Techniques d'interactions sur dispositifs mobiles pour l'aide à l'orientation chez les non-voyants

Julie Ducasse, Marc J.-M. Macé, Bernard Oriola, Christophe Jouffrais

▶ **To cite this version:**

Julie Ducasse, Marc J.-M. Macé, Bernard Oriola, Christophe Jouffrais. Techniques d'interactions sur dispositifs mobiles pour l'aide à l'orientation chez les non-voyants. HANDICAP 2014, Jun 2014, Paris, France. pp. 1-6. hal-01137237

HAL Id: hal-01137237
https://hal.science/hal-01137237

Submitted on 30 Mar 2015

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.

Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)
OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : http://oatao.univ-toulouse.fr/
Eprints ID : 13220

To cite this version : Ducasse, Julie and Macé, Marc and Oriola, Bernard and Jouffrais, Christophe *Techniques d'interactions sur dispositifs mobiles pour l'aide à l'orientation chez les non-voyants*. (2014) In: HANDICAP 2014, 11 June 2014 - 13 June 2014 (Paris, France).

Any correspondance concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Techniques d'interactions sur dispositifs mobiles pour l'aide à l'orientation chez les non-voyants

Julie Ducasse, Marc J-M Macé, Bernard Oriola et Christophe Jouffrais
CNRS & Université de Toulouse
IRIT - UPS, 118, route de Narbonne
31062 Toulouse cedex 9, France
{lastname}@irit.fr

***Résumé* — Les aides électroniques à la navigation commencent à se diffuser auprès des personnes déficientes visuelles. Elles ont cependant l'inconvénient de ne fournir que des informations sur la destination à atteindre et sur l'itinéraire à suivre, et non sur les éléments présents autour de l'utilisateur tout au long du parcours. Ces dispositifs ne permettent pas aux non-voyants de construire une carte mentale de leur environnement, ce qui est pourtant très utile pour mieux comprendre un déplacement et l'environnement dans lequel il s'est déroulé. Les techniques non-visuelles d'assistance à l'orientation développées sur téléphone mobile dans le cadre de cette étude visent à fournir ces indications manquantes. Elles ont pour objectif de permettre à un utilisateur de déterminer sa position en lui indiquant la position de trois points de repère prédéfinis, situés dans l'environnement proche (quelques dizaines à centaines de mètres). Trois techniques de présentation de points de repère ont été conçues et développées. Des évaluations préliminaires ont permis de montrer que la connaissance des distances et directions de ces trois points permet à un utilisateur non-voyant, ayant au préalable appris une carte de l'environnement correspondant, de se situer, de s'orienter et d'atteindre une destination dans un environnement ouvert.**

Mots-clés — déficience visuelle ; mobilité ; cognition spatiale ; technologies d'assistance ; navigation ; conception participative

I. INTRODUCTION

La navigation, en particulier dans un environnement inconnu, représente un défi important pour les déficients visuels. On distingue différentes aides électroniques au déplacement, selon qu'elles concernent la micro-navigation ou la macro-navigation. Les aides à la micro-navigation désignent tout ce qui relève de la mobilité, comme les canes électroniques et les détecteurs d'obstacles, alors que les aides à la macro-navigation regroupent les aides à l'orientation [1] qui permettent d'atteindre une destination, comme les GPS adaptés aux non-voyants [2].

Parmi ces GPS adaptés, nous pouvons citer à titre d'exemple le Personal Guidance System, projet de recherche développé par Loomis & Golledge [3]. Le PGS est un dispositif d'assistance qui guide l'utilisateur le long d'un itinéraire et lui indique les noms des points d'intérêt présents sur son itinéraire. Le Trekker et le Kapten Mobility sont des dispositifs commerciaux qui suivent le même principe : l'utilisateur entre l'adresse à laquelle il souhaite se rendre et peut alors suivre les indications données vocalement par le dispositif. Ces GPS adaptés souffrent cependant de plusieurs limitations : ils nécessitent un matériel particulier, ne possèdent pas de cartes adaptées au déplacement des piétons (incluant les trottoirs, les voies pour piétons, les traversées de rues, …) et ne permettent pas un positionnement assez précis, en particulier dans les environnements urbains où les immeubles gênent la réception des signaux satellites. Lorsque l'on observe des utilisateurs avec ces dispositifs, on s'aperçoit que les problèmes de positionnement et de cartographie conduisent à une défaillance du guidage. Il apparaît notamment que l'utilisateur ne sait plus quelle décision prendre en réaction à une consigne de guidage.

