



## **La canne blanche 2SEES : concept et expérimentations**

Jean Connier, Shu Xu, Philippe Vaslin, Christophe de Vault, Hongling Shi,  
Kun Mean Hou, Jian-Jin Li

### **► To cite this version:**

Jean Connier, Shu Xu, Philippe Vaslin, Christophe de Vault, Hongling Shi, et al.. La canne blanche 2SEES : concept et expérimentations. 8èmes Journées Nationales des Communications Terrestres (JNCT 2018), Oct 2018, Clermont-Ferrand, France. hal-01958099

**HAL Id: hal-01958099**

**<https://hal.science/hal-01958099>**

Submitted on 17 Dec 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.

# La canne blanche 2SEES : concept et expérimentations

Jean Connier  
LIMOS UMR 6158  
CNRS – Université  
Clermont Auvergne  
Aubière, France  
jean.connier@uca.fr

Hongling Shi  
LIMOS UMR 6158  
CNRS – Université  
Clermont Auvergne  
Aubière, France  
hongling.shi@isima.fr

Shu Xu  
LIMOS UMR 6158  
CNRS – Université  
Clermont Auvergne  
Aubière, France  
shuxu@isima.fr

Kun Mean Hou  
LIMOS UMR 6158  
CNRS – Université  
Clermont Auvergne  
Aubière, France  
kun-mean.hou@isima.fr

Philippe Vaslin  
LIMOS UMR 6158  
CNRS – Université  
Clermont Auvergne  
Aubière, France  
vaslin@isima.fr

Jian-Jin Li  
LIMOS UMR 6158  
CNRS – Université  
Clermont Auvergne  
Aubière, France  
[jjli@isima.fr](mailto:jjli@isima.fr)

Christophe de Vaulx  
LIMOS UMR 6158  
CNRS – Université  
Clermont Auvergne  
Aubière, France  
christophe.de\_vaulx@uca.fr

**Résumé**—Les personnes malvoyantes ou aveugles (PMV) préfèrent généralement les cannes blanches aux dispositifs électroniques d'assistance à la mobilité malgré les possibilités supérieures que ces derniers offrent. Cette prédilection pourrait être due en partie à leur manque perçu de robustesse. Le but du projet 2SEES est de créer un dispositif d'assistance à la mobilité intégrant les fonctionnalités nécessaires aux PMV, accessible et facile à utiliser. Ce document présente les apports au concept et le nouveau prototype du 2SEES, ainsi que les résultats de premières expérimentations sur ses fonctionnalités.

**Mots-clés**—2SEES, SEES, assistance aux personnes malvoyantes, dispositif d'assistance aux personnes malvoyantes

## I. INTRODUCTION

D'après un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 253 millions de personnes souffrent de malvoyance dans le monde, dont 36 millions sont atteintes de cécité [1]. La capacité à se repérer dans l'espace et à construire une carte mentale d'un lieu reposant fortement sur la vision [2], les personnes souffrant de troubles visuels ont des difficultés à se déplacer dans les endroits qu'ils n'ont pas explorés et mémorisés auparavant. En conséquence, leur liberté d'action est restreinte : ils tendent à éviter la découverte de nouveaux lieux et de nouveaux chemins, où ils risquent de s'égarer. Les accidents et heurts constituent un autre facteur : dans une étude de Manduchi et Kurniawan [3], 13% des interrogés disaient subir des chocs au niveau de la tête et 7% indiquaient qu'ils chutaient une fois par mois ; globalement, 30% rapportaient un manque de confiance dans leur déplacements autonomes.

Les dispositifs d'assistance à la mobilité sont des outils destinés à permettre aux personnes malvoyantes de regagner une partie des capacités qu'ils perdent à cause des troubles de la vision. Traditionnellement, les cannes blanches et les chiens guides ont été utilisés. Depuis les années 1960, des recherches ont été menées sur des dispositifs électroniques (dans un premier temps), puis informatisés (dans un second temps). Beaucoup de ces systèmes se concentrent soit sur la détection d'obstacles sur le chemin de l'utilisateur, soit sur le guidage de

la personne d'un endroit à un autre. Au premier abord, ces dispositifs électroniques et informatisés semblent plus prometteurs que les cannes blanches classiques. Cependant, l'utilisation de ces dernières est bien plus répandue, y compris dans les pays les plus riches.

Des tentatives pour améliorer l'adoptabilité des outils ont été faites lors de la conception initiale du système *Smart Explorer Environment Stick* (SEES) [4]. Le SEES réunit dans un objet connecté à Internet des fonctionnalités d'aide à la mobilité souvent séparées dans les autres dispositifs. Afin de limiter le coût du système, une partie des tâches est effectuée par un smartphone, et des capteurs à bas coût sont utilisés pour la collecte des données. Un prototype a été réalisé, nous permettant d'expérimenter et d'avancer vers un second concept plus avancé, le « 2SEES ». Le 2SEES est une amélioration du premier SEES, où l'accent est porté sur la robustesse. Cet article présente le concept du 2SEES et l'état actuel de sa réalisation, de même que les données obtenues lors des premières expérimentations.

Après cette introduction, l'article présente un état de l'art des dispositifs d'assistance à la mobilité (2<sup>e</sup> partie), les concept et prototype du 2SEES (3<sup>e</sup> partie) et enfin les résultats d'expérimentations sont fournis et discutés dans la (4<sup>e</sup> partie).

