

# Localisation et orientation des aveugles : dispositif de guidage dans le métro.

G. UZAN<sup>(1)</sup>, S. LAMY-PERBAL<sup>(2)</sup>, A. CARREL<sup>(3)</sup>, S. SARAGAGLIA<sup>(3)</sup>, G. ISABELLI<sup>(4)</sup>, B. MALAFOSSE<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup>Laboratoire THIM - université Paris 8, <sup>(2)</sup>CEA-LIST, <sup>(3)</sup>ROBOSOFT-PGES, <sup>(4)</sup>RATP, <sup>(5)</sup>CEREMH

[gerard.uzan@univ-paris8.fr](mailto:gerard.uzan@univ-paris8.fr), [sylvie.lamy@cea.fr](mailto:sylvie.lamy@cea.fr), [aubert.carrel@robosoft.fr](mailto:aubert.carrel@robosoft.fr), [stephane.saragaglia@robosoft.fr](mailto:stephane.saragaglia@robosoft.fr),  
[gregory.isabelli@ratp.fr](mailto:gregory.isabelli@ratp.fr), [benjamin.malafosse@ceremh.org](mailto:benjamin.malafosse@ceremh.org)

**Résumé :** Parmi les multiples systèmes de localisation et d'orientation destinés aux aveugles actuellement disponibles ou expérimentés, le projet DANAM explore les avantages d'un dispositif sans balises en infrastructure, pertinent en milieu souterrain (stations de métro) et intégrant la localisation et l'orientation polaire égocentré. Il comporte un capteur porté par la personne, une unité de calcul (logiciel de localisation et de guidage) et enfin une IHM vocale spécifique pour optimiser sécurité et guidage de personnes aveugles.

Une évaluation par expérimentation en écologie contrôlée, dans une station de métro a été réalisée avec 24 sujets aveugles, avec pour indicateurs la nature des déplacements, les performances en temps et le taux de sollicitation de l'IHM (rappel de localisation).

Celle-ci met en relief l'acceptabilité, l'impact du dispositif (re-localisation temps réel, nature des messages et condition de diffusion, ...) et le comportement de déplacement sur les performances des sujets. Elle souligne l'importance de l'adéquation entre trois représentations : celle mentale du sujet, celle communiquée par le dispositif avec son IHM et celle portée par la situation réel du sujet in situ.

**Mots clés :** Aveugles, Localisation, Orientation, Guidage, Interface vocale, Informatique Nomade, Métro.

## I. PREAMBULE

Depuis les années 2000, le guidage des aveugles en milieu urbain ou dans les transports en commun a fait l'objet d'études et d'expérimentations spécifiques (Automoville 2002, Biovam 2002, Rampe 2005, Blueeyes 2007, guide urbain 2008, Infomoville 2010) [1][9][4]

Ces initiatives anticipaient les obligations de la loi du 11 février 2005 sur l'accessibilité des transports et la continuité d'information dans la chaîne de déplacement. Depuis 2004, un plus grand nombre de projets ont été développés pour répondre au besoin en localisation, en orientation et en information des personnes aveugles et mal-voyantes (PAM). S'appuyant sur un partenariat entre la RATP, le CEA LIST, ROBOSOFT-PGES et le laboratoire THIM de l'université de Paris 8, le projet DANAM vise à concevoir un dispositif d'assistance au guidage des PAM dans les stations de métro.

## II. LOCALISATION ET ORIENTATION : UN ETAT DE L'ART

Pour guider une personne dans les couloirs du métro, il faut tout d'abord la localiser. Plusieurs solutions technologiques sont à l'étude pour répondre à ce problème.

### *L'empreinte radio :*

Elle est basée sur la combinatoire des puissances de signaux radios reçus par un point donné de l'espace qui le caractérise alors. Cette technique permet une précision de l'ordre de 0.5m selon le nombre et la puissance des signaux radios déjà présents, mais elle nécessite un pré-apprentissage des lieux (Infomoville).