La navigation maritime montre qu'il suffit de trois amers pour permettre à un bateau de se localiser et de s'orienter vers une destination. Bien que la navigation terrestre diffère de la navigation maritime (en raison, par exemple, de la présence d'immeubles qui empêchent d'aller en ligne droite), nous pouvons faire l'hypothèse qu'en s'appuyant sur trois amers connus, un piéton peut lui aussi se localiser et s'orienter vers une destination voulue, dans un environnement ouvert comme dans un environnement urbain. Dans ce dernier cas, l'utilisateur devra réajuster son itinéraire en fonction des obstacles rencontrés (contournement d'un bloc d'immeuble, traversée d'une route), mais il pourra toujours savoir dans quelle direction se trouve la destination à atteindre.

Dans le cas spécifique de l'assistance à la navigation pour un déficient visuel, notre hypothèse de travail repose sur deux constats réalisés auprès des déficients visuels et des formateurs spécialisés. Le premier constat montre qu'en général les déficients visuels ont suivi une formation en orientation et mobilité. La plupart d'entre eux ont donc appris à maîtriser les bases du déplacement dans des contextes urbains 'classiques' et sont capables d'affronter un ensemble de points difficiles avec une canne longue ou un chien-guide. Le second constat montre que les déficients visuels partent toujours avec une connaissance a priori de l'itinéraire qu'ils vont suivre (obtenue sur la base d'une carte en relief par exemple). Un des problèmes majeurs lors de l'exécution d'un trajet consiste donc à vérifier sa position et son orientation par rapport à la destination, ainsi que le bon déroulement du trajet par la détection de repères mémorisés.

II. ETAT DE L'ART

Récemment ont été proposés deux systèmes de guidage basés sur le GPS qui ne reposent pas sur un suivi d'itinéraire classique et des instructions de guidage verbales. Ces deux systèmes ne nécessitent ni un positionnement absolu au mètre près, ni une cartographie adaptée aux piétons. Le premier est une application Android appelée PocketNavigator [4] dont le principe consiste à faire vibrer le téléphone pour fournir des indications concernant le prochain point d'itinéraire à atteindre. Un code basé sur le rythme et la durée des vibrations permet d'indiquer la direction et la distance de celui-ci. Le second est un GPS audio proposé par Sanchez et al. [5]. Il fournit de manière auditive des informations sur la direction et la distance de la destination à atteindre en utilisant la métaphore de l'horloge (12 heures si le point est en face de l'utilisateur, 3 heures s'il est à droite, etc.). Ces deux systèmes ne reposent pas sur le guidage précis le long d'un itinéraire mais uniquement sur l'indication d'un point à atteindre. Du point de vue de l'interaction, ils prouvent que les modalités auditives ou tactiles sont suffisantes pour donner des informations de distance et de direction sur un point d'intérêt et permettre à l'utilisateur d'atteindre ce dernier.

Dans cette étude, nous séparons l'apprentissage de la carte de l'expérience de navigation proprement dite. La configuration de l'environnement peut être apprise grâce à une description verbale, à une expérience préalable, ou à l'utilisation de cartes tactiles en papier et/ou numériques. Les cartes tactiles peuvent être des cartes imprimées par thermoformage, des cartes en reliefs sur papier embossé ou encore des maquettes réalisées à partir de divers matériaux (aimants, objets en bois, tissus, etc.). Les cartes interactives proposées sont des cartes en relief posées sur une surface tactile qui permettent à une personne non-voyante d'obtenir des informations supplémentaires en interagissant avec la surface tactile à travers la carte en relief (voir par exemple [6]).

Il a été montré qu'une personne non-voyante peut extraire les éléments saillants d'une carte pour comprendre comment l'environnement est organisé [7]. Elle peut ainsi planifier son itinéraire en repérant la position du point d'arrivée par rapport aux points de repères [8]. Dans ce cas, elle est à la fois autonome (elle ne dépend pas d'un itinéraire calculé par un dispositif de guidage) et encouragée à avoir une représentation mentale allocentrée de l'espace, renforcée par la mémorisation de quelques points de repères importants.

