



HAL
open science

Contribution aux aides à l'orientation des déficients visuels par GPS, magnétomètre, baromètre et centrale inertielle

Jesus Victor Zegarra Flores

► **To cite this version:**

Jesus Victor Zegarra Flores. Contribution aux aides à l'orientation des déficients visuels par GPS, magnétomètre, baromètre et centrale inertielle. Autre [cond-mat.other]. Université Paris Sud - Paris XI, 2013. Français. NNT : 2013PA112292 . tel-00919778

HAL Id: tel-00919778

<https://theses.hal.science/tel-00919778>

Submitted on 17 Dec 2013

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.

UNIVERSITE PARIS SUD XI
Ecole Doctorale « Ondes et Matière »
Laboratoire Aimé Cotton, UPR 3321



Faculté des Sciences d'Orsay
Manuscrit de Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR en PHYSIQUE

Contribution aux aides à l'orientation des déficients visuels par GPS, magnétomètre, baromètre et centrale inertielle

par

Jesus Victor Zegarra Flores

Date de soutenance : 2 décembre 2013 devant le jury composé de :

Rapporteurs :

M. Charles LENAY : Professeur Université de Technologie de Compiègne

M. Gilles VIEILLE-MARCHISET : Professeur Université de Starsbourg

Examineurs :

Mme. Sylvie RETAILLEAU : Professeure Université Paris XI, Institut d'électronique
Fondamentale

Mme. Laurence RASSENEUR : Maitre de Conférence Université de Strasbourg

M. Jean Pierre GALAUP : Directeur de recherches, Université Paris XI, Laboratoire Aimé
Cotton

Directeur de thèse :

M. René FARCY : Professeur Université Paris XI, Laboratoire Aimé Cotton

REMERCIEMENTS :

Je voudrais remercier d'abord mes parents, Mme. Alicia Flores et M. Fredy Zegarra, pour le soutien émotionnel qu'ils m'ont apporté pendant tout ce temps que j'ai passé à l'extérieur de mon pays. Tous les efforts que j'ai réalisés pour l'accomplissement de mon travail, c'est grâce à aux conseils et aux principes qu'ils m'ont enseigné.

A mon directeur de thèse, M. René Farcy, pour son temps, sa patience et sa disponibilité pour m'avoir aidé dans les meilleures conditions tout au long de ce travail de thèse. Chaque discussions ont été très importantes pour la réussite de ce travail.

Au directeur de l'unité de recherche du laboratoire Aimé Cotton, M Pierre Pillet, pour m'avoir accueilli dans le laboratoire et m'avoir permis de mener bien mon travail de thèse.

A une personne spéciale dans ma vie, parce que son soutien émotionnel, sa patience, sa compréhension et son amour ont été les sources principales de ma motivation.

A mes collègues M. Roger Leroux, Dan Marescaux, Michel Lecas, Christian Coudeville, Joselin Villanueva, Julien Molic et Quoc-khanh Tran, ainsi que mes amis, Aziz Zoghghi, Arnaud Recher, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables pendant et en dehors des heures de travail. A leurs cotés, j'ai appris plusieurs choses qui m'ont fait changer de regard sur la vie en général et m'adapter aussi à une nouvelle culture.

A M. Marcel et Mme. Françoise Lahmani, la première famille française à m'accueillir avec qui j'ai passé des bons moments et des heures de discussion très intéressantes et motivantes.

A mon ami, M. Rafael Coello, pour ses conseils et son amitié inconditionnel.

Enfin, il y plusieurs personnes que j'aimerais remercier dans l'unité de recherche (Laboratoire Aimé Cotton) à laquelle j'ai appartenu pendant tout ce temps.

TABLE DES MATIERES

Table des Matières

Introduction générale.....	1
1 Etat de l'art.....	3
1.1 La Déficience Visuelle.....	3
1.2 La locomotion.....	4
1.3 Le GPS.....	6
1.4 Dispositifs GPS piéton pour les déficients visuels.....	10
1.4.1 GPS pour non-voyant Trekkeur.....	10
1.4.2 Kapten.....	11
1.4.3 Applications sur iPhone.....	12
1.4.4 Limitations de ces dispositifs.....	13
1.4.4.1 Limitations de l'antenne GPS.....	13
1.4.4.2 Limitations dues au mode de transmission de l'information.....	15
1.4.5 Travaux de l'équipe avant le début de thèse.....	16
1.4.5.1 Aspects matériels du dispositif.....	16
1.4.5.2 Formations au dispositif et utilisation.....	20
1.5 Travaux sur le « <i>Dead-Reckoning</i> » dans le domaine civil et militaire.....	22
1.6 Objectifs de la thèse.....	28
2 Evaluation des capteurs GPS inertiels, magnétométriques et barométriques dans le contexte de la déambulation des déficients visuels.....	29
2.1 Positionnement des capteurs.....	29
2.1.1 Importance de l'axe corporel dans la navigation par cap et distance.....	29
2.1.2 Ergonomie et positionnement des capteurs.....	30
2.2 Evaluation des antennes GPS de type SIRF-III.....	32
2.2.1 Test sur trajet urbain.....	32
2.2.2 Situation d'hésitation.....	35
2.2.3 Temps d'accrochage du GPS.....	37
2.3 Accéléromètres.....	38
2.3.1 Le calibrage de l'accéléromètre.....	38
2.3.2 Le signal accélérométrique.....	40
2.3.2.1 La différenciation de l'état de marche de celui d'arrêt.....	40
2.3.2.2 La mesure d'un déplacement par accéléromètre.....	40
2.3.2.3 La fonction inclinométrique.....	41
2.4 Le gyroscope.....	42
2.4.1 Calibration du gyroscope 3 axes.....	42
2.4.2 Signaux du gyroscope fixé à la ceinture en situation de marche.....	43
2.4.3 Détermination des angles de tangage et de roulis au cours de la marche.....	45
2.5 Evaluation de capteurs magnétiques.....	46

TABLE DES MATIERES

2.5.1	Le champ magnétique terrestre.....	46
2.5.2	Calibration des capteurs magnétiques.....	48
2.5.3	Fixation du magnétomètre à la ceinture.....	51
2.5.3.1	Variation de la mesure du champ magnétique par l'angle de tangage.....	53
2.5.3.2	Variation de la mesure du champ magnétique par l'angle de roulis.....	54
2.5.3.3	Simulation dans le cas de tangage et de roulis purs et vérification par rapport aux relevés.....	56
2.5.3.3.1	Tangage.....	57
2.5.3.3.2	Roulis.....	59
2.5.4	Perturbation magnétiques dans des situations réelles.....	61
2.5.4.1	Exemples des perturbations magnétiques en campagne ou forêts (exemple grille métallique)	61
2.5.4.2	Exemples des perturbations magnétiques en milieu urbain.....	64
2.5.4.3	Exemples de perturbations en intérieurs.....	66
2.5.5	Comportement du champ magnétique.....	68
2.6	Capteur barométrique.....	70
2.7	Capteur infrarouges.....	71
2.8	Conclusions.....	74
3	Mode de fonctionnement au milieu urbain.....	76
3.1	Réduction du temps de latence à l'allumage.....	76
3.2	Obtention du cap en situation de marche.....	79
3.3	Développement de la centrale inertielle.....	83
3.4	Interfaces.....	85
3.4.1	Tentative des Interfaces.....	85
3.4.2	Fonctionnement de l'interface de Navigation développée.....	87
3.4.3	Enregistrement des coordonnées du point de destination dans le Smartphone.....	87
3.5	Tests en milieu urbain.....	88
3.5.1	Amélioration du cap en cas d'hésitation.....	89
3.5.2	Tests avec des malvoyants dans le 11 ^{ème} arrondissement de Paris.....	90
3.5.3	Test avec un non-voyant dans le 14 ^{ème} arrondissement.....	92
3.6	Conclusions.....	95
4	Mode de fonctionnement dans le contexte de la randonnée.....	97
4.1	Numérisation préliminaire du trajet.....	98
4.2	Mode Guidage.....	101
4.3	Enrichissement de l'information.....	102
4.3.1	Premier cas : Deux routes parallèles.....	102
4.3.2	Deuxième cas : Information « <i>chemin à</i> »	102
4.3.3	Troisième cas : Trois routes parallèles.....	103
4.4	Type d'informations complémentaires.....	104
4.5	Gestion des capteurs.....	104

TABLE DES MATIERES

4.6 Test en situation de Grande Randonnée.....	105
4.6.1 Test Randonnée sur le parcours de Saint Jacques de Compostelle (GR 65)	105
4.6.1.1 La préparation avant le départ.....	108
4.6.1.2 La réalisation de la randonnée.....	110
4.6.1.3 Résultats de l'expérimentation.....	111
4.6.1.4 La presse sur le trajet du Chemin de Saint Jacques de Compostelle.....	112
4.6.2 Test lors de la semaine du handicap à Strasbourg du 10 à 17 avril 2012.....	114
4.6.2.1 Menu Randonnée.....	115
4.6.2.2 Test de l'appareil.....	115
4.7 Conclusions.....	116
5 Mode de fonctionnement en intérieurs.....	118
5.1 Mesure des distances.....	120
5.1.1 Analyse de la marche d'une personne.....	120
5.1.2 Compteur de pas.....	123
5.2 Relevé de trajectoire avec le cap de la boussole plus le comptage de pas.....	131
5.3 Relevé de trajectoire avec le cap du gyroscope plus le comptage de pas.....	131
5.4 Matériels.....	132
5.5 Gestion des capteurs.....	133
5.5.1 Identification des tournants.....	134
5.5.2 Identification des escaliers.....	135
5.5.3 Identification d'un déplacement en ligne droite.....	138
5.5.4 Transition extérieure-intérieur.....	139
5.6 Mode de guidage.....	139
5.7 Interface utilisateur.....	141
5.8 Préparation du fichier de Navigation en intérieurs.....	141
5.9 Tests dans les stations du métro.....	143
5.9.1 Station Denfert-Rochereau.....	143
5.9.2 Station Raspail.....	144
5.9.3 Station Place d'Italie.....	146
5.9.4 Observations lors des tests dans le métro.....	147
5.10 Test dans le centre commercial.....	148
5.10.1 Guidage depuis Quick vers les toilettes.....	150
5.10.2 Guidage depuis McDonald vers Quick.....	151
5.10.3 Guidage depuis les toilettes vers McDonald.....	152
5.10.4 Observations lors des tests dans le centre commercial.....	153
Conclusions et perspectives.....	154
Références	159
Liste des Figures.....	163
Liste des Tableaux.....	170

TABLE DES MATIERES

Annexes.....	171
---------------------	------------

Introduction générale

Ce travail de thèse est effectué au laboratoire Aimé Cotton dans le groupe « *Instrumentation Biomédicale et du Handicap* ». Il concerne l'aide à l'orientation des déficients visuels par association du signal GPS avec des capteurs complémentaires.

Les dispositifs GPS destinés aux non-voyants sont apparus depuis le début des années 2000 en reprenant le « *moteur de navigation* » des GPS automobiles avec une interface spécifique, destinée aux déficients visuels. Les limitations de cette approche ont incité le groupe (avec la contribution de Mr. Alain Jucha, ingénieur de recherche du laboratoire Aimé Cotton (LAC)) à réaliser entre 2004 et 2008, un dispositif électronique spécifique autonome (comprenant l'antenne GPS et l'interface utilisateur) s'inspirant des principes de navigation des randonneurs pédestres adaptés aux déficients visuels. La production d'une vingtaine d'exemplaires, de ce dispositif, a permis d'obtenir en ville, pendant les essais, des résultats beaucoup plus robustes que les approches inspirées du GPS automobile. Durant la période 2007-2008, les récepteurs GPS ont évolué vers une plus grande sensibilité nécessaire au marché automobile pour capter le signal malgré les pare-brises athermiques. Cela a entraîné des effets secondaires défavorisant l'utilisation piétonne. En effet, le signal GPS n'était plus apte à fournir un signal fiable de direction instantanée de la personne à faible vitesse. En conséquence, une boussole électronique a été ajoutée au dispositif développé ainsi qu'un module électronique pour effectuer la liaison Bluetooth avec l'antenne GPS.

L'objectif de ce travail de thèse, débuté en 2009, est d'exploiter l'expérience acquise par l'observation des utilisateurs du dispositif précédent en navigation urbaine pour adapter les fonctionnalités au cas de la grande randonnée et des espaces couverts (métros, centres commerciaux) et de permettre une meilleure ergonomie d'utilisation.

Sur le plan instrumental, il est fait appel à des capteurs complémentaires : accéléromètres, magnétomètres, gyroscopes, baromètres et télémètres optiques. Sur le plan du travail, on a opté dès le début du travail pour un déport de l'interface utilisateur sur le téléphone portable, avec un récepteur GPS et une centrale inertielle (contenant accéléromètres, gyromètres et magnétomètres) communiquant par liaison Bluetooth avec le téléphone.

Durant les années suivantes, les téléphones portables ont intégré progressivement l'ensemble de ces capteurs, et chaque fois que cela s'est présenté nous avons exploité les

INTRODUCTION

capteurs des nouveaux téléphones portables « intelligents » (Smartphones). Actuellement, à l'exception des télémètres optiques, tous les capteurs sont contenus dans les téléphones haut de gamme (*Galaxy S2 et S3, iPhone 5*), ce qui permet de réduire le coût des dispositifs.

Le premier chapitre décrit l'état de l'art des déplacements des non-voyants, des dispositifs GPS actuels, des antennes GPS (SIRF-III) et de ses limitations connues ainsi que des travaux d'adaptation du GPS aux non-voyants. Le concept de navigation à l'estime « *Dead Reckoning* » et son utilisation est aussi introduit dans ce chapitre.

Le deuxième chapitre fait état des limitations rencontrées par l'ensemble des capteurs pressentis : antennes GPS, accéléromètres, gyroscopes, magnétomètres, altimètre et télémètres optiques. Nous ne faisons appel qu'à des capteurs grand public bas coût. L'objectif étant d'avoir, à la fin de la thèse, un dispositif fonctionnel diffusable sans barrières financières.

Nous allons ensuite aborder les trois problématiques de navigation nécessitant des approches et compromis différents tant au niveau de l'exploitation des différents capteurs que sur la stratégie de délivrance des informations : le déplacement urbain (chapitre 3), la grande randonnée (chapitre 4) et le déplacement intérieur (chapitre 5).

Nous concluons sur les fonctionnalités que nous intégrons dans la version mise à disposition des déficients visuels ainsi que sur les axes d'amélioration à court terme et à moyen terme.

Chapitre I : Etat de l'art

1.1 La Déficience Visuelle

Il existe cinq catégories de déficience visuelle [1] : Dans la première catégorie se trouvent les malvoyants légers avec une acuité visuelle corrigée binoculaire inférieure à 3/10 et supérieure ou égale 1/10 avec un champ visuel d'au moins 20 degrés. Dans la deuxième catégorie se trouvent les malvoyants moyens. Ils ont une acuité visuelle corrigée binoculaire inférieure à 1/10 et supérieure ou égale à 1/20. Les malvoyants profonds sont dans la troisième catégorie avec une acuité visuelle inférieure à 1/20 et supérieure ou égale à 1/50 ou champ visuel inférieur à 10 degrés mais supérieur à 5 degrés. Les non-voyants se trouvent dans les catégories quatre et cinq. Les déficients visuels avec une acuité visuelle inférieure à 1/50 mais avec une perception lumineuse préservée ou un champ visuel inférieur à 5 degrés se trouvent dans la catégorie quatre. Finalement, dans la catégorie cinq, on trouve la cécité absolue avec absence de perception lumineuse.

Selon les statistiques effectuées en 2000 [2], il y a environ cinquante millions de non-voyants dans le monde et cent trente-cinq millions de malvoyants (les non-voyants étant les catégories 4 et 5 et les malvoyants les catégories 1 à 3).

Les statistiques INSEE de 2008 [2], répertorient en France soixante-cinq mille non-voyants (catégories 4 et 5, taux d'environ 1/1000) et un million deux cent mille malvoyants (taux d'environ 19/1000). Dans ces statistiques, les malvoyants sont divisés en malvoyants profonds (vision résiduelle limitée à la distinction des silhouettes taux pour 3/1000) et malvoyants moyens (incapacité à reconnaître un visage à 4 mètres, incapacité à lire sans loupe spéciale taux de 16/1000 environ).

Une étude du ministère de la Santé a permis d'estimer le nombre de déficients visuels adultes dont l'autonomie est suffisante pour se déplacer sur certains (ou tous les) trajets sans aide humaine [3]. La moitié des déficients visuels, principalement de la catégorie 1 et une partie de la catégorie 2 peuvent se déplacer sur tous les itinéraires avec une gêne plus ou moins importante. Il s'agit de déficients visuels n'ayant pas de canne blanche et une vue suffisante pour gérer, moyennant une attention plus soutenue, les obstacles les plus courants. Cette population est gênée pour lire les plaques des noms de rues et les plans, ce qui limite l'autonomie en lieux inconnus. 15% de la population a une autonomie partielle limitée à quelques trajets et 29% n'ont pas d'autonomie. La part des catégories 3, 4 et 5 est très

CHAPITRE I

importante parmi les 29% sans autonomie. On y trouve souvent des membres de la catégorie 1 et 2 avec une maladie ou un âge élevé.

Si on se restreint à la population aveugle, c'est-à-dire aux catégories 4 et 5, on estime à environ 5% les personnes aptes à se déplacer sans un accompagnant sur un trajet quotidien simple [2, 3]. Les dispositifs pour y arriver en France sont : la canne blanche longue utilisée comme outil de mobilité (et non seulement pour signaler sa cécité) pour environ 3%, la canne blanche optronique (environ 1%, uniquement en France) et le chien guide environ 1%.

1.2 La locomotion

La locomotion est l'ensemble des connaissances et de la pratique qui permettent aux déficients visuels de se rendre d'un lieu à un autre en autonomie et en sécurité en compensant en partie le handicap par d'autres approches [4]. Nous allons détailler la locomotion à la canne blanche car c'est la base sur laquelle repose l'évitement d'obstacles aussi bien par l'utilisation des aides optroniques que par l'utilisation du chien guide. La locomotion à la canne blanche reste également notre référence pour les méthodes de communication entre nos dispositifs d'aide à l'orientation et l'utilisateur. En effet, que l'aide provienne d'un humain indiquant le chemin par explication ou d'un dispositif électronique (GPS). Cela demande de façon évidente les mêmes pré-requis.

La moitié des déficients visuels (catégories 1 à 5 confondues) ont peu ou pas d'autonomie dans les trajets. Pourquoi, si peu de personnes autonomes dans les déplacements ? Parmi les nombreuses et diverses raisons les plus courantes, certaines ne sont pas du recours de la locomotion : l'état général de santé de la personne, l'enfermement de la personne par l'entourage qui la surprotège, un parti pris de la personne de cultiver la dépendance, le refus de rentrer dans un processus de rééducation, les états dépressifs non surmontés, etc. Il est par contre possible d'intervenir lorsqu'il s'agit d'une peur légitime de la personne devant le milieu extérieur ressentie comme agressif. Souvent, les difficultés techniques et les chocs rencontrés font échouer les tentatives de déplacements, et empêchent le déficient visuel de progresser pour améliorer ses performances dans le déplacement autonome [4].

Se déplacer en milieu urbain est une opération complexe non spontanée que l'enfant met plusieurs années à maîtriser. Pour un non-voyant, il s'agit d'une opération bien plus complexe et il ne peut y arriver qu'au prix d'un entraînement poussé [5]. Ceci se fait généralement par le biais d'une rééducation que l'on nomme "instruction en locomotion". Cette rééducation ou enseignement est délivré par des thérapeutes à l'origine psychomotriciens, ergothérapeutes, titulaire d'une License STAPS ou éducateurs spécialisés

CHAPITRE I

qui font une spécialisation d'une année leur permettant de devenir "instructeur de locomotion".

Les principales techniques de locomotion associées à l'utilisation d'une canne blanche longue ont été développées par Richard Hoover aux Etats-Unis entre 1935 et 1950 [6]. Une canne est dite longue lorsque tenue verticalement elle arrive au niveau du sternum de la personne. Ces techniques ont été introduites en France au début des années 1970 au centre de rééducation de Marly le Roi par le Dr Chambet [6, 7].

Il ne s'agit pas seulement d'utiliser la canne longue pour se protéger des dénivelés au sol, mais de mettre en œuvre tous les sens et les stratégies spécifiques afin d'arriver à traverser les carrefours, utiliser les transports en commun, retrouver sa route, etc. Un apprentissage régulier et suivi contribue à ce que ces différents éléments s'associent pour amener peu à peu de l'autonomie dans la vie personnelle et sociale quotidienne. Il s'agit, en effet, non pas de connaître et de retenir quelques itinéraires déterminés, mais d'acquérir les moyens de maîtriser l'environnement et de transposer les connaissances acquises à des situations nouvelles [8].

La vision est certes le moyen le plus rapide et efficace pour appréhender notre environnement. Mais les autres sens nous permettent de compenser ce manque à condition d'être bien utilisés. L'audition permet de percevoir un bruit émis à distance, constituant ainsi un repère lorsque son origine est bien déterminée. Le bruit émis par une voiture qui se déplace informe de l'axe de la route. L'analyse des bruits de la circulation à un carrefour permet au déficient visuel de traverser en sécurité et de savoir quand le feu piéton est vert (par le démarrage des voitures roulant parallèlement à sa direction de traversée) [4].

Le « *sens des masses* » ou écholocation est une perception de nature auditive qui permet de percevoir à courte distance les obstacles de volume important, avant d'être en contact avec eux : murs, camions, etc. C'est un sens inutilisé par les personnes voyantes, mais spontané par les aveugles de naissance. Il peut être développé par la personne qui a perdu la vue. Ce sens permet aux non-voyants qui le maîtrisent de percevoir un grand mur latéral, d'éviter un obstacle de masse importante (sauf s'il est recouvert d'une surface acoustiquement absorbante). Ce sens demande beaucoup d'attention et un milieu calme pour être utilisé efficacement [4].

Une rééducation en locomotion consiste à l'apprentissage de l'aveugle et à la gestion d'un nombre important de situations types, qui pourront être transposées dans la vie quotidienne. On y apprend notamment le trajet par explications qui est le moyen de se rendre seul à un lieu inconnu sans aide électronique : « *prendre la première rue à droite puis la seconde à gauche* », etc.).

CHAPITRE I

Les carrefours simples sont bien codifiés pour les techniques non visuelles de traversées. Des carrefours complexes avec voies de bus, plus de 4 voies et feux décalés peuvent ne pas être traversables en sécurité par un non-voyant sans une aide humaine. Les ronds-points posent souvent problème car il n'est pas possible d'anticiper la trajectoire des voitures. La stratégie est de rentrer dans les rues pour traverser assez loin du rond-point.

Il va de soi qu'utiliser une aide électronique à l'orientation n'a de sens que pour réaliser des trajets inconnus ou peu fréquents, il est indispensable de bien maîtriser tous les aspects de la locomotion et de connaître ses limites afin de maintenir sa sécurité.

Nous allons décrire les propriétés du GPS, composant central d'une aide électronique à l'orientation.

1.3 Le GPS

Le GPS (*Global Positioning System*) est issu d'un programme militaire Américain débuté en 1958 (un an après le lancement du premier satellite). Ce programme visait à obtenir la position d'un mobile terrestre à partir d'émissions radio en provenance d'un satellite [9,10].

Dans les années 1970 le *Department of Defense* des États-Unis met en place ce qui deviendra le système GPS. Dans un premier temps, l'utilisation du GPS a été réservée aux militaires qui envisageaient d'en crypter les émissions. Plus tard, le GPS sera ouvert à une utilisation civile sous la pression du marché [10 ,11].



Figure 1.1 Satellite [13].

Fonctionnement :

Le système GPS comprend au moins 24 satellites artificiels orbitant à environ 20 000 km d'altitude [11,12]. Le principe de fonctionnement est très proche du principe de la triangulation. La vitesse de transmission des signaux émis par les satellites est la vitesse de la lumière. On mesure la distance entre l'utilisateur et un certain nombre de satellites de

CHAPITRE I

positions connues grâce au temps qu'a mis chaque signal à parvenir jusqu'à votre récepteur GPS [12].

Le récepteur GPS est capable d'identifier les satellites reçus à l'aide d'un identifiant propre à chaque satellite. Il charge à l'aide de ce signal, l'heure atomique (temps donné par une horloge atomique), l'éphéméride (les informations sur l'orbite et la position du satellite) et l'almanach (dates des mises à jour et validité des informations). Les GPS actuels utilisent le système de positionnement WGS 84 [12].

Le NMEA (*National Marine Electronics Association*) est une norme de communication entre équipements marins, qui utilise le protocole série pour envoyer les messages d'information par rapport à sa localisation dans le format WGS 84 (*World Geodetic System*, révision 1984). Un système géodésique est un système de référence permettant d'exprimer les positions au voisinage de la Terre. Les coordonnées géodésiques d'un point dans le système géodésique considéré sont : la latitude, la longitude et la hauteur géodésique (mesurée suivant la normale au géoïde) [13].

Pour définir la position de l'utilisateur, il faut avoir reçu les informations d'un minimum de 3 satellites. Avec 4 satellites, on peut avoir l'information sur la hauteur.

Les informations fournies par les dispositifs GPS grand public sont décrites dans la norme NMEA0183 [14]. C'est un protocole composé de trames, dont les principales sont:

GGA : fournit la position GPS (FIX) et la Date.
GLL : fournit le Positionnement Géographique Longitude-Latitude.
GSA : fournit le DOP (incertitude sur la position) et les satellites actifs.
GSV : fournit le nombre de satellites visibles.
VTG : fournit la direction (cap) et la vitesse de déplacement (en nœuds et Km/h).
RMC: pour données minimales exploitables spécifiques.

Présentons quelques unes des informations directement exploitables du guidage :

-*Trame GGA* : \$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.324,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M, , *42

123519 = Acquisition du FIX à 12:35:19 UTC

4807.038,N = Latitude 48°07.038' North

01131.324,E = Longitude 11°31.324' East

1 = Qualification du Fix : (0 = non valide, 1 = Fix GPS, 2 = Fix DGPS en cas d'antenne GPS Différentielle)

08 = Nombre de satellites utilisées pour le calcul

0.9 = DOP (Horizontal dilution of position) Dilution horizontale.

545.4,M = Altitude, en mètres, au dessus du MSL (Mean Sea Level) niveau moyen des Océans.

46.9,M = Correction de la hauteur de la géoïde en Mètres par rapport à l'ellipsoïde WGS84 (MSL).

(Champ vide) = nombre de secondes écoulées depuis la dernière mise à jour DGPS.

CHAPITRE I

(Champ vide) = Identification de la station DGPS.

*42 = Checksum

Dans les autres trames on peut trouver les informations complémentaires suivantes :

-Trame GSA : \$GPGSA,A,3,04,05,,09,12,,,24,,,,,2.5,1.3,2.1*39

A= Sélection Automatique 2D ou 3D du FIX (M=Manuel)

3 = Fix 3D

04,05... = PRNs, Numéros d'identification des satellites utilisés pour le FIX (maximum 12 satellites)

2.5 = PDOP (dilution de précision)

1.3 = Dilution de précision horizontale(HDOP)

2.1 = Dilution de précision verticale (VDOP)

*39 = Checksum

Note : La DOP, dilution de précision est une indication de l'effet de la géométrie des satellites sur la précision du Fix.

-Trame VTG : \$GPVTG,054.7,T,034.4,M,005.5,N,010.2,K (La trame VTG contient les informations de cap et vitesse)

054.7,T = cap réel en Degrés, T (True track made good)

034.4,M = cap vrai magnétique en Degrés (Magnetic track made good)

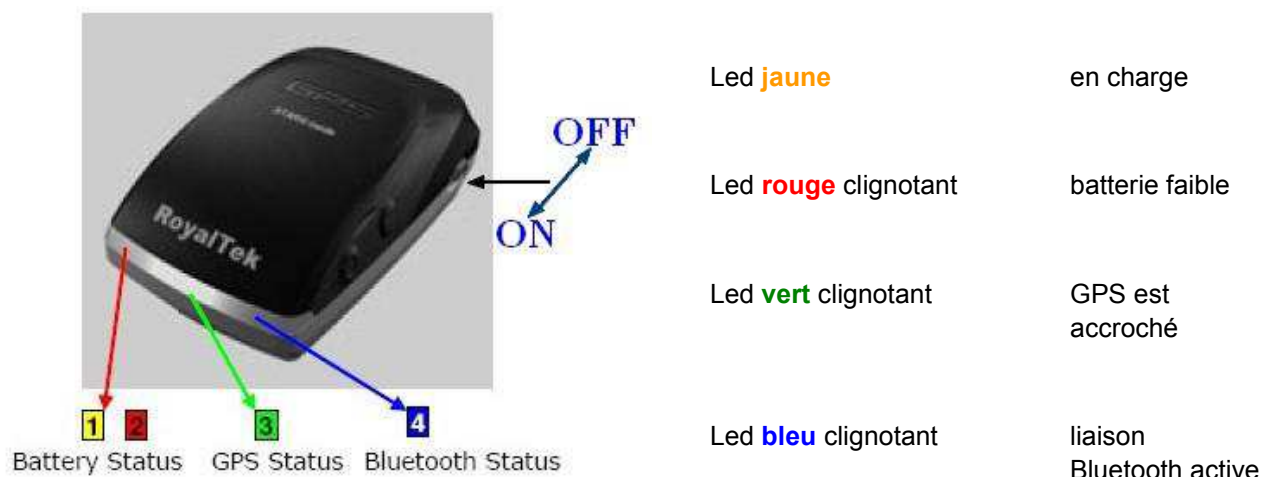
005.5,N = Vitesse du déplacement par rapport au sol en Nœuds (N)

010.2,K = Vitesse du déplacement par rapport au sol en kilomètres/heure (K)

Une première difficulté consiste à bien cerner la validité et le domaine de fiabilité de ces informations. Ces points seront abordés au chapitre II.

Exemples de récepteurs GPS à liaison sans fil Bluetooth:

- RoyalTek RBT-2110 :



Batterie : Li-Ion 3.7V, 600mAh

Figure 1.2 Appareil GPS Bluetooth SIRF-III Royaltek.



Figure 1.3 A gauche : Appareil GPS Bluetooth SIRF-III Holux.
A droite : GPSlim236 et GlobalSat GBT-338.

Le Smartphone Samsung *Galaxy S2* (fonctionnant avec le système d'exploitation Android), sorti en 2011, utilise la puce GPS de technologie SIRF-IV [15]. Une nouvelle puce hybride GPS et GLONASS est utilisée dans les Smartphones qui sont sortis en 2012 et 2013 ; par exemple, les iPhone 5 et 4S du fabricant Apple et dans les *Galaxy S3* et *S4* [16]. Le système GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) est le système de localisation russe.

1.4 Dispositifs GPS piéton pour déficients visuels

Nous nous limitons à présenter quelques modèles parmi les plus diffusés sans chercher à être exhaustif.

1.4.1 GPS pour non voyant Trekkeur

C'est un GPS parlant pour non-voyants développé au Québec. Le Trekkeur se sert d'un assistant personnel (PDA) dans lequel est inséré un dispositif de cartographie géré comme les dispositifs automobiles. L'interface est réalisée par un clavier à touches clippé sur l'écran de l'assistant personnel. Il se divise en trois zones fonctionnelles, notamment la saisie de données, la navigation et les touches de fonction. [17].



Figure 1.4 GPS Trekkeur pour déficients visuels [18].

L'antenne est placée sur l'épaule pour augmenter la sensibilité, et le haut-parleur est placé au niveau du col. L'appareil dispose de la fonction « Où suis-je ? » en délivrant l'adresse correspondante à la latitude et à la longitude de la position de l'utilisateur. Le système Trekkeur peut être utilisé sur un PDA Dell, complétant ainsi les aides existantes telles que les cannes et les chiens, en fournissant l'itinéraire à suivre. Les principales caractéristiques comprennent la détection de l'information en temps réel, la navigation sur les cartes en temps réel, la planification de l'itinéraire et l'information vocale. Tout dans un appareil mesurant 87mm x 134mm x 27mm et pesant 600 grammes [18].

CHAPITRE I

Le Trekkeur Brezze (Figure 1.5) est une nouvelle version simplifiée destinée à enregistrer des trajets ou des points de destinations pour guider l'utilisateur en mode piéton ou en mode voiture. Le non-voyant peut aussi savoir où il est à tout moment. Le GPS indique la ville et la rue où l'utilisateur se trouve [19, 20].



Figure 1.5 GPS Trekkeur Brezze pour déficients visuels [20].

1.4.2 Kaptan

Le GPS Kaptan (Figure 1.6) de la société Kapsys était initialement conçu pour être un GPS vocal à puce GPS SIRF-III ainsi qu'une clé USB, lecteur MP3 et radio FM à commande vocale et sans utilisation d'écran. Il contient également en mémoire un certain nombre de réseaux de transport. Bien qu'il n'ait pas été conçu spécialement pour les non-voyants, le côté absence d'écran et la qualité de la reconnaissance vocale (point fort du dispositif), a fait qu'il a été utilisé par des déficients visuels comme le « kaptan mobility » (conçu pour les non-voyants) [21, 22, 23].



Figure 1.6 Kaptan modèle 2008 [21].

CHAPITRE I

L'émergence des Smartphones a fait que le dispositif n'a pas eu de succès grand public mais existe toujours sous la forme d'une application pour l'iPhone.

1.4.3 Applications sur iPhone

L'iPhone de la société Apple est actuellement le Smartphone le plus utilisé par les non-voyants grâce à sa surcouche d'accessibilité. Aujourd'hui où sont écrites ces lignes, celle-ci est largement supérieure à celle des Smartphones sous le système d'exploitation Android.

Une première application, *Navigon*, est adaptée à la surcouche d'accessibilité de l'iPhone et est de ce fait utilisable par les déficients visuels. Le dispositif de guidage est le même que celui de l'application grand public. La façon de transmettre les informations de navigation est similaire à celle des voitures « *tourner à gauche à 20 mètres* » ou « *tourner à droite à 100 mètres* » [24]. Le déficient visuel peut, grâce à la surcouche d'accessibilité de l'iPhone, entrer les adresses de destination sans la vision de l'écran au moyen du guidage vocal. L'application dispose également des fonctions de base d'énonciation vocale de l'adresse où l'utilisateur se trouve.

Une autre application pour iPhone, également adaptée aux déficients visuels, s'appelle *Ariadne GPS* [25]. Elle donne l'information de direction « *cap* » et de « *distance* », par exemple, « *3 heures, 50 mètres* », « *12 heures, 100 mètres* » pour arriver au point de destination. Cette application peut utiliser la boussole de l'appareil ou le cap du GPS pour donner la direction. Il est tenu à la main devant l'utilisateur (Figure 1.7). L'utilisateur peut aussi enregistrer l'adresse de destination et connaître l'adresse de sa position actuelle.



Figure 1.7 iPhone tenu à la main gauche (*Ariadne GPS*) [25].

1.4.4 Limitations de ces dispositifs

Ces dispositifs, auxquels on peut ajouter le « Braille Note GPS » de la société Humanware et bien d'autres, souffrent des limitations de l'antenne GPS seule et du mode de transmission de l'information provenant de la navigation automobile (*1^{ère} route à droite dans 100m, etc.*) :

1.4.4.1 Limitations de l'antenne GPS (ce point sera repris de manière quantitative au Chapitre II) :

La précision fournie pour un signal GPS est une information de nature probabiliste. Si on dit que la précision est de 10 mètres, cela signifie que « *l'écart circulaire probable* » est de 10m, ou encore que l'erreur entre la position mesurée et la position réelle est inférieure à 10m dans 50% des cas [26]. Suivant les conditions de réception cet écart circulaire probable peut varier entre 5 et 100 mètres. On n'aura jamais la certitude, même dans les meilleures conditions de réception, que l'erreur est inférieure à une valeur donnée.

Si on reste à une position fixe et que l'on moyenne les valeurs reçues on diminue l'erreur circulaire probable.

La reproductibilité d'une position mesurée, même en y restant un certain temps, n'est pas assurée d'un jour sur l'autre. Ce phénomène est bien connu des pêcheurs côtiers comparant leur signal GPS (utile en temps brumeux) par rapport aux alignements sur la côte. Le relevé fait un jour peut être correct à deux ou trois mètres près, un autre jour être erroné de plus de 20m malgré la situation dégagée en mer même si celle-ci est optimale pour la réception du signal GPS.

Ce phénomène fait que le signal GPS n'est jamais utilisé pour faire atterrir un avion sur une piste en temps de brume.

Cette situation pour le grand public est stable depuis une dizaine d'années. Depuis plus de 15 ans, il y a des annonces régulières d'un dispositif européen EGNOS destiné à fournir une meilleure précision et fiabilité aux civils qui n'a toujours pas vu le jour.

Dans les années 2000 à 2008 les antennes utilisées étaient de modèle SIRF-II. Ce type d'antenne était peu sensible mais fournissait une valeur fiable du cap instantané de la personne pour des vitesses de déplacement à partir de 2km/h. L'inconvénient était que dans les rues étroites le signal était vite perdu, et qu'il était impossible de faire fonctionner l'antenne à l'intérieur d'une voiture ayant un pare brise athermique. Celui-ci faisant office d'écran électromagnétique atténuant fortement le signal GPS. A partir de 2008 sont

CHAPITRE I

apparues les antennes de types SIRF-III. Ces antennes sont beaucoup plus sensibles et peuvent fonctionner à l'intérieur d'une voiture ayant un pare brise athermique. Par contre leur forte sensibilité fait qu'elles captent également les signaux émis par les satellites après rebond sur un mur ou sur une masse végétale. En effet, ce signal contenant un rebond est retardé par rapport au signal en provenance direct du satellite et introduit une erreur de position. Dans les situations difficiles, par exemple, une rue étroite contenant de hauts bâtiments, la multiplicité des signaux directs et retardés rendent l'analyse du positionnement moins précis. Les randonneurs enregistrant leur trace GPS ont fait remarquer dans les forums que les traces obtenues par les antennes SIRF-III étaient beaucoup moins « *propres* » que celle des antennes SIRF-II, et qu'elles donnaient l'impression que le randonneur était ivre. Un second effet de ce compromis différent sensibilité/précision est la qualité du cap instantané fourni par le signal GPS (trame VTG). Avec les antennes SIRF-II à plus de 2km/h, la qualité de la vitesse et du cap instantanés fournis par le GPS était généralement correcte, alors qu'avec les antennes SIRF-III pour avoir une qualité équivalente de la vitesse instantanée et du cap, il faut atteindre 15km/h. L'antenne SIRF-III est bien adaptée pour un usage automobile.

On trouve les récepteurs GPS SIRF-III grand public, soit intégrés dans les téléphones portables ou les montres pour coureurs, soit disponibles sous forme de modules séparés équipés d'une communication Bluetooth ou d'un câblage filaire. Nous remarquons que depuis 2011 il y a une tendance à rendre les récepteurs SIRF-III un peu moins sensibles et par la même à augmenter la fiabilité de leur cap instantané à faible vitesse.

Les conséquences pratiques de ces limitations (que nous allons étudier en détail au chapitre suivant) pour l'utilisation par un piéton sont les suivantes : le cap instantané n'étant pas fiable vu la faible vitesse du piéton, la carte ne s'oriente pas dans le bon sens. Il faut marcher un certain temps afin de définir une trajectoire qui va replacer la carte dans le bon sens. Pour le déficient visuel qui ne voit pas la carte, une carte orientée dans le mauvais sens signifie que les informations vocales de droite, de gauche, tout droit ou demi-tour seront erronées. En revanche, un voyant face à cette difficulté peut vérifier le nom des rues et retrouver le sens correct de la carte. Un déficient visuel n'a que la solution de marcher suffisamment longtemps pour que les informations se stabilisent, cela peut signifier une centaine de mètres voir plus dans la mauvaise direction. S'il n'attend pas assez longtemps, il aura des informations de directions instables en permanence et tournera en rond.

