [50, 76], la majorité des participants envisage utiliser l'aide à la navigation auditive par casque à conduction osseuse dans un avenir proche, mettant ainsi en valeur des potentiels bénéfices de ces aides pour cette population.

6 CONCLUSION

Nous avons présenté les résultats d'une étude utilisateur s'appuyant sur une technique d'entretien spécifique afin de questionner l'expérience de navigation de piétons âgés avec 2 dispositifs portatifs (lunettes de réalité augmentée et casque à conduction osseuse). Au-delà de la conception des messages de guidage et de l'application smartphone, l'analyse des verbatims a mis en avant 3 phénomènes principaux qui orientent l'expérience de navigation. Nous montrons ainsi l'importance du dispositif en termes de lisibilité de l'information et son impact sur la transformation de l'attention périphérique ; nous montrons aussi l'importance de la temporalité des messages sur la contextualisation des indications ; nous montrons enfin le rôle de la discrétion et des dimensions esthétiques du dispositif sur l'émergence de sentiments positifs. De prochaines études s'intéresseront à l'utilisation de montres intelligentes afin de développer ces résultats, notamment pour des questions de visibilité des indications.

REFERENCES

[1] Katrin Arning, Martina Zielfe, Ming Li, et Leif Kobbelt. 2012. Insights into user experiences and acceptance of mobile indoor navigation devices. In *Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM '12)*. https://doi.org/10.1145/2406367.2406417

[2] BBDO Bangkok. 2016. *Safe&Sound Music Player*. (2016). https://vimeo.com/180156291.

[3] Ethan M. Berke, Laura M. Gottlieb, Anne Vernez Moudon, et Eric B. Larson. 2007. Protective association between neighborhood walkability and depression in older men. *Journal of the American Geriatrics Society* 55, 4 (2007), 526–533. http://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2007.01108.x

[4] NYC Media Lab Research Brief. 2014. *Exploring How Mobile Technologies Impact Pedestrian Safety*. (2014). Consulté le 8 avril 2018 depuis http://challenges.s3.amazonaws.com/connected-intersections/MobileTechnologies_PedestrianSafety.pdf

[5] Ted Byrt. 1996. How Good Is That Agreement? *Epidemiology* 7, 5 (1996), 561.

[6] Béatrice Cahour, Claudine Nguyen, et Créno Lisa. 2013. Methodology for Studying the User Experience with New Mobility Systems: The Cases of Electric Cars and Dynamic Car-pooling Use. In *Proceedings of the Second International Conference on Smart Systems, Devices and Technologies*.

[7] Béatrice Cahour, Pascal Salembier, et Moustapha Zuoinar. 2016. Analysing lived experience of activity. *Le Travail Humain* 79, 3 (2016), 259–284. DOI: http://dx.doi.org/10.3917/th.793.0259

[8] Luca Chittaro et Stefano Burigat. 2005. Augmenting audio messages with visual directions in mobile guides: an evaluation of three approaches. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices & Services*. 107–114. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/1085777.1085795

[9] European Commission. 2017. *Walking and Cycling as Transport Modes.* (2017). Consulté le 8 avril 2018 depuis https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/pedestrians/pedestrians_and_cyclists_unprotected_road_users/walking_and_cycling_as_transport_modes_en

[10] Marielle Creusen. 2010. The importance of product aspects in choice: the influence of demographic characteristics. *Journal of Consumer Marketing* 27, 1 (2010), 26–34. Http://dx.doi.org/10.1108/07363761011012921

[11] Tom Djajadiningrat, Stephan Wensveen, Joep Frens, et Kees Overbeeke. 2004. Tangible products: redressing the balance between appearance and action. *Personal and Ubiquitous Computing* 8, 5 (2004), 294–309. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s00779-004-0293-8

[12] George Dunbar, Carol Holland, et Elizabeth Maylor. 2004. Older Pedestrians: A Critical Review of the Literature. *Road Safety Research Report No. 37*. University of Warwick, UK.