## II. DISPOSITIFS ELECTRONIQUES D'ASSISTANCE A LA MOBILITE

### A. État de l'art

La canne blanche est l'outil d'aide à la mobilité le plus répandu chez les personnes malvoyantes et aveugles. Formalisée au début du XX<sup>e</sup> siècle, elle a deux fonctions : d'une part, permettre à son utilisateur de sentir les objets et les caractéristiques de son environnement à courte distance (obstacles, murs, etc.) ; d'autre part, elle rend son porteur clairement identifiable comme déficient visuel par les autres personnes. Les chiens guides sont une autre technique d'assistance ne reposant pas sur la technologie : ils évitent les obstacles, aident à traverser les passages piétons en sécurité et à

aller à des lieux déjà connus. Leur coût est cependant très élevé [5].

Après la deuxième guerre mondiale, des équipes de recherche ont entrepris de réaliser des dispositifs électroniques d'assistance aux personnes malvoyantes (DEAPMV) plus performants que les cannes et les chiens guides. Une première catégorie de ces DEAPMV est formée par les outils de détection des obstacles. Parmi les premiers, on peut citer le système de Russel [6] et celui de Kay [7] : ils utilisent un capteur ultrasonique pour indiquer si le chemin est libre [6] ou bien pour donner la distance de l'obstacle éventuellement présent dans la direction visée [7]. D'autres dispositifs utilisent la lumière plutôt que les ultrasons pour la détection. Certains, à l'image de la C5 Laser Cane [8], ou, plus tard, du Télétact [9], utilisent un faisceau laser linéaire. D'autres utilisent un faisceau conique infrarouge; c'est le cas du Tom Pouce [9]. Les dispositifs de ce type reposent en général sur un seul capteur pour fournir une information à une seule dimension : l'utilisateur oriente l'objet dans la direction où il veut se diriger, et obtient en retour un signal sonore, vibratoire, ou haptique le renseignant sur la présence éventuelle d'obstacles. De tels dispositifs ne sont pas sans failles : ils nécessitent un apprentissage [9], imposent une charge mentale importante et ont une robustesse limitée.

Les systèmes de localisation et d'assistance à la navigation forment une seconde classe de DEAPMV. Ils sont généralement construits autour d'une infrastructure d'émetteurs radio pouvant être locaux (points d'accès WiFi, balises Bluetooth, etc.) ou satellitaires (GPS, Glonass, Beidou, Galileo). Une autre caractéristique répandue est l'utilisation de capteurs inertiels basés sur des microsystèmes électromécaniques (MEMS) [10]. Les systèmes fonctionnant grâce au GPS et aux capteurs inertiels MEMS souffrent des mêmes limitations, essentiellement causées par trois problèmes clés. D'abord, les capteurs inertiels ne peuvent pas être utilisés seuls car les résultats des calculs reposant sur leurs données dérivent au cours du déplacement. Ensuite, les systèmes satellitaires, utilisés pour corriger périodiquement les positions calculées grâce aux données des capteurs inertiels, ne fonctionnent pas en intérieur. Enfin, les infrastructures de balises radiofréquences qui pourraient être utilisées pour corriger les calculs en intérieur sont trop coûteuses à déployer et à maintenir.

Les systèmes d'assistance à la mobilité basés sur la vision par ordinateur ont récemment connu un fort développement. Les caméras stéréoscopiques et temps-de-vol sont souvent utilisées en raison de leur capacité à générer des cartes tridimensionnelles de l'environnement. Filipe *et al.* [11] ont utilisé un capteur Kinect (une combinaison de caméra RGB et de capteur 3D) pour détecter les obstacles et les escaliers avec une précision annoncée à 99% ; Tapu *et al.* [12] ont utilisé un smartphone et sa caméra pour développer une application qui détecte en temps-réel les objets en mouvement. Toutefois, les systèmes basés sur la vision par ordinateur ne semblent pas pour l'instant capables de fonctionner correctement dans toutes les conditions rencontrées dans un environnement non-structuré

et non-contrôlé (luminosité très élevée, nuit, réflexions, etc.), même ceux conçus pour la détection d'un seul type d'objet dans les images. De plus, bien qu'il soit actuellement réalisable, le traitement d'images en temps-réel nécessite beaucoup de ressources computationnelles (processeur, mémoire) et épuise rapidement les batteries qui alimentent les objets mobiles.

Peu de dispositifs intègrent plusieurs des fonctionnalités précédentes. La Guidecane en est un : c'est une canne roulante, motorisée qui, poussée par l'utilisateur, évite les obstacles qu'elle détecte grâce à plusieurs capteurs ultrasoniques, et calcule simultanément sa position en utilisant l'odométrie, une boussole électronique et le GPS [13].

## B. Le SEES

Le but du projet SEES est de dépasser les limites des systèmes existants et de proposer une solution aux problèmes de mobilité des PMV [14]. Un point clé du concept du SEES est l'intégration de trois fonctions dans un seul système : la détection d'obstacles, l'assistance à la navigation et à l'orientation, et l'assistance à la perception de l'environnement. Fournir ces trois fonctionnalités ensemble épargne à la PMV les difficultés et la charge mentale générée par l'utilisation conjointe de trois dispositifs. Cela permet aussi au système de partager les informations afin d'avoir une plus grande robustesse et de meilleures performances dans chacune des fonctions. Un autre point clé du concept du SEES est l'*active multi-sensor context awareness* : les capteurs embarqués permettent au système de collecter et de calculer des informations contextuelles, c'est-à-dire des données pertinentes décrivant la situation des utilisateurs (ce qu'il y a autour d'eux, la luminosité, etc.). Ces informations peuvent être utilisées pour décider quels capteurs doivent être utilisés et quels capteurs doivent être éteints. L'*active multi-sensor context awareness* peut ainsi réduire la consommation énergétique du SEES tout en évitant de perdre de la précision dans les estimations.