1.4.4.2 Limitations dues au mode de transmission de l'information (ces points seront retraités, plus en détail, aux chapitres 3 et 4) :

En pratique les logiciels de navigation n'utilisent pas le cap fourni par la trame VTG à faible vitesse à cause de son manque de fiabilité et utilisent uniquement le relevé successif des positions et son recalage par rapport aux routes trouvées dans la cartographie intégrée.

Le second point est que les logiciels de ces dispositifs, conçus pour le déplacement automobile, tentent en permanence de recalculer la position présente sur une route existante et de préférence sur la route prévue par l'itinéraire. Il faut insister assez longtemps dans une mauvaise direction pour que le dispositif prenne acte de cette direction erronée. Pour un piéton, s'il prend une mauvaise voie, il faudra persévérer plus de 50m, voire 100m, dans cette voie avant que le dispositif signale l'erreur. Si le piéton entre dans une zone non cartographiée sous forme de routes, une grande place par exemple, le dispositif tentera de le placer sur la route la plus proche qui souvent n'a pas de lien avec sa trajectoire, et les informations de guidage deviendront anarchiques.

Le troisième point est que l'information fournie est du type « *prochaine route à droite* » ou « *serrez à droite* », etc. Ce type d'information associé à la vision d'une carte est explicite, en revanche, sans la carte cela peut devenir ambigu. Il est clair que dans les villes américaines ou canadiennes où tout est à angle droit, ce type d'indication marche relativement bien. Par contre si on se déplace dans une ville comme Nîmes où les angles droits sont rares, où il y a souvent deux routes parallèles dans la même direction, ces informations sans la vision d'une carte sont inutilisables.

Tous les dispositifs sur le marché utilisés par les déficients visuels (à l'exception du dispositif Ariadne) sont basés sur le guidage automobile à la base et il n'y a pas ou peu d'adaptation concernant le guidage piéton, les adaptations éventuelles concernent l'entrée des données et leur gestion.

L'utilisation du GPS reste encore très limitée dans le milieu des déficients visuels. La première cause est certainement, comme nous l'avons vu auparavant au paragraphe 1.1, le peu de déficients visuels cherchant à se déplacer seuls. Aucune solution technologique ne peut vraiment influencer sur ce point, cela est plus du ressort d'une évolution culturelle profonde de la société et d'attitude vis-à-vis du handicap.

De nombreux projets ont vu le jour pour améliorer l'accessibilité des solutions de guidage GPS pour les déficients visuels. Beaucoup ont affirmé que le problème majeur était le manque de précision et que le dispositif GPS devait guider au mètre près au mieux

CHAPITRE I

l'aveugle. Les concepteurs ont fondé leurs espoirs sur le développement du GPS européen EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Services*) et SISNeT (*Signal in Space via internet*).

D'autres chercheurs proposent l'utilisation d'une camera, attachée, par exemple, sur un casque (camera embarquée) que porte le non-voyant. Alors, une personne qui voit l'information de la camera, peut guider le non-voyant. Un autre projet prévoit l'utilisation des images pour détecter, par exemple, le passage piéton de la rue.

1.4.5 Travaux de l'équipe avant le début de ce travail de thèse

Les premiers travaux de l'équipe sur le GPS au Laboratoire Aimé Cotton datent des années 2004, sous la direction de Mr. René Farcy. L'idée initiale était d'utiliser les signaux NMEA d'une antenne GPS de base et de trouver un mode de navigation mieux adapté aux déficients visuels que le dispositif automobile. Le mode de navigation recherché devait être adapté aux techniques de locomotion bien connues par l'équipe suite à la longue expérience sur le développement des Cannes Blanches Optroniques.

Le premier prototype a été développé par un ingénieur stagiaire du Polytec Paris Sud, Mr. Julien Le Mer. Ce prototype a permis les premiers tests mais l'appareil n'est pas suffisamment abouti pour être utilisable au quotidien par les déficients visuels. Le projet a été entièrement repris par Mr. Alain Jucha, ingénieur de recherche du Laboratoire Aimé Cotton, qui a abouti en 2006-2007 à un dispositif utilisable. Il a produit une vingtaine d'exemplaires et les a mis à la disposition des non-voyants déjà utilisateurs de Cannes Blanches Optroniques. Ceci a été le premier dispositif proposant le guidage par « *cap* » et « *distance* ».

1.4.5.1 Aspects matériels du dispositif

A cette époque les Smartphones étaient peu développés et ne contenaient pas d'antennes GPS. L'accès aux systèmes d'exploitation était peu convivial. La culture du groupe sachant développer des solutions matérielles à base de microcontrôleurs, a opté pour une solution couplant l'antenne GPS à un circuit électronique d'interface développé en interne. Ceci permettait de maîtriser toutes les données du problème et d'introduire si nécessaire des capteurs non présents à l'époque dans les Smartphones (boussole, gyroscope, etc.).

Il utilisait une antenne SIRF-II peu sensible, mais fournissant un cap instantané correct plus de 8 fois sur 10, y compris près des bâtiments, à partir du moment où le signal GPS

CHAPITRE I

était présent. Pour avoir la certitude de la direction, on faisait un double appel du cap sans changer de direction.

Pour les informations d'orientation, Il avait imité le GPS marin de base, à savoir le cap et la distance à vol d'oiseau, énoncés par synthèse vocale, au point de destination ou au point relai à joindre. Pour la distance Il a utilisé les unités mètres et kilomètres, pour le cap on a fait appel au dispositif horaire par rapport à l'axe de la marche : *12h* signifie tout droit, *3h* à droite, *9h* à gauche, *6h* derrière soi, *1h* légèrement à droite. L'axe de la marche était fourni par le cap instantané de l'antenne SIRF-II et nécessite une vitesse supérieure à 1km/h. En pratique au bout de 4 pas, en moyenne, cette direction est correctement acquise.

La Figure 1.8 montre le Géotact V1, l'antenne SIRF-II est placée sur le haut de l'épaule afin de capter au mieux étant donné sa faible sensibilité. Sur le devant se trouve le clavier 12 touches (0 à 9, *, #) qui permet d'appeler les fonctions de l'appareil par combinaison de touches. Sur l'arrière se trouve les piles et le circuit d'alimentation pour faire contrepoids au clavier.

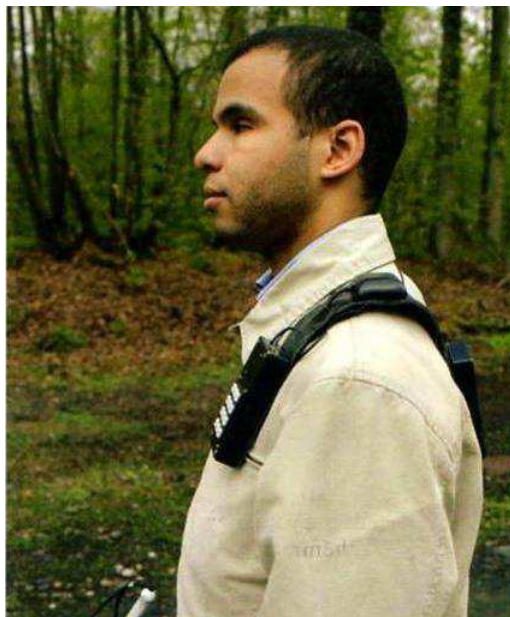


Figure 1.8 Géotact V1 porté à l'épaule.

CHAPITRE I



Figure 1.9 Indications typiques de « cap » et de « distance » sur un trajet.

La Figure 1.9 indique comment se déroule de manière concrète un trajet avec ce mode de guidage. Au niveau du départ, si la personne prend la route dans la mauvaise direction, elle aura l'indication « 7h, 320m » qui l'incitera à faire demi-tour. 4 pas après le demi-tour, elle aura l'indication « 1h, 320m » qui lui indique qu'elle est dans la bonne direction pour se rapprocher de la destination. Dans la route tournant à gauche, le cap va passer à 3h ce qui signifie qu'elle doit prendre la prochaine route à droite et ainsi de suite. De cette façon, en milieu urbain, elle convergera vers l'arrivée dans la mesure où il y a un grand nombre de trajets possibles pour rejoindre les deux points (Figure 1.10).



Figure 1.11 Utilisatrice du Télétact (détecteur d'obstacle) et du Géotact.

1.4.5.2 Formations au dispositif et utilisation

Une formation sommaire pour l'introduction de ces appareils a été réalisée. Seules les personnes ayant un bon niveau de locomotion ont été retenues : en pratique des utilisateurs du Télétact, détecteur d'obstacle provenant de la même équipe, ayant reçus une solide formation complémentaire en locomotion. Le premier contact avec le dispositif Géotact est simple. La personne est invitée à enregistrer sa position dans un lieu très ouvert, puis à marcher pendant deux cents mètres, et à revenir au point de départ par un chemin différent. Cet exercice peut être fait sans GPS pour des personnes ayant une bonne mobilité, mais il permet à la personne de comprendre les bases de l'orientation par « *cap* » et « *distance* ». La personne apprend à avoir une trajectoire rectiligne pour demander la direction, et à ne pas le faire dans un tournant. En effet, dans un tournant entre l'appel de l'information et la fin du message vocal, la direction de la personne a changé et l'information reçue est fautive. Il faut en moyenne quelques heures de pratique avant de pouvoir atteindre une destination par le meilleur chemin sans hésitation.

Le principal problème n'a pas été celui du taux de succès pour arriver à destination, car dans plus de 80% des cas, la route la plus courte a été trouvée, tant que l'adresse de destination était bonne, même en cas de quelques hésitations et rallongement de trajet la personne est arrivée. Il y a eu quelques cas d'adresse fautive, mais qui n'ont rien à voir avec le dispositif de guidage. Dans certains quartiers parisiens, notamment celui de Montmartre, il s'est avéré difficile de capter le signal GPS, et l'utilisateur ne pouvait avoir que très ponctuellement de l'information et devait avoir une bonne « *centrale inertielle interne personnelle* » pour ne pas trop s'éloigner de la route optimale avant d'avoir à nouveau de l'information.

CHAPITRE I

En revanche, un problème de sécurité a été observé. En effet, rejoindre deux points situés dans une zone d'autoroutes peut signifier de très gros risques. Pour un déficient visuel, la mort assurée. Il s'agit de zones formellement interdites aux piétons qui ne sont pas signalisées par les logiciels de cartographie. Sans entrer dans cette configuration extrême, une route peut être plus ou moins bien adaptée à la circulation piétonne : absence de trottoirs, travaux rendant les passages difficiles à trouver, ronds-points complexes, carrefours compliqués sans feux. Le nombre de difficultés qui devaient être franchies par le déficient visuel dans ces contextes hostiles inconnus a soulevé de l'inquiétude. Il est difficile de savoir à priori où se trouve le niveau de danger acceptable. C'est pour cela que l'équipe a uniquement travaillé avec des gens bons en déplacements, maîtrisant bien leurs limites et ayant une bonne capacité d'évaluation des risques.

Concernant la fréquence d'utilisation, il est clair qu'il s'agit d'un usage sur les trajets nouveaux ou peu fréquents. Les pics d'utilisation sont pendant les vacances où des nouveaux trajets sont découverts. Après avoir fait un certain nombre de fois le trajet, le GPS n'est plus nécessaire.

Le mode d'utilisation par combinaisons de touches sur le clavier 12 touches est efficace quand on utilise souvent le dispositif. Après une période de non utilisation on a vite fait d'oublier les combinaisons, ce qui fait que l'appareil n'est pas disponible instantanément.

L'usine produisant les antennes SIRF-II utilisées a été détruite par le Tsunami de 2004. L'équipe a fonctionné avec son stock de 20 antennes. Elle n'a pas retrouvé d'autres antennes SIRF-II ayant ce compromis. Lors de l'arrivée des antennes SIRF-III, le système n'a plus fonctionné correctement à cause de la mauvaise qualité du cap instantané donné par l'antenne SIRF-III. La nouvelle version (Géotact V2) faite à partir de l'antenne SIRF-III a intégré une boussole deux axes dans le boîtier sous le clavier 12 touches. Cette boussole permet de compenser l'absence de cap instantané délivré par le GPS. Dû au fait qu'elle ne compensait que sur deux axes, il fallait alors tenir manuellement le boîtier horizontalement et le pointer dans la direction de sa marche.



Figure 1.12 Géotact V2 (clavier, récepteur GPS SIRF-III et oreillette communiquant par Protocole Bluetooth).

1.5 Travaux sur le « *Dead Reckoning* » dans le domaine civil et militaire

Le « *Dead Reckoning* » (navigation à l'estime) consiste à prolonger le signal du GPS dans les endroits où il n'est pas disponible ou erroné. On utilise pour cela des capteurs (accéléromètres et gyroscopes) mesurant le déplacement instantané du mobile par inertie. On part d'une position connue par d'autres moyens (GPS notamment) et le déplacement est ajouté à la position précédente pour calculer la position actuelle [27]. La Figure 1.13 illustre la perte de précision progressive de ce concept.

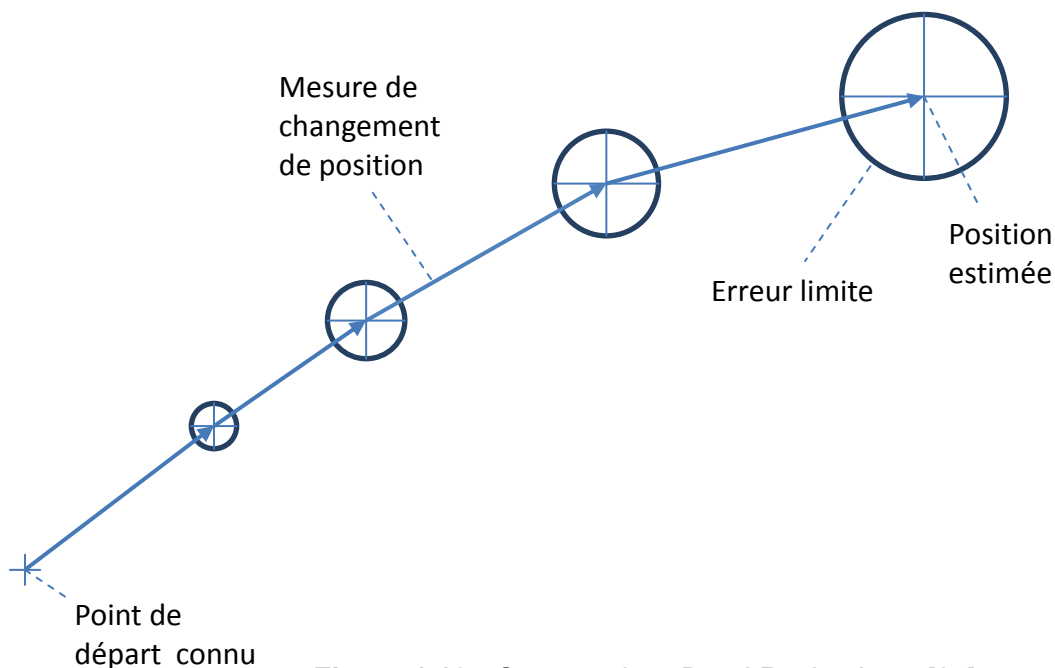


Figure 1.13 : Concept de « *Dead Reckoning* » [27].

CHAPITRE I

Ce principe a été utilisé pour des applications militaires dès 1950 et dans le domaine civil à partir de 1960. La première forme d'une centrale inertielle a été utilisée dans la fusée V2 allemande développée pendant la deuxième guerre mondiale [27].

Les capteurs principaux dans le « *Dead Reckoning* » sont les accéléromètres pour les mesures de déplacements, le gyroscope et la boussole pour mesurer le cap et les capteurs barométriques pour mesurer l'altitude.

Pour un mobile roulant, on peut utiliser un odomètre pour mesurer une distance en comptant les rotations d'une roue. La variante concernant les sous-marins consiste à mesurer la vitesse de rotation de la turbine, liée à la vitesse de déplacement [27].

Le filtrage de Kalman, utilisé dans le « *Dead Reckoning* », utilise des formules récursives linéaires pour estimer un processus gaussien markovien, éventuellement bruité par un bruit blanc, à partir des observations. Il s'agit donc de donner une représentation markovienne du problème posé [28]. Le filtre de Kalman est largement utilisé pour résoudre les problèmes d'estimation mais son optimisation est limitée par son aspect linéaire. D'autres techniques d'estimation ont été proposées quand le système n'est pas linéaire, par exemple le « *Particle Filtering* », pour résoudre les problèmes d'intégrations des signaux des capteurs inertiels (accélérations, vitesse de rotation) [29].

La principale idée du « *Pedestrian Dead - Reckoning* » (PDR) est d'utiliser les signaux des accéléromètres pour détecter les pas, estimer la longueur d'un pas et extrapoler la position en utilisant une direction mesurée. Le cap peut être calculé en utilisant un gyroscope ou un magnétomètre. L'utilisation d'un magnétomètre n'est pas la meilleure solution pour une navigation urbaine parce qu'une boussole est fortement sujette aux perturbations magnétiques provoquées par les lignes électriques, les objets et les structures métalliques [30].

Une approche largement étudiée consiste à placer les accéléromètres et la boussole sur la chaussure [31] comme dans la Figure 1.14. L'estimation du cap n'a pas été très bonne avec des erreurs allant jusqu'à 90° à cause des perturbations magnétiques. En revanche, il a été remarqué que la centrale inertielle peut détecter des mouvements plus subtils et avec plus de résolution qu'un GPS.

CHAPITRE I



Figure 1.14 Capteurs inertiels sur la chaussure [31].

Une autre étude a été présentée dans le cadre du « *Pedestrian Dead Reckoning* » pour évaluer l'estimation de la longueur d'un pas en utilisant des capteurs inertiels dans la main, comme dans le cas d'un Smartphone [32]. Le modèle mathématique proposé (1.1) utilise plusieurs paramètres : la fréquence de pas, la taille de la personne et trois autres paramètres (a , b et c) à calculer, pour estimer la longueur de pas.

$$s = h(af_{pas} + b) + c \quad (1.1)$$

$$K = \{a, b, c\} \in \mathbb{R} \quad (1.2)$$

h : taille de la personne

f_{pas} : fréquence de pas

s : longueur de pas

Pour calculer, les valeurs de a , b et c , deux modèles ont été proposés : un modèle universel et un modèle à définir pour chaque utilisateur. Pour le modèle universel a , b et c sont des valeurs calculées à partir des essais réalisés avec 12 sujets (six femmes et six hommes). En revanche, dans le modèle à définir pour chaque utilisateur a , b et c sont calculés par l'évaluation récursive du RSS (*Residual Sum of Squares*) entre la longueur de pas réel et la longueur de pas estimé. La longueur de pas réel est obtenu par un capteur de vitesse (Voir Figure 1.15, personne de droite) [32].

Pour calculer la fréquence de pas, le rapport entre le signal obtenu par le capteur sur la chaussure et le capteur tenu à la main est étudié pour différents modes de tenue de capteur lors de la marche. Il est montré que la fréquence prédominante, après avoir obtenu le PSD

CHAPITRE I

(*Power Spectral Density*), en utilisant le dispositif tenu à la main est la même que la fréquence prédominante du dispositif sur la chaussure. Ainsi, la fréquence de pas est aussi présente dans l'information obtenue par le dispositif tenu à la main [32].

L'efficacité du modèle mathématique (1.1) de l'estimation de la longueur de pas, en utilisant le dispositif tenu à la main, est vérifiée lors de différents essais. Les données sont obtenues par une plateforme de navigation multi-capteurs, le « *NavCub* », développée à l'université de Calgary (Figure 1.15, personne à gauche) [32].

Le résultat, dans ce travail, montre une erreur entre 2.5 et 5% par rapport à la distance réelle dans les deux modèles proposés. Cette erreur est comparable avec l'erreur obtenue quand le capteur inertiel est bien attaché sur le corps de la personne (au contraire d'un dispositif tenu à la main). Les algorithmes effectués peuvent être applicables à la navigation pédestre avec les Smartphones [32].

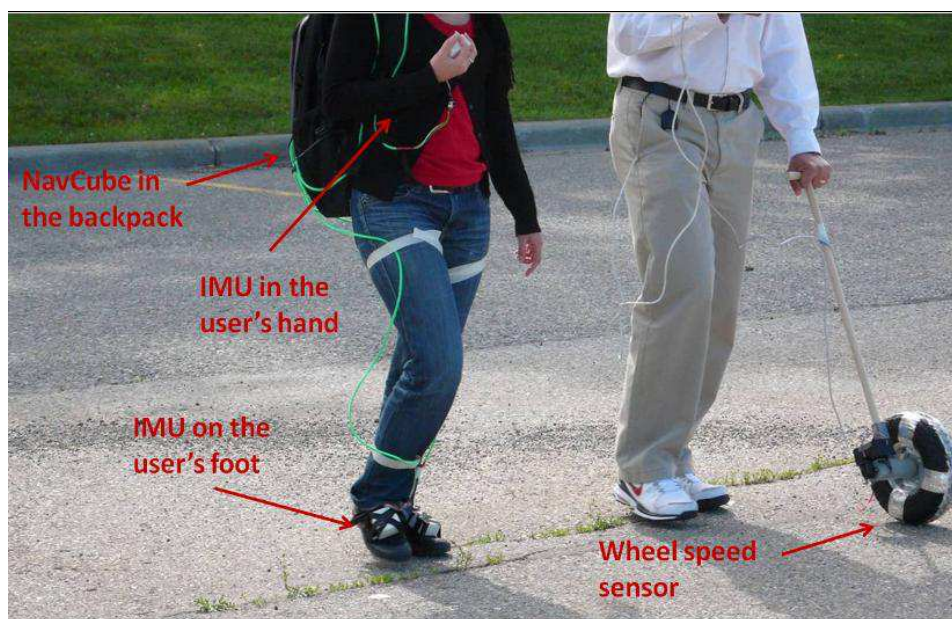


Figure 1.15 Le testeur à gauche utilise un capteur dans la main et un autre sur la chaussure pour analyser l'estimation de la longueur de pas. La personne, à droite, utilise un capteur de vitesse pour comparer les résultats [32].

Pour réduire les erreurs du « *Dead Reckoning* », une méthode utilisant la différence de temps d'arrivée (TDOA : *Time of difference of arrival*) d'un signal sans fil RF et d'un signal acoustique est proposée [33]. L'estimation de la distance se fait à partir de la différence de

CHAPITRE I

temps d'arrivée des deux signaux au récepteur. Le marqueur (LM : *LandMarks*) envoie les deux signaux pour que le Smartphone commercial, ayant un dispositif adapté, puisse recevoir et interpréter les signaux. Les marqueurs, placés dans le bâtiment, ont servi pour compenser l'accumulation des erreurs données par la centrale inertielle (boussole et accéléromètre). Les simulations présentées donnent des meilleurs résultats à celui du « *Dead Reckoning* » seul en réduisant la surface d'erreur de 25 m² à 9 m² [33].

Une autre étude teste une centrale inertielle fixée sur un pied de l'utilisateur (Figure 1.16) couplée au GPS pour compenser son manque d'information en intérieurs [34]. Le processus pour déterminer la position est une double intégration de l'accélération. Pour calculer le déplacement, la vitesse est corrigée quand le pied touche le sol. Il a été observé que le gyromètre a un meilleur comportement que la boussole dans des endroits magnétiquement perturbés. Le dispositif a été testé aussi pour calculer les déplacements verticaux (XZ) et détecter les marches d'un escalier montant. La hauteur obtenue est similaire à la hauteur du baromètre.



Figure 1.16 Capteur inertielle fixé sur un pied de l'utilisateur [34].

La combinaison de la centrale inertielle sur la chaussure avec un RFID (*Radio Frequency Identification*) (voir la Figure 1.17, à gauche) qui est utilisé comme marqueur pour mettre à jour l'information de la centrale inertielle et diminuer l'erreur donnée par l'accéléromètre a été proposée [35]. Le résultat obtenu est très impressionnant et positif (Figure 1.17 ; à droite). Dans ce cas-là, la trace obtenue par la centrale inertielle (en rouge) (IMU : *Inertial Measurement Unit* ou centrale inertielle) n'est pas cohérente avec le chemin réel et non plus reproductible. En revanche, la ligne verte montre la trace obtenue en combinaison avec le passive « *RFID tag* » qui montre une trace bien reproductible avec moins d'erreurs.

CHAPITRE I

Cependant, le système fonctionne bien uniquement avec un bâtiment équipé de marqueurs RFID.

Une autre approche consiste à exploiter les gradients de champs magnétiques pour repérer le déplacement. Plusieurs magnétomètres multi-axes associés à des accéléromètres disposés aux coins d'un cube permettent d'évaluer le gradient et le déplacement du cube par rapport à ce gradient. Cela permet de remonter au déplacement [36]. Cette technique est développée dans le domaine militaire, la sensibilité et la fiabilité des capteurs inertiels grand public n'est pas suffisante pour mettre en œuvre cette technique.

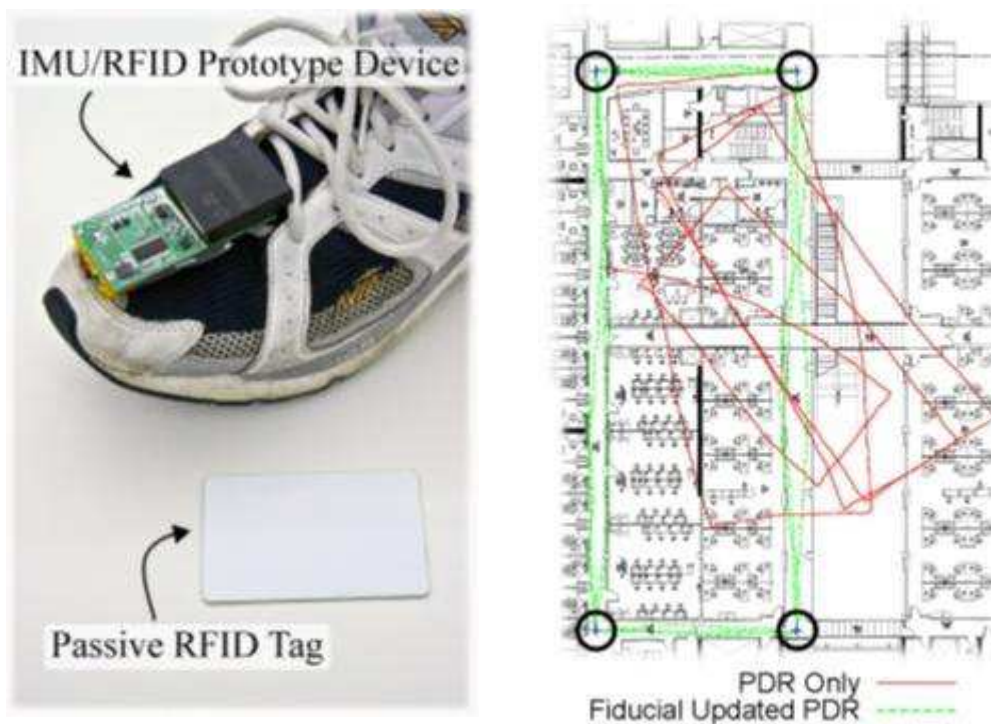


Figure 1.17 A gauche : Dispositif Centrale inertielle/RFID sur la chaussure [35]
A droite : En rouge : trajectoires obtenues avec la centrale inertielle.
En vert : trajectoires obtenues en utilisant le système avec le RFID [35].

Dans le domaine automobile, le « *Dead Reckoning* » est présent dans certains GPS haut de gamme, principalement pour compenser le manque d'information pendant un certain temps lorsque le signal du GPS est perdu dans les tunnels, ou gérer les situations à faible vitesse en ville où le cap instantané fourni par le GPS n'est plus fiable. Il est généralement fait appel à une boussole couplée à un gyroscope et à une connexion avec le compte-tours de la voiture.

1.6 Objectifs de la thèse

Les antennes GPS actuelles (SIRF-III) ne peuvent pas fournir l'orientation d'une personne à l'arrêt et donnent des valeurs erronées pour le cap instantané à faible vitesse. Ces difficultés sont rédhibitoires pour guider un déficient visuel suivant la technique de guidage de « cap » et de « distance » qui a pourtant montré son efficacité et sa robustesse face aux aléas de la cartographie. Sans cap instantané, on est obligé de revenir aux solutions actuellement diffusées et basées sur la cartographie comme pour l'automobile, solution rarement fonctionnelle dans le cadre de la déambulation des déficients visuels.

L'objectif de ce travail de thèse est de partir sur une approche GPS complétée par une centrale inertielle associée à un magnétomètre et à un altimètre afin de proposer des solutions fonctionnelles pour le déficient visuel dans les contextes suivants :

- la déambulation urbaine : il faudra palier aux limitations des antennes SIRF-III et proposer une orientation de « cap » et de « distance » fonctionnant même depuis l'arrêt. La stratégie de guidage sera basée sur les anciens travaux de l'équipe sur la question.

- la randonnée : les problèmes de fiabilité du signal GPS sous couverture végétale épaisse sont différents de ceux urbains, les modalités d'orientation devront également être différentes.

- les grands intérieurs : centres commerciaux, métros, où il faudra compenser, le manque d'information du signal GPS sur de longues durées et de longues distances et trouver des stratégies de guidage adaptées.

Chapitre II : Evaluation des capteurs GPS, inertiels, magnétométriques et barométriques dans le contexte de la déambulation des déficients visuels

Introduction

L'objectif est d'évaluer les performances des différents capteurs susceptibles d'intervenir dans le contexte de la déambulation des déficients visuels. La liste est la suivante : récepteurs GPS (antennes), capteurs magnétiques, accéléromètres, gyroscopes, altimètres, proximètres infrarouges et télémètres laser. Les deux derniers capteurs sont spécifiques à l'équipe de recherche et sont des détecteurs d'obstacles et de formes susceptibles de compléter la centrale inertielle pour cartographier les intérieurs.

Nous allons dès le début tenir compte des contraintes ergonomiques d'utilisation. En effet, notre objectif n'est pas de faire une évaluation complète des capteurs, mais de les évaluer en approfondissant les propriétés intervenant dans le cadre de notre application. Nous fournirons des exemples types d'erreurs couramment rencontrées.

2.1 Positionnement des capteurs

2.1.1 Importance de l'axe corporel dans la navigation par « cap » et « distance »

Comme nous l'avons vu au chapitre 1 § 1.4.5, la technique de navigation que nous privilégions est de nature « cap » et « distance » au point suivant. Pour ce type de navigation les informations sont données par rapport à l'axe corporel de la personne. Ceci est illustré dans les figures ci-dessous. Dans ce premier cas l'objectif se trouve à 9 heures (Figure 2.1).

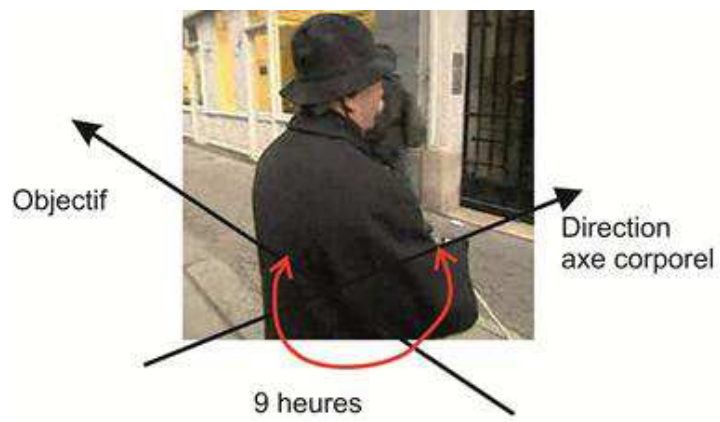


Figure 2.1 Objectif à 9 heures.

CHAPITRE II

Dans le deuxième cas (Figure 2.2), après avoir fait un quart de tour à droite, l'information doit être réactualisée et l'objectif se trouve maintenant à 6 heures par rapport à l'axe corporel de la personne. C'est-à-dire, derrière la personne.



Figure 2.2 Objectif à 6 heures.

Il est indispensable de connaître l'axe corporel de manière précise afin de pouvoir orienter correctement la personne.

2.1.2 Ergonomie et positionnement des capteurs

Nous excluons le cas des capteurs dont la position n'est pas connue par rapport au corps de l'utilisateur. Par exemple, le cas de capteurs contenus dans un boîtier placé de façon quelconque dans un sac à main est exclu. En effet, ce capteur, soit par les mouvements du sac à main ou soit par son déplacement dans le sac à main suite aux secousses n'aura pas une position connue par rapport à l'axe corporel. Si la personne est en déplacement rectiligne on peut espérer grâce aux accéléromètres et gyroscopes contenus dans la centrale inertielle arriver dans certains cas à remonter à l'orientation des capteurs par rapport au déplacement de la personne. En revanche, à l'arrêt, tout mouvement du sac à main est interprétable comme un changement de direction de la personne, et il n'est plus possible de fournir des informations d'orientation fiables par rapport à l'axe corporel.

Nous avons choisi deux modes de positionnement des capteurs permettant d'avoir une information non ambiguë par rapport à l'axe corporel, étant ergonomiquement et socialement acceptables.

- Le port des capteurs à la ceinture sur le côté, voir Figure 2.3.



Figure 2.3 Port des capteurs à la ceinture.

La position du bassin, pour une personne ayant un schéma corporel normal est un bon indicateur de l'axe de déplacement. La centrale inertielle se met alors sur le côté (droit ou gauche) fixée à la ceinture. Ce positionnement a l'avantage de ne pas occuper une main ce qui est primordial pour un utilisateur de canne blanche ayant déjà une main prise.

- La seconde position possible est l'appareil tenu à la main et pointé devant soi, voir Figure 2.4.



Figure 2.4 Appareil pointé devant soi.

Dans ce cas, une main est prise. Ce mode d'utilisation s'adapte bien à une demande d'information ponctuelle, mais est difficilement praticable de manière permanente lorsque la personne a déjà une main occupée avec la canne blanche. Nous nous focaliserons par la suite, plus particulièrement, sur l'appareil fixé à la ceinture sur le côté.

CHAPITRE II

2.2 Evaluation des antennes GPS de type SIRF-III :

Le fonctionnement des antennes GPS ne dépend pas de leur mode de positionnement, elles fournissent des données par rapport à la trajectoire de la personne indépendamment de leur orientation. Nous avons relevé les tracés GPS dans deux types de situation représentatives de la navigation urbaine pour un déficient visuel. Un trajet en ville de plus d'un km, et une situation d'hésitation amenant la personne à de fréquents changements de direction sur des distances de l'ordre de la dizaine de mètres.

On a choisi l'antenne GPS Royaltek Bluetooth RBT-2110 privilégiant la sensibilité dans le compromis précision-sensibilité. En effet, auparavant les antennes SIRF-II, étaient peu sensibles, et ne captaient que les satellites en vision directe. L'inconvénient de cette approche, est que ce signal GPS est perdu dans les zones peu dégagées. En augmentant la sensibilité (GPS SIRF-III), on capte mieux le signal GPS dans les zones peu dégagées, en revanche, les réflexions parasites des signaux sur les murs, font décrémenter la précision et ainsi la fiabilité du cap à faible vitesse du récepteur GPS. Les résultats obtenus ont été voisins pour les GPS inclus dans les téléphones portables de modèle *Samsung Galaxy S2 et Galaxy S3*. Pour effectuer ces relevés, les données de l'antenne Royaltek Bluetooth ont été récupérées et stockées durant le trajet sur un téléphone portable sous Android par un petit programme écrit pour l'occasion. Si non pour les antennes des *Galaxy S2 et S3*, un autre programme a été fait pour enregistrer les données du capteur sur le téléphone, ultérieurement transférées à un PC pour analyse.

2.2.1 Test sur trajet Urbain

Nous avons enregistré de manière continue lors d'un trajet dans le 14^{ème} arrondissement de Paris, le cap instantané, la vitesse instantanée de déplacement ainsi que la position donnée par le GPS. Le même trajet a été réalisé en voiture puis à pied.

La Figure 2.5 représente les tracés des positions obtenues. Les flèches jaunes représentent la trajectoire réelle. La ligne blanche représente la trajectoire en voiture. On remarque que malgré des décalages entre la trajectoire réelle et celle relevée en voiture la forme du trajet est assez bien respectée. En revanche, pour le trajet réalisé par le piéton, aux décalages s'ajoutent des erreurs de formes importantes notamment entre les points D et F. De plus les lignes droites sont traduites systématiquement par des trajets ondulés.

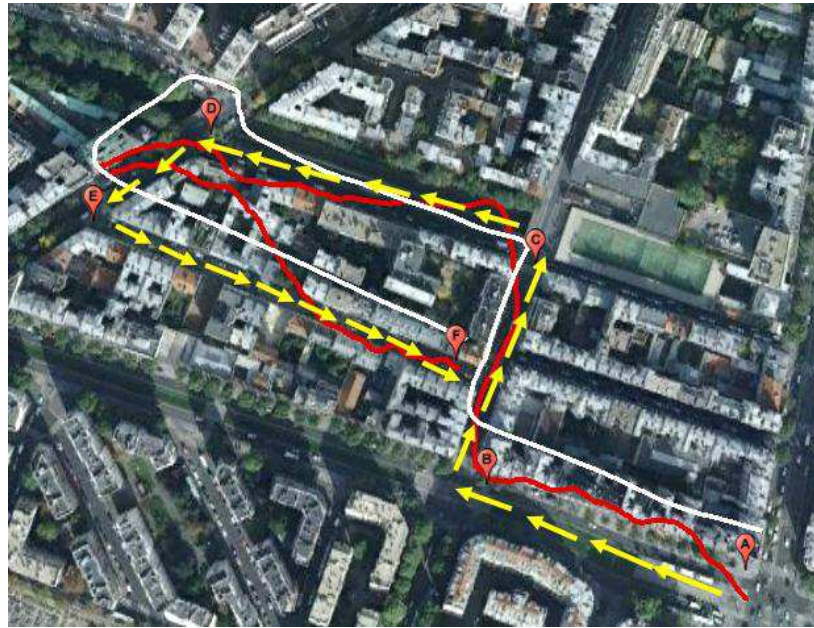


Figure 2.5 Trajectoire GPS en voiture (blanc), trajectoire GPS piéton (rouge), trajectoire réelle (flèches jaunes).

Dans la Figure 2.6 nous avons reporté le cap instantané en degrés et la vitesse en km/h obtenus en déambulation piétonne (partie gauche) et en voiture (partie droite) en fonction du temps. Les différents points caractéristiques du trajet (A, B, C, D, E et F) sont repérés sur le graphe. On remarque que lorsque les vitesses de déplacement sont élevées (typiquement plus de 15km/h), le cap mesuré par le GPS tend vers le cap réel.