### *La Triangulation radio :*

Elle peut être basée sur la puissance du signal reçue (Wifi) ou bien basée sur la mesure du temps de vol (UWB). Ces deux techniques demandent un pré-équipement des lieux. Au niveau de la précision, l'erreur est d'environ 3m sur la position de la personne pour un système Wifi mais de quelques cm seulement pour un système UWB.

*L'identification de points clés comme l'utilisation de tag RFID (passifs / actifs) ou bluetooth :*

Cette technique nécessite un pré-équipement des lieux et la localisation n'est pas possible entre 2 tags (Blueeyes et Rampe).

*L'odométrie visuelle :*

les méthodes de traitement d'images sont actuellement très gourmandes en temps de calcul et manquent souvent de robustesse par rapport à la variabilité de luminosité (Guide urbain).

*L'utilisation d'une nappe laser* est essentiellement exploitée actuellement dans la détection d'obstacles mais pose, pour le guidage, les problèmes de position relative entre les éléments fixes et les éléments mobiles rencontrés lors du déplacement (Canne laser).

*L'odométrie inertielle :*

les temps de calculs sont faibles mais la dérive temporelle des mesures des capteurs entraînent une erreur sur la position de la personne.

Dans le cadre de ce projet, nous avons pour objectif de mettre au point un système temps réel ne nécessitant pas de pré-équipement des infrastructures ni de pré-apprentissage des lieux par le dispositif. Nous avons donc choisi d'utiliser la technologie inertielle.

### III. LE DISPOSITIF : ARCHITECTURE ET PROBLEMATIQUE

Le dispositif (Fig. 1) comporte quatre éléments :

- une centrale inertielle (CI) attachée au pied de la personne, mesurant ses mouvements ;
- un logiciel de localisation exploitant les mesures de mouvements de la personne et le recalant ainsi sur la carte des lieux ;
- un logiciel de guidage calculant l'itinéraire à suivre à partir de la position actualisée de la personne sur la carte;
- une Interface Homme Machine (IHM) adaptée délivrant vocalement les instructions en fonction de l'itinéraire à suivre.

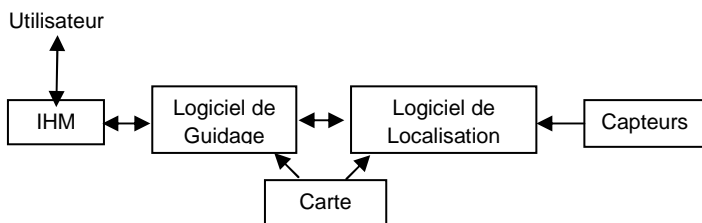


Fig.1 : Système de DANAM – Présentation générale

**Centrale inertielle et logiciel de calcul de position :**

La localisation de la personne se fait en intégrant les signaux d'une centrale inertielle portée par la personne. Or il y a, sur les mesures, des biais résiduels et non compensables qui engendrent une dérive de la position de la personne et nuisent ainsi à la précision du système. Pour compenser les dérives de localisation, plusieurs stratégies sont mises en place :

- la centrale inertielle (ici par exemple la CI Mtx de Xsens) est placée sur le pied [2][5], cela permet non seulement d'arrêter l'intégration des biais résiduels lorsque le pied est posé (et limite donc l'erreur de position) mais également de recalibrer l'attitude de la centrale inertielle par rapport à la gravité.
- la position est recalée régulièrement sur détection de points caractéristiques (escaliers, virages, escalators...). Ceux-ci étant détectés de façon automatique pour la plupart ou renseignés par l'utilisateur dans de rares situations.

Le logiciel de localisation envoie ensuite au logiciel de guidage la position de la personne sur la carte embarquée. En effet, les deux logiciels (de guidage et de localisation) fonctionnent à l'aide d'une carte commune. La carte des lieux est représentée par un réseau de nœuds et d'arcs stockés dans un fichier texte commun. Les arcs sont typés (couloir, escalier, quai...) afin de permettre le recalage de la « localisation ». La position reçue par le logiciel de guidage est une projection de la position de l'utilisateur sur l'arc parcouru (Fig. 2).