Un troisième point important du concept du SEES est la connectivité à Internet. Le smartphone joue le rôle de passerelle réseau entre la canne et une plate-forme Cloud (Fig. 1). L'utilité première de cet accès à Internet est de permettre le téléchargement de cartes. Ainsi, des cartes spécialement créées pour le système peuvent être hébergées et changées fréquemment, permettant de suivre les changements du monde réel. De plus, la plate-forme Cloud permet de lier tous les SEES déployés, à la fois ensemble et au « monde extérieur ». En particulier, en cas de perte ou de niveaux élevés de risques, les utilisateurs peuvent être directement assistés par des opérateurs humains, à distance. Dans cette situation, une caméra transmet un flux vidéo montrant ce qui se trouve devant la PMV à l'opérateur qui, en retour, le guide.

Un premier prototype de SEES a été créé [14], basé sur une poussette embarquant des capteurs : deux accéléromètres 3D, un gyroscope, un magnétomètre, un encodeur de roue, un GPS, une caméra, et huit capteurs ultrasoniques disposés en demi-cercle. Leurs données étaient collectées par un Raspberry Pi qui les utilisait pour calculer la position de l'utilisateur puis

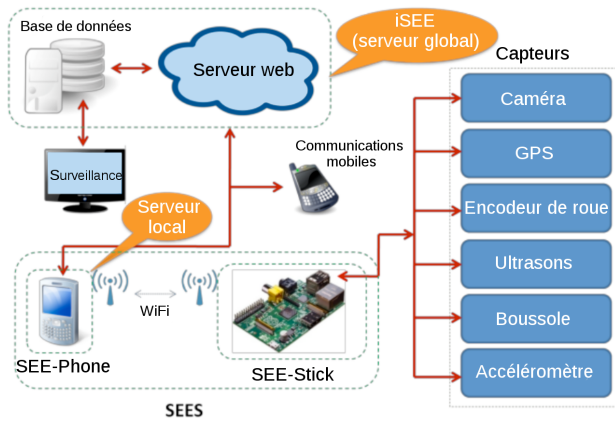


Figure 1 : Architecture de la première version du SEES

l'envoyer à un serveur web *via* WiFi. Des expérimentations ont été menées sur la navigation à l'estime (*dead-reckoning*) seule, la navigation à l'estime corrigée avec à l'aide d'un filtre particulaire utilisant les mesures des capteurs ultrasoniques, et la reconnaissance de portes et de plaques de portes [15, 16]. Ces expérimentations nous ont amenés à raffiner et étendre le concept initial, et à construire un nouveau prototype pour dépasser les limites découvertes en travaillant sur le premier prototype.

### III. LE 2SEES

#### A. Concept

L'architecture globale du SEES repose sur trois plates-formes [14] : la canne (appelée LMSC pour *Local Mobility Smart Cane*), le smartphone, et le back-end.

L'amélioration principale du concept du 2SEES par rapport à celui du SEES est la prise en compte des problématiques de tolérance aux pannes et de robustesse. L'assistance à la mobilité des PMV est un cas applicatif où la robustesse du système est d'une importance capitale. En effet, à cause de leur handicap, les PMV peuvent difficilement juger de la pertinence des décisions prises par le système. C'est un point critique, car il est probable que les utilisateurs du système se trouvent parfois dans des situations qu'ils auraient évitées s'ils n'avaient pas eu l'aide du système. En soi, ce point est très positif car il montre que le système est utile. Cependant, en cas de défaillance du système dans une telle configuration, l'utilisateur se retrouve dans une situation très problématique : il ou elle pourrait ne pas être capable de s'en extraire seul(e). Un fonctionnement sans panne est donc primordial. Or, la plupart des DEAPMV ne mettent pas l'accent sur la délivrance correcte de leurs services en toutes circonstances. Ils peuvent être affectés par des faiblesses de natures diverses. Nous avons concentré nos efforts sur deux catégories de faiblesses : le manque de redondance et le choix d'une unique modalité de perception. Le premier problème est clair : si un composant tombe en panne, tout le système tombe en panne. Le second problème est informationnel et relatif à l'environnement. Selon les situations, les capteurs ont des performances variables, e.g. les ultrasons sont facilement absorbés par les environnements encombrés alors que les capteurs basés sur la lumière sont

moins efficaces en présence de forte luminosité. Un dispositif n'exploitant qu'une seule modalité de perception ne pourra pas être performant dans toutes les situations rencontrées.

Le 2SEES a été conçu comme une plate-forme pour la recherche sur la robustesse. Il nous permet de développer des applications à la fois tolérantes aux pannes grâce à ses composants redondants, et tolérantes au contexte grâce à ses capteurs de distance basés sur des technologies différentes : ultrasoniques, infrarouges, laser. De plus, le système d'exploitation des cartes uSu-Edu, développées en interne – succédant aux IWoTCore [17] – et utilisées dans le prototype a été spécifiquement développé pour la tolérance aux pannes. C'est un système événementiel dans lequel les threads sont subdivisés en actions élémentaires qui forment les états d'un automate. Cette division permet d'identifier les situations défaillantes en observant les séquences d'états exécutées et en les comparant aux séquences valides. Par ailleurs, un fonctionnement sur plusieurs processeurs est essentiel à un système tolérant aux pannes. Dans le prototype du 2SEES, une pile réseau 802.15.4 est utilisée pour que les deux cartes redondantes embarquées puissent communiquer et se surveiller mutuellement.

#### B. Description du prototype de LMSC

Le prototype de LMSC prend la forme d'une canne reposant sur une roue, à la manière d'un odomètre. La partie basse de la canne (Fig. 2) est un support imprimé en 3D servant de support aux autres composants : la roue, les cartes électroniques et les capteurs y sont fixés. La roue sert à connaître la distance linéaire parcourue par la canne grâce à deux encodeurs magnétiques AS5040 redondants montés sur les deux extrémités de l'axe de la roue [18]. Deux roulettes supplémentaires permettent à la canne de tenir en position verticale sans support.