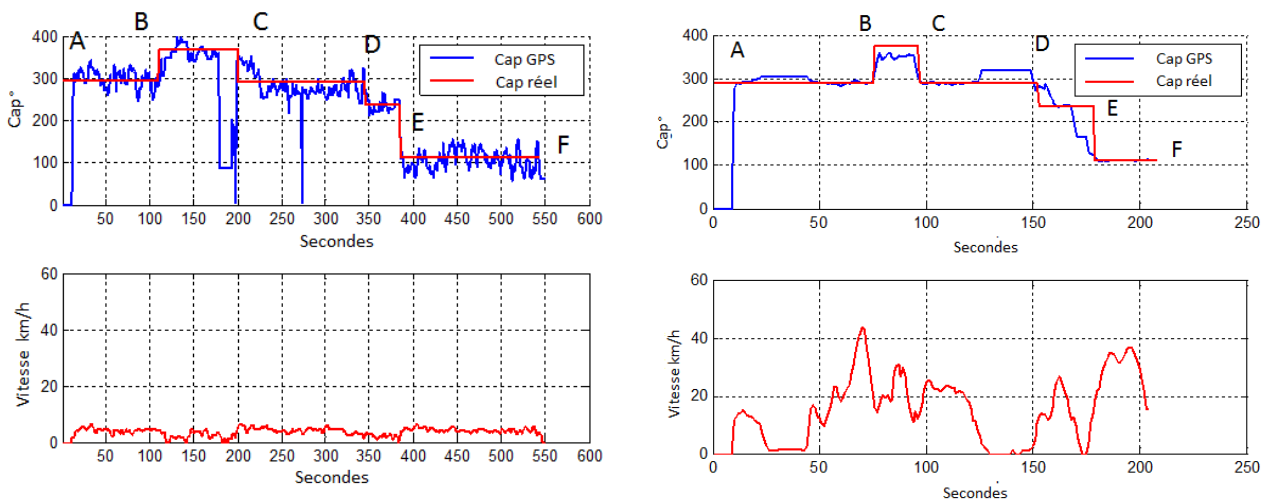


Figure 2.6 Comparaison entre le cap donné par le GPS et le cap réel en fonction de la vitesse pour un piéton (partie gauche) et pour une voiture (partie droite).

CHAPITRE II

Afin de quantifier ces écarts nous avons mesuré sur le trajet piéton et sur le trajet automobile plusieurs types d'erreurs. Tout d'abord la différence de distance mesurée sur les tronçons entre le GPS et la carte (Tableau 2.1). Nous constatons que les risques les plus importants d'erreurs sont sur les tronçons courts où le pourcentage d'erreur peut atteindre 20%. En revanche, quand la distance parcourue est plus d'une centaine de mètres, l'erreur est inférieure à 10 %.

TABLEAU 2 .1 Distance réelle vs Distance GPS dans le cas piéton

Trajet	Distance réelle (m)	(Point Final-Point Initial) dans le cas piéton (trace GPS)	Erreur (m)	Erreur (%)
A-B	154	162	-8	5,1%
B-C	113	121	-8	7,3%
C-D	186	176	10	5,3%
D-E	69	55	14	20,2%
E-F	217	221	-4	1,8%

Le Tableau 2 .2 montre la distance entre les coordonnées fournies par le GPS et le point le plus proche de la route. La première donnée est l'écart maximal sur le tronçon, le second est l'écart type. On ne remarque pas de différences fondamentales entre le cas du piéton et de l'automobile. Les écarts types sont cohérents avec les valeurs courantes de la précision du GPS (50% de probabilité d'avoir une erreur inférieure à 10 mètres).

TABLEAU 2 .2 Distance maximale à la route et écart type

Trajet	Ecart maximal par rapport à la route cas voiture (m)	Ecart type par rapport à la route cas voiture (m)	Ecart maximal par rapport à la route cas piéton (m)	Ecart type par rapport à la route cas piéton (m)
A-B	25	6,18	17	3,13
B-C	8	4,36	12	2,31
C-D	33	5,03	27	4,07
D-E	30	10,68	18	5,20
E-F	21	6,62	40	8,14

CHAPITRE II

Dans notre dispositif d'orientation par « cap » et « distance » la précision souhaitée doit être meilleure que 30°. En effet, nous délivrons l'information sous forme horaire, et l'utilité d'une précision supérieure à l'heure (30°) ne s'est jamais fait sentir pour converger au point de destination. En revanche, des erreurs de 90°, voire proche de 180°, se maintenant pendant plusieurs dizaines de mètres (voir point C en mode piéton) sont très déstabilisantes. La seule information d'orientation fiable devient la diminution de la distance à l'arrivée, qui permet à terme d'arriver, mais au prix de nombreux rallongements du parcours. Cette génération de GPS a son compromis sensibilité-précision orienté vers les besoins de l'automobile, ce qui permet d'avoir des résultats satisfaisants, y compris en ville à vitesse modérée. La plupart des utilisateurs de GPS automobile ont remarqué qu'en ville dans les embouteillages l'orientation de la carte devient instable et souvent fautive. Le tableau 2.3 reporte les erreurs maximales de cap et les écarts types. On peut constater que la situation du piéton est très fortement dégradée par rapport à celle de l'automobile.

TABLEAU 2.3 Erreur de cap maximale et écart type

Routes	Cap réel (°)	Erreur Maximal (°) pédestre GPS	Ecart Type pédestre GPS	Erreur Maximal(°) voitureGPS	Ecart Type voiture GPS
route A-B	290	53,32	21,2	15,31	6,56
route B-C	17	177	49,4	31,77	4,40
route C-D	290	74,29	29,25	28,03	15,33
route D-E	237	85,5	27,5	3	2,38
route E-F	111	55,5	25,4	4,19	1,2

2.2.2 Situation d'hésitation

La situation d'hésitation correspond à un moment où le piéton a perdu l'axe de sa trajectoire et cherche à le retrouver. Pour les déficients visuels, ce cas est fréquent dans les grandes places. Le GPS ne peut pas fournir un cap à l'arrêt car il est nécessaire de se déplacer pour l'obtenir. Afin de tester la capacité du GPS à fournir une information de cap juste au bout de quelques pas nous avons effectué le test suivant : la personne réalise le trajet ABCDACADE, ABCD étant un carré de 6 mètres de côté (Figure 2.7). Elle s'efforce de maintenir une vitesse de marche stable de l'ordre de 3km/h. Le cap et la vitesse qui sont

CHAPITRE II

fournis par le GPS sont comparés au cap réel à la Figure 2.8 (nous avons mis des caps dépassant 360° pour une lecture plus claire des graphiques évitant les passages discontinus par zéro).

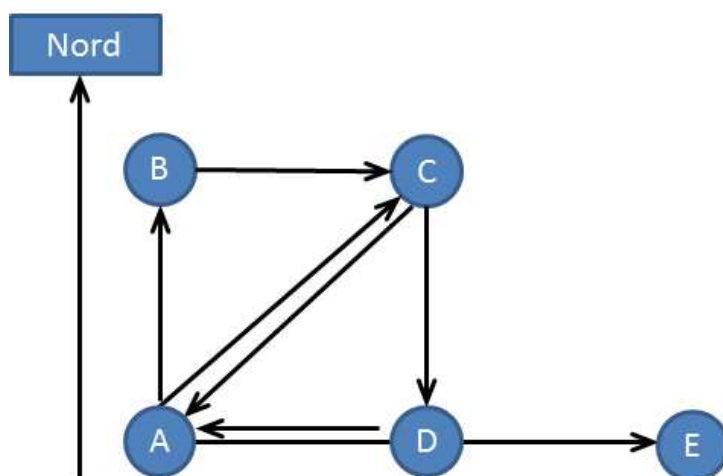


Figure 2.7 Modèle d'un trajet de récupération de cap après hésitation.

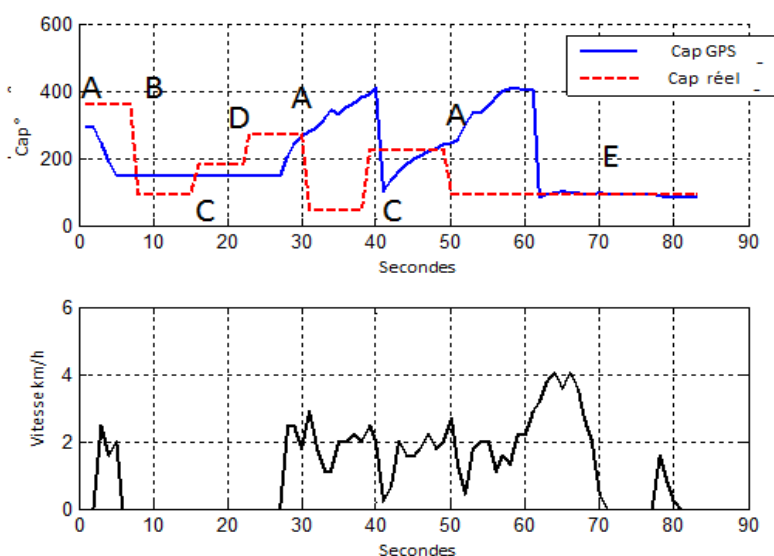


Figure 2.8 Comparaison du cap fourni par le GPS et du cap réel en fonction de la vitesse lors d'un trajet modèle d'une hésitation de parcours.

L'erreur maximale sur le cap est d'environ 170° dans le premier segment (AB); dans le second segment (BC) de 57° , dans le segment (CD) de 33° , sur (DA) de 123° . Ensuite, dans le cinquième segment (AC), l'erreur maximale est de 113° . Le segment (CA) a 127° d'erreur et le dernier segment (AE), une erreur de 163° . Finalement lorsque la personne s'est déplacée suffisamment longtemps en ligne droite, le cap redevient juste. La durée d'un déplacement en ligne droite à 3km/h pour avoir un cap correct s'est avérée être très variable, cela peut aller de moins de 5 secondes dans des situations favorables à plusieurs minutes dans des situations difficiles sans que l'on ait des critères simples pour qualifier a priori le

CHAPITRE II

niveau de difficulté de la situation (variable d'un jour sur l'autre au même endroit). Il est cependant clair que la plupart du temps l'information, du cap donnée par le GPS, est fautive et sera considérée comme incohérente par l'utilisateur, qui ne pourra pas retrouver sa direction. C'est ce qui est arrivé lors des tests préalables à ce travail, lorsque les antennes SIRF-II des prototypes ont été remplacées par des antennes SIRF-III.

Dans l'état actuel de l'art des antennes GPS, il est clair que le piéton déficient visuel ne peut recevoir d'informations fiables de « *cap* » et de « *distance* » en milieu urbain perturbé. On peut cependant remarquer que les Smartphones les plus récents (sortis fin 2012) ont des antennes GPS un peu moins sensibles au signal parasites (voir § 2.2) et dont le cap est un peu plus fiable. Il y a donc un réajustement du compromis mais qui reste beaucoup plus proche du SIRF-III que du SIRF-II. Les résultats ne diffèrent pas beaucoup des résultats présentés.

Il est donc indispensable de compléter le GPS par d'autres capteurs.

2.2.3 Temps d'accrochage du GPS

Le temps d'accrochage des antennes GPS est la durée entre l'allumage de l'appareil et la mise à disposition de données de positionnement. Cette durée est très variable et peut prendre plusieurs minutes. Même si dans l'absolu quelques minutes d'attente n'est pas une durée rédhibitoire pour effectuer un trajet, elle est mal vécue par le piéton devant attendre pour démarrer, sans savoir quel va être exactement son temps d'attente. Si on se trouve sous un auvent, le GPS peut ne pas accrocher. De plus une fois la position obtenue, le piéton à l'arrêt ne dispose pas de la direction à prendre, et quelques mètres de marche ne permettront pas de connaître cette direction de manière fiable comme nous l'avons vu précédemment. Les tableaux 2.4 et 2.5 suivants montrent les temps d'accrochage avec différents récepteurs GPS (GPS/GLONASS du *Galaxy S3*, GPS du *Galaxy S2* et antennes GPS SIRF-III). Deux tests ont été effectués pour obtenir les temps d'accrochage et réaccrochage. Le premier test est fait dans une rue étroite à Paris, le second dans un lieu dégagé à Orsay.

Le cas le plus critique est la rue étroite à Paris car le temps peut dépasser 10 minutes pour le GPS du *Galaxy S2* et pour l'antenne GPS SIRF-III (Royaltek Bluetooth). Le temps de réaccrochage (après quelques secondes d'arrêt du GPS) est inférieure à 25 secondes dans le cas d'une rue étroite et inférieure à 15 secondes dans une espace dégagé.

CHAPITRE II

TABLEAU 2.4 Temps d'accrochage et réaccrochage des deux antennes GPS (*Galaxy S2* et *SIRF-III*) et une GPS/GLONASS (*Galaxy S3*) dans une rue étroite à Paris, les deux tests ont été effectués des jours différents.

	Temps d'accrochage au froid	Temps de réaccrochage à chaud
Samsung <i>Galaxy S3</i>	1 ^{er} test : 5mn35s 2 ^{ème} test : 6mn 58s	< 25 secondes
Samsung <i>Galaxy S2</i>	1 ^{er} test : 11 mn 2 ^{ème} test : 8 mn	< 25 secondes
Antenne GPS SIRF-III	1 ^{er} test : 3mn 52s 2 ^{ème} test : 14mn	< 25 secondes

TABLEAU 2.5 Temps d'accrochage et réaccrochage des deux antennes GPS (*Galaxy S2* et *SIRF-III*) et une GPS/GLONASS (*Galaxy S3*) dans un lieu dégagé, les deux tests ont été effectués des jours différents.

	Temps d'accrochage au froid	Temps de réaccrochage à chaud
Samsung <i>Galaxy S3</i>	1 ^{er} test : 1mn 30 s 2 ^{ème} test : 2 mn	<15 secondes
Samsung <i>Galaxy S2</i>	1 ^{er} test : 1mn17 s 2 ^{ème} test : 2mn 30s	<15 secondes
Antenne GPS SIRF-III	1 ^{er} test : 1mn 15 s 2 ^{ème} test : 1mn 50 s	<15 secondes

2.3. Accéléromètres

2.3.1 Le calibrage de l'accéléromètre

Le calibrage est indispensable pour pouvoir faire des mesures quantitatives sur l'inclinaison de l'appareil. Il faut pour cela avoir la vraie valeur de l'accélération de la pesanteur. Dans la mesure où la fonction accélérométrique est actuellement déportée sur le téléphone portable, nous proposons une méthode simple de calibration réalisable facilement par l'utilisateur. L'appareil est posé sur une surface plane à un angle de mur (supposé vertical). Les valeurs moyennes sont obtenues à partir de 500 mesures successives réalisées dans les 3 axes.

CHAPITRE II

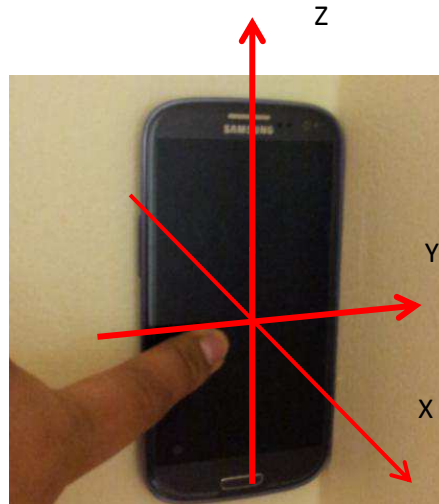


Figure 2.9 Calibration de l'appareil avec une fréquence de 50 Hz.

$$moyenne_x = \frac{\sum_{n=0}^{n=499} accex_n}{500}; \quad moyenne_y = \frac{\sum_{n=0}^{n=499} accey_n}{500}; \quad moyenne_z = \frac{\sum_{n=0}^{n=499} accez_n}{500}$$

$$delta_x = 0 - moyenne_x; \quad delta_y = 0 - moyenne_y; \quad delta_z = 9,8065 - moyenne_z$$

Les valeurs des accélérations calibrées sur chaque axe sont :

$$accex_{calibré} = accex + delta_x; \quad accey_{calibré} = accey + delta_y;$$

$$accez_{calibré} = accez + delta_z$$

Un programme spécial dit « *de calibration* » peut être implanté dans le téléphone, il annonce à l'utilisateur les actions à faire et effectue l'ensemble des mesures et corrections automatiquement.

2.3.2 Le signal accélérométrique

Il permet de détecter les phases d'arrêt de la personne, de compter les pas dans certaines conditions, de mesurer des déplacements et de réaliser une fonction d'inclinomètre.

2.3.2.1 La différenciation de l'état de marche de celui d'arrêt.

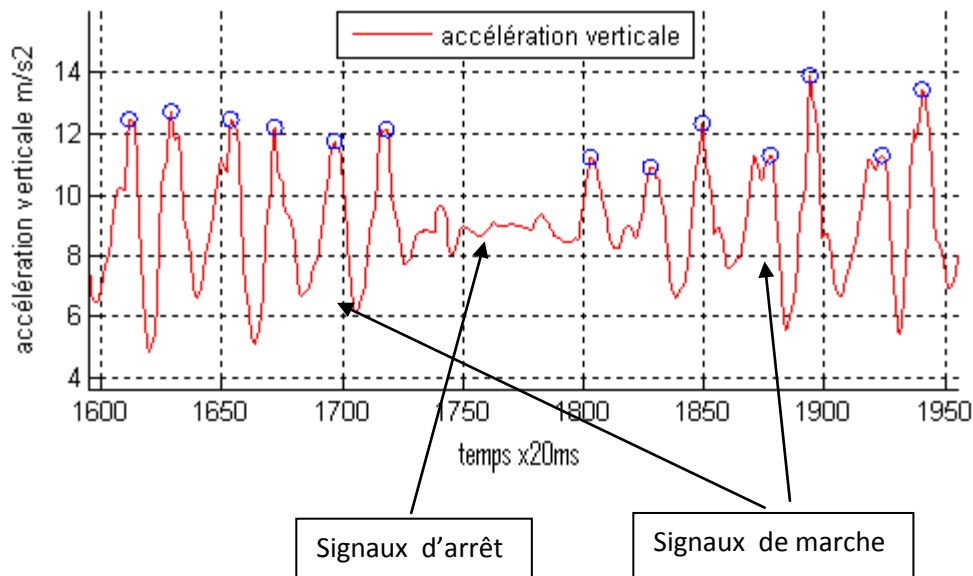


Figure 2.10 Différenciation des signaux de marche et d'arrêt avec l'appareil fixé à la ceinture.

Une valeur stable de l'accélération met en évidence une phase d'arrêt (voir Figure 2.10). Il ne faut pas se fier à une valeur précise de l'intensité du signal, un appareil, même porté à la ceinture, peut avoir différentes inclinaisons résiduelles modifiant la valeur de l'accélération sur les trois axes à l'arrêt.

2.3.2.2 La mesure d'un déplacement par accélérométrie

En théorie, on peut remonter à un déplacement par la double intégration du signal de l'accéléromètre. Pour la vitesse, on a la formule (2.1):

$$v_n - v_0 = \sum_{k=0}^{n-1} a_k \Delta t \quad (2.1)$$

Une première difficulté est de trouver la valeur de la vitesse initiale, ou d'arriver à la recaler de temps en temps. Une solution courante est de placer l'accéléromètre sur le pied. On détecte la pose du pied sur le sol par un pic d'accélération, et à ce moment on sait que la

CHAPITRE II

vitesse du point de contact par rapport au sol est nulle. Cette technique permet d'avoir une valeur de la vitesse régulièrement recalée pour éviter l'accumulation des dérives et permet de remonter à la distance parcourue par la formule (2.2):

$$e_n - e_0 = \sum_{k=0}^{n-1} v_k \Delta t \quad (2.2)$$

La Figure 2.11 montre sur une même échelle le signal de l'accéléromètre fixé au pied et le signal de celui fixé à la ceinture. Nous avons exclu le port de l'accéléromètre au pied pour des raisons d'ergonomie. Pour notre dispositif, nous nous sommes concentrés sur un port du dispositif à la ceinture ou à la main. On remarque que les accélérations sont beaucoup plus faibles. De plus il n'y a pas de moyens de recalibrer la vitesse, et les dérives et les bruits se cumulent indéfiniment dans les calculs de distances, qui deviennent inexploitable en pratique.

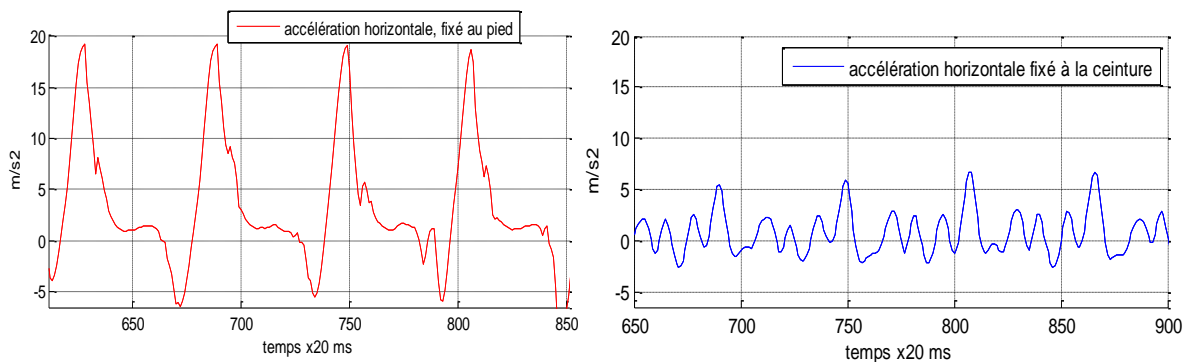


Figure 2.11 Comparaison des accélérations horizontales :
A gauche accéléromètre fixé au pied, à droite accéléromètre fixé à la ceinture.

En revanche, l'accélération verticale de la hanche donne la possibilité de compter les pas (principe du podomètre) en identifiant les maxima de l'accélération (Figure 2.10). C'est l'une des propriétés que nous exploiterons au chapitre V pour le repérage dans les intérieurs sachant que pour un individu, les longueurs de pas sont très reproductibles.

2.3.2.3 La fonction inclinométrique

Le port privilégié de l'appareil de notre approche est celui à la ceinture, qui libère les deux mains de l'utilisateur. Dans ce contexte, l'appareil au cours de la marche est soumis à des mouvements de balancement. Par rapport à l'axe corporel de déplacement, nous appellerons le balancement d'avant en arrière « tangage » et celui de droite à gauche « roulis ». Ces mouvements sont importants car ils perturbent les magnétomètres. Le rôle de l'accéléromètre est de trouver l'inclinaison de l'appareil porté à l'arrêt.

Pour l'angle de tangage (2.3) :

$$P_{tangage} = \arctan\left(\frac{accex_{calibré}}{\sqrt{accez_{calibré}^2 + accey_{calibré}^2}}\right) \quad (2.3)$$

Pour l'angle de roulis (2.4) :

$$R_{roulis} = \arctan \left(\frac{accey_{calibré}}{\sqrt{accez_{calibré}^2 + accex_{calibré}^2}} \right) \quad (2.4)$$

2.4. Le gyroscope

L'utilisation principale du gyroscope est de corriger la valeur du cap de la boussole quand le magnétomètre se trouve dans un milieu magnétique très perturbé. Nous utilisons des gyroscopes piézoélectriques bas coût. Le principal problème du gyroscope fixé à la ceinture est que le mouvement du corps introduit un signal parasite que nous allons décrire. Un autre problème est que la dérive du gyroscope n'est pas stable dans le temps (elle varie notamment avec la température). Il est donc nécessaire de calibrer périodiquement le gyroscope 3 axes. Nous présentons ici les résultats du gyroscope le plus fiable testé, le gyroscope 3 axes LSM330DLC équipant le téléphone *Galaxy S3*.

2.4.1 Calibration du gyroscope 3 axes:

L'appareil est posé sur une surface plane immobile. L'échantillonnage est effectué à 100Hz. Pour trouver la vitesse de dérive des trois axes, on moyenne pendant 10 secondes les 1000 données.

$$\omega_{derive,x} = \frac{\sum_{n=0}^{n=999} \omega_{xn}}{1000} ; \quad \omega_{derive,y} = \frac{\sum_{n=0}^{n=999} \omega_{yn}}{1000} ; \quad \omega_{derive,z} = \frac{\sum_{n=0}^{n=999} \omega_{zn}}{1000}$$

Il faut également calibrer pour chaque axe la valeur de l'angle. Pour cela il faut faire un tour le plus précis possible autour de chaque axe pour trouver la valeur de 360°. On choisit de le faire sur 5 secondes avec 500 données. L'utilisateur fait un tour complet de l'appareil à plat sur la table en se servant du bord de la table comme référence de départ et d'arrivée. De même en posant verticalement l'appareil sur un angle de mur on a des références pour faire un tour complet pour les deux autres axes.

$$Factor\ calib_x = \frac{\sum_{n=0}^{n=499} (\omega_{xn} - \omega_{derive,x})}{360^\circ} ; \quad Factor\ calib_y = \frac{\sum_{n=0}^{n=499} (\omega_{yn} - \omega_{derive,y})}{360^\circ} ;$$

$$Factor\ calib_z = \frac{\sum_{n=0}^{n=499} (\omega_{zn} - \omega_{derive,z})}{360^\circ}$$

Les valeurs de l'angle pour chaque axe sont alors :

$$\phi_{x,calibré} = (\omega_x - \omega_{derive,x}) / Factor\ calib_x$$

$$\phi_{y,calibré} = (\omega_y - \omega_{derive,y}) / Factor\ calib_y$$

$$\phi_{z,calibré} = (\omega_z - \omega_{derive,z}) / Factor\ calib_z$$

A l'arrêt, le gyroscope n'est affecté que par la vitesse de dérive dans les trois axes.

CHAPITRE II

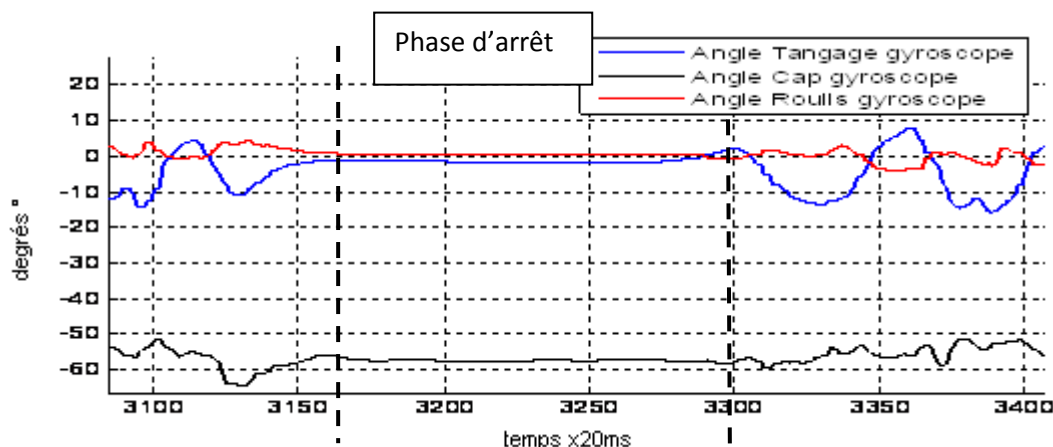


Figure 2.12 Les trois angles donnés par le gyroscope à l'arrêt.

2.4.2 Signaux du gyroscope fixé à la ceinture en situation de marche

Le gyroscope 3 axes fournit l'information sur les variations d'angles au cours de la marche. Nous faisons la somme de ces valeurs pour obtenir les variations d'angles sur de longues durées. L'angle de cap, pour le gyroscope, est l'angle obtenu dans la direction de marche de la personne. Pour l'angle de tangage et de roulis, on utilise les mêmes définitions que pour les accéléromètres. On observe (voir Figure 2.13) que la variation de l'angle de tangage est la principale fluctuation au cours de la marche.

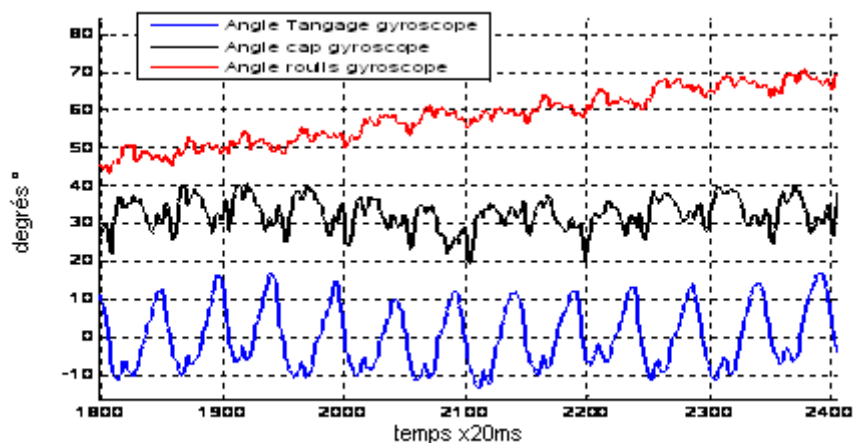


Figure 2.13 Les trois angles donnés par le gyroscope en situation de marche en ligne droite.

On remarque sur l'angle de cap (voir, Figure 2.16) une forte dérive. Cela ne s'interprète pas par la dérive propre du gyroscope mais par un phénomène de combinaison de mouvements de la hanche provoquant dans l'axe de direction, une dérive. Illustrons comment une combinaison de mouvements peut générer une variation de cap différente de celle indiquée par l'axe concerné du gyroscope. Par exemple sur la Figure 2.14, la position

CHAPITRE II

du dispositif a effectué une rotation de 60° alors que l'axe du gyroscope suivant Z n'a rien détecté.

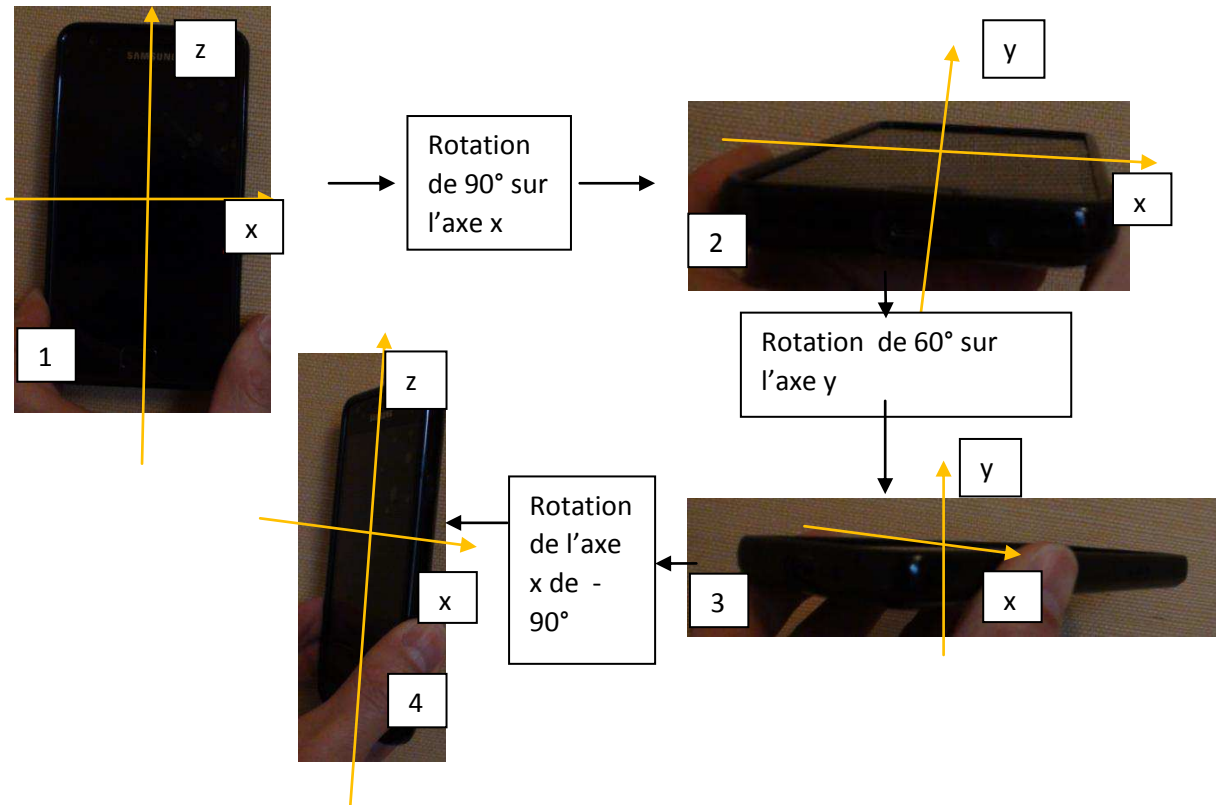


Figure 2.14 Mouvement du dispositif effectuant une rotation de 60° sans bouger la valeur du cap donné par l'axe z du gyroscope.

Ce phénomène intervient dans de nombreuses configurations comme cela est illustré aux Figures 2.15 et 2.16.

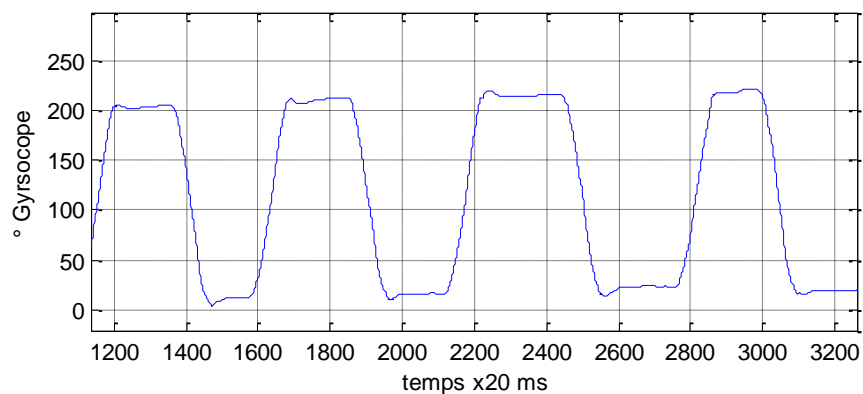


Figure 2.15 Variation d'angle du gyroscope provenant de différents demi-tours dans un sens et dans l'autre.

CHAPITRE II

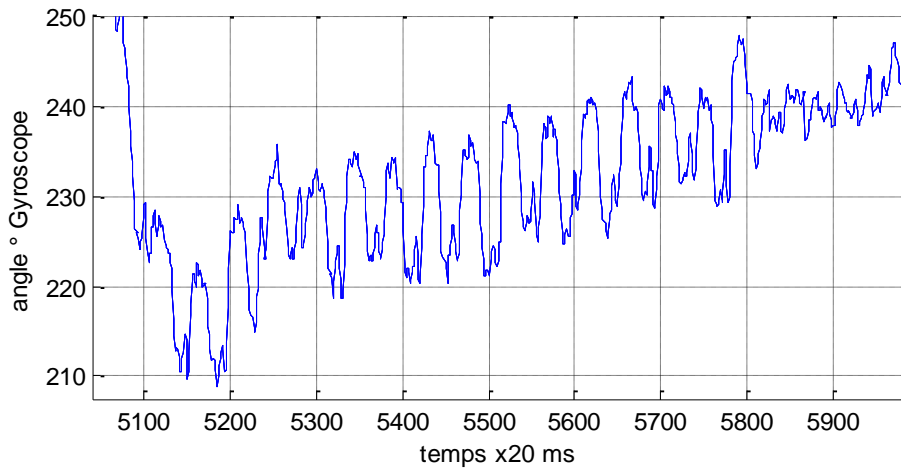


Figure 2.16 Angle de cap, donné par le gyroscope, quand la personne marche en ligne droite.

Ce phénomène sera appelé « *phénomène de ramage* » dans la suite du texte

2.4.3 Détermination des angles de tangage et de roulis au cours de la marche

On calcule les deux angles séparément par le gyroscope et par l'accéléromètre (Figure 2.17 et 2.18). Dans le cas de l'accéléromètre les formules (2.3) et (2.4) sont utilisées.

Angle de tangage :

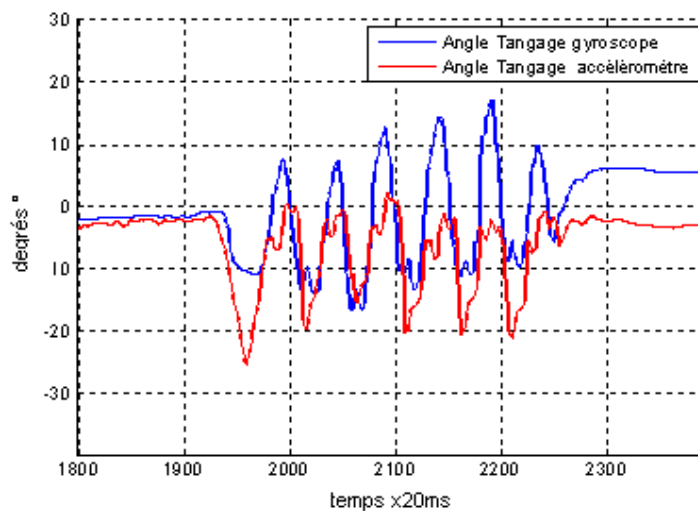


Figure 2.17 Comparaison entre l'angle de tangage mesuré par le gyroscope et par l'accéléromètre.

Angle de roulis :

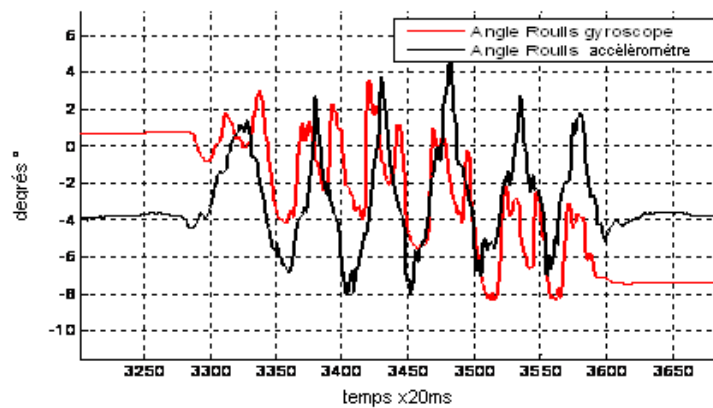


Figure 2.18 Comparaison entre l'angle de roulis mesuré par le gyroscope et par l'accéléromètre.

Dans les deux derniers relevés le gyroscope a été calibré juste avant les mesures ce qui permet de négliger ses dérives. Le bruit introduit par la marche affecte plus le signal accélérométrique que celui du gyroscope sur les courtes constantes de temps. En revanche, le « *phénomène de ramage* » est présent sur le gyroscope surtout pour l'angle de tangage (voir Figure 2.17).

2.5. Evaluation des capteurs magnétiques

2.5.1 Le champ magnétique terrestre :

Il peut être modélisé par un dipôle magnétique (Figure 2.19). L'angle que fait le méridien magnétique avec le méridien géographique est appelé déclinaison magnétique du lieu considéré.

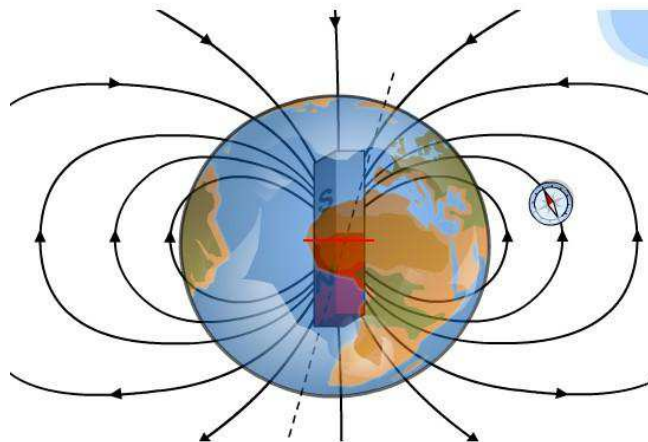


Figure 2.19 Dipôle magnétique de la Terre [37].