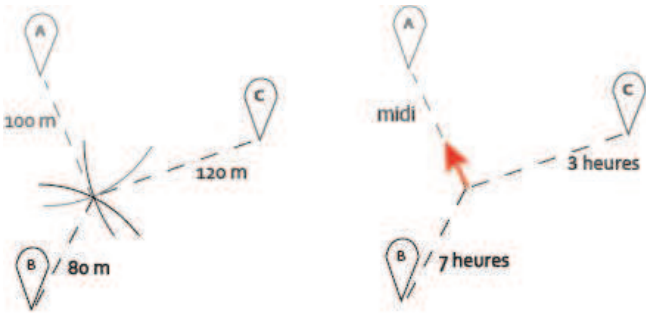

Figure 1 : Principe de la triangulation. À gauche, détermination de la position à partir des distances connues de trois points de repères ; à droite, détermination de l'orientation à partir des directions connues.

Notre objectif est de fournir, une fois sur le terrain, des informations lui permettant de situer, à tout moment, sa position et son orientation actuelles par rapport aux points de repères mémorisés avant le départ (figure 1). Le processus mis en œuvre est un processus de triangulation à partir des distances et/ou des directions de ces trois points. Grâce à ces informations, l'utilisateur peut se positionner sur la carte mentale qu'il a de l'environnement et ainsi ajuster son itinéraire afin d'atteindre la destination voulue. Afin d'y parvenir, nous avons développé plusieurs applications pour smartphone permettant à un déficient visuel d'obtenir ces informations (distance et direction) via les modalités auditive ou tactile. Couplée à la connaissance préalable d'une carte, l'utilisation de cette application doit permettre à une personne déficience visuelle de se localiser et de s'orienter dans un environnement donné, et donc d'atteindre une destination. Trois applications ont été développées : leur fonctionnement est décrit dans la partie suivante.

III. TECHNIQUES DE PRESENTATION DES POINTS DE REPERE

De nombreux brainstorming avec des concepteurs et des utilisateurs déficients visuels ont permis d'identifier plusieurs solutions, inspirées par Panëels et al. [9]. Les solutions sélectionnées ont été développées de manière itérative selon les principes d'une conception centrée-utilisateur, chaque itération aboutissant à un test réalisé auprès d'un utilisateur déficient visuel. Ces tests ont notamment permis d'améliorer les techniques d'interaction utilisées en entrée du système ainsi que la qualité des sorties vibratoires et auditives.

Trois stratégies ont finalement été retenues pour être comparées dans des tests utilisateurs. Ces stratégies ont été nommées de la façon suivante : « Boutons », « Radar » et « Carte ». Chacune correspond à une application dédiée au cours de l'expérience. Toutes les applications permettent à un utilisateur déficient visuel de percevoir la position relative de trois points situés autour de lui, en indiquant pour chaque point sa distance et sa direction. L'utilisateur possède ainsi des informations de direction et de distance pour trois points de repère grâce auxquelles il peut trianguler ses propres position et orientation. A tout moment, l'utilisateur peut aussi aligner son téléphone avec le nord pour faire correspondre la représentation mentale de l'environnement résultant de l'apprentissage préalable avec sa représentation actuelle (dépendant de son orientation).

Les coordonnées géographiques des trois points de repère sont enregistrées dans l'application. Les distances et directions données à l'utilisateur sont calculées à partir de ces coordonnées géographiques et des valeurs données par la boussole et le GPS du téléphone.

Les utilisateurs déficients visuels en mobilité refusent une surcharge d'informations auditives afin de percevoir les sons environnants. Dans le but de restreindre au minimum le nombre d'informations auditives, l'identifiant du point est donné via les vibrations du téléphone alors que la distance est donnée via la modalité auditive (utilisation d'un moteur de synthèse vocale). Plusieurs trains de vibration ont été testés : la figure 2 décrit les motifs vibratoires finalement retenus. Les applications diffèrent principalement par la manière dont la

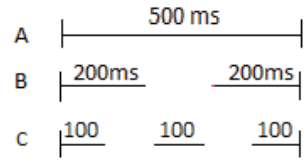

Figure 2 : Motifs de vibration utilisés pour identifier les points de repère. A, B et C sont trois points de repères. Chaque trait représente une vibration

direction des points de repère est indiquée (métaphore de l'horloge pour l'application Boutons, pointage pour l'application Radar et représentation classique pour l'application Carte). Les applications sont illustrées dans la figure 3.

L'application «Carte» représente une carte de l'environnement sur laquelle figurent les trois points de repères ainsi que la position de l'utilisateur. Afin que les points de repère puissent être facilement trouvés par l'utilisateur, ils sont représentés sur les bords de l'écran [10], en déformant légèrement au besoin la représentation de la carte. Dès que le doigt de l'utilisateur passe sur un des points, le téléphone émet une courte vibration. Si l'utilisateur maintient l'appui, le téléphone vibre selon le motif vibratoire correspondant au point et un message vocal indique la distance. Lorsque l'utilisateur passe avec son doigt sur le cercle représentant sa position, il entend le message vocal «ma position». Lorsque l'orientation de la carte ne correspond plus à celle de l'environnement, des messages audio permettent à l'utilisateur de réorienter correctement son téléphone.