**Logiciel de guidage :**

Pour guider la personne dans ses déplacements, le logiciel de guidage a besoin de la position de départ (pour l'instant entrée à la main, mais à terme, donnée par un GPS ou autre...) ainsi que de la position d'arrivée souhaitée par la personne. Cette information est donnée par l'utilisateur via un clic souris de l'IHM.

Une fois que le logiciel est renseigné, un algorithme adapté planifie le plus court chemin dans une carte topologique en trois dimensions (graphe 3D). Des messages sont associés aux arcs et permettent la génération de consignes de guidage lors de leur franchissement.

Au fur et à mesure du cheminement de la personne, sa position est actualisée par la « localisation » et le logiciel de guidage structure alors le message et calcule le moment de sa diffusion à l'utilisateur.

Si la personne se trompe de chemin et ne suit pas les indications, alors le chemin le plus court pour arriver à

destination est recalculé. Si le chemin pris par erreur par la personne est trop coûteux ou ne peut pas mener à son lieu d'arrivée, alors l'IHM lui demande faire demi-tour.

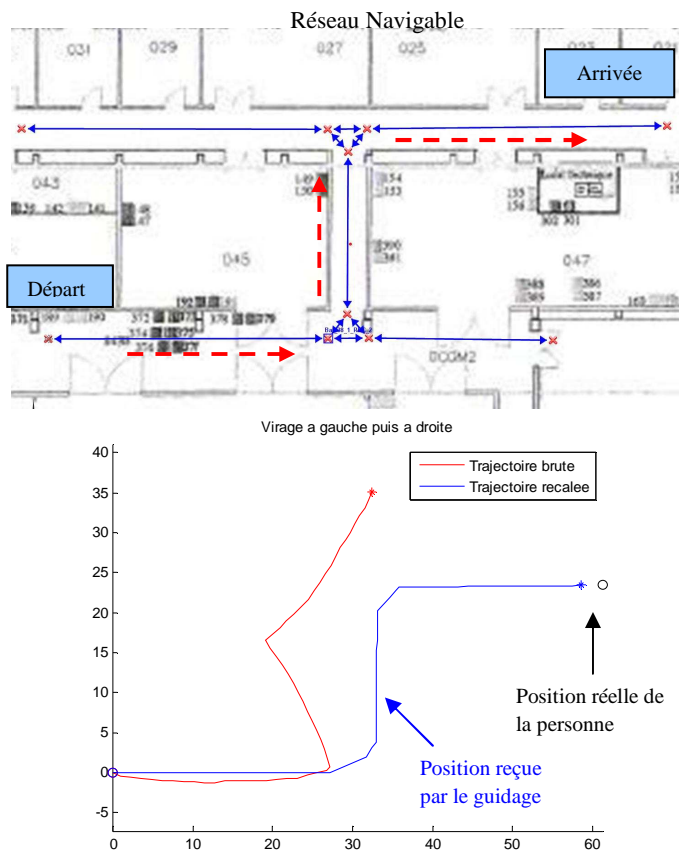


Fig.2 : Logiciel de localisation : la distance entre la position réelle de la personne et sa position estimée est améliorée grâce au recalage

### L'IHM :

Au niveau de l'IHM, il faut répondre aux défis ergonomiques posés par le projet (nature des informations à diffuser, choix lexicaux pour l'interface vocale, mode d'interaction pour les entrées utilisateurs sur l'IHM). A la suite de travaux sur le stress des aveugles en déplacement [9] et pour la conception du répéteurs sonore de feux [6], l'IHM doit respecter le critère d'humilité pour ne pas mettre en danger la personne, ne pas générer d'erreur ou de risque pour l'utilisateur aveugle comme nous l'avons déjà envisagé pour l'accès au bus en milieu ouvert [1] .

Au delà du langage opératif de trafic ou de description transport [8], et du langage naturel dont l'interprétation reste variable [3], un choix lexical a donc été retenu pour définir des objets, des orientations et des distances, diffusé selon un ordre spécifique et homogène et répondant aux exigences de brièveté (durée et nombre de syllabes), de sémantique non ambiguë, d'intelligibilité en

milieu bruyant et d'anticipation des durées d'écoute et de déplacement simultanés. Enfin, certaines informations étaient précises (orientation) ou au contraire volontairement approximatives pour maintenir la vigilance, l'attention et la décision dans la mobilité (longueur des escaliers et distances).