CHAPITRE II

La déclinaison magnétique est dite occidentale ou orientale suivant que le méridien magnétique est à l'ouest ou à l'est du méridien géographique. Cette déclinaison magnétique a une valeur connue en un lieu et une date donnée (par exemple : $-0^{\circ}16'$ à Paris le 01/01/2012 ; $-11^{\circ}54'$ à New York le 01/01/1975) [38].

Le champ magnétique en France est de $47 \mu\text{Teslas}$ [39]. La direction de champ magnétique est vers le Nord et fait un angle θ de 63° par rapport à l'horizontale comme dans la Figure 2.20 suivante :

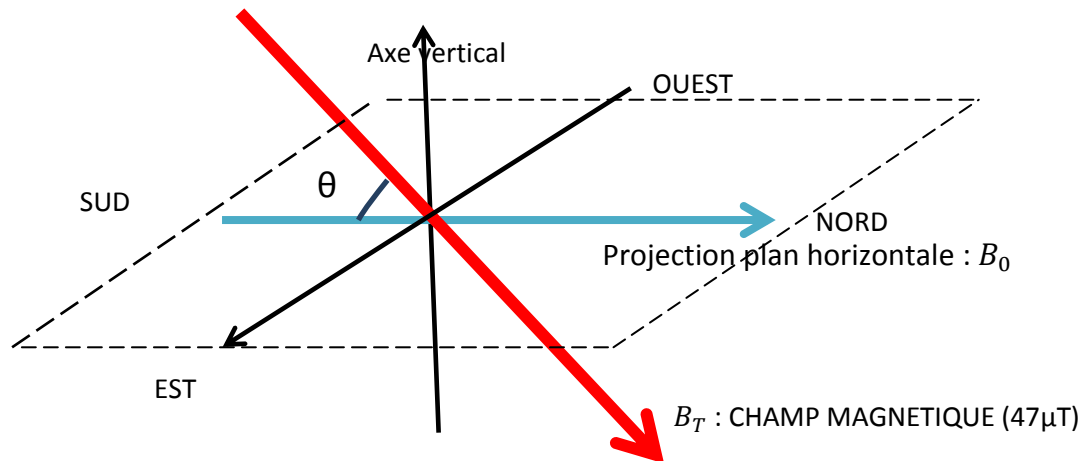


Figure 2.20 Champ magnétique terrestre en France.

La composante horizontale du champ magnétique terrestre orientant la boussole est la projection B_0 du vecteur B_T sur l'horizontale (voir Figure 2.20). Elle est très importante en pratique car dans la plupart des appareils comportant une aiguille aimantée, celle-ci est mobile autour d'un axe vertical sur pivot afin de rester horizontale.

Sur une telle aiguille tout se passe comme si la composante horizontale B_0 agissait seule, elle définit la direction du Nord magnétique.

A Paris $\theta = 63^{\circ}$ et $B_T = 47 \mu\text{T}$

B_0 (B horizontal) $= B_T \cos(\theta) = 47 \cos 63^{\circ} = 21.33 \mu\text{T}$

B_v (B vertical) $= B_T \sin(\theta) = 47 \sin(63) = 41.87 \mu\text{T}$.

Pour calculer le cap, dans le cas où le magnétomètre triaxe est placé de façon à ce que l'axe z soit à la verticale et les axes x et y soient dans le plan horizontal (Figure 2.21), on a :

$B_x \text{ capteur} = B_T \cos(63) \cos(\alpha)$

$B_y \text{ capteur} = -B_T \cos(63) \sin(\alpha)$

$B_z \text{ capteur} = -B_T \sin(63)$

La valeur α du cap est $\alpha = \arctan(B_y \text{ capteur} / B_x \text{ capteur})$.

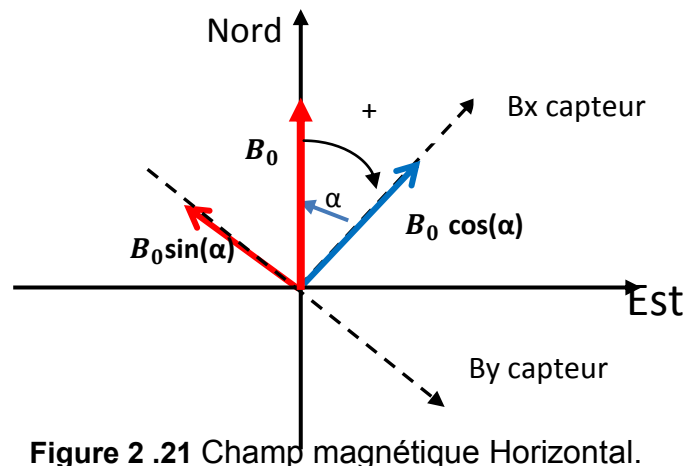


Figure 2 .21 Champ magnétique Horizontal.

De manière globale le champ magnétique peut être affecté par le vent solaire. Dans notre contexte ce sont surtout les perturbations locales qui vont nous préoccuper.

2.5.2 Calibration des capteurs magnétiques

Les capteurs magnétiques sont inclus dans un dispositif électronique générant une perturbation magnétique idéalement permanente. Leur calibration est indispensable afin que le zéro de chaque axe (BX_0 , BY_0 et BZ_0) soit correctement déterminé.

La méthode de calibration accessible à l'utilisateur est la suivante. Sur un appareil positionné à la ceinture on fait deux tours sur soi-même pour calibrer les axes horizontaux. Pour l'axe vertical, on sort l'appareil de son étui et on le fait basculer deux fois de haut en bas. Pour faire cette calibration, on doit être forcément dans un endroit non perturbé magnétiquement. Pour cela il faut éviter les intérieurs. Il n'est pas possible de savoir à priori si un endroit est non perturbé magnétiquement. En revanche, une fois la calibration faite, en faisant un tour sur soi si le cap n'est pas cohérent avec la valeur du gyroscope, on saura que la calibration s'est mal passée. Les zéros des différents axes se trouvent par :

$$BX_0 = (BX_{max} + BX_{min})/2 ; \quad BY_0 = (BY_{max} + BY_{min})/2; \quad BZ_0 = (BZ_{max} + BZ_{min})/2$$

La valeur calibrée du champ pour chaque axe est alors :

$$BX_{calibré} = BX - BX_0 ; \quad BY_{calibré} = BY - BY_0 ; \quad BZ_{calibré} = BZ - BZ_0$$

La difficulté est que les zéros (BX_0 , BY_0 , BZ_0) dépendent fortement de l'état de charge de la batterie du dispositif, et pour les téléphones portables qui ne sont pas conçus pour minimiser ce phénomène, le problème est particulièrement crucial.

CHAPITRE II

On a fait trois tests (Tableau 2.6) pour voir les variations de zéro (BX_0 et BY_0) de l'axe horizontal par rapport à la charge de la batterie (Batterie Li-ion de 3.8 Volts de 7.98 Wh qui vient dans le Smartphone *Galaxy S3*). On réalise une première calibration dans une zone magnétiquement non perturbée avec une batterie chargée à 100%. On repère les valeurs des zéros que l'on considère comme les zéros (BX_0 et BY_0) initiaux (par exemple pour le premier essai $zero_x=0,56\mu Tesla$ et $zero_y=0,057\mu Tesla$). On laisse la batterie se décharger de 10% et on refait la calibration dans les mêmes conditions en mesurant la variation du zéro ($\Delta zero_x = zero_x - zero_{x0}$ et $\Delta zero_y = zero_y - zero_{y0}$) par rapport à celui de la batterie chargée à 100% et ainsi de suite.

TABLEAU 2.6 Variation du zéro_x et du zéro_y par rapport à la charge de la batterie dans trois séries d'essai

Pourcentage de charge de la batterie	zero_x=0,56μT			zero_y=0,057μT		
	1 ^{ère} essai $\Delta zero_x$	2 ^{ème} essai $\Delta zero_x$	3 ^{ème} essai $\Delta zero_x$	1 ^{ère} essai $\Delta zero_y$	2 ^{ème} essai $\Delta zero_y$	3 ^{ème} essai $\Delta zero_y$
100%	0	-0,62	4,53	0	-0,26	4,19
90%	1,29	3,03	6,3	0,15	-0,08	1,03
80%	-0,74	2,31	4,79	-0,08	-1,39	3,42
70%	-0,44	5,24	5,44	0,24	2,94	2,1
60%	0,75	3,72	5,94	-0,89	1,93	0,45
50%	0,12	0,38	6,5	0,27	6,03	-0,55
40%	-0,8	5,39	4,86	-0,8	5,43	1,25
30%	-2,53	6,41	3,81	6,5	5,1	0,42
20%	1,02	5,75	4,05	3,09	4,79	0,3
10%	-0,94	1,53	7,46	0,72	-2,05	3,54
5%	0,78	-0,62	5,96	0,45	-0,26	0,47

Après avoir fait, les trois séries d'essais, on a conclu que le phénomène ne semble pas être reproductible et qu'il n'existe pas de critères simples pour corriger les valeurs de BX_0 et BY_0 en fonction de la décharge de la batterie. Après un certain temps d'utilisation (quelques heures en moyenne, le temps sera plus court si la zone traversée est fortement perturbée magnétiquement), la boussole doit être recalibrée.

On reprend les données du Tableau 2.6 (3^{ème} essai) pour analyser la variation du cap de la boussole par rapport aux 4 angles (nord, est, sud et ouest).

CHAPITRE II

Dans le Tableau 2.7, on observe que l'erreur du cap peut atteindre 33,8° quand la batterie est à 10% de charge (cas le plus critique). En revanche, dans les autres cas, l'erreur est inférieure à 30°, à condition que le dispositif ne se trouve pas dans un endroit perturbé.

TABLEAU 2.7 Variation du cap par rapport à la charge de la batterie en utilisant les données du troisième essai : Tests avec les angles de 0°, 90°, 180° et 270°

Pourcentage de charge de la batterie	Nord (0°) Δcap°	Est (90°) Δcap°	Sud (180°) Δcap°	Ouest (270°) Δcap°
100%	15,1	-15,9	-9,6	32
90%	4,2	-18,3	-2,2	11,5
80%	12,6	-16,1	-7,8	28,4
70%	8,2	-16,9	-4,7	20,3
60%	1,8	-16,9	-0,9	5,1
50%	-2,3	-17,5	1,1	-6,8
40%	4,7	-14,5	-2,8	12,5
30%	1,4	-11	-1	4,1
20%	1	-11,6	-0,7	3
10%	15,7	-24,3	-7,3	33,8
5%	1,9	-16,9	-1	5,3

Sachant que 30° d'erreur n'a pas de conséquences catastrophiques pour le guidage (Chapitre 3 § 3.5.1 et 3 § 3.5.2), ce type d'erreur à priori non corrigé, n'est pas rédhibitoire.

Il y a aussi des problèmes de démagnétisation de la boussole quand elle est perturbée par un champ magnétique très fort, plus de 1000 μT , durant un certain temps. Au début, on a cru que ce problème serait rare, mais il s'est produit lors de passages près de grilles métalliques ou sur un pont métallique. Pour le vérifier, l'appareil étant placé dans une direction fixe (180°), on approche un aimant pour perturber la boussole. La Figure 2.22 montre que la boussole indique une direction fautive d'environ 100° (soit plus d'un quart de tour) une fois que l'aimant est retiré. Il est alors nécessaire de rallumer le dispositif et de calibrer à nouveau la boussole.

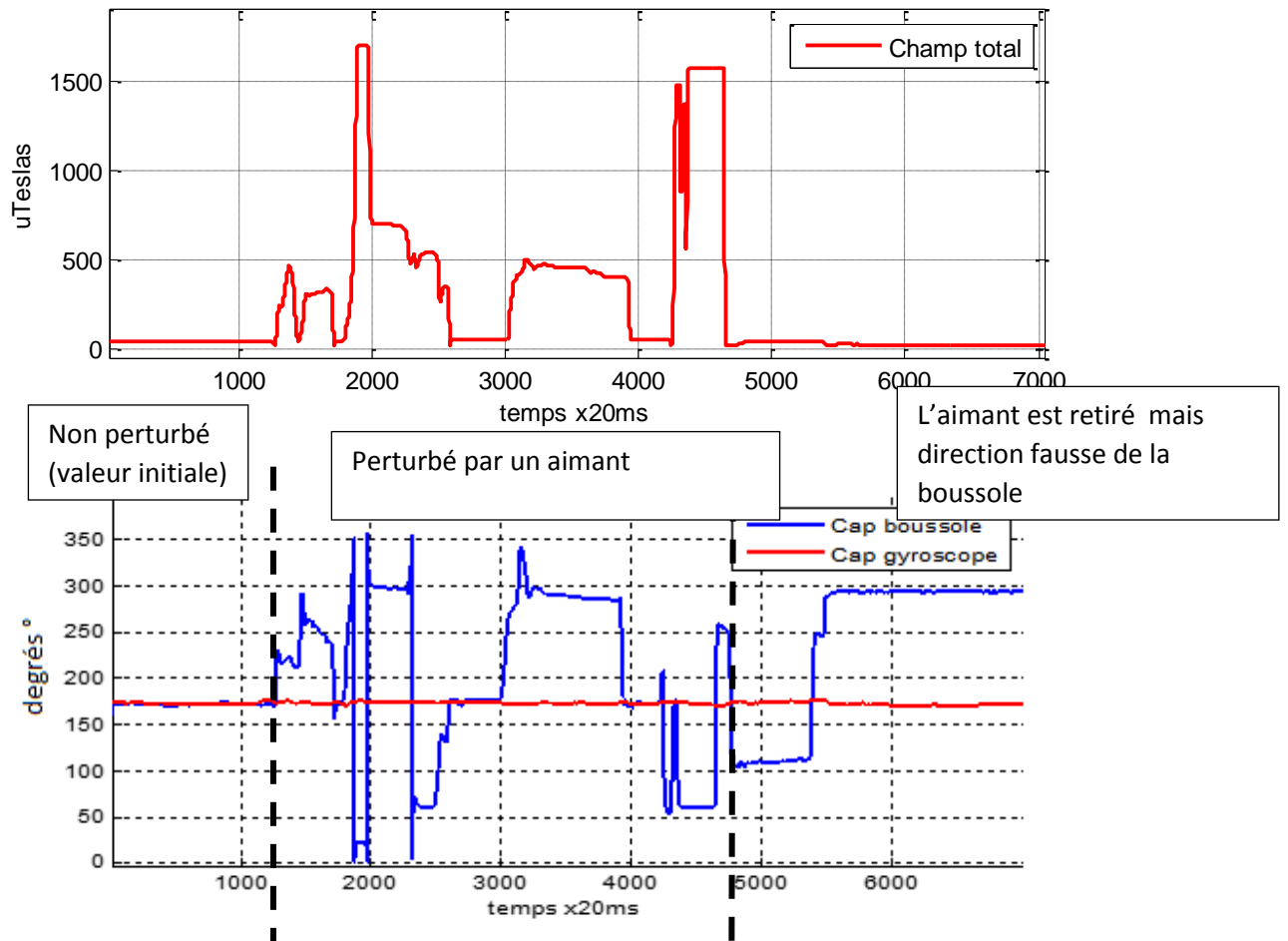


Figure 2.22 Cap de la boussole et cap du gyroscope avec aimant perturbateur.

2.5.3 Fixation du magnétomètre à la ceinture

Dans le cas d'un magnétomètre porté à la ceinture le mouvement de basculement du corps lors de la marche va aussi varier la mesure du champ magnétique dans les 3 axes (Figure 2.23).

On a fait un test sur une ligne droite dans un endroit non perturbé magnétiquement pour observer ce changement de la mesure du champ magnétique juste à cause du mouvement de la hanche (soient les angles de tangage et de roulis).

Il est observé, à la Figure 2.24, que le mouvement de la hanche introduit une perturbation qui avait été déjà observée dans les tests faits pour le gyroscope et l'accéléromètre (utilisé comme inclinomètre) sur une ligne droite. Le mouvement de tangage (perturbation sur l'axe BX) est plus important que le mouvement de roulis (perturbation sur l'axe BY).

CHAPITRE II

Pour l'angle par rapport au nord, il est observé que ce mouvement de la hanche peut introduire une erreur maximale de 25° (voir Figure 2.25)

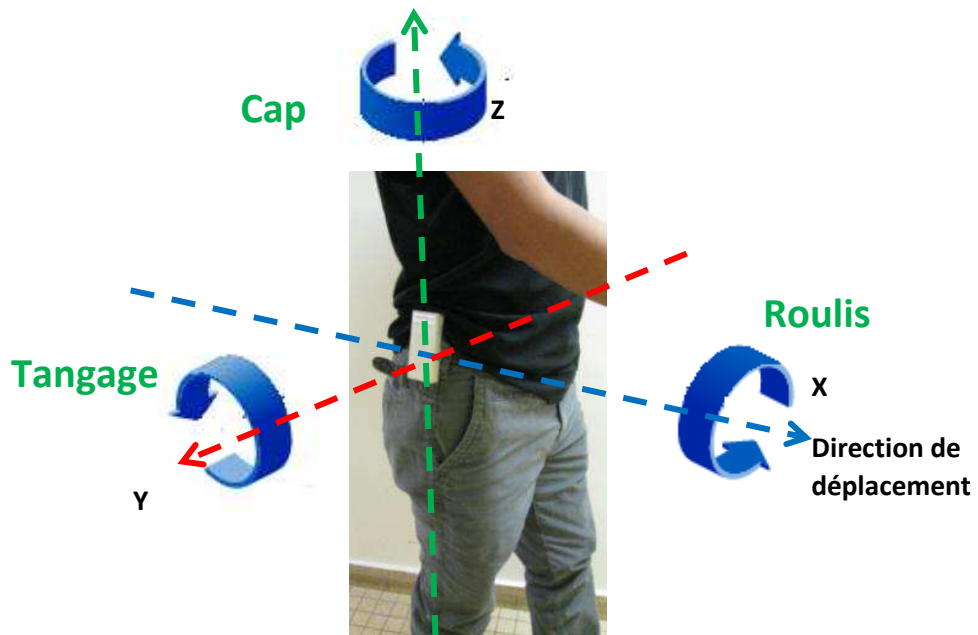


Figure 2.23 Appareil à la ceinture avec direction de déplacement dans l'axe « X ».

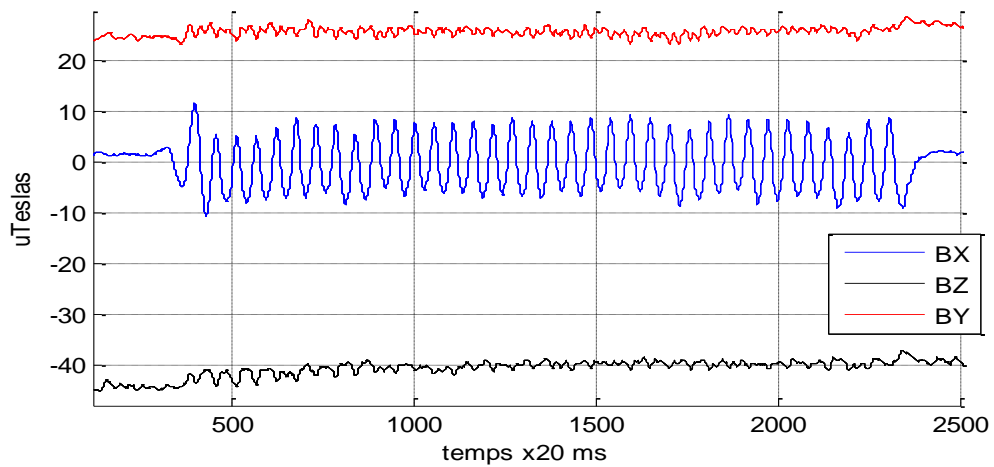


Figure 2.24 Signaux BX, BY et BZ obtenus lors d'une marche en ligne droite dans un endroit non perturbé magnétiquement.

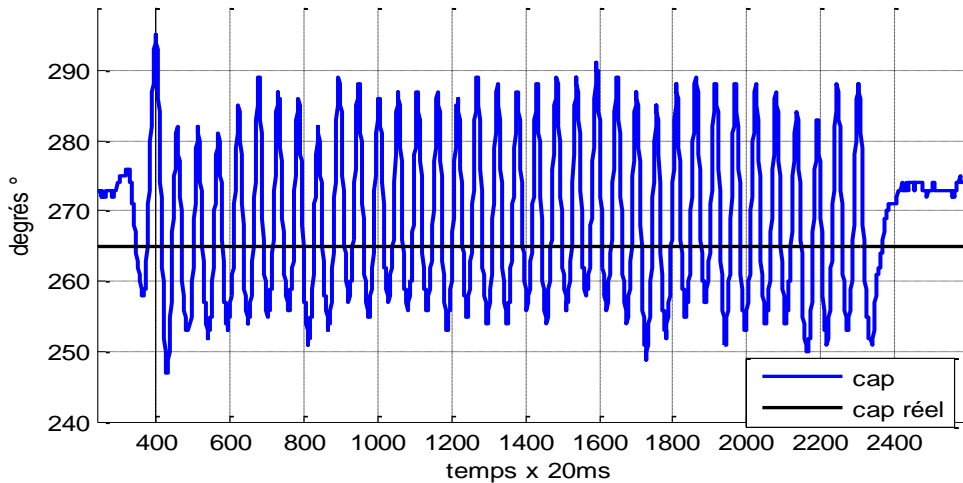


Figure 2.25 Comparaison entre le cap par rapport au nord donné par la boussole et le cap réel.

2.5.3.1 Variation de la mesure du champ magnétique par l'angle de tangage

Soit le cas d'un déplacement vers l'axe X (nord) :

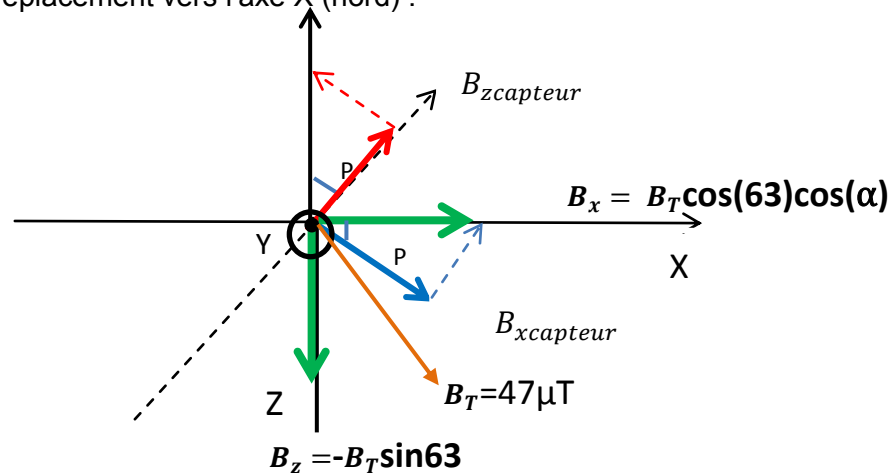


Figure 2.26 Variation de la mesure du champ magnétique par l'angle de tangage P.

Dans le cas général pour un cap α et un angle de tangage P on a :

$$B_{x\text{capteur}} = B_T \cos(63) \cos(\alpha) \cos(P) + B_T \sin(63) \sin(P)$$

$$B_{y\text{capteur}} = -B_T \cos(63) \sin(\alpha)$$

$$B_{z\text{capteur}} = -B_T \sin(63) \cos(P) + B_T \cos(63) \cos(\alpha) \sin(P);$$

$$\begin{bmatrix} B_{x\text{capteur}} \\ B_{y\text{capteur}} \\ B_{z\text{capteur}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(P) & 0 & -\sin(P) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(P) & 0 & \cos(P) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_T \cos(63) \cos(\alpha) \\ -B_T \cos(63) \sin(\alpha) \\ -B_T \sin(63) \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

CHAPITRE II

Soit $\mathbf{B} = \mathbf{M}(\mathbf{T}) \mathbf{B}(\alpha)$ avec M matrice de rotation traduisant le mouvement de tangage

$\alpha = \arctan (B_y / B_x)$, il faut connaître l'angle P et effectuer la correction due à la rotation.

Dans le cas d'un angle de tangage fixe, c'est-à-dire à l'arrêt, avec une verticalité de la boussole mal positionnée on peut trouver l'angle de tangage fixe par les accéléromètres et compenser facilement (voir Figure 2.27).

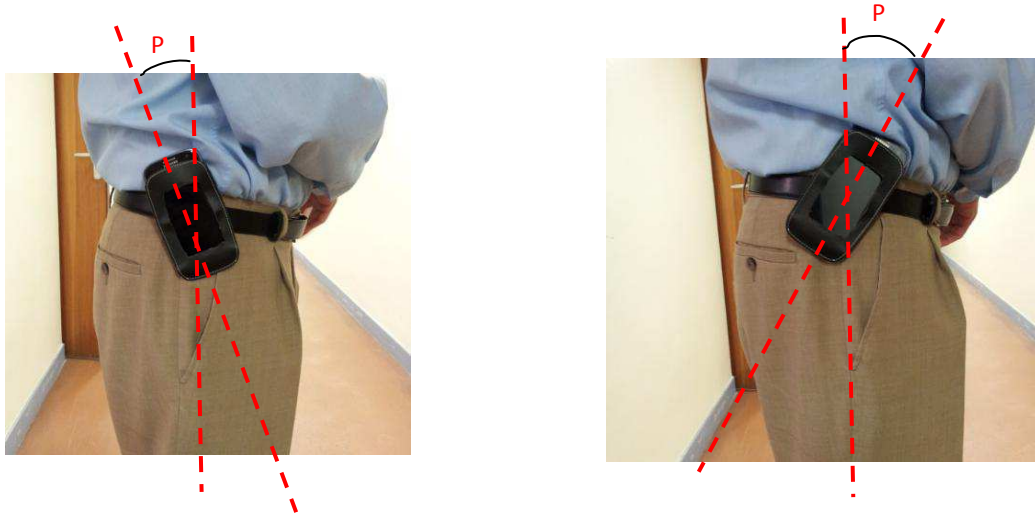


Figure 2.27 Angle de tangage P à la ceinture dans un sens et dans l'autre.

Nous verrons plus tard que nous traiterons le problème autrement en signalant à l'utilisateur une mauvaise verticalité (mode de guidage urbain).

En revanche, en situation de déplacement le corps assure un mouvement de roulis et de tangage compliquant la situation.

2.5.3.2 Variation de la mesure du champ magnétique par l'angle de roulis

On représente sur la Figure 2.28 le cas d'un déplacement vers l'axe X.

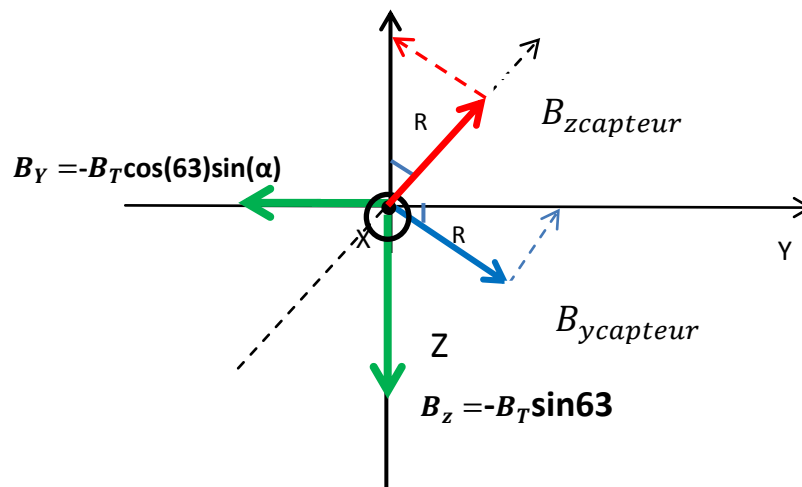


Figure 2.28 Variation de la mesure du champ magnétique par l'angle de roulis R.

CHAPITRE II

$$B_{x\text{capteur}} = B_T \cos(63) \cos(\alpha);$$

$$B_{y\text{capteur}} = -B_T \cos(63) \sin(\alpha) \cos(R) + B_T \sin(63) \sin(R);$$

$$B_{z\text{capteur}} = -B_T \sin(63) \cos(R) - B_T \cos(63) \sin(\alpha) \sin(R);$$

$$\begin{bmatrix} B_{x\text{capteur}} \\ B_{y\text{capteur}} \\ B_{z\text{capteur}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(R) & -\sin(R) \\ 0 & \sin(R) & \cos(R) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_T \cos(63) \cos(\alpha) \\ -B_T \cos(63) \sin(\alpha) \\ -B_T \sin(63) \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Soit $B = M(R) B(\alpha)$

Cas Général:

Le champ magnétique est donné par $B = M(T)M(R)B(\alpha)$. Dans cette simulation, on a fait dans un premier temps une rotation sur α , puis une rotation de l'angle de roulis et finalement une rotation de tangage:

$$\begin{bmatrix} B_{x\text{capt}} \\ B_{y\text{capt}} \\ B_{z\text{capt}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(P) & 0 & -\sin(P) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(P) & 0 & \cos(P) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(R) & -\sin(R) \\ 0 & \sin(R) & \cos(R) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_T \cos(63) \cos(\alpha) \\ -B_T \cos(63) \sin(\alpha) \\ -B_T \sin(63) \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$\begin{bmatrix} B_{x\text{capt}} \\ B_{y\text{capt}} \\ B_{z\text{capt}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(P) & -\sin(P)\sin(R) & -\sin(P)\cos(R) \\ 0 & \cos(R) & -\sin(R) \\ \sin(P) & \sin(R)\cos(P) & \cos(R)\cos(P) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_T \cos(63) \cos(\alpha) \\ -B_T \cos(63) \sin(\alpha) \\ -B_T \sin(63) \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Les valeurs sont montrées dans la matrice suivante :

$$\begin{bmatrix} B_{x\text{capt}} \\ B_{y\text{capt}} \\ B_{z\text{capt}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_T \cos(63) \cos(\alpha) \cos(P) + B_T \cos(63) \sin(\alpha) \sin(P) \sin(R) + B_T \sin(63) \sin(P) \cos(R) \\ -\cos(R) B_T \cos(63) \sin(\alpha) + B_T \sin(63) \sin(R) \\ B_T \cos(63) \cos(\alpha) \sin(P) - B_T \cos(63) \sin(\alpha) \sin(R) \cos(P) - B_T \sin(63) \cos(R) \cos(P) \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Deuxième cas général:

$B = M(R)M(T)B(\alpha)$. Dans cette simulation, on a fait dans un premier temps une rotation sur α , puis une rotation de l'angle de tangage et finalement une rotation de roulis:

$$\begin{bmatrix} B_{x\text{capt}} \\ B_{y\text{capt}} \\ B_{z\text{capt}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(R) & -\sin(R) \\ 0 & \sin(R) & \cos(R) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(P) & 0 & -\sin(P) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(P) & 0 & \cos(P) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_T \cos(63) \cos(\alpha) \\ -B_T \cos(63) \sin(\alpha) \\ -B_T \sin(63) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$\begin{bmatrix} B_{x\text{capt}} \\ B_{y\text{capt}} \\ B_{z\text{capt}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(P) & 0 & -\sin(P) \\ -\sin(P)\sin(R) & \cos(R) & -\sin(R)\cos(P) \\ \sin(P)\cos(R) & \sin(R) & \cos(R)\cos(P) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_T \cos(63) \cos(\alpha) \\ -B_T \cos(63) \sin(\alpha) \\ -B_T \sin(63) \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

CHAPITRE II

Les valeurs sont montrées dans la matrice suivante :

$$\begin{bmatrix} B_{xcapt} \\ B_{ycapt} \\ B_{zcapt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(P)B_T\cos(63)\cos(\alpha) + \sin(P)B_T\sin(63) \\ -\sin(P)\sin(R)B_T\cos(63)\cos(\alpha) - \cos(R)B_T\cos(63)\sin(\alpha) + \sin(R)\cos(P)B_T\sin(63) \\ \sin(P)\cos(R)B_T\cos(63)\cos(\alpha) - B_T\cos(63)\sin(\alpha)\sin(R) - B_T\sin(63)\cos(R)\cos(P) \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

2.5.3.3 Simulation dans le cas de tangage et de roulis purs et vérification par rapport aux relevés

Nous avons placé un Smartphone sur un support basculant afin de faire un tangage pur centré sur la verticale. Nous nous sommes servi des données du gyroscope 3 axes pour mesurer la vitesse angulaire de chaque axe et l'intégrer pour obtenir l'angle de tangage. Nous allons comparer les valeurs obtenues par le calcul à partir des valeurs théoriques du champ magnétique terrestre et celles mesurées à l'aide du gyromètre et les comparer aux valeurs obtenues par le magnétomètre.

Dans les pages suivantes, nous montrons la comparaison entre la simulation et les valeurs réelles de la mesure du champ magnétique en fonction de l'angle de tangage pour les 3 axes du magnétomètre quand la valeur de l'angle par rapport au nord est de 0° et 45° (voir Figure 2.29 et Figure 2.30).

Nous montrons également la comparaison entre la simulation et les valeurs réelles de la mesure du champ magnétique en fonction de l'angle de roulis pour les 3 axes du magnétomètre quand la valeur de l'angle par rapport au nord est de 0° et 45° (voir Figure 2.31 et Figure 2.32).

CHAPITRE II

2.5.3.3.1 Tangage

$\alpha = 0^\circ$;

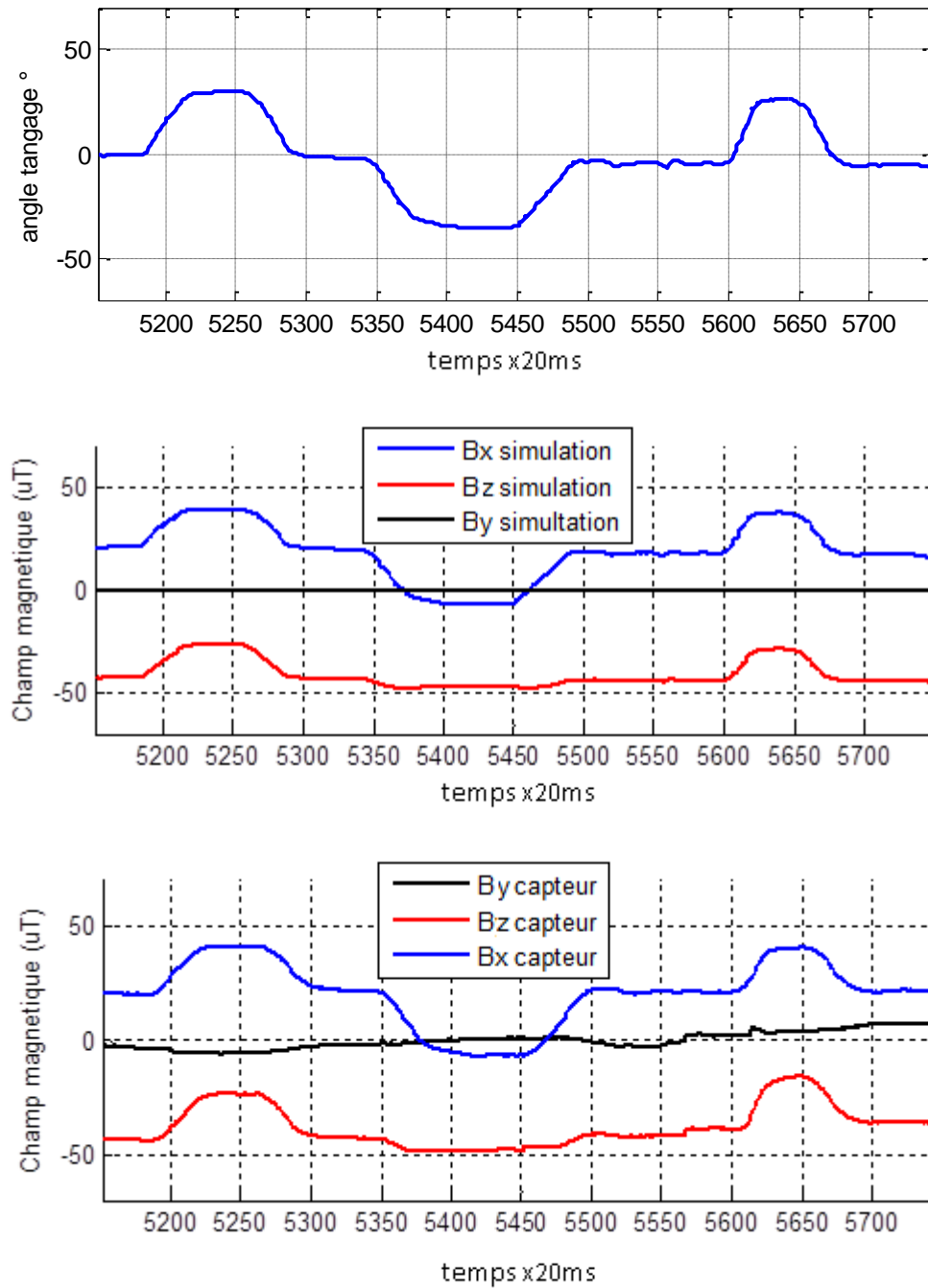


Figure 2.29 Comparaison entre la simulation et les valeurs réelles de la mesure du champ magnétique en fonction de l'angle de tangage pour les 3 axes du magnétomètre quand la valeur est de $\alpha=0^\circ$ (angle par rapport au nord).

$\alpha = 45$

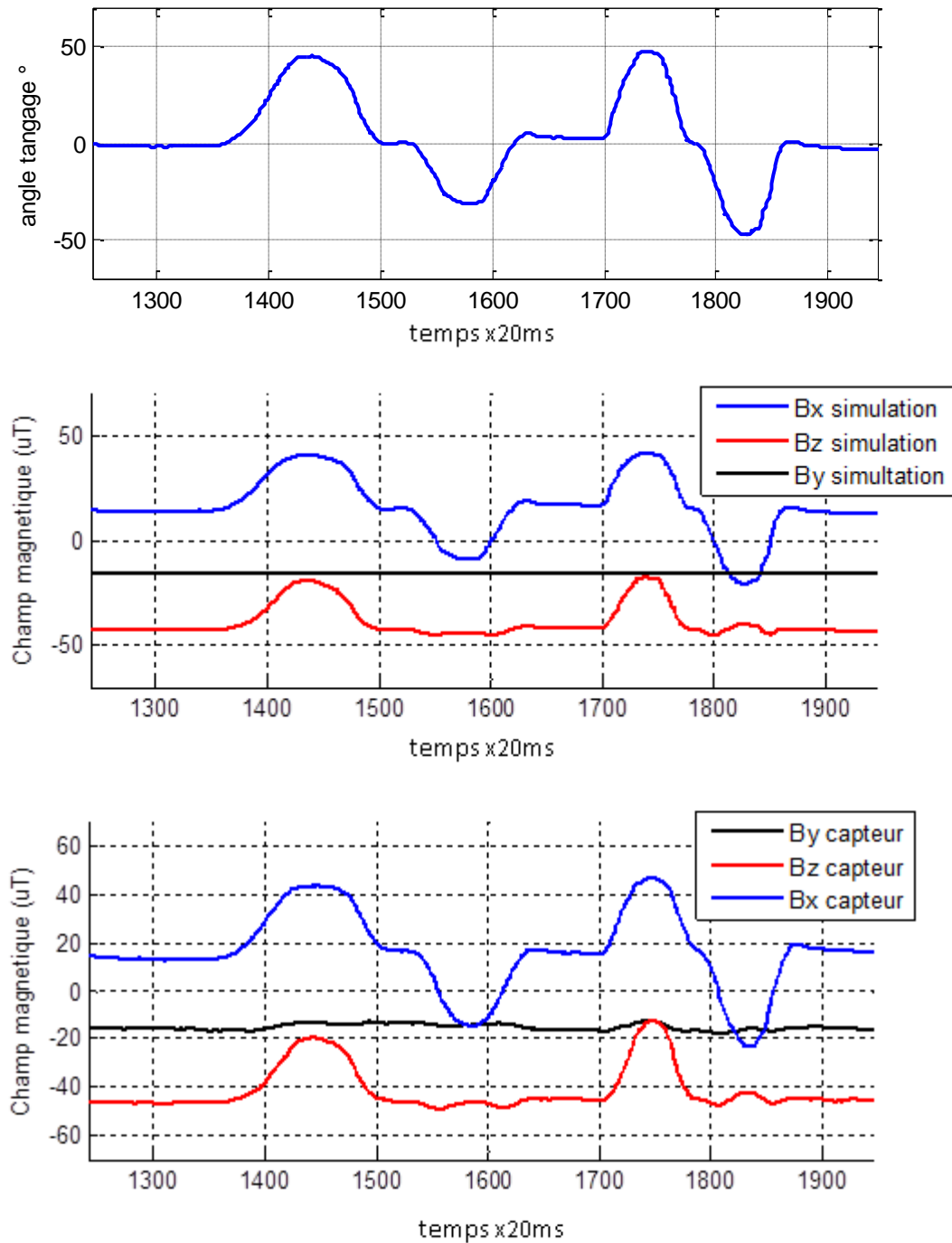


Figure 2.30 Comparaison entre la simulation et les valeurs réelles de la mesure du champ magnétique en fonction de l'angle de tangage pour les 3 axes du magnétomètre quand la valeur est de $\alpha = 45^\circ$ (angle par rapport au nord).