L'application «Boutons» se compose de boutons remplissant chacun une large portion de l'écran. Lorsque l'utilisateur clique sur un bouton, l'identifiant du point de référence est donné par le motif vibratoire associé à ce point. Sa distance et sa direction (sous forme horaire) sont indiquées grâce à un message vocal (par exemple, « 50 mètres, midi »). Un dernier bouton donne des indications vocales à l'utilisateur (« gauche », « droite ») afin qu'il puisse aligner son téléphone avec le nord.

L'application «Radar» indique la position des points de repère en vibrant quand le doigt de l'utilisateur qui parcourt le pourtour de l'écran se trouve dans la direction effective de ce point. Le téléphone vibre selon le motif vibratoire associé au point de repère désigné par l'utilisateur. Un message vocal indique la distance du point de repère. Lorsque l'utilisateur clique au centre de l'écran, il lui est possible d'orienter son téléphone vers le nord en suivant les indications données.

IV. EVALUATIONS

A. *Sujets :*

6 sujets (6 hommes), âgés de 22 ans en moyenne, ont participé à l'expérience. Les sujets étaient des étudiants de l'université qui n'avaient jamais utilisé les applications auparavant. Les sujets étaient voyants et portaient un bandeau sur les yeux pendant la durée de l'expérience. Ils ont tous donné leur consentement écrit pour participer à l'expérience et le protocole expérimental a été validé par un comité local d'éthique (CLERIT).

B. *Tâches :*

L'expérience durait environ 1h15. Chaque sujet remplissait au préalable un formulaire de consentement. Le téléphone utilisé pour les expériences était un Samsung Galaxy S3 sous Android 3.

Les applications ont été évaluées dans trois tâches successives : les deux premières se déroulaient dans les locaux de l'IRIT, et avaient pour but de déterminer s'il est possible de connaître son orientation et sa position grâce à ces applications. La troisième tâche se déroulait en extérieur et avait pour but de vérifier que les applications permettent bien d'atteindre une destination dans un environnement ouvert. Pour les deux premières tâches, afin d'éviter des problèmes de localisation liés à l'utilisation du GPS en intérieur, les coordonnées géographiques du téléphone étaient enregistrées dans l'application (le but de l'expérience n'était pas de faire de la localisation en intérieur : ces deux premières tâches auraient tout aussi bien pu être effectuées à l'extérieur).