Le LMSC a trois cartes électroniques actives dupliquées pour la tolérance aux pannes : une carte uSu-Edu équipée avec un microcontrôleur Atmega 128RFA2, une carte Arduino Nano embarquant un microcontrôleur Atmega 328p [19], et un Raspberry Pi 3 avec un *system-on-a-chip* BCM2837. La carte uSu-Edu embarque un capteur de pression de l'air BMP180

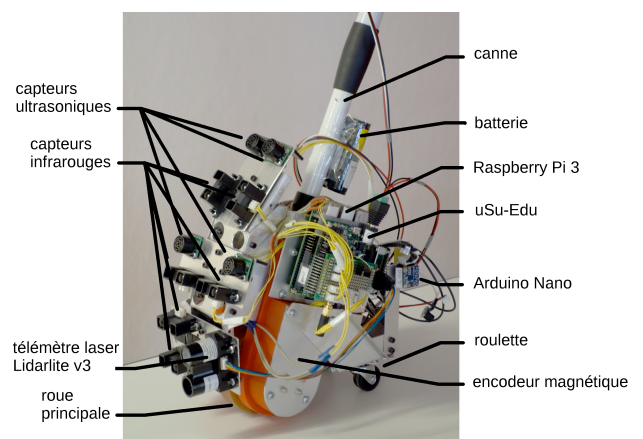


Figure 2 : Prototype du LMSC

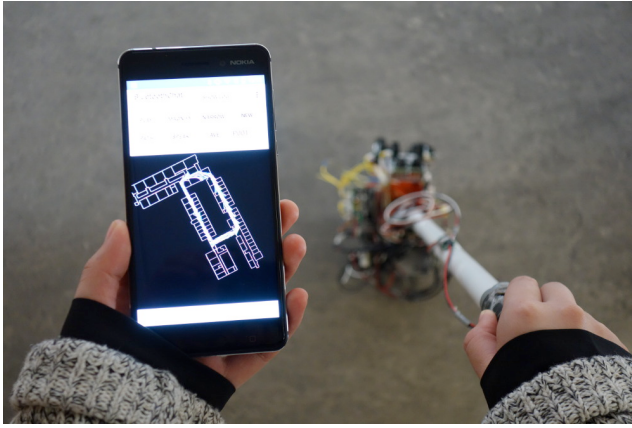


Figure 3 : Application mobile connectée à la canne

[20], un module accéléromètre et gyroscope LSM330 [21], un module accéléromètre et magnétomètre LSM303 [22], un capteur de luminosité ambiante [23], et un capteur de température LM75 [24]. De plus, elle collecte les données de l'encodeur de roue et de plusieurs capteurs de distance : trois capteurs infrarouges Sharp GP2Y0A02YK [25], et deux capteurs ultrasoniques Maxbotix EZ-0 [26].

La carte Arduino Nano est connectée à un télémètre laser Garmin LidarLite [27] et à deux capteurs laser temps-de-vol ST Microelectronics VL53L0X [28].

Les deux cartes échantillonnent périodiquement leurs capteurs et envoient leurs données au Raspberry Pi 3 via un port série. Ce dernier les pré-traite puis les envoie par Bluetooth au smartphone, un Nokia 6 sous Android 8.0.0 (Fig. 3 & 4).

#### IV. EXPERIMENTATIONS AVEC LE 2SEES

Avec le 2SEES, nous avons effectué trois jeux d'expériences, visant trois objectifs :

1. Un premier jeu, pour obtenir des données de navigation à l'estime en condition réelle afin d'améliorer notre méthode de correction des trajectoires;
2. Un second jeu pour obtenir des données de capteurs de distance afin de développer un algorithme de

détection d'obstacles qui soit robuste au contexte;

3. Un troisième jeu pour obtenir des informations sur la pertinence de notre algorithme de détection d'obstacles.

##### A. Localisation

La carte uSu-Edu collecte les données de l'encodeur de roue, l'accélération et la vitesse de rotation des capteurs inertiels et les envoie au Raspberry Pi 3 par transmission série, à une fréquence d'environ 50 Hz. Le Raspberry Pi 3 commence par effectuer une courte calibration pour corriger le biais statique du gyromètre, puis calcule en temps-réel les déplacements élémentaires du LMSC. Dix de ces déplacements sont combinés ensemble et envoyés au smartphone via une connexion Bluetooth RFCOMM. Les déplacements sont pré-fusionnés afin de réduire le coût des communications et de diminuer la quantité de données à traiter par le smartphone; une fréquence de mise à jour de la trajectoire de 5 Hz est suffisante. Une trame de déplacement contient le changement de cap et la distance parcourue depuis la trame précédente.

Au démarrage, l'application smartphone télécharge la carte depuis un serveur distant et l'affiche sur l'écran (cette interface n'est pas encore adaptée aux PMV). L'utilisateur peut ensuite se connecter en Bluetooth au Raspberry Pi 3. Une fois la connexion établie, le smartphone reçoit les trames des déplacements. Puisque ces déplacements sont exclusivement calculés à partir des données de l'encodeur de roue et des capteurs inertiels, l'estimation de position qui en est extraite va progressivement dériver.

Pour éviter cette dérive, nous avons implémenté une méthode de correction de la trajectoire. Plutôt que de n'utiliser que des données capteurs pour calculer la trajectoire, nous nous servons de la carte locale pour la corriger. Nous avons commencé par employer un filtrage particulière avec les données des capteurs de distance pour résoudre le problème, mais l'implémentation de cet algorithme n'était pas assez rapide pour s'exécuter en temps-réel sur le smartphone. L'algorithme actuel est un filtre particulière simplifié, dans lequel les particules sont des trajectoires légèrement différentes, générées par ajout de biais angulaires constants déterministes aux déplacements (Fig. 5). Cet algorithme fonctionne sous l'hypothèse simplificatrice que l'unique cause de la dérive dans la navigation à l'estime provient du gyromètre, et que cette erreur est un biais constant par morceaux (dans le temps).