Nous avons vérifié de même de 45° en 45° la concordance jusqu'à 360°

2.5.3.3.2 Roulis

$\alpha=0^\circ$;

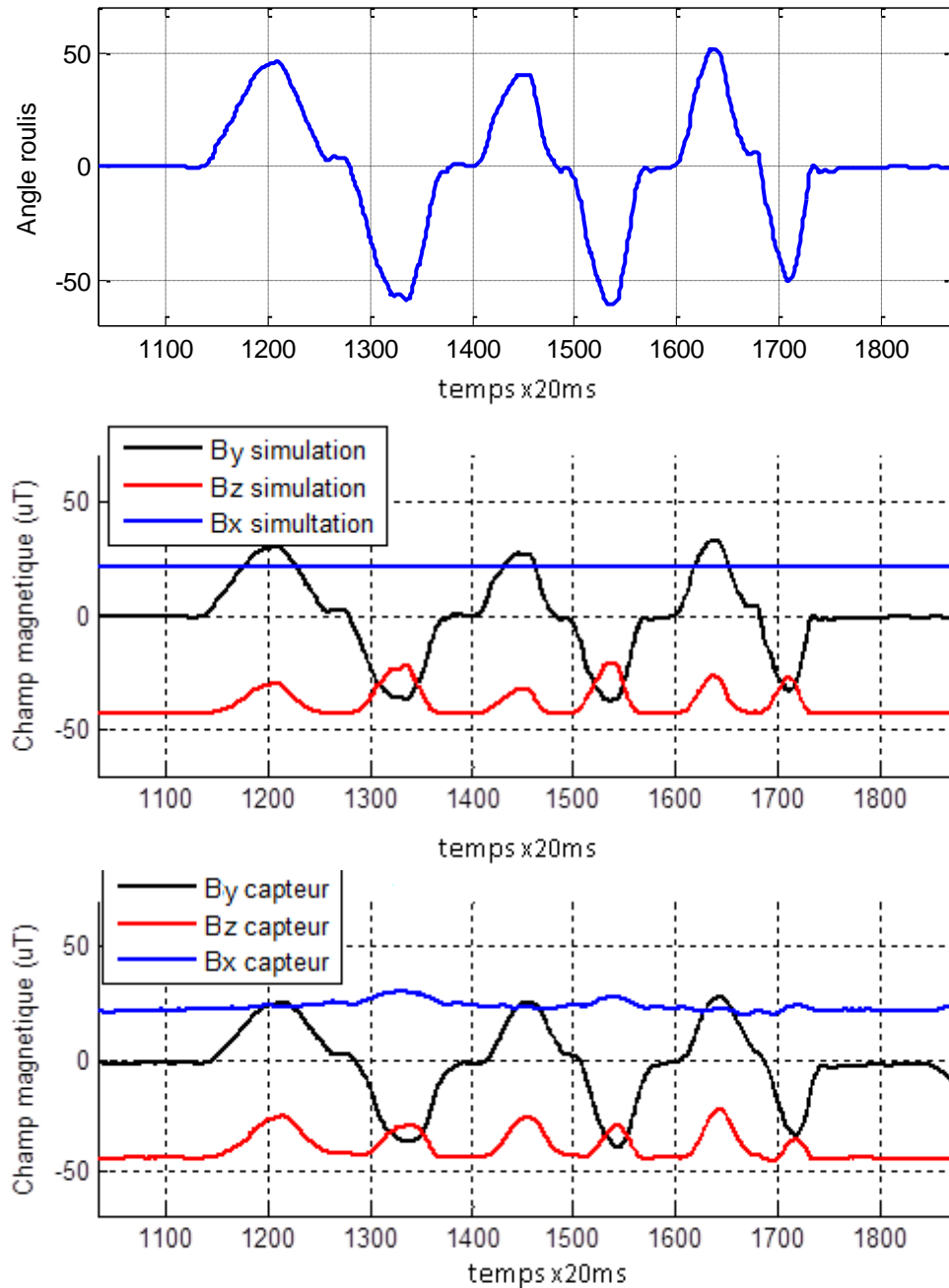


Figure 2.31 Comparaison entre la simulation et les valeurs réelles de la mesure du champ magnétique en fonction de l'angle de roulis pour les 3 axes du magnétomètre quand la valeur est de $\alpha=0^\circ$ (angle par rapport au nord).

$\alpha=45^\circ$;

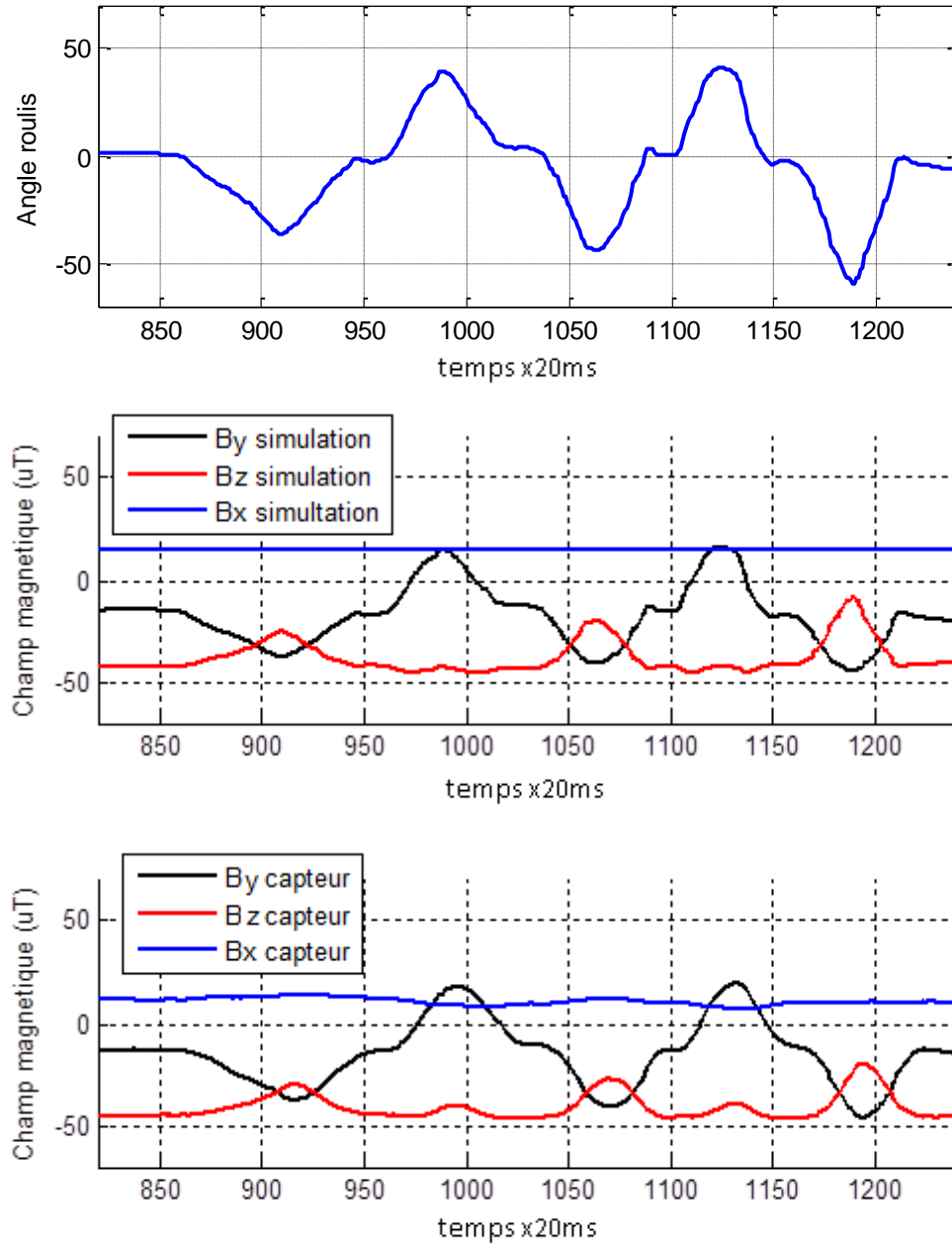


Figure 2.32 Comparaison entre la simulation et les valeurs réelles de la mesure du champ magnétique en fonction de l'angle de roulis pour les 3 axes du magnétomètre quand la valeur est de $\alpha=45^\circ$ (angle par rapport au nord).

CHAPITRE II

Ainsi, les résultats étaient analogiques quand nous avons vérifié la concordance de 45° en 45° sur tous les axes jusqu'au tour complet mais nous ne présentons pas les figures pour tous les angles. La bonne concordance de ce test permet de vérifier que nous maîtrisons les mesures de champ magnétique couplées aux angles de tangage et de roulis. Il sera indispensable de prendre en compte cet effet pour les mesures de cap.

2.5.4 Perturbations magnétiques dans des situations réelles

Nous montrons quelques relevés de perturbations de champs magnétiques correspondant à des situations rencontrées lors de trajets tests en situations réelles. Nous avons utilisé alternativement une boussole faite en interne pour les besoins des tests à base de capteurs Honeywell HMC1052 et HMC1051Z, ainsi que les capteurs magnétiques intégrés dans les téléphones portables *Galaxy S2* et *S3*. Il n'y a pas eu de différences notables remarquées entre le comportement des différents capteurs. Elles restent négligeables devant les grandeurs mesurées. Nous relevons avec le magnétomètre à la ceinture, les valeurs du champ magnétique total (qui doit être proche de $47\mu\text{T}$), de l'inclinaison du champ (proche de 63°) et la valeur du cap par rapport au nord $\alpha = \arctan(B_y/B_x)$ qui est comparé avec sa valeur réelle.

2.5.4.1 Exemples des perturbations magnétiques en campagne ou forêts (exemple grille métallique)

On a choisi un chemin avec des grilles métalliques (Figure 2.33) et on a fait un aller (segment AB)-retour (segment BA), voir Figure 2.34, au même endroit. On a calculé les valeurs du champ magnétique total, l'inclinaison magnétique et le cap qui est comparé avec le cap réel obtenu à partir de l'information cartographique « Google Earth ».



Figure 2.33 Grille métallique.

CHAPITRE II

Tel que observé au 2.5.3, il existe deux sources de perturbations : une perturbation propre due à mouvement de la hanche (voir, Figure 2.25), observée sur les oscillations du cap et une autre due à perturbations extérieures, par exemple, un aimant permanent.

Dans ce test, (voir, Figure 2.34), dans le segment AB, le champ magnétique total descend vers $20\mu\text{T}$ et l'inclinaison fluctue entre 0° et 80° . Le cap est aussi la plupart du temps faux avec une perturbation maximale de 70° .

En revanche, dans le segment BA, le champ magnétique varie entre $30\mu\text{T}$ et $40\mu\text{T}$ et l'inclinaison fluctue entre 20° et 50° . Le cap a une erreur maximale de 30° . Ce dernière phénomène serait expliqué, plus en détail, dans la partie 2.5.5 intitulé « Comportement du champ magnétique ».

CHAPITRE II

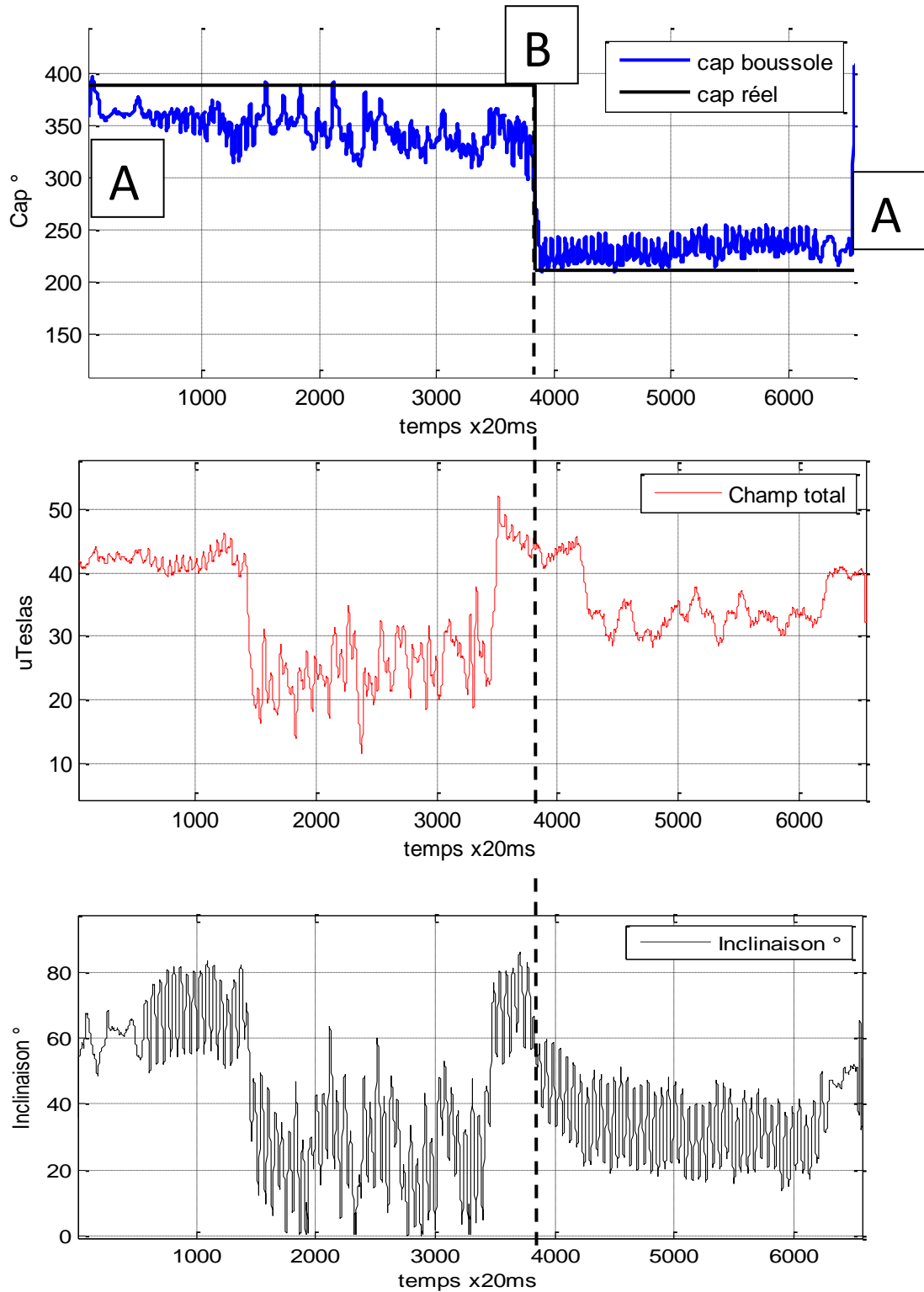


Figure 2.34 Cap magnétique, champ magnétique total et inclinaison dans la campagne (le long d'une grille métallique).

2.5.4.2 Exemples des perturbations magnétiques en milieu urbain

On a fait un test dans le 14^{ème} arrondissement à Paris en faisant un aller-retour en suivant le parcours ABCBA (Figure 2. 35, à gauche). La Figure 2.36 montre les valeurs au cours de trajet du champ magnétique total, de l'inclinaison magnétique et du cap qui est comparé avec le cap réel obtenu à partir de l'information cartographique « Google Earth ».

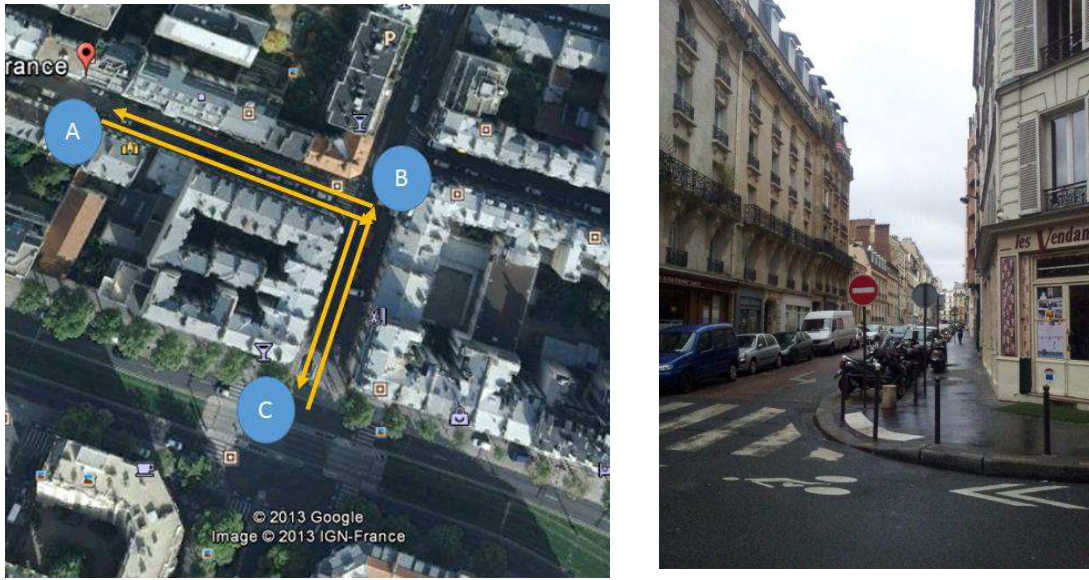


Figure 2.35 A gauche : parcours ABCBA choisi pour le test.

A droite : Test réalisé dans une rue étroite (mauvaise réception du signal GPS).

En milieu urbain, le champ magnétique n'est pas fortement perturbé. Dans le segment AB, la valeur du champ magnétique fluctue entre $40\mu\text{T}$ et $60\mu\text{T}$, l'inclinaison varie entre 40° et 65° et le cap a une erreur maximale de 15° . Dans le segment BC les valeurs de champ magnétique fluctuent entre $35\mu\text{T}$ et $50\mu\text{T}$ et l'inclinaison entre 35° et 75° . Le cap, dans ce segment, a une erreur maximale de 20° . Dans le segment CB, le champ magnétique fluctue entre $35\mu\text{T}$ et $55\mu\text{T}$ et l'inclinaison entre 55° et 85° . Le cap a une erreur maximale de 60° dans ce segment. Finalement, dans le segment BA (dernier segment), le champ magnétique varie entre $40\mu\text{T}$ et $55\mu\text{T}$, la valeur de l'inclinaison fluctue entre 40° et 55° et le cap a une erreur maximale inférieure à 25° .

CHAPITRE II

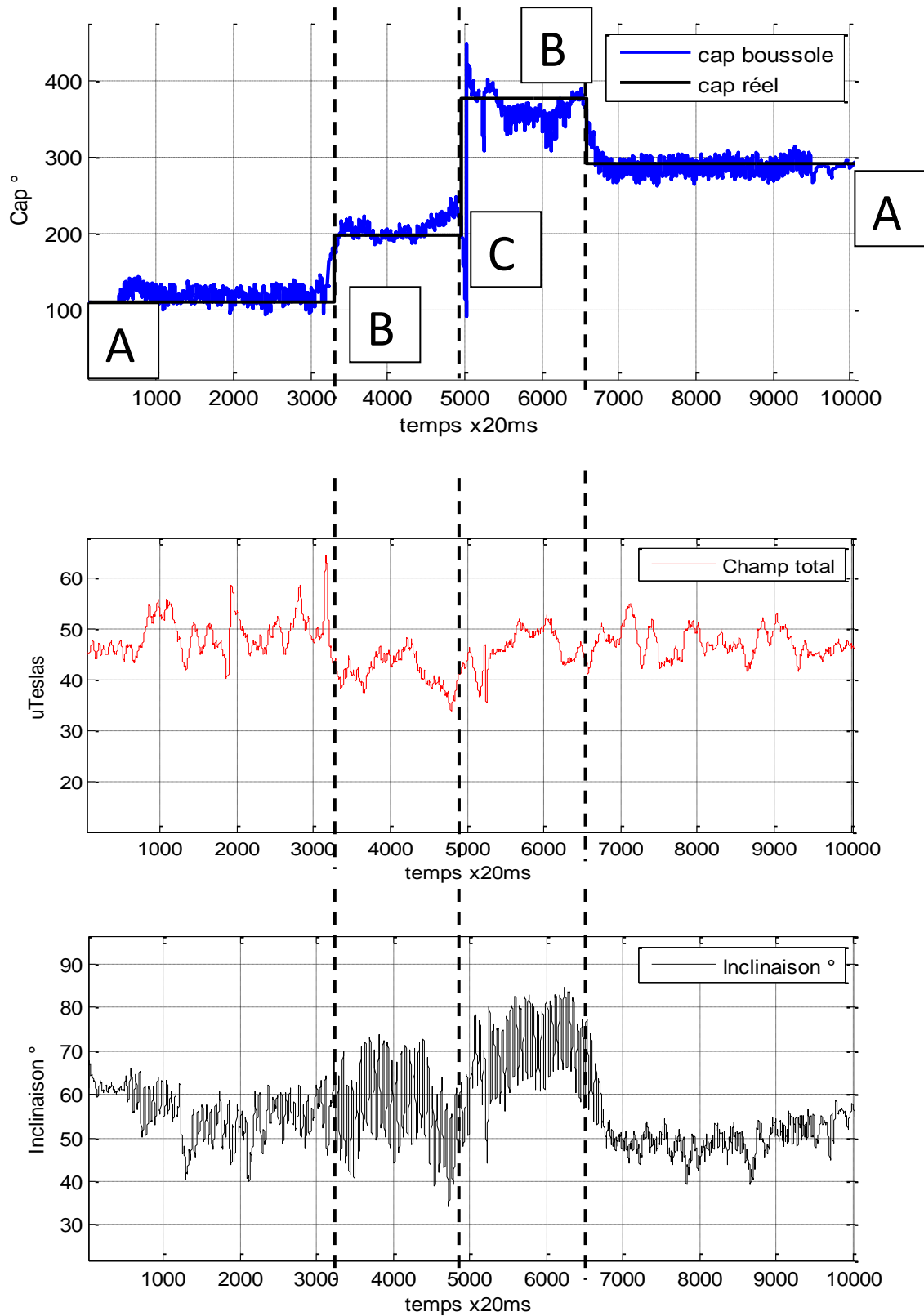


Figure 2.36 Cap magnétique, champ magnétique total et inclinaison en milieu urbain.

2.5.4.3 Exemples de perturbations en intérieurs

Ce test est effectué dans les couloirs du bâtiment 503 de l'Université Paris Sud en suivant le parcours ABCBA (Figure 2. 37, à gauche). La Figure 2.38 montre les valeurs au cours de trajet du champ magnétique total, l'inclinaison magnétique et le cap calculé qui est comparé au cap réel obtenu à partir de l'information cartographique « Google Earth ».



Figure 2.37 A gauche : parcours ABCBA choisi pour le test dans le bâtiment 503.
A droite : couloir du parcours.

En intérieur, les cas sont plus critiques parce que le champ magnétique peut être perturbé par les placards métalliques ou des câbles électriques environnants et rester perturbé longtemps. Le segment le plus affecté dans ce test est le segment AB où le champ total descend jusqu'à $30\mu\text{T}$ et l'inclinaison magnétique fluctue entre 70° et 90° . Le cap a une erreur maximale de 170° . Dans le segment BC, le champ magnétique total fluctue entre $38\mu\text{T}$ et $58\mu\text{T}$, l'inclinaison entre 50° et 70° et le cap a une erreur maximale de 40° . Dans le segment CB, le champ magnétique fluctue entre $38\mu\text{T}$ et $65\mu\text{T}$, l'inclinaison entre 45° et 85° et le cap a une erreur maximale de 90° . Finalement, dans le segment BA, le champ magnétique fluctue entre $38\mu\text{T}$ et $55\mu\text{T}$, l'inclinaison entre 40 et 70° et l'erreur maximale du cap est 70° .

CHAPITRE II

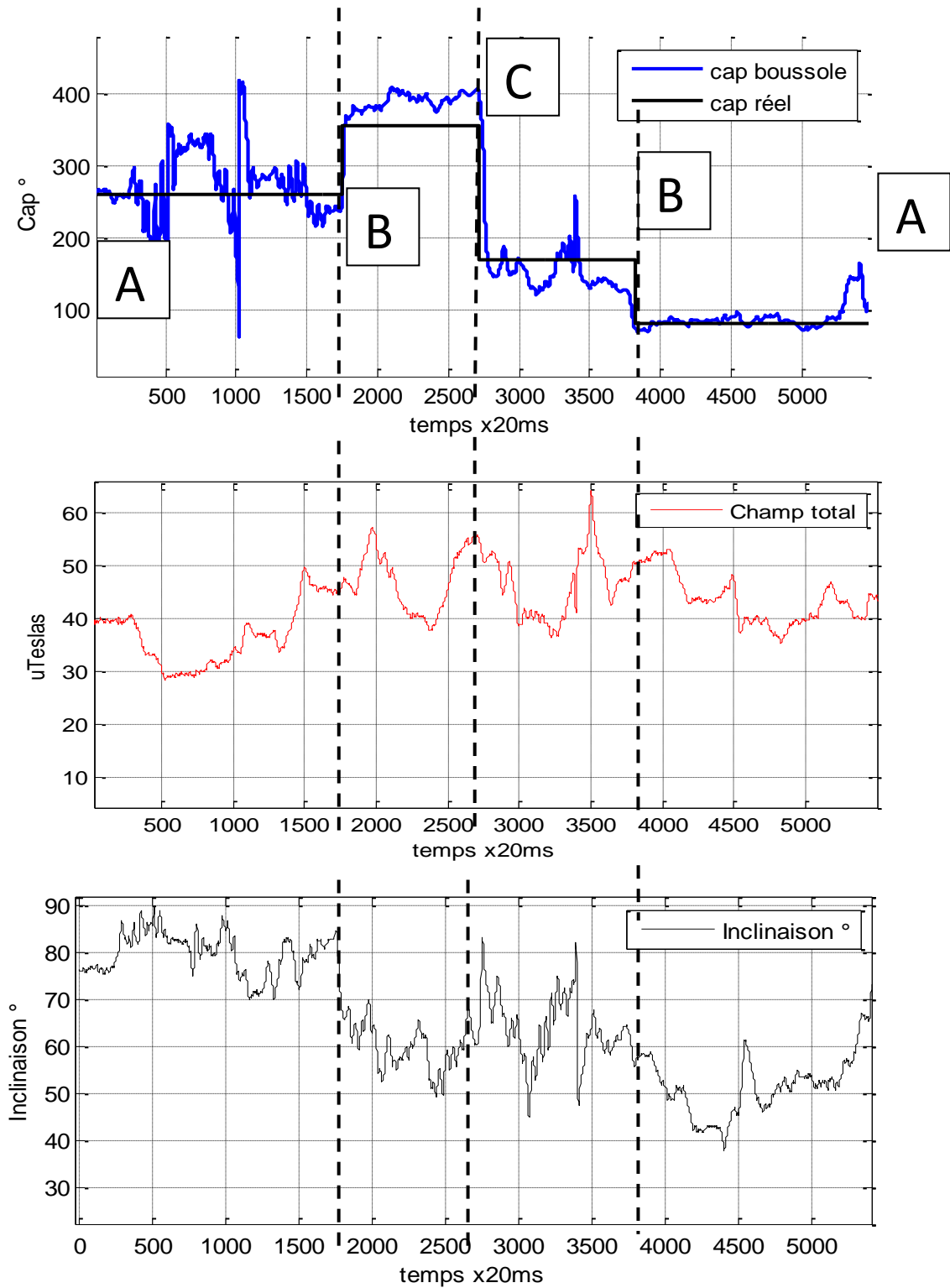


Figure 2.38 Cap magnétique, champ magnétique total et inclinaison en intérieurs.

2.5.5 Comportement du champ magnétique

Dans les trois tests décrits antérieurement, le champ magnétique total est perturbé dans les trois cas. En intérieur et dans le cas de la grille métallique, les erreurs maximales du cap dues aux perturbations sont plus critiques. En revanche, dans le cas du milieu urbain, la perturbation magnétique est ponctuelle et après un certain temps, le cap redevient cohérent.

Première constatation fréquente : même avec un champ magnétique et une inclinaison magnétique perturbés, le cap par rapport au nord n'est pas nécessairement faux. Par exemple, dans le segment BA (test de la grille métallique), voir Figure 2.34, avec une inclinaison magnétique (entre 20° et 60°) perturbée et une valeur de champ magnétique total (entre 25μT et 40μT) également perturbée, le cap par rapport au nord est exploitable car l'erreur n'excède pas 30° par rapport au cap cartographique.

Ce comportement s'explique à la Figure 2.39. Si le champ magnétique terrestre \vec{B}_T , de composante horizontale (B_0) et verticale (B_V), est perturbé (Figure 2.39, à droite) par un aimant (\vec{B}_{aimant}) et le champ résultant de cette perturbation \vec{B}_{TP} , a l'inclinaison par rapport à l'horizontal réduit, par exemple, de 63° à 30°, alors, le module du \vec{B}_{TP} (24μT) a une valeur inférieure à la valeur du module \vec{B}_T (47μT). En revanche, la composante horizontale B_{OP} , a presque la même direction et le même module que B_0 (Figure 2.39, à gauche). Dans ce cas, les deux caps par rapport au nord (cas perturbé et non perturbé) sont sensiblement les mêmes.

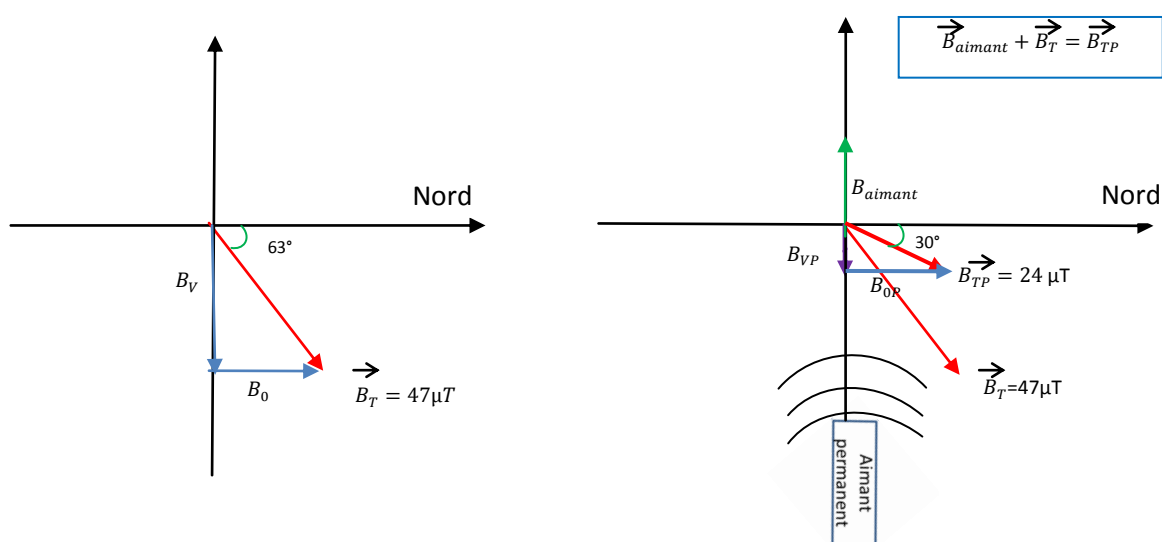


Figure 2.39 A gauche : Champ magnétique \vec{B}_T non perturbé, B_0 et B_V composantes verticale et horizontale.
A droite : Champ magnétique \vec{B}_{TP} perturbé, B_{OP} et B_{VP} , composantes verticale et horizontale, cap maintenu.

CHAPITRE II

En pratique, on observe couramment, pour le champ des inclinaisons fausses de plusieurs dizaines de degrés et des modules s'écartant du module de $47\mu\text{T}$ du champ non perturbé, tout en ayant des caps justes à 30° près.

Deuxième constatation fréquente : avec des valeurs correctes du module du champ magnétique au voisinage de $47\mu\text{T}$ et une inclinaison au voisinage de 63° , on peut avoir un cap faux comme dans le cas du segment BC en intérieur, voir Figure 2.38. Ce comportement s'explique à la Figure 2.40. Si le vecteur du champ magnétique \vec{B}_T , se déplace, à cause d'une perturbation magnétique extérieure (\vec{B}_{aimant}), sur un cône de révolution d'angle 63° en gardant la même norme au voisinage de $47\mu\text{T}$, les composantes verticale B_{VP} et horizontale \vec{B}_{OP} auront les mêmes modules que B_V et B_O . Cependant, la composante horizontale B_{OP} a une nouvelle direction sur le plan horizontal, pourtant, le cap α_2 obtenu sur le plan horizontal (cas de perturbation) par rapport au nord n'est plus le même que le cap α_1 obtenu sur le plan horizontal (cas de non perturbation).

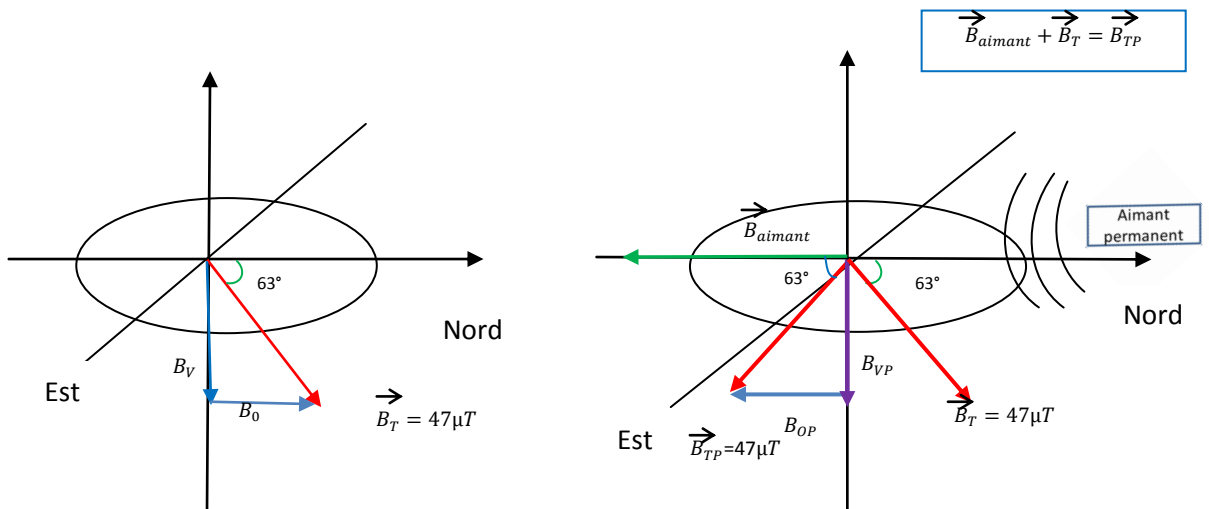


Figure 2.40 A gauche : Champ magnétique B_T non perturbé, B_O et B_V composantes verticale et horizontale.

A droite : Champ magnétique B_{TP} perturbé, B_{OP} et B_{VP} , composantes verticale et horizontale, cap non maintenu.

CHAPITRE II

Ces deux cas arrivent fréquemment, donc placer des conditions très strictes sur l'inclinaison du champ et son module a deux limitations importantes : on perd beaucoup de valeurs de cap utilisables et on n'a pas non plus une garantie d'un cap juste. Ces conditions sur l'inclinaison et le module seront donc utilisées avec des critères ayant une grande tolérance. Ceci permettra d'éliminer les fortes perturbations, en revanche, la stratégie pour déterminer une information de cap fiable ne repose pas seulement sur ce critère.

2.6. Capteur barométrique (altimètre):

Un capteur barométrique peut servir à mesurer une différence de hauteur par une différence de pression. Le LPS331AP est un capteur de pression qui fournit une grande résolution (0,1 mbars) dans un petit boîtier et il est idéal pour une utilisation dans les Smartphones et les tablettes PC [39]. Il est ainsi intégré dans le Smartphone *Galaxy S3*. Grâce à ce capteur, on peut détecter si la personne se trouve dans un étage dans un même bâtiment. Le fonctionnement de l'altimètre est le suivant : si la pression augmente la personne descend les escaliers et inversement elle diminue si la personne monte les escaliers.

Pour calibrer notre altimètre (Figure 2.41); il faut passer d'une valeur de pression en mbars à une valeur altimétrique en mètres. Monter deux étages, ce qui fait 6 mètres d'hauteur, donne presque 0,8 mbar de différence.

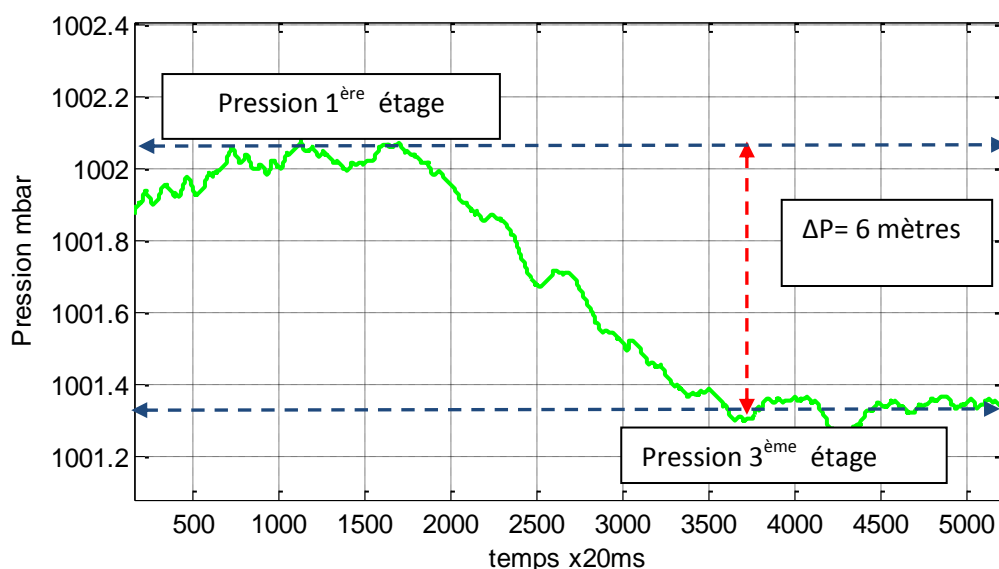


Figure 2.41 Différence de pression (mbars) pour monter 6 mètres de hauteur.