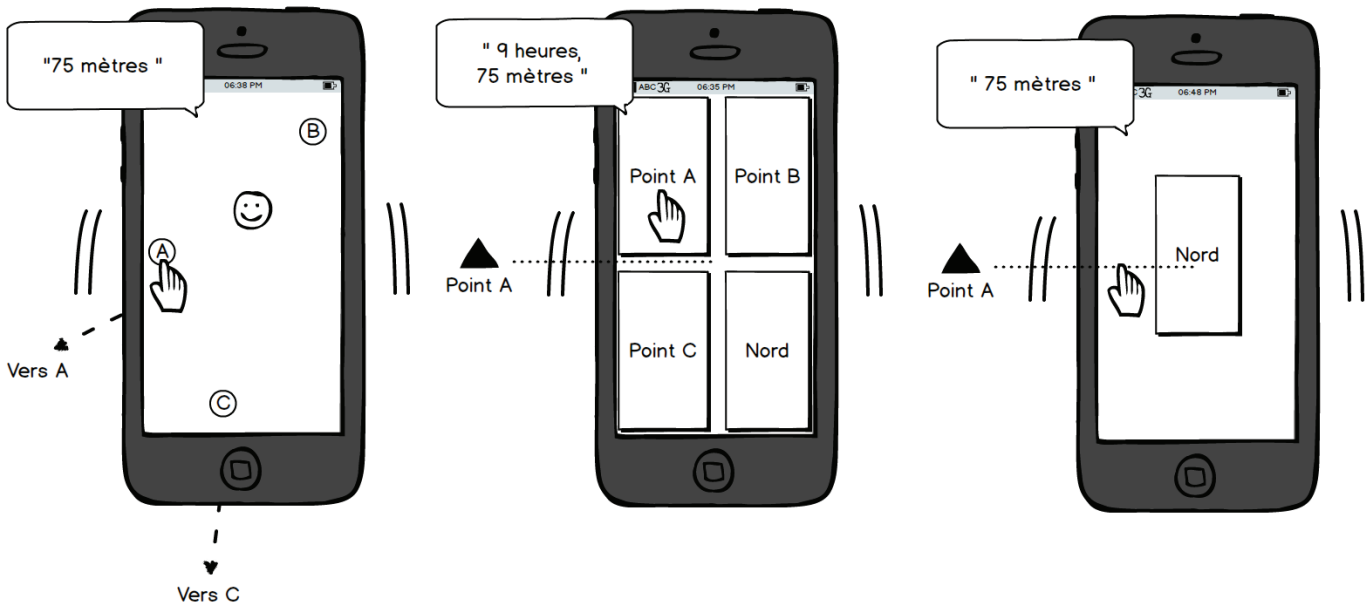

Figure 3 : Illustrations des trois applications. De gauche à droite, les applications Carte, Boutons et Radar. Les flèches en pointillé indiquent les directions réelles des points de repères par rapport au centre du téléphone.

Un apprentissage était réalisé au début de l'expérience afin que les sujets sachent identifier un point de repère à partir de son motif vibratoire.

- Tâche 1 : Connaître son orientation
  Le sujet devait déterminer dans quelle direction les points de référence se trouvaient par rapport à lui en s'appuyant sur les informations fournies par l'application. Une fois les informations mémorisées, le sujet faisait tourner un disque de papier dont le centre représentait sa position, afin que les points représentés sur ce disque soient alignés avec les points de repère réels.
- Tâche 2 : Connaître sa position
  Le sujet devait déterminer sa position par rapport à trois points de repère, en s'appuyant sur les informations données par l'application. Une fois les informations mémorisées, le sujet recevait une carte sur laquelle les trois points étaient représentés en relief : le sujet devait y poser un repère pour indiquer sa position estimée.
- Tâche 3 : Atteindre une destination
  Une carte en relief sur laquelle figuraient trois points de repère, un point de départ et un point d'arrivée était présentée au sujet. Il était demandé au sujet de mémoriser la carte. Lorsqu'il se déclarait prêt, le sujet était conduit jusqu'au point de départ et devait atteindre la destination en s'appuyant sur les informations données par l'application et sans utiliser la carte. Au bout de 5 minutes, si la destination n'avait pas été atteinte, l'évaluateur interrompait l'essai. La figure 4 présente les différentes configurations de l'environnement pour cette tâche.

Après avoir réalisé les deux premières tâches, les sujets remplissaient un questionnaire SUS (System Usability Scale).

C. *Conditions :*

Chaque sujet réalisait les trois tâches avec les trois applications (soit 9 tâches par sujet). Les applications étaient présentées dans un ordre différent pour chaque sujet, contrebalancé sur l'ensemble des sujets. L'orientation des points de repère pour la première tâche, la position à déterminer pour la deuxième tâche et la destination à atteindre pour la troisième tâche étaient présentées également dans un ordre différent pour chaque sujet.

Figure 4 : Carte des points de repères pour la tâche 3. A', B' et C' sont les points de repères ; D1, D2 et D3 sont les trois destinations possibles à atteindre à partir du point Départ.

D. *Hypothèses :*

Les hypothèses étaient les suivantes :

- Les applications permettent à une personne de connaître sa position et son orientation, sans utiliser la modalité visuelle.
- Dans un environnement ouvert, les applications permettent à une personne ayant préalablement appris une carte (carte en relief par exemple) d'atteindre une destination, sans utiliser la modalité visuelle.

Les expériences avaient par ailleurs pour but de déterminer si une des applications semblait être plus utilisable que les autres, et donc si une stratégie de présentation des informations s'avérait plus efficace qu'une autre.

V. RESULTATS

A. *Connaître son orientation :*

L'écart angulaire (en degrés) entre les directions estimées par le sujet et les directions réelles a été mesuré pour évaluer la précision des estimations. Le temps pour réaliser chaque tâche était également mesuré pour donner une indication supplémentaire sur l'efficience des applications.

Les erreurs angulaires d'un des sujets étaient très élevées par rapport aux autres (différence d'un écart-type pour les applications Boutons et Carte et de deux écarts-type pour l'application Carte) : nous pensons que la tâche a été mal comprise par ce sujet dont les résultats ont été considérés comme aberrants pour cette tâche uniquement. L'écart angulaire moyen était de 20,2° (écart-type : 14,1°) pour l'application Boutons, 17,8° pour l'application Radar (écart-type : 12,6°) et 18,8° pour l'application Carte (écart-type : 6,8°) (cf. figure 5). Le temps moyen de réalisation de la tâche (arrondi à la seconde) était de 112 secondes pour l'application Boutons (écart-type : 48 s), 71 s pour l'application Radar (écart-type : 56 s) et 127 s pour l'application Carte (écart-type : 29 s).