[13] David Elliott, David Whitaker, et David MacVeigh. 1990. Neural contribution to spatiotemporal contrast sensitivity decline in healthy ageing eyes. *Vision research* 30, 4 (1990), 541–547. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0042-6989(90)90066-T

[14] Richard Etter et Marcus Specht. 2005. Melodious walkabout: Implicit navigation with contextualized personal audio contents. *Adjunct Proceedings of the Third Conference on Pervasive Computing (2005)*, 43–49. DOI: http://dx.doi.org/10.1.1.130.8157

[15] Mohamed Faisal, Mohamad Yusof, Nurhanani Romli, et Mohamed Faiz. 2014. Design for Elderly Friendly: Mobile Phone Application and Design that Suitable for Elderly. *International Journal of Computer Applications* 95 (2014), 28–31. DOI: http://dx.doi.org/10.5120/16576-6261

[16] Zhixiang Fang, Qingquan Li, et Shih-Lung Shaw. 2015. What about people in pedestrian navigation? *Geo-spatial Information Science* 18, 4 (2015), 135–150. DOI: 10.1080/10095020.2015.1126071

[17] Miranda Farage, Kenneth Miller, Funmi Ajayi, et Deborah Hutchins. 2012. Design principles to accommodate older people. *Global journal of health science* 4, 2 (2012). DOI: http://dx.doi.org/10.5539/gjhs.v4n2p2

[18] Jennifer Fereday et Eimear Muir-Cochrane. 2006. Demonstrating Rigor Using Thematic Analysis: A Hybrid Approach of Inductive and Deductive Coding and Theme Development. *International Journal of Qualitative Methods* 5, 1 (2006). DOI: 10.1177/160940690600500107

[19] Arthur D. Fisk, Wendy A. Rogers, Neil Charness, Sara J. Czaja, et Joseph Sharit. 2009. *Designing for Older Adults: Principles and Creative Human Factors Approches*. CRC Press.

[20] Joy Goodman, Stephen Brewster, et Phil Gray. 2005. How can we best use landmarks to support older people in navigation? *Behaviour & Information Technology* 24, 1 (2005), 3–20. http://dx.doi.org/10.1080/01449290512331319021

[21] Mark Hassenzahl. 2003. The thing and I: understanding the relationship between user and product. In *Funology: from usability to enjoyment*, M

Blythe, C. Overbeeke, A.F. Monk and PC Wright (Eds.), 31-42. Dordrecht: Kluwer.

[22] Denise Head et Marlisa Isom. 2010. Age effects on wayfinding and route learning skills. *Behavioural Brain Research* 209, 1 (2010), 49–58. http://doi.org/10.1016/j.bbr.2010.01.012

[23] Simon Holland, David Morse, et Henrik Gedenryd. 2002. AudioGPS: Spatial audio navigation with a minimal attention interface. *Personal and Ubiquitous Computing* 6, 4 (2002), 253–259. http://doi.org/10.1007/s007790200025

[24] Andreas Holzinger, Gig Searle, Thomas Kleinberger, Ahmed Seffah, et Homa Javahery. 2008. Investigating Usability Metrics for the Design and Development of Applications for the Elderly. In *Proceedings of the 11th* international Conference on Computers for Handicapped Persons (ICCHP'08). 98–105. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-70540-6_13

[25] Ming-Huei Hsieh, Shan-Ling Pan, et Rudy Setiono. 2004. Product-,corporate- and country-image dimensions and purchase behavior: a multicountry analysis. *Journal of the Academy of Marketing Science* 32, 3 (2004), 251–270. DOI: http://dx.doi.org/10.1177/0092070304264262

[26] Toru Ishikawa et Kazunori Takahashi. 2014. Relationships between Methods for Presenting Information on Navigation Tools and Users' Wayfinding Behavior. *Cartographic Perspectives* 75 (2014). DOI: http://dx.doi.org/10.14714/cp75.82

[27] Matt Jones, Steve Jones, Gareth Bradley, Nigel Warren, David Bainbridge, et Geoff Holmes. 2008. ONTRACK: Dynamically adapting music playback to support navigation. *Personal and Ubiquitous Computing* 12 (2008), 513–525. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s00779-007-0155-2

[28] SeungJun Kim et Anind Dey. 2009. Simulated augmented reality windshield display as a cognitive mapping aid for elder driver navigation. In *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'09)*. http://doi.org/10.1145/1518701.1518724