Pendant cette expérimentation, les sujets ont effectué une trajectoire en boucle traversant plusieurs couloirs dans les bâtiments du LIMOS. La distance totale parcourue est de 150 +/- 5 mètres. L'algorithme fonctionnait avec 50 trajectoires (particules), et une correction de 0,001 degré par pas. Les trajectoires résultantes sont visibles sur la Fig. 6.

Cette méthode de correction n'est pas réaliste pour les utilisateurs finaux ni pour expérimenter dans d'autres conditions plus réalistes, mais est utile dans notre contexte. Premièrement, elle nous permet de tester des fonctionnalités plus avancées reposant sur une localisation correcte, en

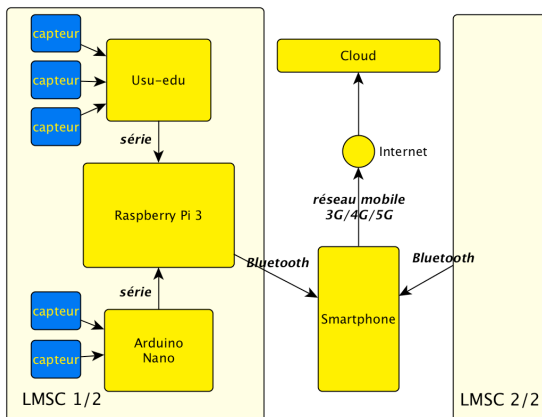


Figure 4 : Architecture du 2SEES

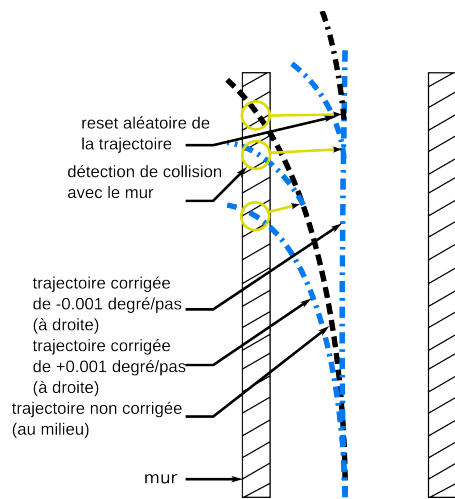


Figure 5 : Principe de la méthode de correction

particulier, le guidage. Deuxièmement, elle consomme peu de ressources calculatoires.

Cette méthode de correction n'est qu'un début : en effet, elle n'atteint pas la précision requise pour la localisation et le guidage des personnes malvoyantes (un pas, soit environ 30 cm). Des tests supplémentaires doivent être effectués pour évaluer l'impact de la forme de la trajectoire réelle sur la précision de l'estimation. La configuration intérieure des bâtiments a également une influence sur la qualité des résultats puisque la détection des trajectoires incorrectes ne s'effectue qu'au moment de leur collision avec un mur : l'algorithme ne pourrait pas corriger la dérive de la navigation à l'estime dans un environnement comportant peu de cloisons.

#### B. Test des capteurs de distance

Dans un second jeu de tests, nous avons mesuré l'influence de la surface et de la matière des objets sur la détection par trois types de capteurs embarqués dans le 2SEES : capteur infrarouge GP2Y0A02YK, capteur ultrasonique EZ-0, et télémètre laser Lidarlite v3. Les six surfaces étaient les suivantes :

- Carton fort recouvert de papier blanc (désigné par la lettre *W*);
- Carton fort recouvert de papier noir (*B*);

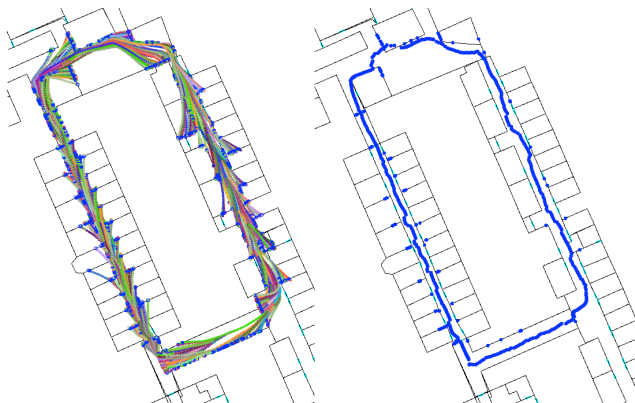


Figure 6 : Exemple de trajectoire (à gauche : toutes les particules, à droite : trajectoire moyenne)

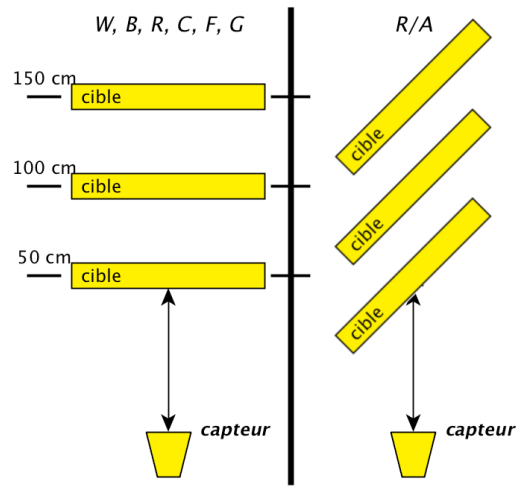


Figure 7 : Montage d'essai des capteurs de distance

- Carton fort recouvert d'un film plastique réfléchissant (*R*);
- Carton fort recouvert d'un film plastique réfléchissant, faisant avec les faisceaux des capteurs un angle de 45 degrés environ (*R/A*);
- Carton fort recouvert de tissu de laine d'une épaisseur de 1 mm environ (*C*);
- Mousse polyéthylène épaisse rigide (*F*);
- Plaque en verre transparent de 3 mm (*G*).