Les erreurs angulaires mesurées sont relativement faibles, sachant que les directions indiquées par les applications sont données avec une précision de +/- 15° en moyenne à cause de l'imprécision des capteurs du téléphone. Les applications permettent donc à des personnes de connaître leur orientation sans utiliser la modalité visuelle.

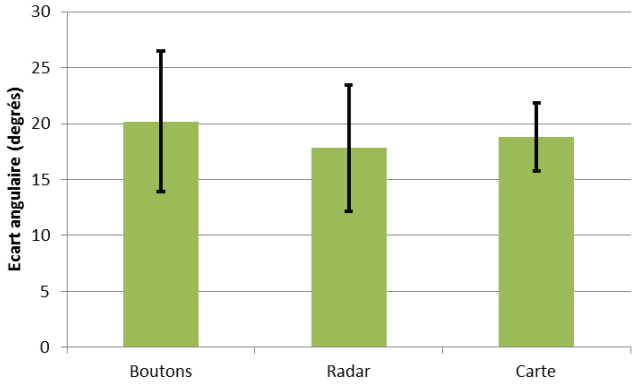

Figure 5 : Moyenne des écarts angulaires (en degrés) entre la direction estimée et la direction réelle selon les applications. Les barres d'erreur représentent les écarts-type.

Les tests statistiques réalisés ont montré qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les trois applications concernant l'erreur angulaire (ANOVA : ns, $F(2,12)=0,05$, $p=0,95$) et les temps de réalisation de la tâche (ANOVA : ns, $F(2,12)=1,94$, $p=0,18$). Des tendances se dégagent, mais le faible nombre de sujets ne permet pas d'obtenir une grande puissance statistique.

B. *Connaître sa position :*

La distance en centimètres entre la position réelle du sujet et sa position estimée était mesurée puis convertie en mètres selon l'échelle de la carte ($1/2100^{ème}$).

Les écarts moyens étaient de 76 mètres pour l'application Boutons (soit 3,6 cm sur la carte), 61 mètres pour le Radar (soit 2,9 cm sur la carte) et 68 mètres pour la Carte (soit 3,2 cm sur la carte) (cf. figure 6). Les temps moyens étaient de 136 secondes pour l'application Boutons, 141 secondes pour le Radar et 151 secondes pour la Carte.

Les distances données par les applications étaient d'une précision de +/- 25 mètres. Les erreurs pour cette tâche sont donc relativement faibles, ce qui indique que les applications permettent à une personne de connaître sa position sans recourir à la modalité visuelle. Il est aussi intéressant de noter que la précision de l'estimation était considérablement inférieure lorsque les sujets devaient trouver une position en dehors du triangle formé par les trois points de repères.

Les tests statistiques réalisés ont montré qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les trois applications concernant les erreurs de position (ANOVA : ns, $F(2,15)=0,22$, $p=0,80$) et les temps de réalisation de la tâche (ANOVA : ns, $F(2,15)=0,08$, $p=0,90$).

C. *Atteindre une destination :*

Le taux de réussite a été calculé pour chaque application : la tâche était réussie si le sujet parvenait à atteindre la destination en moins de 5 minutes.

Le taux de réussite était de 67 % pour les applications Boutons et Radar et de 100 % pour l'application Carte. Lorsque la tâche était réussie, le temps moyen pour atteindre l'objectif était marginalement supérieur pour l'application Carte (221 secondes) que pour les deux autres applications (114 s pour Boutons, 140 s pour Radar) (ANOVA : ns, $F(2, 11)=2,75$, $p=0,10$).

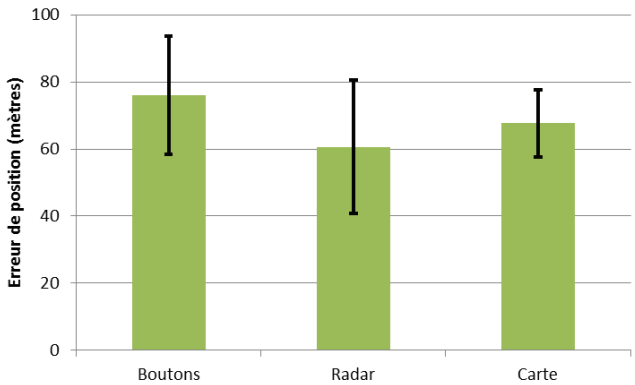

Figure 6 : Moyenne des erreurs de position (en mètres) pour la tâche 2. Les barres d'erreur représentent les écarts-type.