[29] Sunyoung Kim, Krzysztof Gajos, Michael Muller, et Barbara Grosz. 2016. Acceptance of Mobile Technology by Older Adults: A Preliminary Study. In *Proceedings of the 18th international conference on Human Computer* Interaction with mobile devices and services (Mobile HCI'16). DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2935334.2935380

[30] Giuliana Klencken, Olivier Després, et André Dufour. 2012. What do we know about aging and spatial cognition? Reviews and perspectives. *Ageing Research Reviews* 11 (2012), 123–135. http://doi.org/10.1016/j.arr.2011.10.001

[31] Christian Kray, Volker Coors, Christian Elting, et Katri Laakso. 2005. Presenting Route Instructions on Mobile Devices: From Textual Directions to 3D Visualization. *Exploring Geovisualization 7* (2005), 529–550. http://doi.org/10.1016/B978-008044531-1/50445-0

[32] Chaiwoo Lee et Joseph Coughlin. 2014. PERSPECTIVE: Older Adults' Adoption of Technology: An Integrated Approach to Identifying Determinants and Barriers. *Journal of Product Innovation Management* 32 (2014). DOI: http://dx.doi.org/10.1111/jpim.12176

[33] Ann Light. 2006. Adding method to meaning: A technique for exploring peoples' experience with technology. Behaviour and Information Technology 25 (2006), 175–187. http://dx.doi.org/10.1080/01449290500331172

[34] Mats Liljedahl, Stefan Lindberg, Katarina Delsing, Mikko Polojarvi, Timo Saloranta, et Ismo Alakarppa. 2012. Testing Two Tools for Multimodal Navigation. *Advances in Human–Computer Interaction* (2012), 1–10. http://doi.org/10.1155/2012/251384

[35] Ségolene Lithfous, André Dufour, et Olivier Després. 2013. Spatial navigation in normal aging and the prodromal stage of Alzheimer's disease: insights from imaging and behavioral studies. *Ageing Research Reviews* 12, 1 (2013), 201–213. http://doi.org/10.1016/j.arr.2012.04.007

[36] Sascha Mahlke et Gitte Lindgaard. 2007. Emotional Experiences and Quality Perceptions of Interactive Products. In J. Jacko (Ed.) *Human-Computer Interaction, Part I*, HCII 2007, LNCS 4550. Berlin: Springer.

[37] Juliette Marais, Sebastien Ambellouis, Cyril Meurie, et Yassine Ruichek. 2015. Image processing for a more accurate GNSS-based positioning in urban environment. In *Proceedings of 22nd ITS World Congress*. DOI: http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10493.97760

[38] David McGookin, Stephen Brewster, et Pablo Priego. 2009. Audio bubbles: Employing non–speech audio to support tourist wayfinding. In *Proceedings of HAID 2009*. 41–50. http://doi.org/10.1007/978-3-642-04076--4_5

[39] Anita Meier, Denys Matthies, Bodo Urban, et Reto Wettach. 2015. Exploring vibrotactile feedback on the body and foot for the purpose of pedestrian navigation. In *Proceedings of the 2nd international Workshop on Sensor-based Activity Recognition and Interaction*. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2790044.2790051

[40] Marko Modsching, Ronny Kramer, et Klaus ten Hagen. 2006. Field Trial on GPS Accuracy in a medium size city: The influence of built-up. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and* Communication.

[41] Daniel Montello et Martin Raubal. 2013. Functions and applications of spatial cognition. In Waller, D., et Nadel, L. (eds.) *Handbook of Spatial Cognition. Washington*, DC: American Psychological Association, pp. 249–264.

[42] Angélique Montuwy, Béatrice Cahour, et Aurélie Dommes. 2017a. Questioning User Experience: A Comparison Between Visual, Auditory and Haptic Guidance Messages Among Older Pedestrians. In *Proceedings of the 12th Biannual Conference of the Italian SIGCHI Chapter (CHITALY'17)*. https://doi.org/10.1145/3125571.3125572

[43] Angélique Montuwy, Béatrice Cahour, et Aurélie Dommes. 2017b. Visual, Auditory And Haptic Navigation Feedbacks Among Older Pedestrians. In *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (Mobile HCI'17)*. https://doi.org/10.1145/3098279.3122126

[44] Angélique Montuwy, Béatrice Cahour, et Aurélie Dommes. 2018. Older Pedestrians Navigating With AR Glasses and Bone Conduction Headset. In *Proceedings of the 2018 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'18)*. https://doi.org/10.1145/3170427.3188503

[45] Alessandro Mulloni, Hartmut Seichter, et Dieter Schmalstieg. 2011. User experiences with augmented reality aided navigation on phones. *Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (2011), 229–230. http://doi.org/10.1109/ISMAR.2011.6092390

[46] Annie Ng et Allan Chan. 2012. Finger Response Times to Visual, Auditory and Tactile Modality Stimuli. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, IMECS 2012, Hong Kong.