Toutes ces surfaces étaient placées perpendiculairement aux capteurs. Une configuration supplémentaire a été testée où le film plastique réfléchissant était orienté d'un angle de 45 degrés environ avec les faisceaux des capteurs (*R/A*). Les

TABLEAU I. SENSIBILITÉ DES CAPTEURS AUX SURFACES

| IR            | Niveau capteur moyen (écart-type) (mV) |              |              |              |              |              |              |
|---------------|----------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|               | <i>W</i>                               | <i>B</i>     | <i>R</i>     | <i>R/A</i>   | <i>C</i>     | <i>F</i>     | <i>G</i>     |
| 50 cm         | 1095<br>(15)                           | 1096<br>(14) | 426<br>(163) | 1327<br>(19) | 1126<br>(11) | 1052<br>(15) | 1469<br>(13) |
| 100 cm        | 558<br>(10)                            | 569<br>(16)  | 615<br>(20)  | 19<br>(26)   | 563<br>(18)  | 565<br>(17)  | 814<br>(14)  |
| 150 cm        | 359<br>(18)                            | 289<br>(39)  | 493<br>(86)  | 18<br>(8)    | 363<br>(19)  | 376<br>(19)  | 410<br>(23)  |
| US            | Niveau capteur moyen (écart-type) (mV) |              |              |              |              |              |              |
|               | <i>W</i>                               | <i>B</i>     | <i>R</i>     | <i>R/A</i>   | <i>C</i>     | <i>F</i>     | <i>G</i>     |
| 50 cm         | 481<br>(7)                             | 481<br>(7)   | 479<br>(7)   | 475<br>(7)   | 479<br>(7)   | 472<br>(7)   | 481<br>(7)   |
| 100 cm        | 635<br>(7)                             | 628<br>(7)   | 627<br>(6)   | 651<br>(10)  | 635<br>(6)   | 627<br>(6)   | 637<br>(8)   |
| 150 cm        | 785<br>(7)                             | 783<br>(8)   | 785<br>(8)   | 895<br>(61)  | 785<br>(8)   | 784<br>(10)  | 787<br>(7)   |
| Lidarli<br>te | Niveau capteur moyen (écart-type) (cm) |              |              |              |              |              |              |
|               | <i>W</i>                               | <i>B</i>     | <i>R</i>     | <i>R/A</i>   | <i>C</i>     | <i>F</i>     | <i>G</i>     |
| 50 cm         | 60<br>(1)                              | 63<br>(2)    | 57<br>(1)    | 63<br>(5)    | 62<br>(1)    | 64<br>(1)    | 4<br>(2)     |
| 100 cm        | 111<br>(0)                             | 123<br>(3)   | 111<br>(1)   | 112<br>(0)   | 106<br>(1)   | 108<br>(1)   | 207<br>(1)   |
| 150 cm        | 164<br>(1)                             | 168<br>(2)   | 167<br>(8)   | 165<br>(1)   | 163<br>(1)   | 168<br>(1)   | 213<br>(1)   |

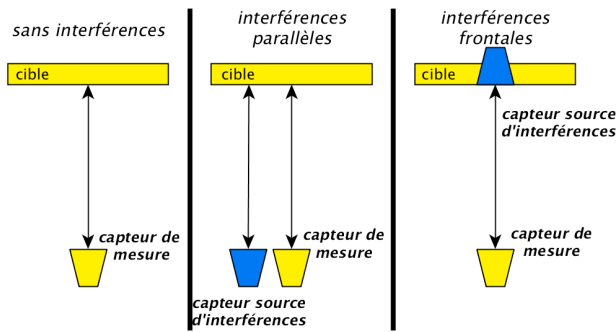


Figure 8 : Montage d'essai interférences

TABLEAU III. SENSIBILITÉ DES CAPTEURS ULTRASONIQUES AUX INTERFÉRENCES

| US     | Niveau capteur moyen (écart-type) (mV) |                               |                              |
|--------|----------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|        | <i>Pas d'interférence</i>              | <i>Interférence parallèle</i> | <i>Interférence frontale</i> |
| 50 cm  | 491 (6)                                | 486 (13)                      | 487 (15)                     |
| 100 cm | 647 (6)                                | 620 (54)                      | 632 (48)                     |
| 150 cm | 795 (6)                                | 736 (103)                     | 747 (96)                     |

mesures ont été faites à 50 cm, 100 cm, et 150 cm  $\pm$  5 cm (Fig. 7).

Les moyennes et écarts-types des mesures ont été calculés sur 1000 échantillons collectés séquentiellement à 50 Hz pour chaque combinaison des trois paramètres : capteur, matière cible, distance (Tableau I). De plus, afin de mesurer l'effet des interférences des autres capteurs, les mesures d'un capteur ultrasonique seul et en présence d'un autre capteur ultrasonique ont été effectuées (Fig. 8, Tableau II).

Ces résultats ont montré que chaque type de capteur a ses propres faiblesses, surlignées en jaune dans les tableaux. Le capteur infrarouge en a plusieurs : à 150 cm, une surface noire augmente sensiblement l'écart-type des mesures ; le verre et les deux configurations avec des surfaces réfléchissantes augmentent aussi l'écart-type et, ce qui est plus grave, génèrent un biais de grande ampleur. Le capteur ultrasonique est affecté par l'orientation de la cible et les interférences d'autres capteurs. Le Lidarlite fournit des mesures précises dans tous les cas sauf avec la cible en verre.