Certaines formulations adoptaient un langage propre à l'oralité plus qu'à l'écrit, aux habitudes de communication entre voyageurs plus qu'au langage opératif du transport ( ex : « accès au quai ligne 14 en direction des Olympiades » devient « Quai de la 14, Olympiades »)[8]

Le système restitue les consignes et les informations à l'utilisateur par une oreillette via une synthèse vocale. En effet, les systèmes vocaux sont actuellement très utilisés sur les dispositifs nomades pour aveugles. Dans les dédales des stations de métro, ils permettent une précision et une rapidité de l'information tout en maintenant la concentration haptique sur tous les mouvements propres à la marche en milieu libre ou de foule.

Sur le plan de l'interaction entre l'utilisateur et le dispositif, les messages sont délivrés automatiquement sans action préalable de l'utilisateur. Mais celui-ci peut, s'il le souhaite, effectuer un rappel : le message diffusé alors n'est pas seulement un rappel du message précédent mais un nouveau message réactualisé tenant compte de son déplacement entre la première écoute et le rappel.

Un scénario d'utilisation est donc le suivant : à l'entrée du métro, une boucle vocale énonce les principaux points de destination utiles à l'utilisateur (Quai de ligne, autres sorties...). Par appui « à la volée » sur un bouton, l'utilisateur sélectionne sa destination. Le dispositif prend alors la main et guide la personne vers cette destination. A tout instant, lors de ce déplacement, l'utilisateur peut réinterroger le dispositif qui lui énoncera un message de guidage actualisé en fonction de sa position courante.

La personne peut à tout moment annuler et/ou refaire un nouveau choix de destination.

Pour ne pas saturer en informations sonores ou vocales l'utilisateur aveugle qui exploite déjà les indices sonores de l'environnement pour sa sécurité et sa représentation mentale de cet environnement, le dispositif ne diffuse les messages que dans trois situations : premièrement, avant un changement de direction, face à des directions multiples ou un obstacle, deuxièmement, en cas de rappel de l'utilisateur, et enfin, en cas d'impasse (si le chemin emprunté par erreur est trop coûteux ou ne peut pas mener au lieu d'arrivée).

Du point de vue de la sécurité, le dispositif signale régulièrement (mais de façon espacée) son bon fonctionnement par un signal sonore ou à travers la diffusion d'un message de guidage. Si la batterie est insuffisante, le système manifestera cet état à l'utilisateur en conséquence. Les messages relatifs aux zones dites de transfert [1], où la sécurité est fortement engagée, ont fait l'objet d'un travail de réflexion approfondi sur la structure et la nature des messages.



Fig.3 : Système de DANAM – essais à la station Bercy

#### IV. LE DISPOSITIF : EVALUATION IN SITU

Une campagne d'évaluation a été menée dans la station de métro Bercy avec 24 personnes aveugles selon une méthode d'expérimentation en écologie contrôlée (fig. 3) [7].

Le choix de la station de Bercy répond à trois exigences :

- Bénéficiaire d'une station possédant à la fois une configuration « ancienne », ligne 6, représentative du métro parisien actuel et une configuration « récente », ligne 14, probablement représentative du futur du métro.
- Une infrastructure de station comportant une interconnexion, un effet « dalle » particulièrement difficile à appréhender, un effet de multi-directionnalité important et enfin un ensemble d'équipements et de niveaux (ici trois niveaux, et escalators et/ou ascenseurs montants et descendants pour les desservir).
- Une station excentrée encore inconnue pour les sujets sélectionnés.

#### Méthodologie d'évaluation :

L'expérimentation s'est déroulée in situ avec la station et les métros en service ainsi que la présence habituelle de tous les voyageurs.

24 sujets aveugles, dont 18 avec canne et 6 avec chien, 10 femmes et 14 hommes, une moyenne d'âge de 52 ans ( $\sigma = 13$ , min = 20, max = 77), aucun ne connaissant préalablement la station, ont utilisé le dispositif dans la station sur un parcours que nous avons prédéfini.