CHAPITRE II

Ce dispositif est le plus utilisé pour les navigations en intérieur comme dans le métro ou dans les bâtiments de plusieurs étages (Chapitre V). Il sert à recalibrer la centrale inertielle et éviter de cumuler les erreurs quand on passe d'un étage à l'autre.

2.7. Capteurs infrarouges

Description donnée par Mr. Joselin Villanueva dans sa thèse intitulée : « Contribution à la télémétrie optique active pour l'aide aux déplacements des non-voyants » [4]. Un capteur infrarouge est un système composé d'un émetteur à diode électroluminescente (LED) et d'une photodiode de réception associée à une optique. La LED projette de la lumière vers l'obstacle. Une partie de la lumière rétrodiffusée par ce dernier est collectée par la photodiode de réception.

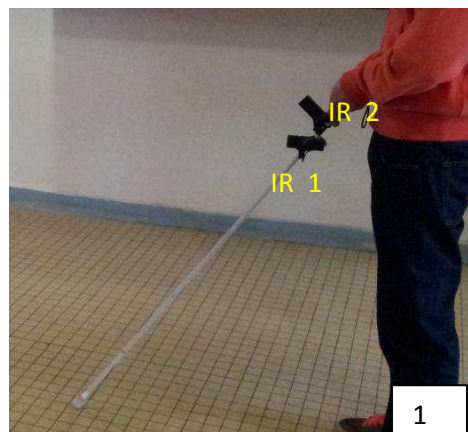


Figure 2. 42 (1) Proximètres infrarouge pointant horizontalement et un autre pointant à 45 degrés vers le haut ; (2) Détection de hauteur de plafond avec le proximètre infrarouge qui pointe vers le haut ; (3) Proximètre infrarouge horizontal pour trouver les passages de portes.

CHAPITRE II

Nous allons utiliser les capteurs infrarouges en intérieur pour trouver les caractéristiques des bâtiments. Les obstacles horizontaux sont susceptibles de varier (personnes, colis, etc.). En revanche, les hauteurs de plafond ainsi que les rabaissements de hauteur dus aux passages de portes sont des éléments stables. Pour effectuer le test dans un couloir du bâtiment 503, nous utilisons un proximètre infrarouge horizontal (IR1) ainsi qu'un autre pointant à 45° vers le haut (IR2) (voir Figure 2.42). Le proximètre est placé sur une canne blanche et le balayage se fait sur la largeur des pieds. Un petit programme a été fait pour enregistrer les données des deux capteurs sur le téléphone, ultérieurement transférées à un PC.

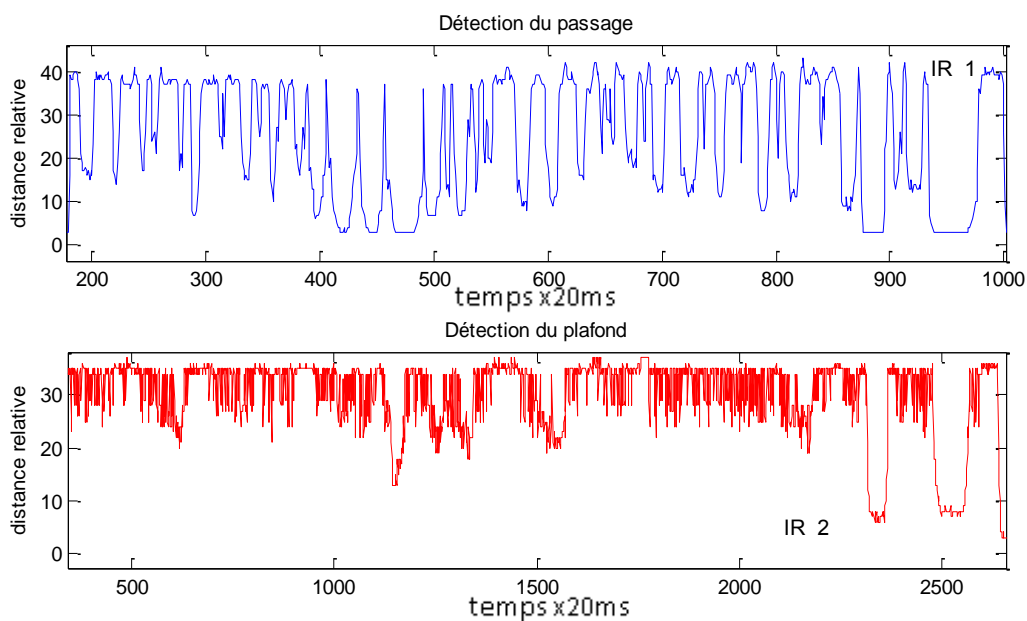


Figure 2. 43 Courbe d'hauteur : résultats obtenus avec le proximètre infrarouge horizontal.
En bas : résultats obtenus avec le proximètre dirigé vers le plafond (test dans un couloir du bâtiment 503).

La Figure 2.43, courbe du haut, montre les résultats obtenus avec le proximètre infrarouge horizontal et en bas, les résultats obtenus avec le proximètre dirigé vers le plafond.

On observe qu'avec le balayage de la canne on détecte les murs de gauche et de droite (courbe du haut, Figure 2.43) du couloir lorsque la valeur du signal se trouve entre 0 et 20 mais aussi les passages libres (courbe en haut aussi, Figure 2.43) quand le signal est presque 40.

CHAPITRE II

Le Télétact III est un appareil conçu pour s'utiliser comme aide à la mobilité et est fixé sur la poignée de la canne blanche. Il est constitué de deux modules infrarouges, un module pour la triangulation laser et un module pour la communication Bluetooth. Le premier module infrarouge (IR1) détecte les obstacles devant l'utilisateur tandis que le deuxième module infrarouge (IR2) détecte les obstacles au niveau de la tête (Figure 2.44). Le module laser (pointé vers l'horizontal) prévient des obstacles fins et des passages étroits lointains.

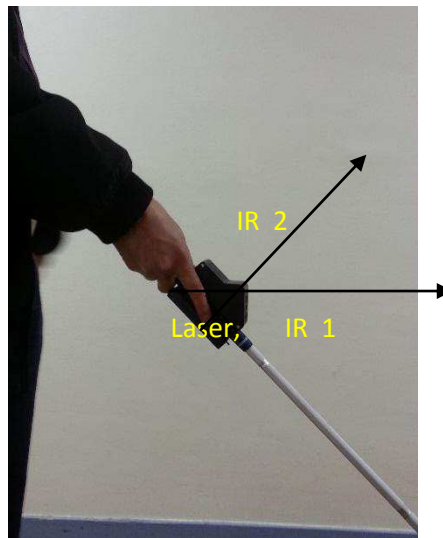


Figure 2.44 Télétact III.

Ce système est aussi utilisé pour détecter l'entrée d'un bâtiment et de cette façon faire fonctionner la centrale inertielle du Smartphone pour connaître la position GPS avant que le signal GPS ne soit perdu. La Figure 2.45 montre de façon claire comment la différence entre une hauteur de porte, est associée à la détection d'un passage comme dans les parties AB, CD, EF et GH. Une diminution de l'amplitude (distances) des signaux donnés par les deux capteurs infrarouges (IR1 et IR2) est observée quand la personne se dirige vers le mur (Figure 2.46).

CHAPITRE II

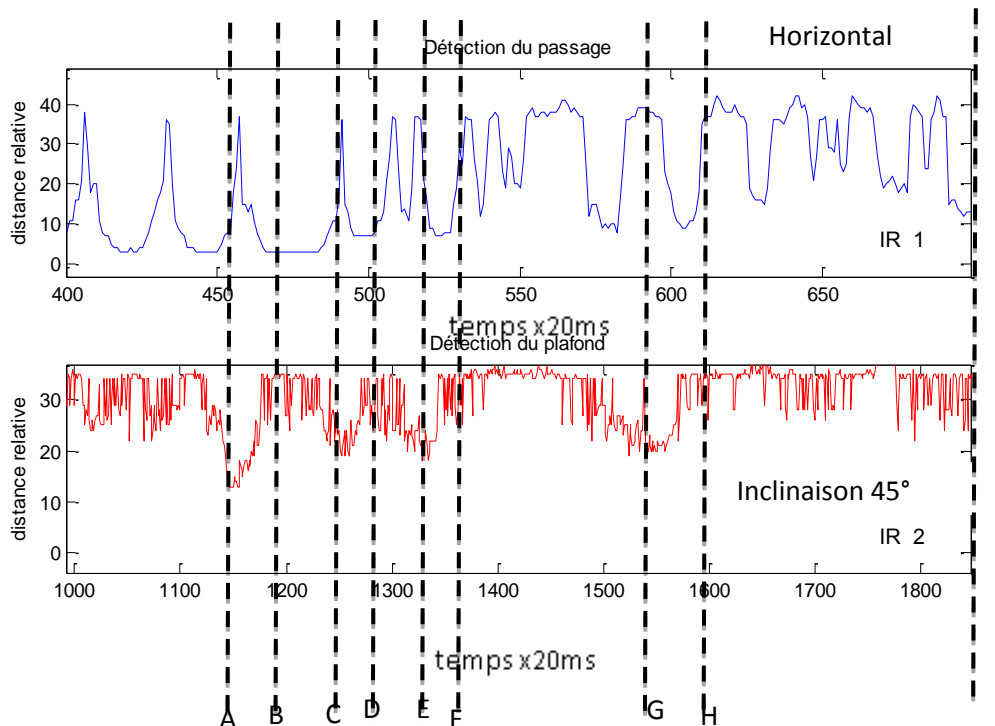


Figure 2.45 Rapport entre détection du passage et détection du plafond. Une différence de hauteur est liée à une détection du passage libre
 AB : Couloir avec plafond bas.
 CD, EF, GH : Couloir avec plafond intermédiaire.
 FG, HI : Hall plafond haut.

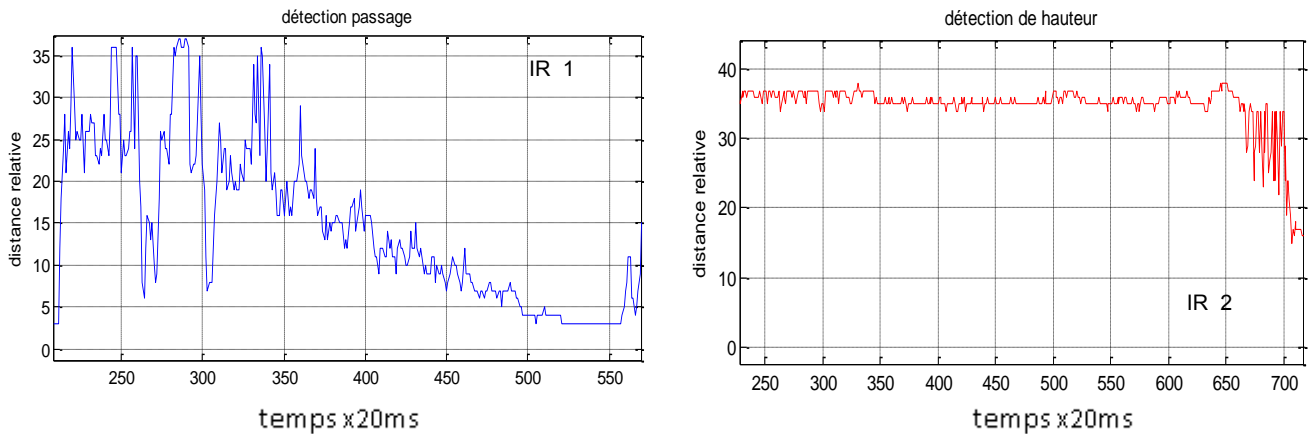


Figure 2.46 A droite : distance relative, proximètre pointé vers le plafond, quand la personne s'approche d'un mur.
 A gauche : distance relative, proximètre horizontal, quand la personne s'approche d'un mur.

2.8 Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons expliqué les performances et limitations par rapport aux différents capteurs susceptibles d'intervenir dans notre contexte : récepteurs GPS (antennes), capteurs magnétiques, accéléromètres, gyroscopes, altimètres, proximètres

CHAPITRE II

infrarouges et télémètres laser. On va montrer, dans les chapitres suivants, comment les combiner pour effectuer un guidage efficace pour les non-voyants en milieu urbain, en randonnée (milieu semi urbain, forêts) et en intérieurs.

Chapitre III : Mode de fonctionnement en milieu urbain

Introduction

Le milieu urbain est le mode le plus simple car les contraintes cartographiques sont minimales. En effet, la plupart du temps, il existe de multiples chemins sensiblement équivalents pour rejoindre deux points. Le mode guidage reste basé sur le message de « *cap* » et de « *distance* » (Géotact) indiquant le point de destination enregistré (voir chapitre 1 § 1.4.5). En revanche, il faut s'affranchir des problèmes soulignés au chapitre II : le temps d'accrochage du signal GPS peut être long lorsqu'on l'allume dans une zone contenant des bâtiments hauts. Le cap fourni par le GPS à la vitesse de marche du piéton n'est pas très fiable.

Nous allons nous placer dans le contexte de capteurs utilisés à la ceinture, l'objectif est de fournir un cap fiable et instantané, si possible dès l'allumage du GPS. On va montrer aussi les différentes interfaces développées. Des tests ont été réalisés dans les 11^{ème} et 14^{ème} arrondissements de Paris. Ce sont des endroits contenant des bâtiments hauts et des rues étroites présentant des conditions difficiles pour la réception du signal GPS.

3.1 Réduction du temps de latence à l'allumage

Il s'agit du délai dont va avoir besoin le dispositif pour fournir des indications justes de la direction et de la distance restant à parcourir. Le temps d'accrochage pour une antenne GPS à froid (GPS éteint depuis plusieurs heures) peut prendre plusieurs minutes dans une rue étroite (très commun dans les rues Parisiennes) comme il est expliqué dans le chapitre 2 § 2.2.3.

Un dispositif éteint depuis plusieurs minutes n'a aucun moyen de savoir où il est au moment de l'allumage s'il ne capte pas un signal de positionnement absolu comme celui du GPS. L'utilisateur du dispositif sait en revanche, la plupart du temps, le nom ou l'adresse du lieu dans lequel il se trouve, qui peut être aussi la dernière position connue du GPS. Dans le cas de l'allumage du dispositif dans un lieu hors couverture GPS (intérieur) ou à délai d'accrochage long (extérieur près du mur de sortie) nous demandons à la personne de déclarer au dispositif sa position approximative (adresse, coordonnées latitude, longitude, point en mémoire préenregistré, dernière position enregistrée du GPS).

Message « déclarer position actuelle » (qui n'arrive que hors couverture GPS).

CHAPITRE III

Le dispositif contient alors les positions de départ et d'arrivée, il ne lui manque plus que l'orientation de l'axe corporel de la personne pour donner les bonnes informations de « cap » et de « distance » au point de destination par rapport à l'axe corporel (voir Figure 3.1).

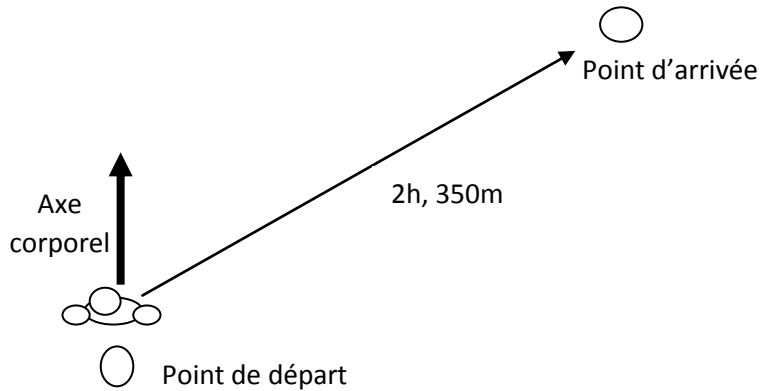


Figure 3.1 Cap et distance au point d'arrivée après avoir déclaré la position actuelle hors couverture GPS

Pour connaître cette direction, nous utilisons la boussole dont la position à la ceinture est fixe (voir, Figure 3.2) par rapport à l'axe corporel pour une personne ayant une démarche normale.

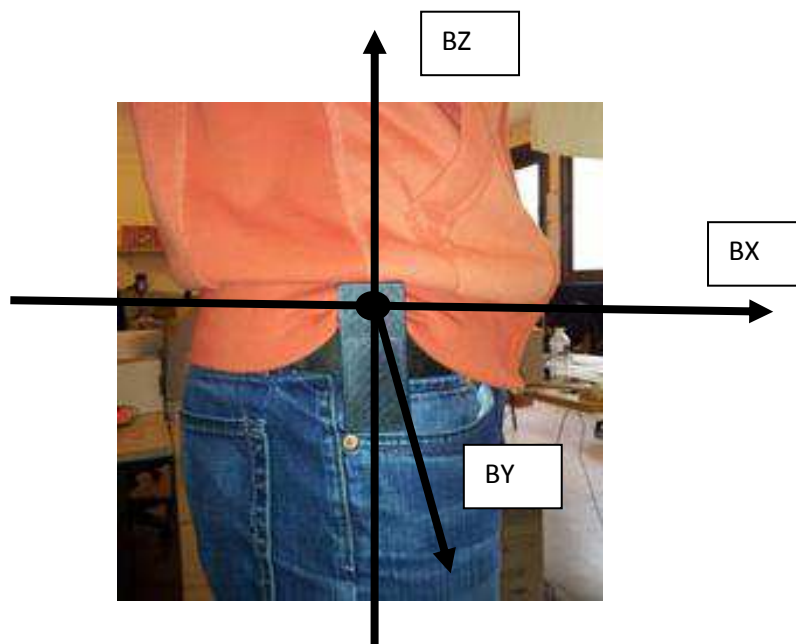


Figure 3.2 Boussole à la ceinture avec axes Bx (axe de marche), By (axe perpendiculaire à l'axe de marche), Bz (axe vertical)

CHAPITRE III

Cependant l'utilisation d'une simple boussole n'est pas suffisante pour donner un cap correct au point final suite aux nombreuses perturbations du champ magnétique en milieu urbain (chapitre 2 § 2.2.5). On a tenté, dans un premier temps, de ne déclarer valables que les champs magnétiques ayant une norme proche des $47\mu\text{Tesla}$ (intensité d'un champ terrestre non perturbé) et une inclinaison par rapport à la verticale conforme à la latitude (63° à Paris). Cependant, on s'est vite rendu compte qu'il fallait introduire une assez large tolérance pour pouvoir faire un compromis entre les valeurs correctes et la fréquence des valeurs erronées. Si on est trop sévère sur l'intervalle d'acceptation, on aura des valeurs plus souvent justes mais on pourra rester longtemps sans avoir une mesure acceptée. De plus les mouvements de l'appareil à la ceinture sont également de nature différente à introduire des perturbations sur l'inclinaison et le module du champ magnétique. Le compromis a été le suivant : le module du champ magnétique doit être entre $35\mu\text{T}$ et $55\mu\text{T}$ et l'angle Θ entre 50° et 70° .

$$35\mu\text{T} < \overbrace{\sqrt{Bx^2 + By^2 + Bz^2}}^{\|\vec{B}\|} < 55\mu\text{T} \quad (3.1)$$

$$50^\circ < \underbrace{\arctan\left|\frac{Bz}{\sqrt{Bx^2 + By^2}}\right|}_{\Theta} < 70^\circ \quad (3.2)$$

Remarquons qu'il ne suffit pas qu'une condition de ce type, même très sévère, soit remplie pour que le cap fourni soit juste (voir chapitre 2 § 2.5.4.4). Un champ totalement hors norme peut également fournir une valeur de cap juste.

Supposons que le champ soit totalement hors norme là où est positionnée la personne, aucun cap ne sera fourni. Cependant, hormis quelques cas très particuliers comme celui de longer une voie ferrée, les perturbations magnétiques sont peu uniformes dans l'espace et de faible portée en distance. Si la personne fait 4 ou 5 pas, elle retrouvera un champ entrant dans l'intervalle de tolérance. Pour avoir une bonne confiance sur le cap, il faut avoir deux mesures cohérentes du cap avec le gyroscope mesurant les rotations de la personne entre 2 mesures. Cela s'obtient en général entre 4 ou 5 pas, ce qui prend moins de 10 secondes, contre plusieurs minutes d'attente pour avoir un signal GPS de position et être obligé de faire au moins une cinquantaine voire une centaine de mètres dans éventuellement la mauvaise direction pour savoir si on est dans la bonne direction.

3.2 Obtention du cap en situation de marche

Les perturbations magnétiques se trouvent partout dans les rues (poteaux, grilles métalliques, câbles souterrains, les carrefours, etc.). Comme le cap du GPS peut être faux en milieu urbain à faible vitesse, il faut des critères de cohérence associant les rotations mesurées par le gyroscope, le signal de la boussole et le cap instantané même peu fiable donné par le GPS.

En situation de marche avec le GPS accroché aux satellites, on utilise le cap donné par le GPS, l'angle donné par le gyroscope et celui de la boussole. On teste, chaque dernière seconde, si le Δcap du GPS est cohérent avec le Δcap donné par le gyroscope (voir formule 3.6) et aussi si le Δcap de la boussole est cohérent avec le Δcap du gyroscope (formule 3.7). Si les deux sont cohérents, on donne le cap de la boussole. Deuxième critère, si le Δcap du GPS est cohérent avec le Δcap du gyroscope (formule 3.6) et si le Δcap de la boussole n'est pas cohérent avec le Δcap du gyroscope, on donne le cap du GPS. Troisième critère, si le Δcap du gyroscope est cohérent avec le Δcap de la boussole (formule 3.7) et n'est pas cohérent avec le Δcap du GPS, on donne le cap de la boussole. Finalement, si les deux formules (3.6) et (3.7) ne sont pas cohérentes, on donne le cap de la boussole et on dit que le cap est douteux.

Toutes les données sont obtenues chaque 20 millisecondes et les tests réalisés chaque seconde sont :

$$\Delta cap_{GPS} = cap_{GPS}[n] - cap_{GPS}[n - 50] \quad (3.3)$$

$$\Delta cap_{Gyro} = cap_{Gyro}[n] - cap_{Gyro}[n - 50] \quad (3.4)$$

$$\Delta cap_{Boussole} = cap_{Boussole}[n] - cap_{Boussole}[n - 50] \quad (3.5)$$

$$\Delta cap_{GPS} - \Delta cap_{Gyro} < 15^\circ \quad (3.6)$$

$$\Delta cap_{Boussole} - \Delta cap_{Gyro} < 15^\circ \quad (3.7)$$

$$vitesse_{GPS}[n] - vitesse_{GPS}[n - 50] \neq 0 \quad (3.8)$$

Le dispositif doit être sur la hanche et éviter au maximum qu'il soit affecté par les angles de tangage et de roulis. Tel que expliqué au chapitre 2 §2.5.3, le cap de la boussole est affecté pour les angles de tangage et de roulis. On prévient l'utilisateur par des messages vocaux quand le dispositif se trouve incliné par rapport à l'horizontale et à la verticale à l'arrêt. On ne corrige pas la valeur de tangage et de roulis pour le magnétomètre, en revanche on donne des informations « correction position horizontale » et aussi « correction position verticale » selon les cas, pour que la personne puisse corriger manuellement la

CHAPITRE III

position du dispositif et le mettre bien vertical. Pour cette tache on se sert de l'accéléromètre comme inclinomètre.

On relève l'information chaque seconde pour distinguer l'état à l'arrêt de l'état en mouvement. L'intervalle de temps entre deux pas est proche de 1 seconde et les valeurs moyennes à l'arrêt et en mouvement sont sensiblement les mêmes.

Pour distinguer entre la marche et l'arrêt, on se sert de la formule (3.9) pour calculer la moyenne des valeurs à chaque seconde. Dans la formule (3.9), $Z[n]$ représente les données de l'accélération verticale.

$$Z_{moyenne} = (Z[0] + Z[1] + Z[2] + \dots + Z[49])/50 \quad (3.9)$$

Et nous utilisons la formule (3.10) pour distinguer entre un état de marche et un autre d'arrêt chaque seconde:

$$\sum_{n=0}^{n=49} |(Zn - Z_{moyenne})| > 20 \quad (3.10)$$

Dans la Figure 3.3 suivante, nous voyons le signal d'accélération verticale d'une personne marchant en ligne droite avec des périodes d'arrêt régulières. Dans la Figure 3.4, on observe qu'après avoir utilisée la formule (3.10), les 4 groupes de marche sont détectés aisément si on choisit un seuil de 20.

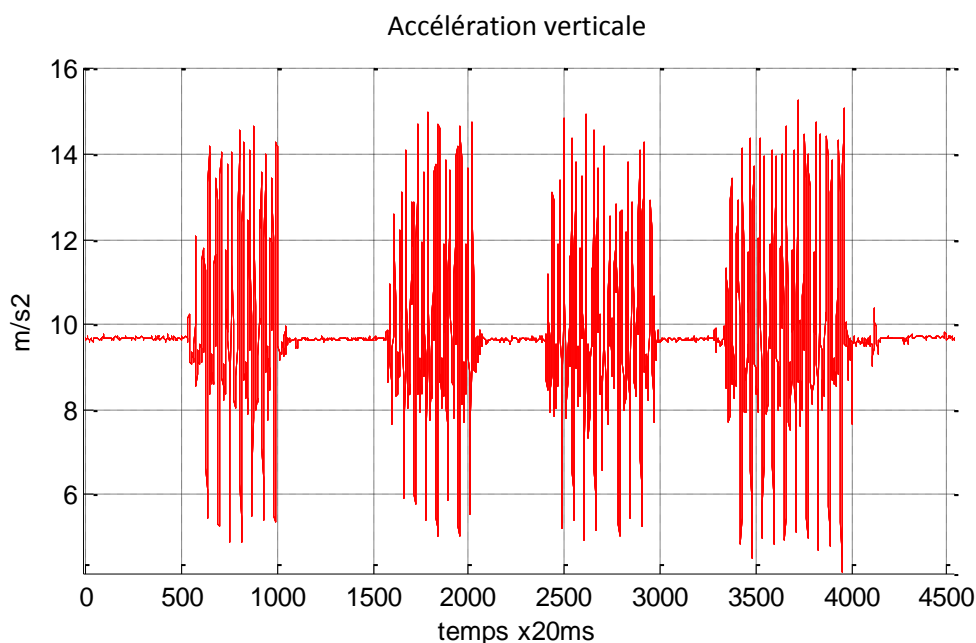


Figure 3. 3 Accélération verticale de marche en ligne droite.

CHAPITRE III

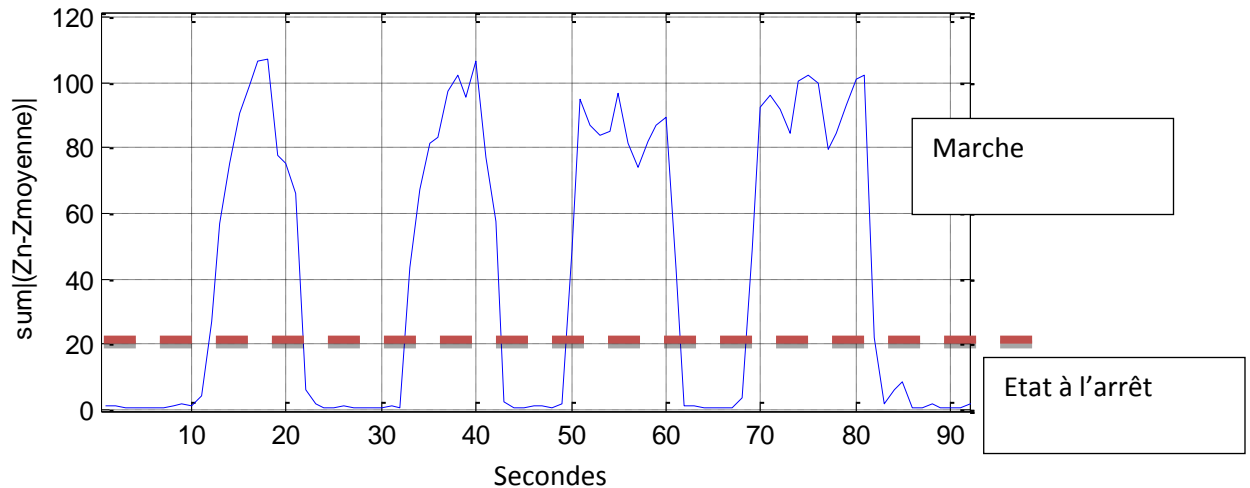


Figure 3.4 Critère pour différencier l'état de marche de l'état à l'arrêt.

Une fois qu'on a distingué la marche de l'arrêt, il faut connaître aussi à l'arrêt si le dispositif est bien positionné sur la hanche. Si le dispositif est mal positionné les valeurs de l'accélération dans les trois axes vont changer. Par exemple, si le dispositif n'est pas bien vertical à l'arrêt, les accélérations en « x » et en « z » changent, en « y » l'accélération reste à sa valeur (Figure 3.5).

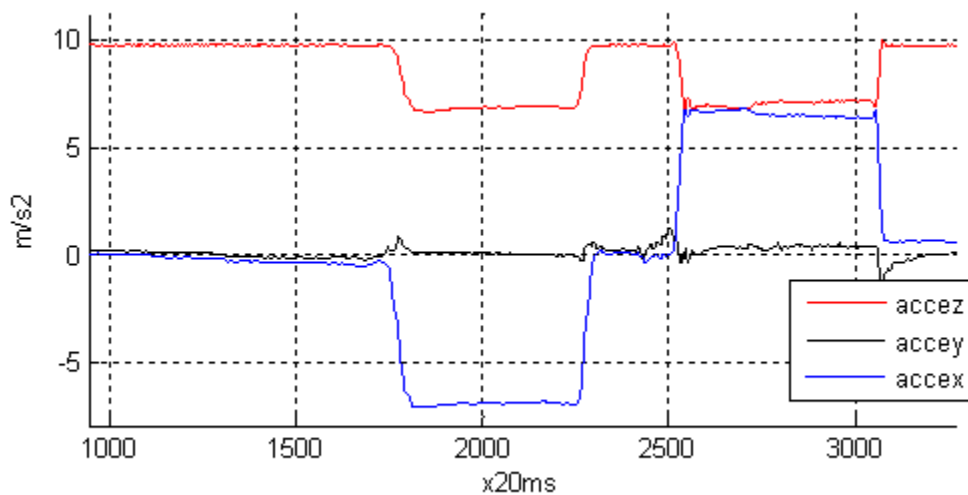


Figure 3.5 3 axes d'un accéléromètre quand le dispositif n'est pas bien vertical sur la hanche.

CHAPITRE III

De même, si le dispositif n'est pas bien horizontal à l'arrêt, la valeur d'accélération dans l'axe « y » change ainsi que la valeur de l'accélération en « z ». En revanche, la valeur d'accélération en « x » ne varie pas (Figure 3.6).

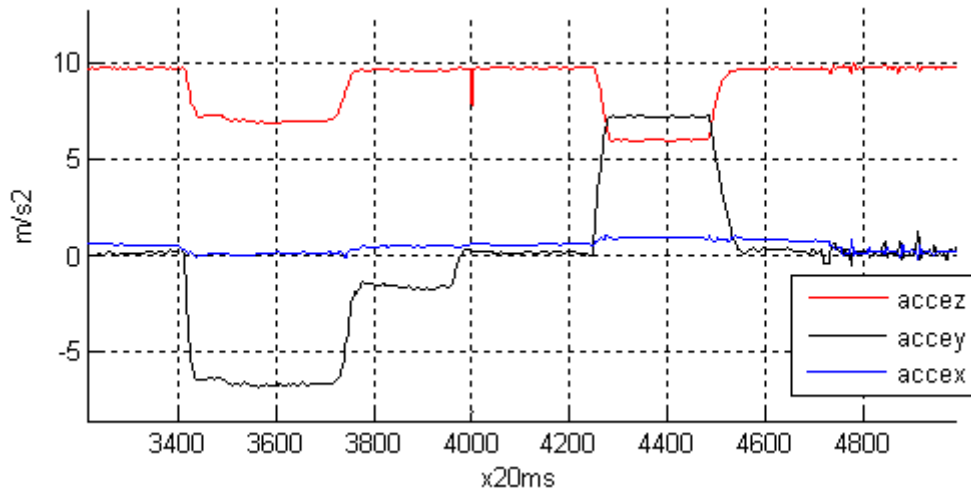


Figure 3.6 3 axes d'un accéléromètre quand le dispositif n'est pas bien horizontal sur la hanche.

Utilisation de l'appareil dans le bus ou la voiture

Comme indiqué au chapitre 2 § 2.2.1, la fiabilité du cap GPS s'améliore fortement quand la vitesse est supérieure à 10 km/h (cas de la voiture ou du bus). Alors si la personne se dirige vers une destination en utilisant le bus, il pourra utiliser la fonction « cap » et « distance » dans le bus, par rapport à la direction de déplacement du bus. Dans ce cas il n'est pas recommandé d'utiliser la boussole étant donné les fortes perturbations magnétiques à l'intérieur du bus. Finalement, il peut connaître dans quelle rue il se trouve avec la fonction du dispositif « position actuelle », qui donne l'adresse actuelle en envoyant la latitude et la longitude sur le réseau et en récupérant l'adresse. Pour avoir des informations cohérentes avec la marche, la personne devra se positionner en s'orientant face à l'avant du bus, où alors faire la gymnastique intellectuelle pour prendre en considération l'orientation du bus différente de son axe corporel.

3.3 Développement de la centrale inertielle

Le premier prototype a été une centrale inertielle développée au laboratoire qui comporte une boussole électronique (HMC1052 et HMC1051Z de Honeywell) 3 axes, un accéléromètre 3 axes (LIS331AL de STMicroelectronics) et un gyroscope 1 axe (EMC-03RC de Murata).

Son schéma électronique de principe est présenté à la Figure 3.7. Elle est portée à la ceinture au côté droit et la calibration de la boussole a été programmée pour cette utilisation. Le circuit imprimé de la centrale inertielle est présenté sur la Figure 3.8

Le microcontrôleur (DsPIC 30F6012A) commande l'ensemble des opérations et le module Bluetooth (ARF 32 Adeunis) est utilisé pour envoyer l'information de cap par transmission Bluetooth vers l'Interface (téléphone PDA, Smartphone). Pour la portabilité du dispositif, un circuit de recharge a été incorporé en utilisant une batterie Li-Ion (3.7 Volts et 800mAh de capacité). Cette batterie a permis une autonomie de 6 heures de fonctionnement continu de notre centrale inertielle.

Pour réduire la perturbation sur les axes du magnétomètre, causée par la charge et décharge de la batterie, on a décidé de mettre la batterie verticale (voir Figure 3.9), éloignée le plus possible du circuit du magnétomètre.

Dans le premier prototype l'interface était développée dans un Smartphone Omnia I8000 sous le système d'exploitation Windows Mobile avec un masque pour repérer les boutons comme cela sera expliqué dans le paragraphe suivant 3.4 Interfaces.

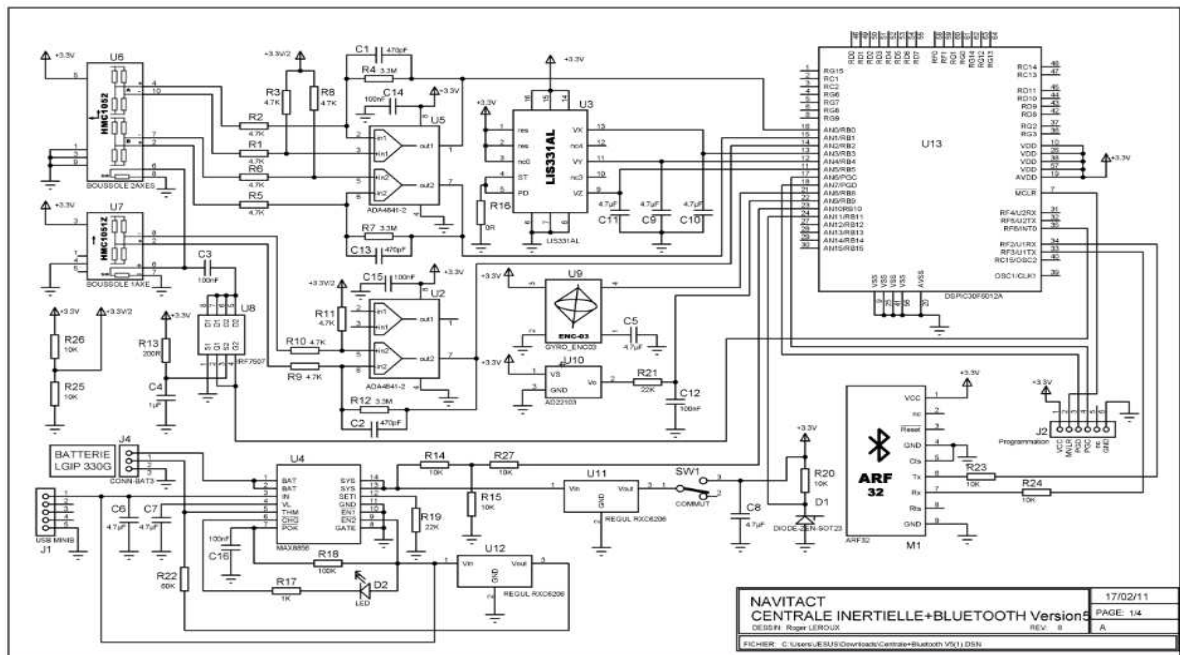


Figure 3.7 Schéma électronique de la centrale inertielle.

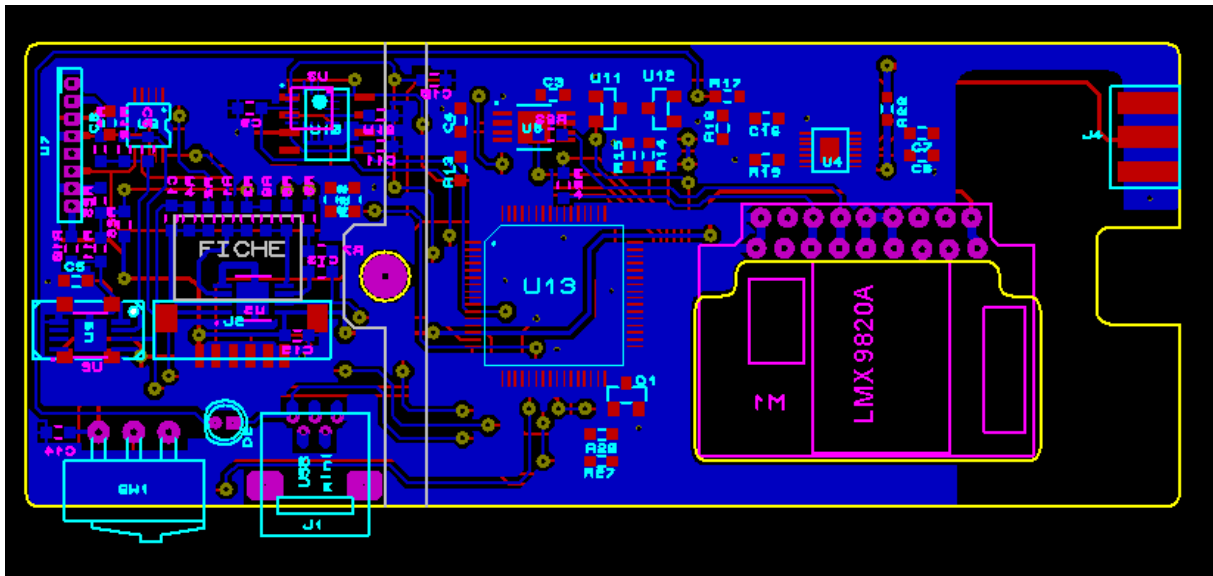


Figure 3.8 Circuit imprimé de la centrale inertielle.