[47] Marianna Obrist, Rob Comber, Sriram Subramanian, Betina Piqueras-Fiszman, Carlos Velasco, et Charles Spence. 2014. Temporal, Affective, and Embodied Characteristics of Taste Experiences: A Framework for Design. In *Proceedings of the 2014 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'14)*. 2853–2862. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2556288.2557007

[48] Marianna Obrist, Sue Ann Seah, et Sriram Subramanian. 2013. Talking about tactile experience. In *Proceedings of the 2013 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'13)*. 1659–1668. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2470654.2466220

[49] OCDE. 2015. *Ageing in Cities*. (2015). Consulté le 29 avril 2018 depuis http://dx.doi.org/10.1787/9789264231160-en

[50] Katerine Olson, Marita OBrien, Wendy Rogers, et Neil Charness. 2011. Diffusion of technology: frequency of use for younger and older adults. *Ageing Int* 36 (2011), 123–145. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s12126-010-9077-9

[51] OMS. 2015. *World report on aging and health*. (2015). Consulté le 29 avril 2018 depuis http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/186463/1/9789240694811\eng.pdf

[52] Antti Oulasvirta, Sakari Tamminen, Virpi Roto et Jaana Kuorelahti. 2005. Interaction in 4-Second Bursts: The Fragmented Nature of Attentional Resources in Mobile HCI. In *Proceedings of the 1st Conference on Human Factors in Computing Systems CHI 2005*, Portland, USA.

[53] Stephen Palmer et Karen Schloss. 2010. An ecological valence theory of human color preference. *PNAS* 107, 19 (2010), 8877–8882. DOI: http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0906172107

[54] Denise C. Park. 2000. *Cognitive aging: A primer*. Philadelphia: Psychology, Chapter Basic mechanisms accounting for age-related decline in cognitive functions.

[55] Kathleen Pichora-Fuller, Bruce Schneider, Nancy Benson, Stanley Hamstra, et Edward Storzer. 2006. Effect of age on detection of gaps in speech and nonspeech markers varying in duration and spectral symmetry. *Journal of Acoustical Society of America* 119 (2006), 1143–1155. http://dx.doi.org/10.1121/1.2149837

[56] Martin Pielot et Susanne Boll. 2010. Tactile Wayfinder: Comparison of tactile waypoint navigation with commercial pedestrian navigation systems. *Lecture Notes in Computer Science, Article 6030 LNCS* (2010), 76–93 pages. http://doi.org/10.1007/978--3--642--12654--3_5

[57] Inmaculada Plaza, Lourdes Martin, Sergio Martin, et Carlos Medrano. 2011. Mobile applications in an aging society: Status and trends. *Journal of Systems and Software 84,* 11 (2011), 1977–1988. http://doi.org/10.1016/j.jss.2011.05.035

[58] Ioannis Politis, Stephen Brewster, et Frank Pollick. 2015. To Beep or Not to Beep? Comparing Abstract versus Language-Based Multimodal Driver Displays. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (2015), 3971–3980. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702167

[59] Kirsten Rassmus-Grohn et Charlotte Magnusson. 2014. Finding the way home: supporting wayfinding for older users with memory problems. *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer* (2014), 247–255. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2639189.2639233

[60] Karl Rehrl, Elisabeth Hausler, Sven Leitinger, et Daniel Bell. 2014. Pedestrian navigation with augmented reality, voice and digital map: final results from an in situ field study assessing performance and user experience. *Journal of Location Based Services* 8, 2 (2014), 75–96. http://doi.org/10.1080/17489725.2014.946975

[61] David A. Ross et Bruce B. Blasch. 2000. Wearable interfaces for orientation and wayfinding. In *Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies*. 193–200. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/354324.354380