Le choix de la structure de la population s'explique de la façon suivante :

- initialement prévue pour la seule évaluation, cette expérimentation a eu deux objectifs : évaluer le comportement du logiciel de navigation et de l'IHM, obtenir un corpus de données exploitables pour une plus grande optimisation des algorithmes de localisation, mais cela a également imposé le non contre-balancement des parcours pour un corpus le plus homogène.
- les précautions expérimentales doivent être plus importantes pour les personnes avec chien car le dispositif doit alors renseigner le binôme personne aveugle/chien, le chien se fiant plus au comportement des expérimentateurs qu'aux instructions de la personne aveugle.

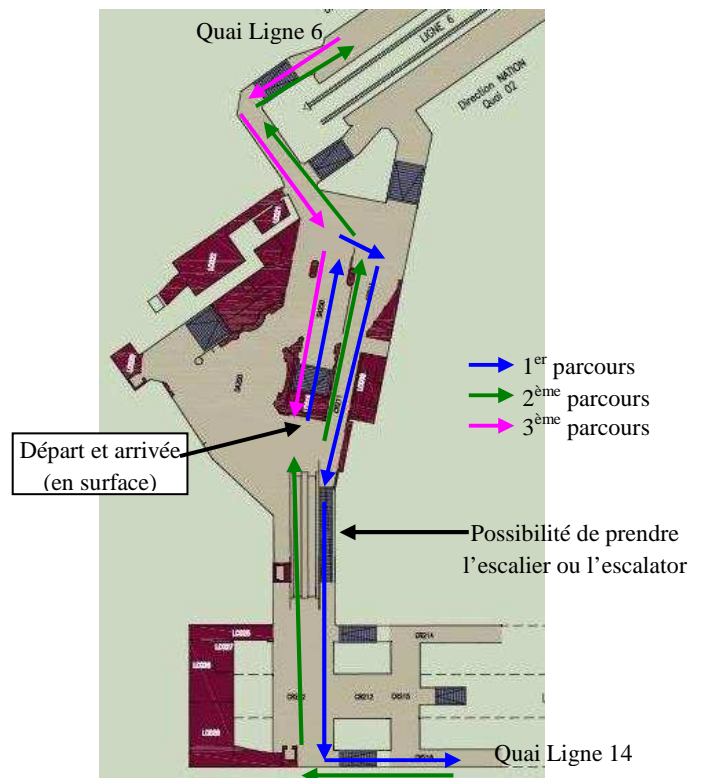


Fig.4 : Parcours suivis lors des expérimentations DANAM

Durant l'expérimentation, la sécurité a été assurée par les instructeurs de locomotion de la Fédération des Aveugles de France.

Après une brève présentation et phase d'apprentissage, les sujets sont invités à réaliser un parcours (cf. fig. 4) assistés du dispositif. Les résultats sont extraits de trois types de données : celles collectées à travers une grille d'observation, celles enregistrées par le logiciel de guidage (enchaînement des messages et interactions utilisateur/dispositif) et enfin celles recueillies auprès des sujets en fin de parcours (auto-confrontation).

**Résultats :**

Nous présentons ici les résultats les plus saillants de l'évaluation. Ceux-ci portent sur l'acceptabilité et l'efficacité du dispositif et les performances obtenues par les sujets aidés.

*Résultat en matière de localisation et d'orientation*

0 abandon

0 blocage

5.5% du temps de parcours en situation de perdition.

Toujours rattrapée à travers la manipulation du dispositif.

13 personnes sur 24 n'ont eu aucune situation de perdition.

1 personne sur 24 trouve la structure des messages peu efficace, et 9 sur 24 mettent particulièrement en avant l'efficacité de la structure des messages.

*Les performances des sujets:*

L'analyse des performances des sujets nous ont permis à la fois d'évaluer le dispositif mais aussi d'identifier les logiques de déplacement qui sont mises en œuvre avec le dispositif, aussi bien pour l'ensemble des parcours (moyenne 10m49s avec un écart type de 3m27s) que pour chacun d'entre eux (moy.=4m08  $\sigma$ =1m42s pour le parcours 1 (P1), moy=4m24s  $\sigma$ =1m27s pour P2, moy=2m23s  $\sigma$ = 53s pour P3). cf tab1.