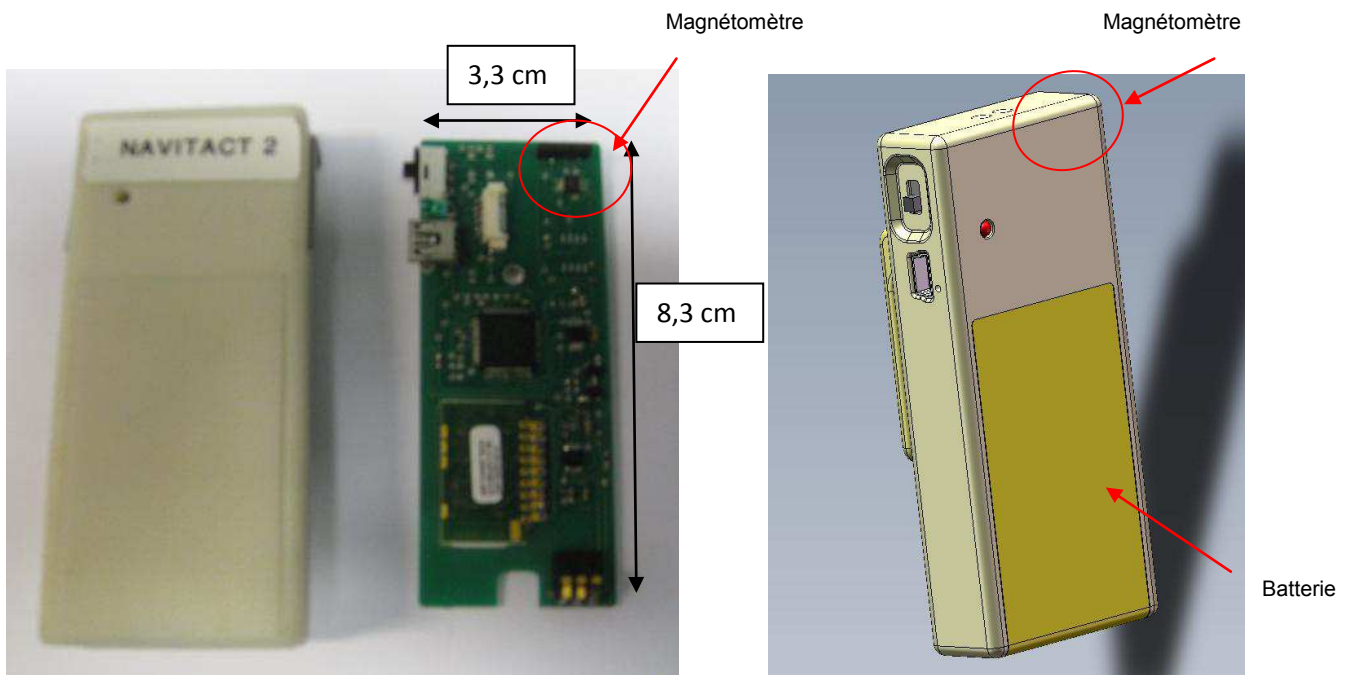


Figure 3.9 A gauche : circuit électronique de la centrale inertielle développé au laboratoire. A droite : boîtier développé en CAO réalisé en impression 3D.

3.4 Interfaces

3.4.1 Tentatives des Interfaces :

Avant l'apparition des Smartphones sur le marché, la plupart des non-voyants étaient habitués à l'utilisation des téléphones portables avec un clavier 12 touches et une synthèse vocale pour entendre le nom de l'appel entrant ou pour lire le message reçu ou à envoyer. Notre premier prototype s'inspire de cette idée, aussi parce que les « Géotact » (voir Chapitre 1 §1.4.5) avaient un clavier 12 touches pour leur utilisation.

On avait dans un premier temps réalisé un masque, présenté à la Figure 3.10 à droite, placé sur l'écran. L'accès aux différentes fonctions du programme se faisait avec des boutons dans l'écran. On a cru que les utilisateurs pourraient s'adapter plus rapidement à cette configuration proche du clavier 12 touches. Ceci a été un échec car il fallait faire appel à trop de combinaisons de touches que l'utilisateur ne pouvait pas retenir pour un usage ponctuel. En effet, l'appareil n'est pas utilisé pour les trajets routiniers mais uniquement pour aller à des endroits peu ou mal connus. Le deuxième problème est que le masque est un accessoire qui dépend fortement de la taille du doigt de l'utilisateur et de la taille du Smartphone (les modèles et les tailles varient au cours d'une année, avec un fort renouvellement).



Figure 3.10 A gauche : non-voyant utilisant l'appareil dans une main.
A droite : le masque avec le Smartphone OMNIA I8000.

CHAPITRE III

Dans un deuxième temps, nous avons abandonné les Smartphones Windows Mobile pour Android. Dans ce prototype, on utilise toujours des boutons pour choisir les fonctions mais on remplace le masque par de petites boules de colle sur un protecteur d'écran (Figure 3.11, à droite) pour que la personne puisse repérer les boutons plus rapidement et choisir sa fonction. Le problème principal est que l'on reste limité au nombre de boutons dans l'écran ou à des combinaisons complexes. La disposition des boutons et des petites boules sur l'écran dépend aussi fortement de la taille de l'appareil.



Figure 3.11 A gauche : exemple de distribution de boutons dans l'écran.
A droite : le Smartphone *Galaxy S2* avec des boutons et petites boules de colle sur l'écran.

Finalement, on a choisi d'étudier un système indépendant qui puisse être utilisé dans n'importe quel nouveau Smartphone. On a profité de l'écran tactile en utilisant les fonctions « Swipe » (Glisser) qui permettent en glissant de gauche à droite le doigt sur l'écran, de naviguer dans un menu, chaque fonction étant vocalisée. Le glisser de droite à gauche permet de naviguer dans les fonctions en sens contraire. Pour entrer dans la fonction vocalisée il suffit de faire un double click n'importe où dans l'écran (problèmes de taille de doigt et aussi de taille de Smartphone résolus). Chaque confirmation se termine par une vibration. L'utilisation à la ceinture comme dans la Figure 3.12, à gauche est permise et on n'est pas limité par le nombre de fonctions ou de boutons par Menu.

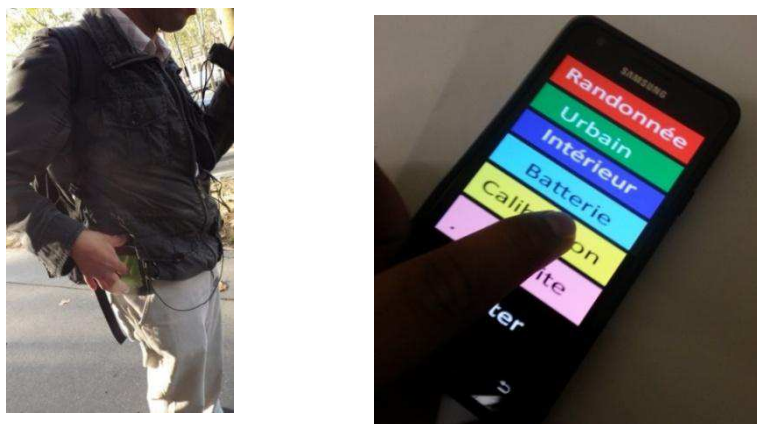


Figure 3.12 A gauche : utilisateur avec le Smartphone à la ceinture.
A droite : l'interface développée.

CHAPITRE III

3.4.2 Fonctionnement de l'Interface de Navigation développée

Cap et distance au point : Donne l'information de « cap » et de « distance » au point destination.

Choisir destination : Propose une liste des destinations préenregistrées pour choisir la destination finale et commencer la navigation.

Position actuelle : Donne l'adresse de la position actuelle.

Enregistrer position actuelle : Enregistre les coordonnées GPS de la position actuelle et propose de lui donner un nom vocal.

Activer mode automatique / désactiver mode automatique: Donne le « cap » et la « distance » au point destination toutes les 15 secondes/ arrête le mode automatique.

Retourner : Revient au menu précédent.

3.4.3 Enregistrement des coordonnées du point de destination dans le Smartphone

Il s'agit de récupérer la latitude et la longitude, cela peut se faire de 3 façons :

- Par récupération des données en enregistrant le point sur place : dans le mode principal de navigation un champ est prévu pour cela. En activant ce champ (le GPS doit être actif) les coordonnées du point où se trouve la personne sont enregistrées.
- Par écriture de l'adresse en mode clavier 12 touches ou en mode clavier AZERTY et récupération par internet des latitudes et longitudes du point, grâce au site web « <http://geotact.ouvaton.org/simple.php> » développé par notre collaborateur et utilisateur Nicolas Graner (ingénieur au centre de vulgarisation de la Connaissance, Université Paris Sud) et dont le portail est spécifiquement adapté.
- Par la saisie des coordonnées géographiques directement en mode clavier.

Après chaque enregistrement de latitude et de longitude, il faut nommer chaque point avec un enregistrement vocal de 10 secondes pour le trouver dans le menu « destinations ».

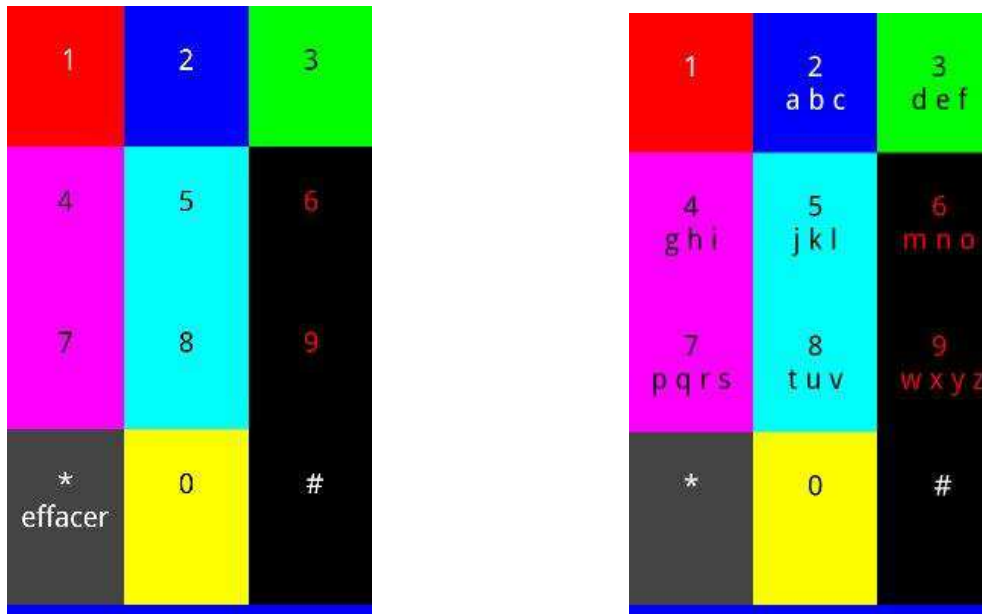


Figure 3.13 A gauche : mode clavier 12 touches pour entrer les coordonnées GPS.
A droite : mode clavier texte 12 touches pour taper les adresses.

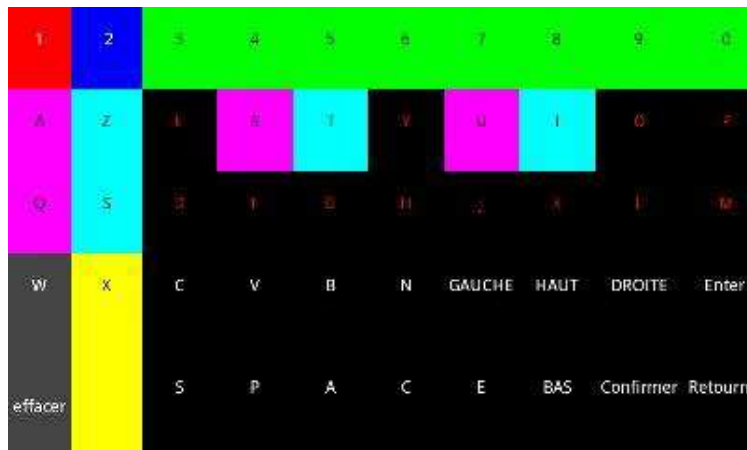


Figure 3.14 Mode Clavier Azerty.

3.5 Tests en milieu urbain:

Trois tests ont été réalisés pour démontrer l'avantage d'utiliser une centrale inertielle en milieu urbain.

Le premier montre l'amélioration due à l'utilisation de la centrale inertielle dans un moment d'hésitation.

CHAPITRE III

Le deuxième test montre l'utilisation de la centrale inertielle développée au laboratoire couplée au GPS. Deux malvoyants (vision suffisante pour ne pas utiliser la canne blanche mais incapacité à lire les panneaux ou champ visuel étroit) ont essayé le dispositif dans un endroit avec une mauvaise réception GPS (11^{ème} arrondissement de Paris).

Le troisième test montre l'utilisation du dispositif GPS développé dans le Smartphone sous le système d'exploitation Android avec un non-voyant complet. Le non-voyant a été entraîné à l'utilisation des autres types de GPS (Ariadne GPS et Navigon) dans un iPhone et avec notre système nommé Navitact.

On va montrer les avantages et les limitations de la façon de donner l'information: « cap » et « distance » au point final (Ariadne GPS et Navitact) et « tourner à droite » ou « à gauche » à partir de l'information cartographique (Navigon). Les tests sont effectués dans le 14^{ème} arrondissement à Paris.

3.5.1 Amélioration du cap en cas d'hésitation (cas critique)

On a repris le même cas d'hésitation du chapitre 2 § 2.2.2 pour voir l'amélioration du cap. La Figure 3.15 montre les résultats avec le cap réel en rouge, le cap GPS en bleu et le cap donné par la centrale inertielle en noir. Les petites crêtes qui sont observées dans les coins sont dûes aux rotations brusques de l'utilisateur

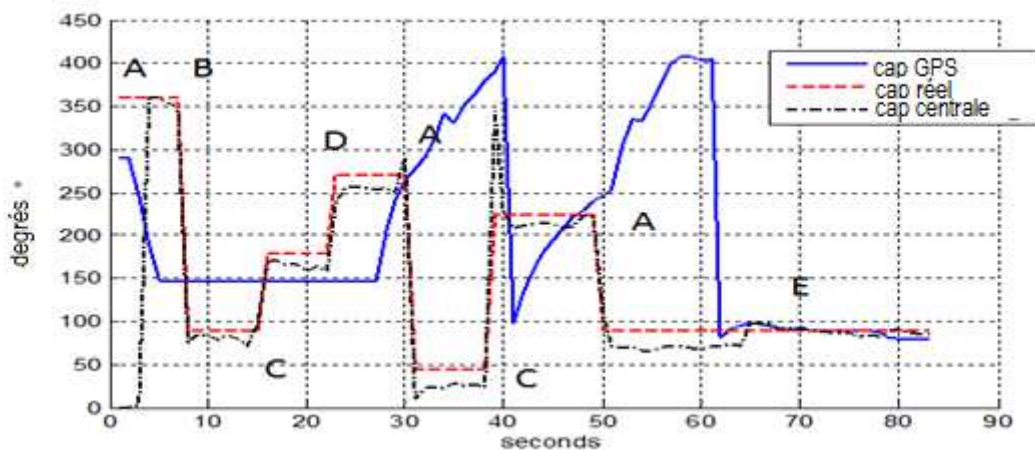


Figure 3.15 Comparaison du cap donné par le GPS, la centrale inertielle et le cap réel.

L'écart type du GPS égal à zéro (voir Tableau 3.1) dans les segments BC et CD signifie que le signal GPS n'a pas été mis à jour pendant ce temps parce qu'il y avait une mauvaise réception ou que la vitesse était trop faible. L'amélioration donnée par la centrale inertielle est évidente. Lors du premier segment AB, l'écart type pour la centrale inertielle est de 4,4°, par rapport au 128° pour le GPS. Dans le quatrième segment (DA), l'écart type est 12,7°, par rapport au 47,2° pour le GPS. Dans le cinquième segment (AC) est 2° pour la centrale

CHAPITRE III

inertielle au lieu de 27,3° pour le GPS. Dans le sixième segment (CA) est 4,9° pour la centrale inertielle, au lieu de 44° pour le GPS. Le dernier segment AE a un écart type de 10° par rapport à la centrale inertielle. Dans le Tableau 3.1, l'erreur maximale calculée pour la centrale inertielle reste inférieure à 30°, ce qui correspond à une heure (résolution du cap que l'on transmet, suffisante pour converger au point de destination).

TABLEAU 3.1 Comparaison entre l'erreur de cap maximale et l'écart type en utilisant la centrale inertielle et le GPS

Routes	Cap Cartographique (°)	Erreur maximale Cap GPS(°)	Ecart Type Cap (°) GPS	Erreur maximale (°) cap centrale inertielle	Ecart type Cap (°) Centrale inertielle
Chemin A-B	0	170	128,3	11	4,39
Chemin B-C	90	57	0	19	4,67
Chemin C-D	180	33	0	22	4,45
Chemin D-A	270	123	47,26	21	12,72
Chemin A-C	45	113	27,31	23	2,06
Chemin C-A	225	127	44,06	17	4,9
Chemin A-E	90	163	52,45	24	10,23

3.5.2 Test avec des malvoyants dans le 11^{ème} arrondissement.

Autour de la Place de la Bastille (entre le 11^{ème} et 12^{ème} arrondissement), 7 points (A, B, C, D, E, F, G) sont choisis pour faire les tests avec deux malvoyants. Les deux malvoyants ont utilisé la centrale inertielle développée au laboratoire (premier prototype) portée à la ceinture et connectée par Bluetooth au Géotact V2 (Figure 1.12) avec l'antenne GPS SIRF-III et l'interface de clavier numérique 12 touches. Les malvoyants n'avaient jamais utilisé le dispositif avant et ils se sont adaptés rapidement (moins d'une demi-heure) à l'utilisation du dispositif.

Les coordonnées GPS de chaque destination ont été préalablement enregistrées via notre clavier 12 touches. Les utilisateurs devaient passer par des zones ayant une mauvaise

CHAPITRE III

réception GPS (entre de grands bâtiments, le long du canal Saint Martin). Les destinations étaient espacées de 300 à 600 mètres.



Figure 3.16 Parcours choisi pour tester le GPS couplé à la centrale inertielle développée au laboratoire.

Lors de ces premiers essais quand le dispositif (centrale inertielle) se trouvait dans des zones magnétiques très perturbées, l'information n'était que la « distance » au point destination. Après quelques pas, quand le dispositif se trouvait de nouveau dans un endroit non perturbé, le « cap » était de nouveau énoncé avec la « distance ». Ce problème a été résolu avec les données du gyromètre et le cap donné par le GPS.

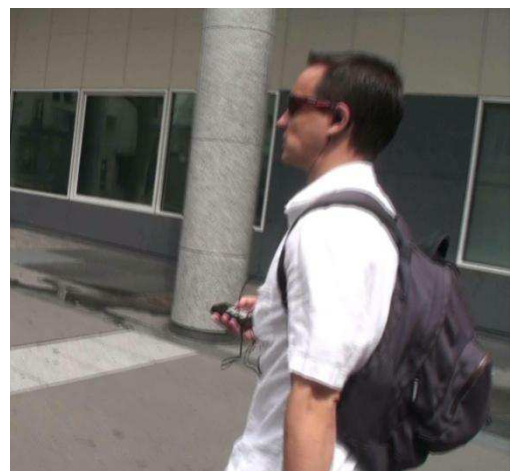


Figure 3.17 A gauche et à droite, les deux malvoyants utilisant le système.

CHAPITRE III

Dans ce test le principal inconvénient est le cas de la fourche de la « rue Bisconet » avec le « Boulevard de la Bastille ». En questionnant l'appareil du point A, pour aller au point C, l'utilisateur prend la « rue Bisconet ». En questionnant de nouveau, après avoir avancé de quelques dizaines de mètres (voir Figure 3.18, point B), l'appareil a répondu « 3 heures, 50 mètres » La personne alors est revenue sur ses pas parce qu'elle savait maintenant que le point C (Figure 3.18) se trouvait dans l'autre rue parallèle.

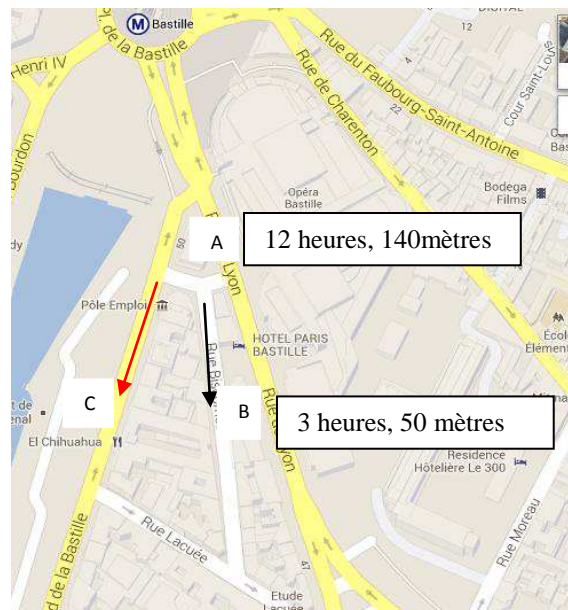


Figure 3.18 Cas d'une fourche parallèle en milieu urbain.

3.5.3 Test avec un non-voyant dans le 14^{ème} arrondissement

Le non-voyant qui a fait ces essais a été entraîné à l'utilisation d'Ariadne GPS et Navigon GPS. Sept destinations différentes (Figure 3.19, à gauche) sont pré-enregistrées pour faire ce test. Le point de départ « A » est la sortie du métro « *Denfert Rochereau* ».

L'information donnée par le Navitact est rafraichie toutes les 10 secondes automatiquement. L'Ariadne GPS est aussi utilisé dans ce mode automatique (toutes les 10 secondes) et le Navigon GPS donne des informations chaque fois qu'il trouve un chemin possible pour tourner « à gauche » ou « à droite ».

L'information relevée lors de ce test est la distance à vol d'oiseau entre deux points, le chemin le plus court possible entre ces deux points, la vitesse moyenne, la distance de la trajectoire réelle du parcours et le temps que l'utilisateur met pour arriver à sa destination (voir tableau 3.2).



Figure 3.19 A gauche : position des points 1 à 7 du parcours test.
A droite : non-voyant en train de tester l'appareil.

Ce test n'a pas été favorable au Navigon parce que le parcours contenait de grandes places où la navigation pour la voiture (tourner à gauche ou à droite) n'est pas très pertinente. Ce test commence dans une grande place (point A, Figure 3.19, à gauche) et l'utilisateur a été découragé à continuer après quelques essais. En effet, le Navigon, pourtant en mode piéton, cherchait à le placer dans des rues voisines et donnait des indications de direction sans rapport avec la trajectoire de l'utilisateur.

L'Ariadne GPS et le Navitact ont guidé le non-voyant jusqu'à son point final. La meilleure « efficacité dans le chemin » (voir Tableau 3.2) pour le Navitact peut être interprétée par le bénéfice du couplage avec la centrale inertielle lorsque la personne hésite. Dans cette configuration la personne fait plusieurs changements de direction à faible vitesse. Avec la centrale inertielle, la personne obtient correctement la direction à prendre. En revanche, sans la centrale inertielle, la personne doit marcher quelques dizaines de mètres dans la même direction pour obtenir une direction fiable.

CHAPITRE III

Tableau 3.2 : Résultats des tests avec les trois dispositifs (Navigon, Ariadne GPS et Navitact)

Chemin	Dispositif utilisé	Distance à vol d'oiseau (m)	Distance : le chemin le plus court (m)	Réussi ou distance restante (m)	Temps réel (mn)	Distance réelle (m)	Vitesse Moyenne (km/h)	Efficacité dans le chemin vitesse (Km/h)
Depuis (A) vers(2)	NAVIGON	219	303	137	30	635	NA	NA
Depuis (2) vers (7)	NAVIGON	208	259	400	30	600	NA	NA
Depuis (7) vers (3)	NAVIGON	159	410	592	15	249	NA	NA
Depuis (A) vers (4)	ARIADNE GPS	152	229	Ok	12	332	1,66	1,14
Depuis (4) vers (5)	ARIADNE GPS	180	234	Ok	11	380	2,07	1,27
Depuis (5) vers(6)	ARIADNE GPS	373	523	Ok	42	1873	2,67	0,74
Depuis(A) vers (1)	NAVITACT	469	496	Ok	12	523	2,6	2,48
Depuis (1) vers(7)	NAVITACT	544	598	Ok	23	833	2,17	1,56
Depuis (7) vers (5)	NAVITACT	328	428	Ok	16	536	2,01	1,6

N.A : Non applicable

Une recommandation pour éviter des erreurs lors de l'utilisation du Navitact est de ne pas demander l'information de « *cap* » et de « *distance* » quand la personne est en train de tourner. En effet, il y a un petit retard du à la vocalisation et l'information fournie ne correspond plus à l'orientation de la personne qui est induite en erreur.

3.6 Conclusions

Un avantage dans le mode de guidage GPS assisté d'une centrale inertielle est que, même dans un moment d'hésitation comme il est expliqué au chapitre 2 § 2.2.2, l'utilisateur peut avoir son cap par rapport à son axe corporel. Dans le cas du GPS seul, la personne doit marcher quelques dizaines de mètres pour avoir un bon cap et avec une moindre fiabilité.

L'information par rapport au « *cap* » et à la « *distance* » est importante parce qu'elle permet d'arriver au point de destination avec seulement les coordonnées du GPS du point de destination finale, avec des trajets, en général, plus courts que ceux fournis par la navigation automobile. Cela fonctionne même quand la cartographie de l'endroit n'est pas bien élaborée parce que le système sait guider la personne dans n'importe quelle direction.

Autre point important : l'utilisation de l'appareil dépend aussi du niveau de locomotion de la personne car une personne ne sortant pas de chez elle n'utilisera pas spontanément le dispositif GPS parce que cela demande une certaine habitude pour aller vers des endroits inconnus et savoir prendre des décisions devant les difficultés rencontrées comme, l'absence de trottoirs, carrefours mal structurés, ronds – points, etc.

Avec notre dispositif la personne peut déclarer sa position actuelle et commencer la navigation sans attendre que le GPS soit accroché. Tel que expliqué au chapitre 2 § 2.2.3, l'accrochage peut durer plusieurs minutes surtout quand la personne se trouve dans une rue étroite.

Un autre avantage de l'utilisation des informations de « *cap* » et de « *distance* » est qu'il est impossible de trouver la meilleure route juste avec des informations cartographiques. Même le choix de la meilleure route dépend de la personne. Dans le contexte de « *cap* » et de « *distance* », le non-voyant peut prendre le chemin où il se sent plus en confiance.

Le mode automatique de rafraichissement de l'information a été apprécié par l'utilisateur parce qu'il ne doit pas agir pour demander l'instruction et se concentrer sur sa locomotion.

Les différents testeurs avaient une bonne technique de locomotion. Il est clair qu'un non-voyant ayant peu de locomotion n'arriverait pas à destination, du moins pas dans ce cadre. Ce point sera l'objet d'une discussion ultérieure.

L'utilisation des informations de navigation de type automobile n'est pas adaptée pour guider quand on passe par de grandes places.

CHAPITRE III

Si la boussole peut donner ponctuellement une information erronée, quelques secondes plus tard elle se recalera et fournira un bon cap. Cela n'a pas une incidence majeure sur le déroulement du trajet.

Chapitre IV : Mode de fonctionnement dans le contexte de la randonnée

Introduction

Sur des longues distances et parcours compliqués, comme dans une randonnée, on ne peut pas utiliser un seul jeu de coordonnées comme point d'arrivée et, par conséquent, il est impératif de donner un nombre de points relais intermédiaires, judicieusement choisis.

La randonnée s'aborde différemment des déplacements urbains pour deux raisons essentielles :

- La haute densité des routes et passages en milieu urbain fait que pour aller d'un point à un autre, le piéton a en général, plusieurs possibilités sensiblement équivalentes. En revanche, en randonnée la densité des chemins est habituellement faible et la probabilité d'arriver à destination de manière équivalente par deux chemins différents est faible. En pratique, en milieu urbain, si un piéton en guidage GPS ne prend pas un tournant le menant sur la route la plus courte, il pourra se rattraper en prenant une autre route un peu plus loin et la pénalité sur le temps total de parcours sera minime. En grande randonnée, un embranchement raté mènera presque obligatoirement à un chemin divergent éloignant irrémédiablement la personne de l'objectif et l'obligera à faire demi-tour pour retrouver à tout prix l'embranchement.

- La nature des perturbations du dispositif GPS assisté par une centrale inertielle est également différente. En effet, l'altération du signal GPS due aux grands bâtiments en milieu urbain (perte de précision, perte de fiabilité du cap instantané) ressemble à celle des couvertures végétales épaisses. En fait, les couvertures végétales épaisses sont généralement plus étendues spatialement et plus homogènes que les structures de bâtiments. On a donc des perturbations plus longues et plus stables dans le trajet. Il en est de même des phénomènes magnétiques pouvant perturber la boussole. Un suivi de rail de chemin de fer ou d'un rail métallique de bordure de route en grande randonnée est une perturbation qui peut s'étaler sur plusieurs centaines de mètres. Au contraire, en ville les perturbations (dues principalement aux câbles souterrains) sont localisées généralement sur une à deux dizaines de mètres.

Suite à ces deux différences importantes de contexte entre le milieu urbain et la randonnée, il s'avère nécessaire de faire évoluer aussi bien les algorithmes de compensation des perturbations du signal GPS que l'interface utilisateur.

4.1 Numérisation préliminaire du trajet

L'objectif en randonnée est de suivre un trajet prédéfini, probablement le seul pouvant mener à destination sans débordement excessif de la durée du parcours. On utilise des fichiers issus de la Fédération Française de Randonnée, quand ces derniers sont disponibles. Typiquement ces fichiers proposent un point relai tous les trente mètres, parfois plus espacés dans les lignes droites. Un espacement important des points (de l'ordre de 100m ou plus) renseignera mal sur les détails du trajet, sauf si celui-ci est une ligne droite (voir, Figure 4.1).

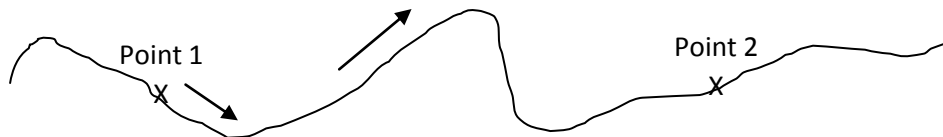


Figure 4.1 Le tournant à gauche après le point 1 peut faire croire à la personne qu'elle a raté le passage le menant directement au point 2.

Même si le trajet entre 2 points est en ligne droite, le fait d'avoir des points pas trop espacés est sécurisant. En effet, cela garantit que l'on est bien sur le trajet. Pour illustrer les problèmes la Figure 4.2.a et Figure 4.2.b montrent le cas d'une fourche partant sur la droite pouvant être prise par erreur au cours de la ligne droite.

Supposons que la personne prenne le mauvais chemin et se retrouve à la position E. Analysons le cas de la Figure 4.2.a où les points sont éloignés. Lorsqu'il est en position E le point 2 est à 11h et le point 1 à 7h. Ce n'est pas une situation alarmante, car s'il se trouvait sur le chemin correct le point 2 serait à 12h et le point 1 à 6h. Analysons le cas de la Figure 4.2.b contenant des points plus rapprochés. Lorsqu'il est en position E le point 2 est à 9h à 40m par exemple ce qui est plus inquiétant car cela dépasse les imprécisions courantes du signal GPS. En revanche, s'il était sur la bonne route, le point 2 serait en « arrivée ».

CHAPITRE IV

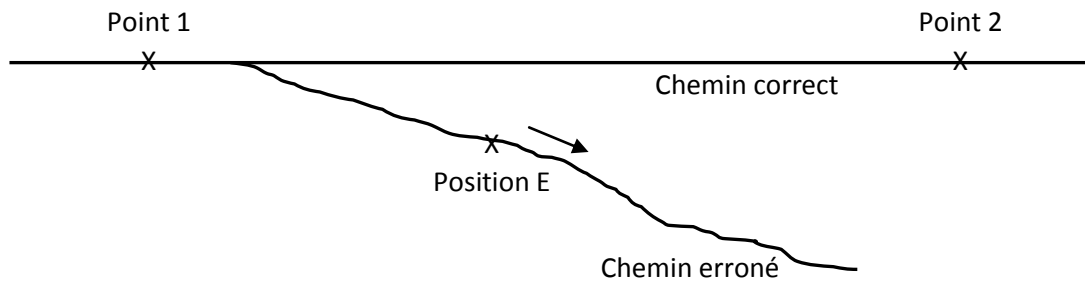


Figure 4.2.a

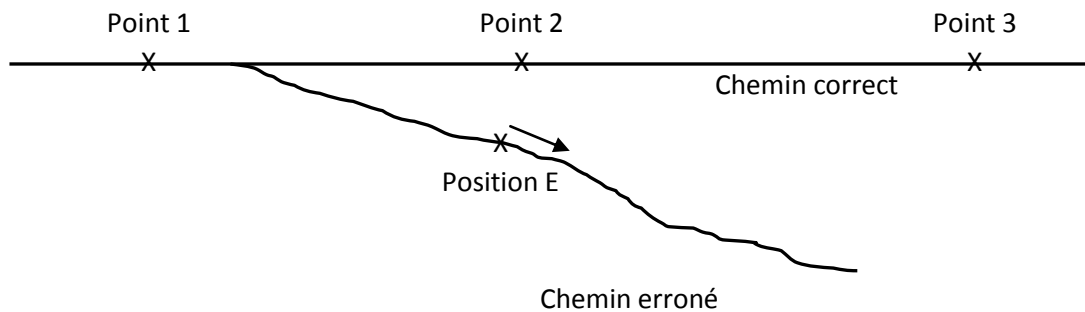


Figure 4.2.b

Nous avons donc intérêt à rapprocher les points. Au contraire, trop rapprocher les points peut également être source d'erreurs.

Des points trop rapprochés poseront des problèmes pour déterminer la direction à suivre. En effet, il y a une incertitude de position autour de chaque point (en moyenne 10 mètres, moins en cas de bonnes conditions du signal GPS c'est-à-dire absence d'échos, absences de perturbations non corrigées de trajectoire de satellites, etc. En cas de couverture végétale, par exemple, l'incertitude pourra dépasser largement les 10 mètres). Si deux points sont espacés de 20 mètres par exemple, alors la direction à suivre ne peut plus être fiable. C'est-à-dire, plus les points seront espacés plus la direction sera fiable.

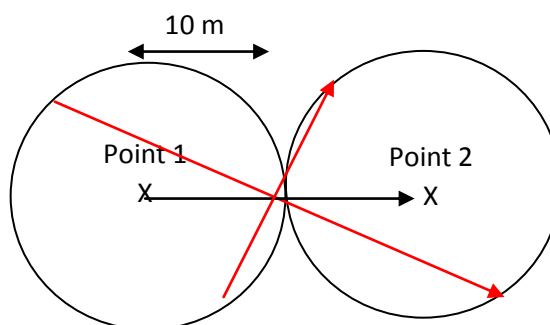


Figure 4.3 En noir, direction réelle, en rouge, directions possibles dues à l'incertitude sur la position des points pouvant se trouver n'importe où dans le cercle de 10 mètres de rayon.

Il faut donc faire un compromis, ne pas avoir en toutes circonstances des points espacés de moins de 15m même dans les meilleures conditions de signal GPS, et en cas de couverture végétale éviter les espacement de moins de 50m. En toutes circonstances ne pas espacer de plus de 100m les points afin que la personne ne soit pas amenée à trop marcher avant de réaliser une erreur de trajet.

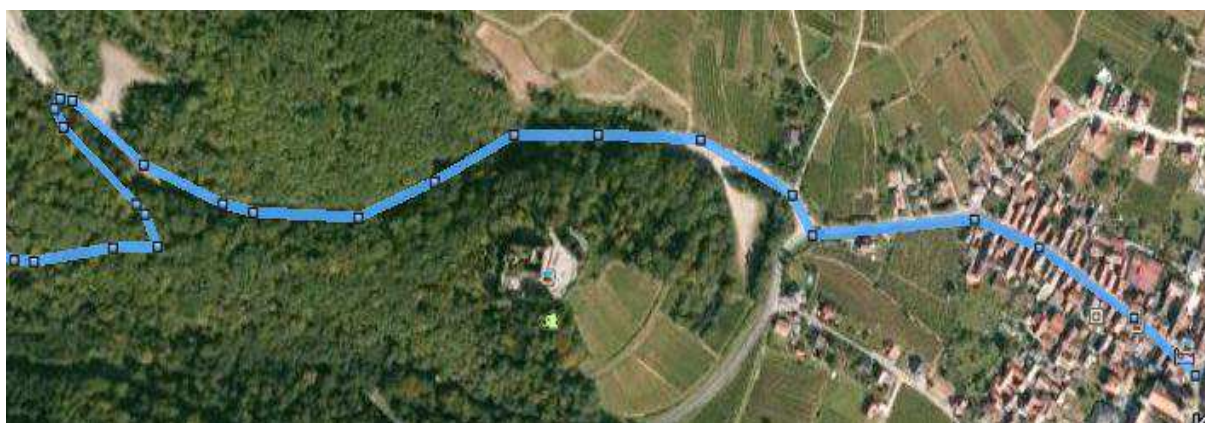


Figure 4.4 Trajet randonnée : chemin avec points espacés entre 30 et 50 mètres

Les points présentent une coïncidence plus ou moins juste avec les tracés de chemins visibles sur Google Earth (voir, Figure 4.5). L'origine de ce décalage n'est pas dû à l'incertitude de la position GPS. En effet, la Fédération Française de Randonnée interprète et recalcule les points trouvés systématiquement sur le chemin probable suivi issu de la carte IGN au 1/25000^{ème}. Ce décalage est plutôt dû aux non coïncidences entre la cartographie IGN et celle interprétée par Google Earth.

CHAPITRE IV

Nous n'approfondirons pas cet aspect car notre objectif est de trouver une solution de guidage insensible aux diverses incertitudes tant GPS que cartographiques quelle que soit leur origine.