Pour être robuste le système doit donc prendre en compte la variabilité de la qualité des mesures des capteurs en fonction du contexte. La sensibilité au matériau de surface de l'objet cible n'est qu'un exemple ; ces tests ne sont pas exhaustifs et visaient à montrer qu'un seul type de capteur n'est pas apte à fonctionner dans toutes les situations. Il y a trois problématiques distinctes qui doivent être résolues pour effectuer une détection robuste au contexte en temps-réel :

1. Connaître l'influence des contextes sur les mesures des capteurs ;
2. Savoir identifier le contexte actuel;
3. Savoir comment améliorer les algorithmes en prenant en compte le contexte.

L'expérimentation précédente portait sur le premier point. Notre travail sur la troisième problématique est présenté dans la section suivante.

### C. Détection d'obstacles

Un algorithme simple de détection d'obstacles a été développé en utilisant les données collectées dans les tests de sensibilité au contexte présentés plus ci-dessus. Le principe de l'algorithme est d'affecter un poids entre 0 et 1 aux estimations des capteurs. Ce poids représente la confiance que le système accorde à l'estimation. Ces confiances forment un paramètre de l'algorithme ; dans le futur, elles pourront être calculées automatiquement à partir des données capteurs et d'informations sur le contexte mesurées (la seconde problématique), mais, pour l'instant, ces confiances sont fixées manuellement, dérivées des mesures de sensibilité des capteurs aux différents matériaux. L'algorithme est spécifié à partir de deux cas extrêmes :

- Quand il n'y a pas d'information sur le contexte, tous les capteurs sont également dignes de confiance (dans notre modèle) ;
- Quand le contexte rend un seul type de capteur pertinent, le système ne doit utiliser que ce type de capteur.

Dans la première situation, n'importe quel capteur détectant un obstacle devrait déclencher une détection du système. Les capteurs ne fonctionnent pas toujours et nous préférons les faux positifs aux accidents. Nous avons choisi d'implémenter cet algorithme naïf de manière binaire : le programme prend en entrée les estimations individuelles binaires des capteurs et les confiances binaires, et donne en sortie son estimation de la présence d'un obstacle. Cette estimation est calculée en vérifiant si le produit scalaire des deux vecteurs en entrée est supérieur à 1.

Cet algorithme a été évalué sur trois des configurations : papier blanc (W), surface réfléchissante orientée (R/A), et verre (G). Les taux de positifs corrects (PC) et de négatifs corrects (NC) ont été comparés. Le Tableau III montre les différences

TABLEAU II. EVALUATION DU TAUX DE DÉTECTION SELON LE CAPTEUR

|               |    | <i>W</i> | <i>R/A</i> | <i>G</i> |
|---------------|----|----------|------------|----------|
| IR, US, Laser | PC | 100.0    | 96.8       | 99.4     |
|               | NC | 99.9     | 100.0      | 99.9     |
| IR, US        | PC | 100.0    | 96.5       | 99.4     |
|               | NC | 99.9     | 100.0      | 99.9     |
| IR, Laser     | PC | 100.0    | 3.1        | 0.0      |
|               | NC | 99.9     | 100.0      | 99.9     |
| US, Laser     | PC | 100.0    | 96.8       | 99.4     |
|               | NC | 100.0    | 100.0      | 100.0    |
| IR            | PC | 99.8     | 0.0        | 0.0      |
|               | NC | 99.9     | 100        | 100      |
| US            | PC | 100.0    | 96.5       | 99.4     |
|               | NC | 100.0    | 100.0      | 100.0    |
| Laser         | PC | 97.0     | 3.1        | 0.0      |
|               | NC | 100.0    | 100.0      | 100.0    |

entre les résultats qui sont obtenus dans deux situations extrêmes : sans information sur le contexte (toutes les confiances à 1, tous les capteurs utilisés), et dans les situations où le contexte est entièrement déterminé (un seul capteur actif).

Cet exemple met en lumière l'importance de la connaissance du contexte. Une manière de voir cela est la suivante : en l'absence de capteur adapté à certaines situations, (ex : surface transparente), il est inutile d'utiliser d'autres capteurs. En revanche, si le capteur adapté est présent, on peut éteindre les autres et économiser de l'énergie sans perdre en précision. Par exemple, éteindre le télémètre laser qui consomme 105 mA et le capteur infrarouge qui consomme 33 mA représente un gain appréciable.

Cette simulation montre que la détermination du contexte est une partie primordiale du système. Afin d'y parvenir, nous pouvons utiliser les capteurs embarqués dans le LMSC : capteur de luminosité, de température, d'humidité, caméra du smartphone. Nous pourrions aussi enrichir la carte avec des informations difficiles à déterminer à partir des seules données capteurs, comme la texture des murs, du sol, ou la couleur des portes. Grâce à ces données, notre algorithme serait capable de fournir des estimations plus robustes en temps réel, sans utiliser la totalité des capteurs en permanence, et ainsi minimiser la consommation d'énergie du système pour améliorer sa durée de fonctionnement.

## V. CONCLUSION

Le 2SEES est un nouveau prototype de dispositif électronique d'assistance aux personnes malvoyantes ou aveugles. Il étend le précédent concept du SEES en prenant en compte l'importance et la robustesse du système. Nous avons présenté le prototype et trois expérimentations réalisées avec celui-ci. Dans la première, la capacité du prototype à calculer et afficher des trajectoires en temps réel a été démontrée. Dans la seconde, nous avons montré l'importance d'embarquer des capteurs basés sur des technologies différentes pour améliorer la robustesse du système. Dans la troisième expérimentation, nous avons présenté un algorithme simple qui permet d'utiliser les informations sur le contexte pour choisir quel(s) capteur(s) utiliser. Selon le contexte, les capteurs inadaptés peuvent être éteints pour économiser de l'énergie sans compromettre la validité et la robustesse de la détection d'obstacles. Ce travail fournit une base pour le développement d'un dispositif robuste d'assistance à la mobilité. Ce prototype va également nous permettre de faire des expérimentations avec des personnes malvoyantes.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par le Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et par la Région Auvergne Rhône-Alpes.