*Les résultats concernant la sollicitation du dispositif (rappel de localisation):*

Sur l'ensemble des parcours et sur l'ensemble des sujets PAM, le rappel de localisation par appuis sur le bouton a été sollicité en moyenne 5,6 fois ( $\sigma$ =7,24) avec un minimum de 0 rappel et un maximum de 36 (moy= 8,49, ( $\sigma$ =5,83), min=0, max=36 pour P1, moy=8,49 ( $\sigma$ =9,24), min=0, max=32 pour P2, moy=3,36 ( $\sigma$ =3,86), min=0 max=15, pour P3). Les écarts types témoignent d'une disparité importante du comportement des sujets sans qu'il apparaisse de stratégie spécifique tel qu'un comportement de rappel systématique ou au contraire d'économie de rappel.

Nous n'avons trouvé aucune corrélation entre le recours ou le non recours au rappel de localisation et les performances des sujets en temps, mais une correspondance entre recours/non recours et la nature de leurs déplacements (démarche franche/hésitante/perdition). En effet sur le parcours le nombre de rappel de localisation varie de 0 à 36. Deux sujets ont un temps identique sur le parcours 1 (2m58s), mais l'un a fait 0 rappel de localisation et l'autre 36. Cela se retrouve sur les trois parcours, donc ne confirme pas l'hypothèse de stratégie d'utilisation du dispositif en donnée inter-sujet.

En donnée intra-sujet les comportements de rappel ne sont pas homogènes d'un parcours à l'autre. Cependant sur l'ensemble des sujets pour le parcours 1, 8 ont adopté une démarche franche sur l'ensemble du parcours. 6 sujets sur ces 8 ont utilisé le rappel de localisation entre 0 et 2 fois. Nous avons constaté la même correspondance entre démarche franche et faible utilisation du rappel dans les parcours 2 et 3. Tous les sujets (5 sur 22) qui ont réalisé l'ensemble du parcours 2 en démarche franche ont effectué entre 0 et 2 rappel(s) de localisation. de la même façon sur le parcours 3, 7 sujets ont effectué l'ensemble du parcours en démarche franche en faisant entre 0 et 1 rappel de localisation.

*Synthèse sur la navigation et l'IHM:*

Les impacts favorables à la navigation:

- La combinaison localisation temps réel et brièveté des messages par l'IHM ne génèrent pas de risque supplémentaire sur le plan de la sécurité.
- L'efficacité de la navigation et des instants de diffusion associés évitent la saturation auditive et donne l'information nécessaire au bon moment. (quelques sujets n'ont même pas eu à utiliser le rappel de localisation pour leurs parcours. )
- C'est le modèle de relocalisation temps réel qui est très efficace particulièrement contre l'effet « dalle »

	Tout profil	Canne	Chien
Tps total	10m49s ( $\sigma$ 03m27s)	11m02s ( $\sigma$ 03m26s)	10m11s ( $\sigma$ 03m42s)
Tps parcours 1	04m08s ( $\sigma$ 01m42s)	04m17s ( $\sigma$ 01m39s)	03m43s ( $\sigma$ 01m53s)
Tps parcours 2	04m24s ( $\sigma$ 01m27s)	04m24s ( $\sigma$ 01m32s)	04m25s ( $\sigma$ 01m16s)
Tps parcours 3	02m23s ( $\sigma$ 00m53s)	02m30s ( $\sigma$ 00m51s)	02m04s ( $\sigma$ 00m58s)

Tab.1 : Temps de parcours des sujets aveugles lors des expérimentations à Bercy

et en situation d'hésitation et de perte.(Sauf aux abords des lignes de contrôle.)

- L'évaluation permet de valider une grande partie des choix de structure et de nature des messages, ainsi que du mode de diffusion.

Les impacts défavorables à la navigation:

- Les messages doivent être de nature légèrement différente selon que les sujets sont avec canne ou avec chien.
- Certains mots doivent être changés pour optimiser l'interprétation des messages (« milieu » et « couloir ») ou leur audibilité (« long »).
- Le passage dans les deux sens des lignes de contrôle doit faire l'objet d'un affinement des arcs de navigation.