D. *Questionnaire de satisfaction :*

Les scores obtenus par les différentes applications au questionnaire SUS étaient les suivants : 61 pour l'application Boutons, 74 pour le Radar et 54 pour la Carte.

Si l'on se réfère uniquement aux questions liées aux temps d'apprentissage et d'adaptation, on remarque que l'application Radar a été jugée plus facile à apprendre que les deux autres. Elle a aussi été jugée plus facile d'utilisation.

E. *Commentaires et observations :*

A la fin de l'expérience, il était demandé aux sujets d'indiquer leur ordre de préférence des applications (les réponses sont présentées dans la figure 7). Les résultats sont en accord avec les scores SUS : l'application Radar était citée comme première ou deuxième application préférée par 5 participants sur 6. Cela va aussi de pair avec les remarques faites par les sujets à la fin de l'expérience. L'application Radar a été jugée "intuitive" et "facile à comprendre", alors que l'application Boutons a été jugée plus "difficile", notamment à cause de la métaphore de l'horloge utilisée pour donner les directions. En ce qui concerne l'application Carte, plusieurs sujets ont rapporté avoir eu des difficultés à interpréter les informations données.

Dans l'ensemble, les sujets ont trouvé les deux premières tâches faciles à réaliser, alors que la tâche en situation réelle a été jugée plus complexe (certains sujets ont par exemple déclaré ne plus se rappeler de la carte qui leur avait été présentée au début de la tâche, sachant que l'apprentissage de la carte était très court).

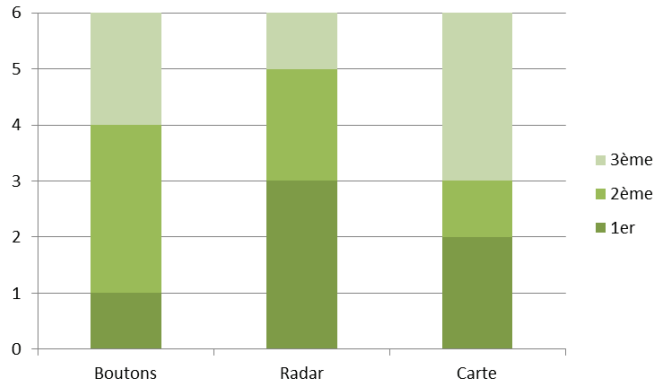

Figure 7 : Ordre de préférence des applications. Pour chaque application, nombre de sujets ayant cité ladite application en $1^{ère}$, $2^{ème}$ ou $3^{ème}$ position.

VI. DISCUSSION

Les deux premières tâches effectuées en intérieur montrent que les trois applications pourraient permettre à une personne déficiente visuelle de connaître la position relative des points de référence afin de se localiser et de s'orienter correctement par rapport à ces points.

En situation réelle, les réponses étaient moins précises et les sujets moins confiants. Il semblerait donc que le processus de se projeter, grâce aux informations recueillies, dans sa

propre carte mentale soit plus difficile. Trois explications peuvent être avancées :

- les sujets devaient interpréter les informations de distance et de direction simultanément alors que pour réussir les deux premières tâches seule une information suffisait (les directions pour la première tâche et les distances pour la seconde tâche). La tâche était donc plus complexe à réaliser.
- l'apprentissage de la carte était très court (2 minutes), alors qu'il est probablement aussi important que la réalisation de la tâche en elle-même. La mémorisation de la carte avant le départ devrait être contrôlée afin de mettre en évidence l'impact de celle-ci. L'utilisation d'une carte tactile interactive pourrait faciliter ce travail préalable avec les déficients visuels.
- le terrain sur lequel la troisième tâche a été réalisée ne présentait pas d'éléments particuliers: il n'y avait pas d'obstacles et le sol ne présentait pas de changements de revêtement. Or dans une situation réelle les environnements sont généralement plus contrastés (présence de bâtiments, rues, trottoirs, etc.). Ces particularités devraient certainement aider l'utilisateur à mettre à jour sa position plus finement en lui permettant de se situer par rapport à des points d'intérêt supplémentaires.