## REFERENCES

- [1] World Health Organization, "Visual Impairment and Blindness". <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>, 2017.
- [2] C. Thinus-Blanc, F. Gaunet, "Representation of space in blind persons: Vision as a spatial sense?", *Psychology Bulletin*, 121:20–42. doi: 10.1037/0033-2909.121.1.20, 1997.
- [3] R. Manduchi and S. Kurniawan "Mobility-related accidents experienced by people with visual impairment", *AER Journal: Research and Practice in Visual Impairment and Blindness* 4,2:44-54, 2011.
- [4] M. Yuro, K. M. Hou, E. Pissaloux, H. L. Shi, K. Ramli, D. Sudiana "SEES: concept and design of a smart environment explorer stick", *2013 6th international conference on Human System Interaction (HSI 2013)*, pp 70–77, 2013.
- [5] K.E. Wirth and D.B. Rein, "The economic costs and benefits of dog guides for the blind," *Ophthalmic Epidemiol.* Vol. 15, pp. 92-8, 2008.
- [6] L. Russel, "Travel path sounder", *Proc. of the Rotterdam Mobility research conference*, American Foundation for the Blind, New York, 1965.
- [7] L. Kay, "An ultrasonic sensing probe as a mobility aid for the blind", *Ultrasonics*, Vol. 2, Issue 2, pp 53-59, 1964.
- [8] J. M. Benjamin, N.A. and A. F. Schepis "A Laser Cane for the blind", *Proc. of the San Diego Biomedical Symposium*, 1973.
- [9] R. Farcy, R. Leroux, A. Jucha, R. Damaschini, C. Grégoire, A. Zogaghi, "Electronic travel aids and electronic orientation aids for blind people: technical, rehabilitation and everyday life points of view", *Conference & Workshop on assistive technologies for people with vision & hearing impairments*, Kufstein, Austria, 17-21 July 2006.
- [10] X. Zheng, H. Yang, W. Tang, S. Pu, L. Lingxiang, H. Zheng, B. Liao, J. Wang, "Indoor Pedestrian Navigation with Shoe-Mounted Inertial Sensors", *Multimedia and Ubiquitous Engineering, Springer Berlin Heidelberg*, 2014.
- [11] V. Filipe, F. Fernandes, H. Fernandes, A. Sousa, H. Paredes, J. Barroso, "Blind navigation support system based on Microsoft Kinect", *Procedia Comput Sci* 14:94-101, 2012.
- [12] R. Tapu, B. Mocanu, A. Bursuc, T. Zaharia, "A smartphone-based obstacle detection and classification system for assisting visually impaired people", *IEEE International conference on computer vision workshop*, pp 444–451, 2013.
- [13] I. Ulrich, J. Borenstein, "The GuideCane – applying mobile robot technologies to assist the visually impaired", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 31:131–136, 2001.
- [14] M. Yuro, "Development of new algorithm for improving accuracy of pole detection to the supporting system of mobility aid for visually impaired person", PhD dissertation, Universitas Indonesia and Université Clermont-Auvergne, 2017.
- [15] X.M. Lin, J. Connier, P. Vaslin, C.C. Guo, T.Y. Zang, J.J. Li, C. de Vaulx, K.M. Hou, "Indoor navigation with the Smart Environment Explorer Stick (SEES) ", *New Information Communication Sciences and Technology Workshop (NICST 2015)*, IMS Bordeaux, France, 2015.
- [16] J. Connier, "Indoor and outdoor location of visually impaired people (VIP) using data fusion of sensors embedded in the smart environment explorer stick (SEES)", Master dissertation, Université Blaise Pascal, 2015.
- [17] H. Shi, K.M. Hou, X. Diao, X. Liu, J.J. Li, C. de Vaulx, "A wireless multimedia sensor network platform for environmental event detection dedicated to precision agriculture", *New and Smart Information Communication Science and Technology to Support Sustainable Development: Workshop France-Chine (NICST 2013)*, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 2013.
- [18] Ams AG, "AS5040 10 bit 360° Programmable Magnetic Rotary Encoder", datasheet, 2015.
- [19] Arduino, "Getting Started with the Arduino Nano", 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano>.
- [20] Bosch, "BMP180 Digital pressure sensor", datasheet, 2015.
- [21] ST, "LSM330DLC iNEMO inertial module: 3D accelerometer and 3D gyroscope", datasheet, 2012.
- [22] ST, "LSM303DLHC Ultra-compact high-performance eCompass module: 3D accelerometer and 3D magnetometer", datasheet, 2013.
- [23] Vishay, "TEPT4400 Ambient Light Sensor", datasheet, 2014.
- [24] NXP, "LM75B Digital temperature sensor and thermal watchdog", datasheet, 2015.

- [25] Sharp, “GP2Y0A02YK Long Distance Measuring Sensor”, datasheet, 2015.
- [26] MaxBotix, “LV-MaxSonar®-EZ™ Series High Performance Sonar Range Finder”, datasheet, 2015.
- [27] Garmin, “Lidar Lite v3 Operation Manual and Technical Specifications”, datasheet, 2016.
- [28] ST, “VL53L0X World smallest Time-of-Flight ranging and gesture detection sensor”, datasheet, 2016.