[62] Sonja Rumelin, Enrico Rukzio, et Robert Hardy. 2011. NaviRadar: A Novel Tactile Information Display for Pedestrian Navigation. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. 293–302. http://doi.org/10.1145/2047196.2047234

[63] Timothy A. Salthouse. 1996. General and specific speed mediation of adult age differences in memory. *The Journal of Gerontology* 51 (1996), 30–42. DOI: http://dx.doi.org/10.1093/geronb/51B.1.P30

[64] Marie Sjolinder, Kristina Hook, Lars-Goran Nilsson, et Gerd Andersson. 2005. Age differences and the acquisition of spatial knowledge in a three-dimensional environment: Evaluating the use of an overview map as a navigation aid. *International Journal of Human Computer Studies* 63, 6 (2005), 537–564. http://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2005.04.024

[65] Steven Strachan, Parisa Eslambolchiar, Roderick Murray-Smith, Stephen Hugues, et Sile OModhrain. 2005. GpsTunes: Controlling Navigation Via Audio Feedback. In *Proceedings of 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices & Services*. 275–278. http://doi.org/10.1145/1085777.1085831

[66] Mathieu Taillade, Bernard NKaoua, Prashan Arvind Pala, et Helene Sauzéon. 2014. Spatial cognition and aging: new insights provided by virtual reality-based studies. *Revue de Neuropsychologie* 6 (2014), 36–47. http://doi.org/10.1684/nrp.2014.0292

[67] Pierre Vermersch. 1994. *L'entretien d'explicitation*. ESF.

[68] Bruce Walker et Jeff Lindsay. 2003. Effect of Beacon Sounds on Navigation Performance in a Virtual Reality Environment. In *Proceedings of the 2003 International Conference on Auditory Display*. Boston, MA, USA. https://doi.org/10.1518/001872006777724507

[69] Benjamin Walther-Franks et Rainer Malaka. 2008. Evaluation of an Augmented Photograph-Based Pedestrian Navigation System. In *Proceedings of the 9th international symposium on Smart Graphics (SG'08)*. 94–105. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-85412-8_9

[70] Tianyu Wang, Giuseppe Cardone, Antonio Corradi, Lorenzo Torresani, et Andrew T. Campbell. 2012. WalkSafe: a pedestrian safety app for mobile phone users who walk and talk while crossing roads. *HotMobile'12*. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2162081.2162089

[71] Helle Wijk, S. Berg, Lars Sivik, et Bertil Steen. 1999. Color discrimination, color naming and color preferences in 80-year olds. *Aging* (Milan, Italy) 11 (1999), 176–85.

[72] Katharine S. Willis, Christoph Holscher, Gregor Wilbertz, et Chao Li. 2009. A comparison of spatial knowledge acquisition with maps and mobile maps. *Computers, Environment and Urban Systems* 33, 2 (2009), 100–110. http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2009.01.004

[73] Jeff Wilson, Bruce Walker, Jeffrey Lindsay, Craig Cambias, et Frank Dellaert. 2007. SWAN: System for wearable audio navigation. *Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers* (2007), 91–98. http://doi.org/10.1109/ISWC.2007.4373786

[74] WIRED. 2004. *High-Tech Hearing Bypasses Ears*. (2004). https://www.wired.com/2004/09/high-tech-hearing-bypasses-ears/?currentPage=alll.

[75] Jason Wither, Carmen Au, Ray Rischpater, et Radek Grzeszczuk. 2013. Moving beyond the map. In Proceedings of the 15th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and *Services (MobileHCI'13)*. Article 203. http://doi.org/10.1145/2493190.2493235

[76] Ya-Huei Wu, Souad Damnée, Helene Kerhervé, Caitlin Ware, et Anne-Sophie Rigaud. 2015. Bridging the digital divide in older adults: a study from an initiative to inform older adults about new technologies. *Clinical interventions in Aging* 10 (2015), 193–201. DOI: http://dx.doi.org/10.2147/CIA.S72399

[77] Yuhang Zhao, Michelle Hu, Shafeka Hashash, et Shiri Azenkot. 2017. Understanding Low Vision People's Visual Perception on Commercial Augmented Reality Glasses. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'17)*. 4170–4181. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/3025453.3025949