Enfin, nous avons remarqué que pour déterminer leur orientation et position, les sujets n'utilisaient pas toujours les trois points de repère : pour la troisième tâche notamment, les deux points de repères les plus proches de la destination à atteindre étaient principalement utilisés. S'appuyer sur deux points de repère uniquement rend moins précis le recalage de la représentation mentale par rapport à la réalité, mais diminue par ailleurs la charge cognitive nécessaire. Il serait intéressant de déterminer dans quelle mesure l'utilisation de trois points de repères complexifie la tâche plutôt qu'elle n'aide l'utilisateur à se situer précisément.

En ce qui concerne les techniques d'interaction, les résultats portent sur un nombre réduit de sujets pour l'instant et les tests statistiques réalisés ne permettent pas d'affirmer qu'une application est meilleure qu'une autre, même si des tendances se dégagent en faveur de l'application Radar. Cette application semble par ailleurs être plus appréciée que les deux autres, avec en particulier un meilleur score SUS.

VII. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif de cette étude était de déterminer s'il est possible pour un utilisateur de s'orienter, de se localiser et d'atteindre une destination dans un environnement ouvert en s'appuyant sur trois points de repère uniquement et après avoir appris une carte. Les informations données (direction et distance), les modalités utilisées (auditives et haptiques) ainsi que les stratégies de présentation utilisées se sont avérées pertinentes et efficaces dans le cadre des expériences menées.

De nouvelles évaluations sont à mettre en place pour améliorer les résultats. Les tests doivent notamment être réalisés auprès de personnes non-voyantes et sur un plus grand nombre de sujets. Il est tout à fait possible que certains des résultats obtenus sur des voyants les yeux bandés soient différents chez des déficients visuels. Par exemple, les déficients visuels sont habitués à manipuler l'horloge comme système de représentation de l'orientation. Aussi, comme nous l'avons déjà précisé, l'apprentissage de la carte est une étape primordiale, qu'il faudrait donc intégrer au protocole des prochaines évaluations. Les travaux à venir pourraient par ailleurs répondre à la question suivante : combien de points de repère faut-il pour minimiser le temps pour effectuer un parcours et les erreurs de positionnement et d'orientation ? Enfin, une nouvelle phase de conception s'avèrerait nécessaire pour rendre ces applications entièrement fonctionnelles, en permettant à l'utilisateur de rajouter des points de repère et de sélectionner un ensemble de points par exemple.

BIBLIOGRAPHIE

[1] R. Farcy, R. Leroux, A. Jucha, R. Damaschini, C. Grégoire, and A. Zogaghi, "Electronic travel aids and electronic orientation aids for blind people: Technical, rehabilitation and everyday life points of view," in *CVHI Conference*, 2006, p. 12.

[2] J. M. Loomis, R. G. Golledge, and R. L. Klatzky, "Navigation System for the Blind: Auditory Display Modes and Guidance.," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 7, no. 2, pp. 193–203, Apr. 1998.

[3] J. M. Loomis, R. G. Golledge, R. L. Klatzky, J. M. Speigle, and J. Tietz, "Personal guidance system for the visually impaired," in *first annual ACM conference on Assistive technologies - Assets '94*, 1994, pp. 85–91.

[4] M. Pielot, B. Poppinga, W. Heuten, and S. Boll, "Pocketnavigator: Studying tactile navigation systems in-situ," *in Proceedings of CHI, 2012*.

[5] J. Sánchez and N. de la Torre, "Autonomous navigation through the city for the blind," in *Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - ASSETS '10*, 2010, pp. 195–202.

[6] A. Brock, "Touch the map!: designing interactive maps for visually impaired people," *ACM SIGACCESS Accessibility and Computing*, no. 105, pp. 9–14, Jan. 2013.

[7] A. M. Brock, P. Truillet, B. Oriola, D. Picard, and C. Jouffrais, "Interactivity Improves Usability of Geographic Maps for Visually Impaired People," *Human-Computer Interaction*, 2014.

[8] R. G. Golledge, R. L. Klatzky, and J. M. Loomis, "Cognitive mapping and wayfinding by adults without vision," in in *The Construction of Cognitive Maps*, vol. 32, J. Portugali, Ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996, pp. 215–246.

[9] S. Panëels and A. Olmos, "Listen to it yourself!: evaluating usability of what's around me? for the blind," *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems -CHI'13*, pp. 2107–2116, 2013.

[10] S. K. Kane, J. O. Wobbrock, and R. E. Ladner, "Usable gestures for blind people," in *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems - CHI '11*, 2011, pp. 413–422.