Des recommandations ont déjà été envisagées par le THIM et ROBOSOFT pour accroître la précision sur certains points de parcours (surtout flanc d'escalier et ligne de contrôle.)

Les apports de l'expérimentation :

La validité du choix du modèle de navigation en milieu souterrain.

La validité des choix de structure et de dénomination des messages.

La validation des choix technologiques pour des personnes déficientes visuelles et au delà pour tous.

La validité du critère d'humilité comme nouveau critère de conception et d'évaluation d'IHM nomade.

## V. CONCLUSION

Ce projet a souligné et précisé l'importance d'une localisation tenant compte de l'orientation polaire sous la difficile contrainte de recalage, et celle de la brièveté, de l'humilité de l'IHM pour la sécurité des personnes aveugles (risque de chute ou de représentation erronée de sa situation) et dans le guidage de la marche (équilibre entre guidage et repérage dans les messages). La combinaison entre modèle de localisation et structure de l'IHM ont permis de mettre en relief l'impact positif d'une recherche d'adéquation entre la représentation mentale des sujets, celle produite par le dispositif et celle de la réalité in situ pour des sujets aveugles en capacités limitées de vérification. Initialement destinée aux personnes aveugles, ce dispositif a suscité un vif intérêt pour d'autres utilisateurs et plus particulièrement les personnes ayant des difficultés cognitives et plus largement pour l'ensemble des utilisateurs du métro. Initialement destinée aux personnes aveugles, ce dispositif a suscité un vif intérêt pour d'autres utilisateurs

et plus particulièrement les personnes ayant des difficultés cognitives et plus largement pour l'ensemble des utilisateurs du métro.

## VI. BIBLIOGRAPHIE

- [1] G.Baudoin, O.Venard, G.Uzan, A.Rousseau, Y.Benabou, A.Paumier, J.Cesbron, "How can blinds get information in Public Transports using PDA?"- The RAMPE Auditive Man Machine Interface", Proc. 8th European conference for the advancement of assistive technology in Europe, AAATE 2005, Lille, Sept. 2005
- [2] Foxlin E., InterSense : Pedestrian Tracking with Shoe-Mounted Inertial Sensors. Moving Mixed Reality into the Real World Special Issue of IEEE CG&A, November/December 2005 (INS au pied)
- [3] Gouédard C., « Un nouveau paradigme pour examiner les relations entre espace et langage, appliqué chez de jeunes aveugles s'expliquant un trajet », La Nouvelle Revue de l'Adaptation et de la Scolarisation, hors série n°3 : « Scolariser les élèves déficients visuels », 2007, pp. 91-105.
- [4] Marin-lamellé: Besoins en Information et en Orientation des Voyageurs Aveugles ou Malvoyants dans les transports collectifs. LESCOT-INRETS, 2002
- [5] Seong Yun Cho, Chan Gook Park : MEMS Based Pedestrian Navigation System. The Journal of Navigation (2006),59, 135-153
- [6] Sperandio, J.C. , Uzan, G., Validation du message codé pour dispositif sonore de feux de circulation pour personnes aveugles ou malvoyantes, . Rapport de fin de recherche financée par le CERTU (Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement), mai 2002
- [7] Uzan, G. and Teixeira, A. (2003). Interactions vocales sous l'angle des non-voyants : de l'évaluation de service à l'évaluation d'un modèle d'interaction. In proceedings of IHM 2003, International Conference Proceedings Series, ACM, Caen, France, 174-181.
- [8] UZAN G., VENARD O., BAUDOIN G., PAUMIER A. (2007) "Prise d'information et représentation mentale des aveugles dans les transports : pour la conception d'IHM d'information et de localisation" conférence epique'07, septembre .
- [9] Wolff M., Cabon P., Uzan G., Nelson J., Couix S., "déplacement urbain de personnes non-voyantes: étude multi-factorielle des difficultés et apport d'une nouvelle interface pour le recueil des données", ergo-IA 2006, Biarritz, 11 octobre 2006.