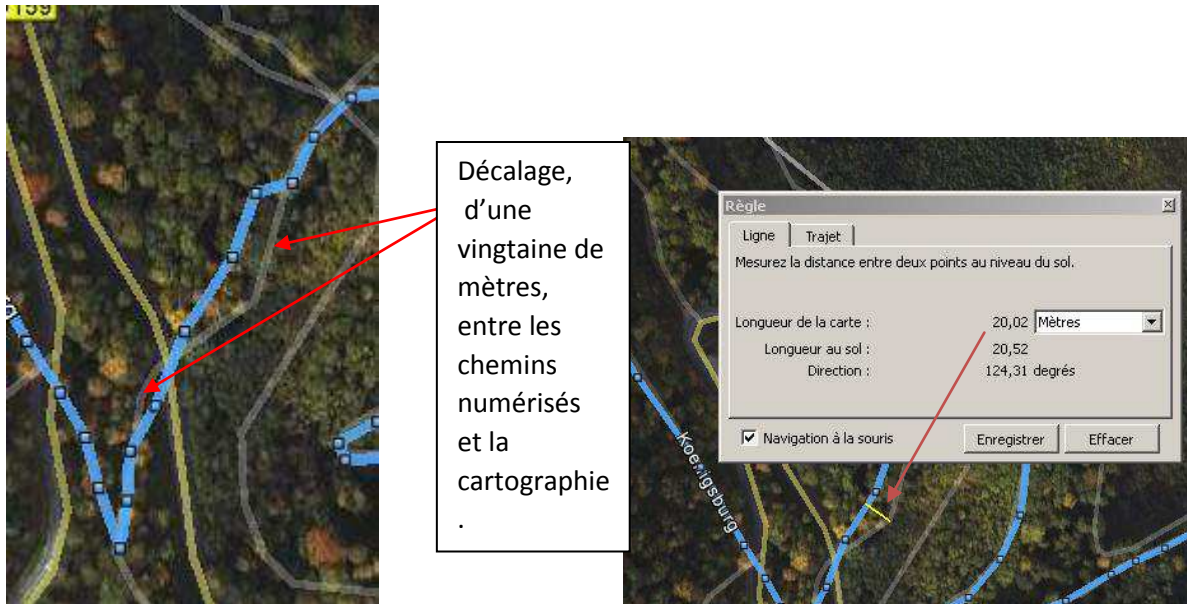


Figure 4.5 Les écarts entre la trace GPS recalée sur la cartographie IGN et le chemin réel peuvent atteindre couramment 20m.

4.2 Mode Guidage

Le fichier avec extension « .gpx » contient les coordonnées GPS du parcours numérisé espacées entre 20 et 30 mètres. Le fichier est installé dans le Smartphone. L'information donnée est le « *cap* » et la « *distance* » au point suivant, comme dans le cas en milieu urbain à chaque point relai.

Le changement important dans ce type de navigation est l'enrichissement de l'information qui appartient à chaque point relai. Ce commentaire ne doit pas être ambigu, il peut concerner un évènement avant un point, dans ce cas dire par exemple « *50 m avant serrer à droite* ». Il peut concerner un évènement pile au point (« *embranchement à 3 voies, prendre la voie de gauche* »), ou bien un évènement un peu après le point (dire alors par exemple « *20m après attention à la rivière à droite* »). Ces cas sont expliqués dans les paragraphes suivants.

4.3 Enrichissement de l'information

4.3.1 Premier cas : deux routes parallèles

Les points relais se trouvent sur des tronçons de lignes droites. Par exemple; si le point « $n+1$ » à rejoindre est indiqué à gauche comme dans la Figure 4.6 et qu'on ne trouve pas de passage à gauche, on est sur une fausse route car on a pris une bifurcation à droite sensiblement parallèle sans s'en rendre compte. Dans ce cas, on fait demi-tour en serrant en permanence à droite pour reprendre la bonne route. Pour éviter cette erreur et si la cartographie est bonne, on peut demander avant d'arriver au point « n » de serrer à gauche (Figure. 4.6). Par mesure de sécurité, en tenant compte de l'incertitude du GPS, on donne cette indication au moins 20m avant le point « n ».

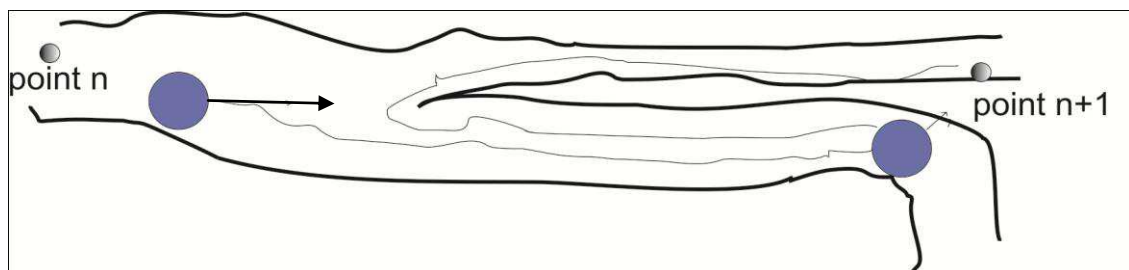


Figure. 4.6 Cas d'erreur : deux chemins presque parallèles.

4.3.2 Deuxième cas : Information « chemin à »

Pour mieux anticiper le trajet une information complémentaire est donnée sur le tournant à venir. On indique le « cap » et la « distance » au point suivant en ajoutant « chemin à x heures ». Prenons le cas simple où l'on dit : « 12h, 60m, chemin à 9h », cela signifie que le point suivant est devant à 60 m et que arrivé à ce point, il faudra tourner à gauche. Cela permet de se placer déjà sur le côté gauche pour faciliter la prise du tournant. Prenons maintenant le cas de la figure 4.7. L'information est : « 11h, 30m, chemin à 2h » cela signifie que la personne n'est pas tout à fait dans l'axe du point suivant et qu'elle doit tourner à droite à ce point car $2h-11h = 3h$.

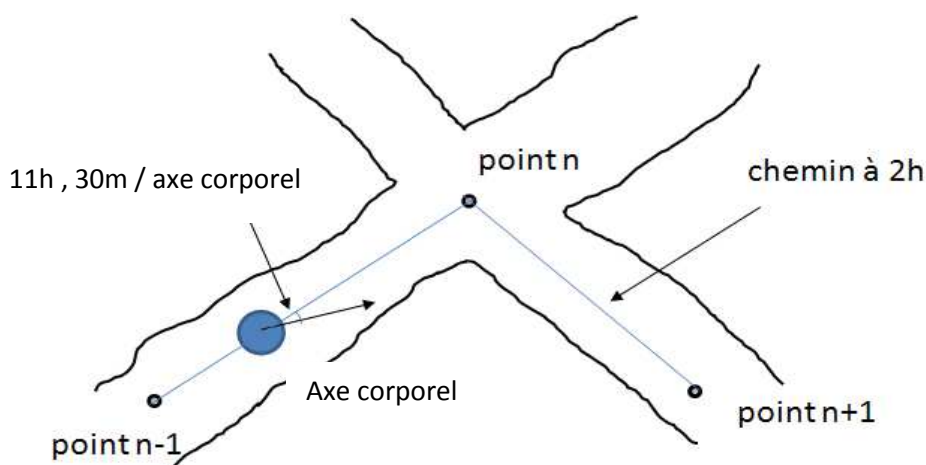


Figure. 4.7 Prochain point se trouve à 2 heures par rapport à l'axe corporel de la personne.

On pourrait envisager d'autres façons de faire, par exemple ne pas tenir compte de l'axe corporel de la personne et fournir uniquement l'angle entre les segments (n-1, n) et (n, n+1).

Cette solution est moins claire, car la personne n'a plus la direction de la route à venir par rapport à son schéma corporel et cela peut compliquer la représentation spatiale.

4.3.3 Troisième cas : Trois routes parallèles

On donne aussi des informations complémentaires comme chemin montant, chemin descendant, sol avec pierre, sol avec herbes, etc. Par exemple, dans le cas compliqué suivant (qui s'est produit sur la randonnée du Haut Koenigsbourg à Strasbourg, Figure. 4.8), on a trois chemins presque parallèles et les trois chemins sont à *12 heures*, *12 heures 15°* et *11 heures 50°*. Donc, il n'est pas possible de se fier aux directions trop voisines. En revanche, si on veut prendre le chemin de gauche il suffit de dire « serrer à gauche », et celui de droite, « serrer à droite ». Dans ce cas il fallait justement prendre le chemin du milieu. Une solution est de donner une information par rapport au type du sol pouvant être importante pour éviter que la personne se trompe. Ce type d'information peut rassurer. Par contre, dans le cas en question les textures de chemin étaient les mêmes et les dénivelés sensiblement équivalents. La seule solution est de faire prendre le chemin de gauche, puis au bout de 30m dire de faire demi-tour en serrant à gauche pour prendre le chemin du milieu. Dans ce cas il n'y a plus d'ambiguïté, mais un rallongement du trajet volontaire de 60m.

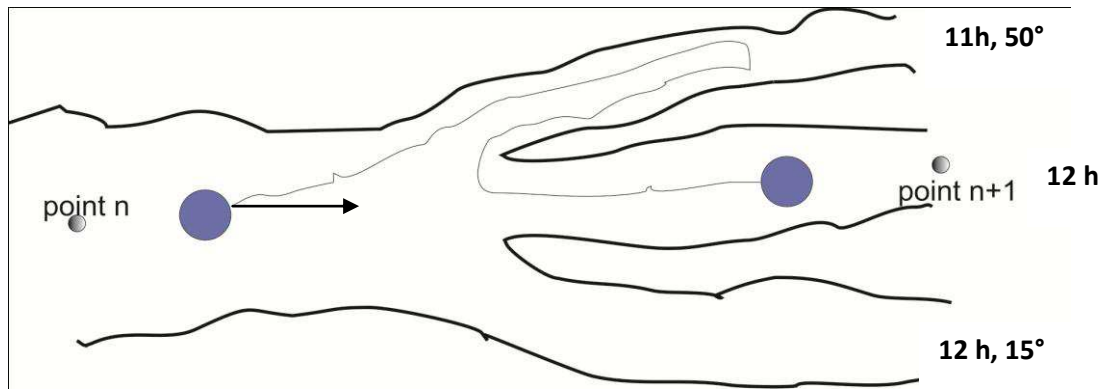


Figure. 4.8 Chemin avec trois routes presque parallèles.

4.4 Type d'informations complémentaires

On a classifié les besoins en trois catégories : la sécurité, l'orientation en situation ambiguë, l'identification du terrain.

-La sécurité : route perpendiculaire, rivière à droite, fossé important sur le côté gauche, route avec virage à droite, route avec virage à gauche, rond-point, traversée route circulante, passage sur un pont, passage sous un pont, etc.

-L'orientation en situation ambiguë : petit chemin à droite, petit chemin à gauche, petit chemin plus ou moins dans l'axe, fourche serrez à droite, fourche serrez à gauche, etc.

-L'identification du terrain : sol en goudron, sol en terre, sol avec grosse pierre, sol en gravier, voie montante, voie descendante, couverture végétale, etc.

L'information finale donnée à l'utilisateur est la suivante : « *cap* » plus « *distance* » suivi de « *chemin à* » plus le commentaire complémentaire. Par exemple : « 12 heures, 100 mètres », « *chemin à 3 heures* », « *sol herbeux* » signifie que le point suivant est tout droit à 100 mètres, que le point après suivant est à droite donc le chemin tourne à droite est que le sol est herbeux.

4.5 Gestion des capteurs

Les problèmes de gestion des capteurs ont été abordés de manière quelque peu différente. Le gros de la mise au point s'est fait dans le cadre de la randonnée expérimentale du GR65 par un non-voyant. Devant affronter des couvertures végétales épaisses sous la pluie pendant de longues durées, la sensibilité des antennes GPS internes des Smartphones

CHAPITRE IV

s'est avérée insuffisante. On lui a adjoint une antenne SIRF-III externe communiquant par Bluetooth, dont le compromis est orienté vers la très grande sensibilité, au détriment de la fiabilité du cap. Nous décrivons dans le paragraphe suivant les stratégies utilisées.

Pour assurer un cap fiable, nous allons comparer les caps donnés par le GPS du Smartphone, le GPS externe et la boussole. Si la valeur du cap de la boussole est cohérente avec les deux caps donnés par le GPS externe (voir, formule 4.1) et le GPS du Smartphone (voir, formule 4.2), on donne le cap de la boussole. Si les caps des deux GPS sont cohérents (voir, formule 4.3), on donne le cap du GPS externe à condition que la personne aille une vitesse supérieure à 2,1km/h (voir, formule 4.4). Si la personne a une vitesse de déplacement inférieure à 2,1km/h ou si les caps des deux GPS, ne sont pas cohérents, on donne le cap de la boussole.

$$cap_{boussole} - cap_{GPSext} < 15^\circ \quad (4.1)$$

$$cap_{boussole} - cap_{GPSint} < 15^\circ \quad (4.2)$$

$$cap_{GPSext} - cap_{GPSint} < 15^\circ \quad (4.3)$$

$$GPSvitesse > 2,1 \text{ km/h} \quad (4.4)$$

Nous verrons que le non-voyant utilisant le système est avant tout un navigateur qui doit prendre conscience des informations données par l'appareil, les analyser et prendre des décisions pertinentes. Il n'est pas guidé passivement.

4.6 Tests en situation de grande randonnée

4.6.1 Test Randonnée dans le parcours de Saint Jacques de Compostelle (GR 65)

Nous décrivons ici la mise en œuvre d'une grande randonnée de 700 km qui a été réalisée en juillet – août 2011 par un déficient visuel de 64 ans de catégorie 4 selon la classification de l'Organisation Mondiale de la Santé (vision jour nuit et de quelques ombres) sur la partie française du chemin de Saint Jacques de Compostelle. Le non-voyant était aussi très sportif. Cette expérience a permis de mettre au point les nouvelles techniques de guidage précédemment décrites qui se sont affinées au cours de la randonnée. Cela a montré de manière claire les nouvelles possibilités et les limitations à l'autonomie totale en grande randonnée pour les déficients visuels.

CHAPITRE IV

La centrale inertielle réalisée en interne, décrite au chapitre 3 § 3.3, communiquant par Bluetooth avec un Smartphone OMNIA I8000 (contenant une antenne GPS) est utilisé lors de cette expérience. Elle est portée à la ceinture au côté droit. L'interface du Smartphone était « à boutons » (voir Figure 4.11). Un GPS externe (SIRF-III Royaltek) communiquant par Bluetooth avec le Smartphone est aussi rajouté.

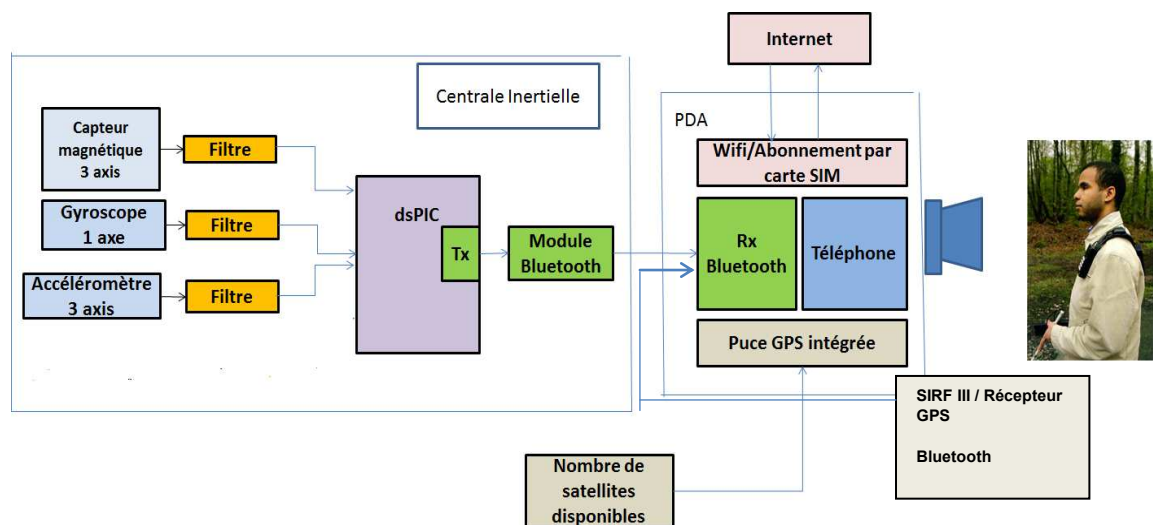


Figure 4.9 Schéma de principe du dispositif.



Figure 4.10 A gauche: antenne SIRF-III liaison Bluetooth. A droite: Centrale Inertielle en état de charge (lumière verte allumée).

CHAPITRE IV

L'interface réalisée a été adaptée aux besoins exprimés par l'expérimentateur. On a convergé sur 6 boutons (Figure 4.11).



Figure 4.11 Interface Navigation pour la grande randonnée.

Le premier bouton en haut au centre **<Demande de point>** donne le « *cap* » et la « *distance* » au point sélectionné plus l'information « *chemin à* » ainsi que les commentaires additionnels éventuels. Si les deux GPS sont en concordance, un seul « *cap* » et « *distance* » sont fournis. S'il y a une différence de plus de 40 mètres entre les deux GPS, le cap et la distance correspondant à chaque GPS sont donnés. L'utilisateur en fonction du contexte a rarement eu d'hésitation sur la donnée valide à prendre en considération. Si la personne est à l'arrêt le cap de la boussole est fourni. Si les deux GPS sont non concordants en cap, le cap de la boussole est également fourni. Pour trouver le point suivant et se rappeler le point précédent, des deux cotés du grand bouton **<demande de point>**, on a inséré à gauche un bouton **<->** pour le point précédente, respectivement à droite, un bouton **<+>** pour le point suivant. Cela est utile si la personne veut retourner à un point précédent ou si la personne veut anticiper de quelques points son trajet. Un bouton **<point le plus proche>** est placé au milieu. Il fournit le « *cap* » et la « *distance* » au point du parcours le plus proche par rapport à la localisation GPS de la personne. Il est particulièrement utile pour reprendre un parcours suite à un arrêt du GPS pour une longue pause. Il permet d'entrer immédiatement dans le parcours. Le bouton en bas à droite **<nombre de satellites>** fournit

CHAPITRE IV

le nombre de satellites pris en compte pour le calcul de la position. Avoir un grand nombre de satellites n'est pas forcément synonyme de précision, mais en avoir 3 ou moins est un critère de non fiabilité des données. Le bouton en bas à gauche **<gite le plus proche>** donne l'information de « *cap* » et de « *distance* » par rapport au gîte d'étape le plus proche. Aussi on peut connaître la distance totale qui reste à parcourir. Il y a aussi un bouton au dessous du bouton **<nombre de satellites>** qui permet de accéder au menu calibration de la boussole.

L'interface pour calibrer la boussole a trois boutons (Figure 4.12) :

Calibration verticale : Permet de se connecter à la centrale inertielle et calibrer la boussole en tournant l'appareil du haut vers le bas pendant 40 secondes.

Calibration horizontale : Permet de se connecter à la centrale inertielle et calibrer la boussole en tournant l'appareil horizontalement pendant 40 secondes.

Retourner au mode de navigation : Fonction pour revenir à l'interface pour la grande randonnée.

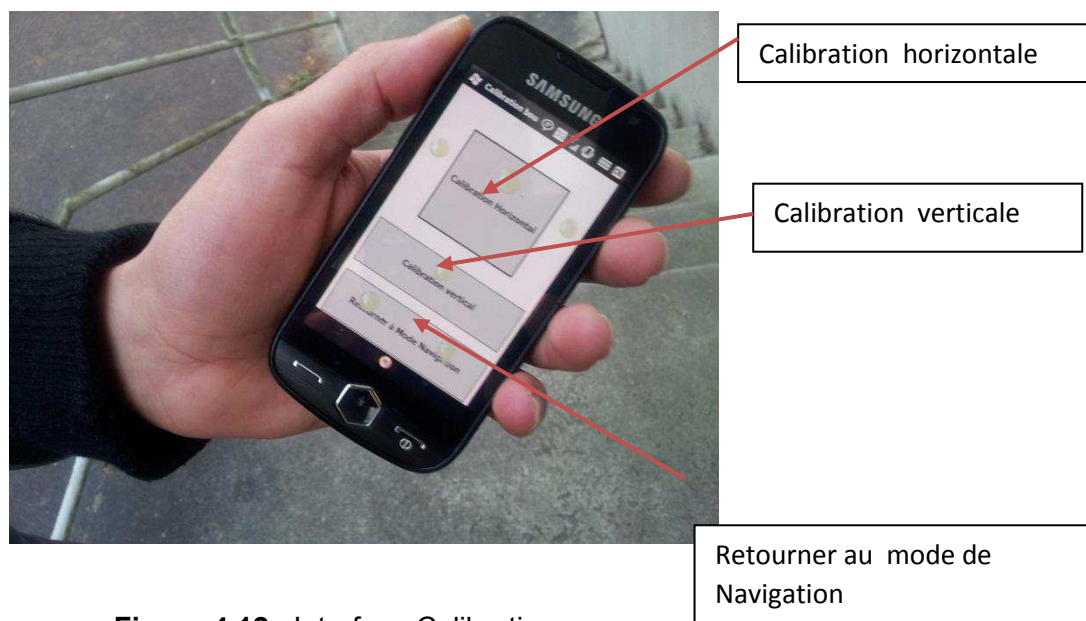


Figure 4.12 Interface Calibration.

4.6.1.1 La préparation avant le départ

Avant d'envisager cette randonnée sérieusement, le non-voyant a dû effectuer une série de tests en locomotion et de préparation au GR 65. Les tests ont été les suivants :

CHAPITRE IV

Tests en milieu urbain : traversée d'une route simple voie et double voie, carrefours à feux, traversée d'une route avec un passage piéton non perpendiculaire à la route, carrefours à feux décalés.

Tests en milieu semi-urbain : recherche du trottoir à partir d'une place en zone peu circulante, traversée de ronds-points.

Tests en milieu forestier : traversée hors sentiers d'un segment de forêt à forte pente, équilibre dans les sols irréguliers glissants, résistance psychologique à une situation où le non-voyant « *se sent désorienté* », transitions non prévues entre zones non circulantes et circulantes.

Les vérifications du niveau de la représentation spatiale ont été les suivantes :

- Tour d'un pâté de maison à 4 côtés, puis 3 côtés, puis plus de 4 côtés : capacité à analyser la forme de la structure.

- Aptitude à réaliser un parcours par indications à 3 tournants (Figure 4.13), être capable de montrer la direction à vol d'oiseau du point de départ du parcours et après, faire le retour sans indication par un trajet différent.

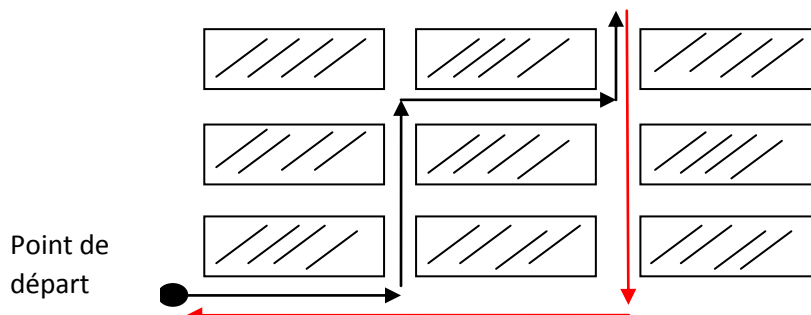


Figure 4.13 En noir, parcours par indication à 3 tournants. En rouge, retour sans indication par un trajet différent.

- Le malvoyant fait un parcours en centre commercial et on lui indique sur le trajet, la position de trois magasins, le non-voyant doit être capable de retrouver les 3 magasins sans revenir sur ses pas.



Figure. 4.14 Test réalisé dans la forêt de Rambouillet.

Un premier entrainement de 10km a été effectué dans la forêt de Rambouillet (Figure 4.14) et un second de 45km au mont Saint Odile dans la région de Strasbourg. Ces trajets ont été suivis à distance par un instructeur de locomotion.

4.6.1.2 La réalisation de la randonnée

Certains tronçons du trajet ont été suivis à distance par des proches, d'autres par des instructeurs de locomotion, et quelques étapes ont été faites seul.

Les étapes avaient une longueur comprise entre 15km et 25km. L'expérimentateur utilisait une canne blanche dans la main gauche pour explorer le sol et un bâton de marche dans la main droite sur lequel était fixé le téléphone portable servant d'interface (Figure 4.15, à droite). Pour la sécurité de la personne, elle était équipée d'un téléphone satellite et de notre dispositif que pouvait indiquer le chemin à suivre en « *cap* » et « *distance* » par rapport au gîte d'étape le plus proche en appuyant sur une touche spéciale. Les gîtes d'étapes étaient prévenus de l'arrivée du randonneur non-voyant. Le randonneur non-voyant était appelé plusieurs fois par semaine.



Figure 4.15 A gauche : expérimentateur portant avec le bâton et GPS.
A droite : bâton de marche avec Smartphone OMNIA I8000.

4.6.1.3 Résultats de l'expérimentation

Les résultats par rapport à la sécurité et la façon d'utiliser le GPS ont été les suivantes :

- Une présence même sans aucune aide reste rassurante,
- Certains passages se sont montrés à la limite de l'ingérable (descentes sur grosses pierres mouillées) où le temps mis était énorme,
- Sur terrain peu accidenté, la vitesse moyenne pouvait atteindre 3km/h,
- Certains segments se sont avérés à éviter car demandant de longer les routes sinueuses à circulation rapide sans réelle bordure,
- Certaines étapes ont pu être réalisées avec une autonomie totale en sécurité,
- Le passage près d'une centrale nucléaire a totalement décalibré la boussole qui a dû être changée, nous avons dû mettre en place, pour la suite, une procédure de calibration in situ. Le fonctionnement du GPS a lui aussi été perturbé sans qu'on connaisse les raisons,
- Certains propriétaires de terrains sur le trajet ont clôturé l'accès entre la numérisation datant de quelques années et le trajet effectif actuel. Bien entendu le déficient visuel ne peut voir la pancarte de déviation, cependant, une situation sur deux, de ce type d'inconvénient, était gérable seul,
- La sollicitation des chevilles et des genoux est très forte car le déficient visuel ne peut pas anticiper la pose de son pied. Notre expérimentateur avait une résistance exceptionnelle sur ce point, il est très probable, qu'un sujet moyen aurait eu de sérieux problèmes ligamentaires avant la fin des 700 km,

CHAPITRE IV

- Une seule chute sans gravité s'est produite par accrochage du pied dans une racine, ce qui a dénoté aussi un équilibre exceptionnel de l'expérimentateur,
- L'utilisation de deux antennes GPS a été indispensable lors qu'une couverture végétale était présente.

4.6.1.4 La presse sur le trajet du Chemin de Saint Jaques de Compostelle

Cette expérimentation a été suivie par la presse écrite et diffusée à la télévision nationale (France 3). Elle a commencé, le 3 juillet au Puy en Velay et s'est terminé à Saint Jean Pied de Port à la frontière Espagnole fin août.



Figure 4.16 Premier jour de la randonnée [41].

Le premier jour de marche, sous le titre « Sur le pas de Saint-Jacques en aveugle », dans le journal « La Montagne » Nicolas Ayrault écrit : « Gérard Muller est suivi, lors des premières étapes, par Jésus, un ingénieur d'origine péruvienne. Après la numérisation du sentier, par la Fédération Française de Randonnée Pédestre, il travaille depuis un an et demi à son adaptation pour les déficients visuels. Mais, dès les premières foulées, les choses commencent à se compliquer. Le GPS lui indique que son prochain point se trouve à 26 km. L'angoisse monte d'un cran. « Pourtant, le dispositif a fonctionné pendant les essais », se lamente le sportif. Car il sera seul pendant des semaines, à ne pouvoir compter que sur ce bijou avant-gardiste » [41]

En fait, lors du passage sous une antenne radio la connexion Bluetooth de l'antenne déportée a été perturbée et le programme n'avait pas prévu comment se reporter sur l'antenne interne GPS uniquement dans ce type de configuration. Résoudre le problème a demandé une heure de pose forcée.

CHAPITRE IV

Différentes modifications par rapport à l'utilisation de l'appareil ont été effectuées tout le long du trajet. L'implémentation de différents algorithmes a été réalisée pour donner un cap plus fiable en tenant compte de configurations jusqu'alors non rencontrées. Un mode pour calibrer la boussole in situ a été implémenté.

Dans le journal « Midi Libre », après 4 jours de marche, sous le titre « Un randonneur non-voyant équipé de son GPS sur le chemin de Saint Jacques de Compostelle », Mr Gérard Muller a commenté: « Cela faisait vingt ans que je n'avais plus marché seul en pleine nature... » [42].

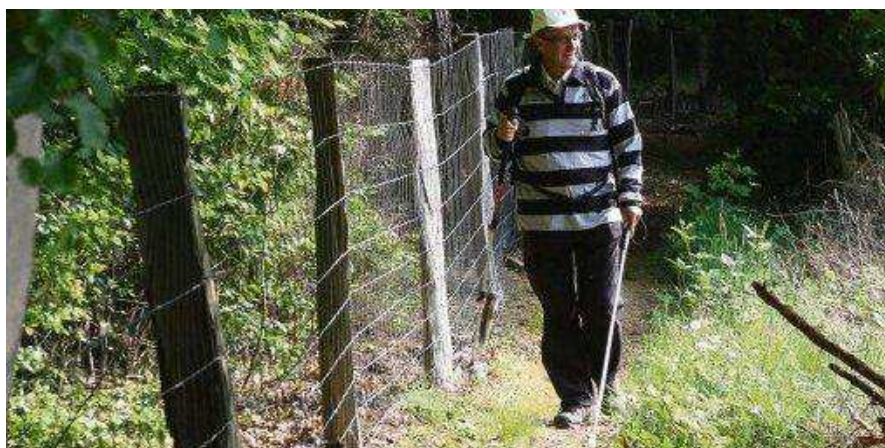


Figure 4.17 Non-voyant en pleine nature [42].

Sous le titre « L'ambassadeur de la cécité » le commentaire de Gérard Muller (non-voyant) parut dans le journal l'Express est le suivant : « Je dois être très concentré, lire la route à la fois avec ce guide électronique, mais aussi avec la « semelle de mes chaussures ». Il m'arrive de me tromper. Le GPS corrige immédiatement ma trajectoire. Pour une bonne utilisation de cet appareil révolutionnaire, il faut donc avoir une solide formation et une habitude de la locomotion sur tous les terrains », dit-il. « Mais pour ceux qui voudront s'y mettre, cela s'apprend très bien ». [43]

Sous le titre « Chemin de l'Esperance pour un aveugle » parut dans 20minutes.fr Mr Gérard Muller a commenté : «J'ai eu un immense et long moment de plaisir, comme en 1999, à Nîmes, quand j'ai quitté le stage d'éducation à l'autonomie et que j'ai pu de nouveau, comme lorsque j'étais voyant, prendre seul le bus et m'asseoir seul à une terrasse d'un bistro. J'étais redevenu moi-même» [44].

Commentaire d'autres randonneurs parut dans « Sud-ouest.Fr » de Saint Jean Pied de Port : «Le voir marcher seul dans les bois, trouver son chemin aux nombreuses bifurcations,

CHAPITRE IV

ouvrir les barrières, traverser les routes en rase campagne et tout cela à peine plus lentement qu'un randonneur ordinaire est absolument hallucinant ! » [45].



Figure 4.18 Jour de l'arrivée à Saint Jean Pied de Port [45].

4.6.2 Test lors de la semaine du handicap à Strasbourg du 10 à 17 avril 2012

Au début de la thèse, nous utilisons la centrale inertielle développée en interne au laboratoire et qui était connecté par Bluetooth au Smartphone. L'évolution technologique rapide des Smartphones, nous a permis de migrer tous nos algorithmes dans un Smartphone Android. En utilisant sa boussole et son gyroscope 3 axes, 3 modes d'utilisation ont été proposés : tenu à la main, à la hanche côté droite et à la hanche côté gauche.

Lors de cette expérience, on utilise encore l'interface à boutons. On a numérisé au préalable les trajets pour que les coordonnées GPS soient espacées entre 20 et 30 mètres et pour vérifier si le chemin est réalisable et sécurisé, sachant que les expérimentateurs n'avaient pas cette fois de solide préparation préalable.



Figure 4.19 Smartphone *Galaxy S2*, avec l'application développée, tenu à la main.

4.6.2.1 Menu Randonnée

Le principe reste le même que pour la randonnée du GR65 au niveau des boutons et fonctions avec juste des facilités supplémentaires pour choisir la randonnée à faire à partir d'une liste, et aussi pouvoir enregistrer et commenter un nouvel circuit de randonnée.

4.6.2.2 Test de l'appareil

Avec cette nouvelle version, on a initié une vingtaine de déficients visuels à la grande randonnée à Strasbourg dans la semaine de Handicap (avril 2012) préparé par le Conseil Général 67 de cette ville.

On avait préparé trois circuits de grande randonnée : parcours de Haut-Kœnigsbourg (7km) ; parcours botanique dans la forêt du Neuhof (5km) et le parcours entre Gimbelhof et le château de Fleckenstein (7km). L'utilisation de l'appareil et le mode de guidage ont été très appréciés par la plupart des utilisateurs qui ont réalisé les tests.

Différents commentaires concernant l'utilisation et le ressenti à l'utilisation de l'appareil sont parus au journal DNA et sur le site web de « point de vue sur la ville » (<http://pointdevuesurlaville.org/2012/04/24/pouvoir-randonner-sur-chemins-numerises/>), région alsacienne :

« Le dispositif est efficace. Je suis fier d'avoir fait le chemin seul, en toute autonomie », commente **Gabriel Reeb** (malvoyant), secrétaire général de l'Association des Aveugles et Amblyopes d'Alsace Lorraine [46, 47]

« Je suis ravi de ce GPS. Notre rêve maintenant, serait que la même chose existe à Strasbourg pour se balader dans des parcs ou sur des sites accessibles en transports en commun », ajoute **Jean- Claude Boeglin** (malvoyant), président de l'Association Les Cannes Blanches [46, 47]

« J'ai eu des difficultés à maintenir le GPS bien orienté et à ne pas appuyer par erreur sur l'écran tactile. Mais le guidage est efficace et c'est une très bonne initiative » analyse **Alexandre Perradin**, non-voyant de naissance [46, 47].



Figure 4.20 A gauche : non-voyant de naissance utilisant l'appareil en main gauche [46].
A droite : malvoyant en train d'utiliser l'appareil [46].

4.7 Conclusions

Le non-voyant, ayant effectué l'expérimentation de Saint Jacques de Compostelle, est sportif et ce type de randonnée est peu reproductible. Cependant nous avons initié une vingtaine de déficients visuels à la randonnée autonome sur des parcours allant du sentier botanique plat de 3km et du sentier montant de 500m de dénivelé sur 8km lors de la semaine du handicap dans la ville de Strasbourg. Le dispositif a eu grande acceptation parmi les utilisateurs.

La prise en main du dispositif, pour gérer des situations simples, demande de 2 à 3 km de pratique à condition d'avoir bonne conscience de l'axe corporel pendant le déplacement.

Cette expérimentation a démontré que la grande randonnée pour les personnes déficientes visuelles en autonomie totale est possible, mais avec les restrictions suivantes :

- L'évaluation et un entraînement préalable conséquent de la personne sont indispensables,
- La vérification préalable sur place de la mise en sécurité du trajet par un instructeur de locomotion,
- L'établissement des alternatives aux zones dangereuses et l'enrichissement de l'information pour les passages compliqués à trouver, sont nécessaires.

Un dernier point est apparu, peut être le plus important de tous, c'est qu'en dehors des « galères », fortes pluies, passages glissants, etc. la randonnée était quelque chose pouvant

CHAPITRE IV

être extrêmement agréable. Ce sentiment de liberté de se guider seul dans un milieu accueillant pourrait être un chemin potentiel de retour vers l'autonomie. En effet, le retour à l'autonomie pour une personne ayant perdu la vue passe par la confrontation au milieu urbain agressif, dissuasif pour beaucoup. Moins de 5% des non-voyants envisagent de se déplacer seuls. Si, grâce à l'attractivité de la randonnée autonome, on pouvait permettre à 5% de plus d'aller dans cette voie, ce serait une révolution. Comment y arriver ? On n'a pas à ce jour la solution, certainement en persévérant très longtemps, en démultipliant les expériences, en les structurant pour que cela ne soit pas quelque chose de ponctuel comme l'a été l'expérience de la semaine du Handicap à Strasbourg.

L'intérêt porté par l'UFR des STAPS (Science et techniques des activités physiques et sportives) de Strasbourg à ce problème et les premières idées de mise en place de protocoles sont une piste très intéressante.

Chapitre V : Mode de fonctionnement en intérieurs

Introduction

Compenser le manque d'information du signal GPS en intérieurs est un problème très différent de celui de la navigation urbaine et de la randonnée. Le point essentiel est la perte du signal GPS au bout de quelques mètres à l'intérieur d'un bâtiment (voir Figure 5.1, relevé en rouge).

On observe que l'information de latitude et longitude du GPS est perdue quand la personne rentre dans un bâtiment après d'avoir marché quelques mètres (position X). Sur la Figure 5.1, le chemin réel dans le test est le relevé en jaune, le relevé en rouge représente les données de positionnement du signal GPS.

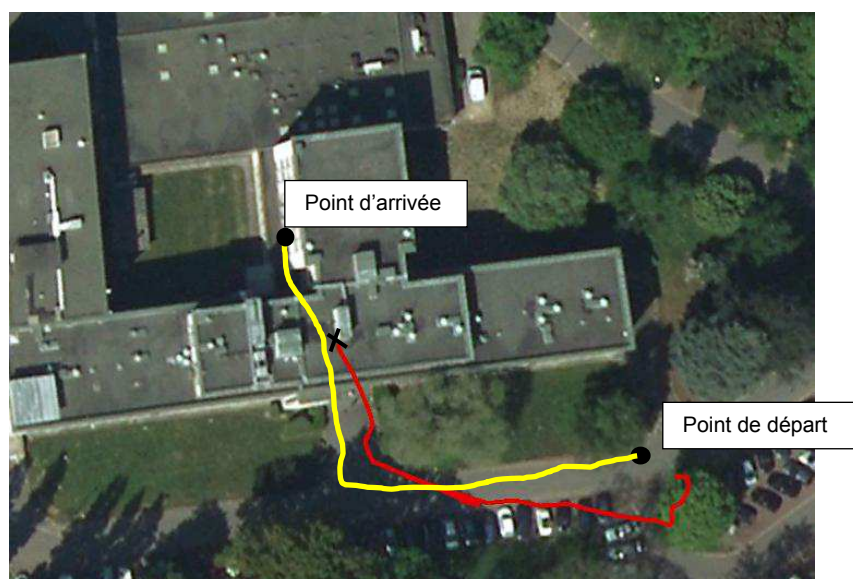


Figure 5.1 En jaune, déplacement réel. En rouge, signal GPS perdu après avoir marché quelques mètres en intérieur.

Une seconde difficulté est la mauvaise connaissance des coordonnées géographiques du point d'entrée. Il est difficile de connaître les coordonnées précises d'entrée dans un bâtiment avec la trace GPS seule (latitude et longitude). Le signal GPS devient de moins en moins précis au fur et à mesure que l'on s'approche d'un bâtiment à cause des échos du signal sur les murs.

Dans la Figure 5.2, la première trace GPS (relevé en rouge) montre une erreur de 15 mètres sur le point d'entrée et la seconde (relevé en bleu) une erreur de 8 mètres. Pour un

CHAPITRE V

individu, qui a une longueur de pas d'environ 0,6 m, cette erreur signifie 25 pas d'erreur pour le premier cas et 13 pas d'erreur dans le deuxième cas. Ces erreurs ne sont pas reproductibles d'un jour sur l'autre, mais restent du même ordre de grandeur.

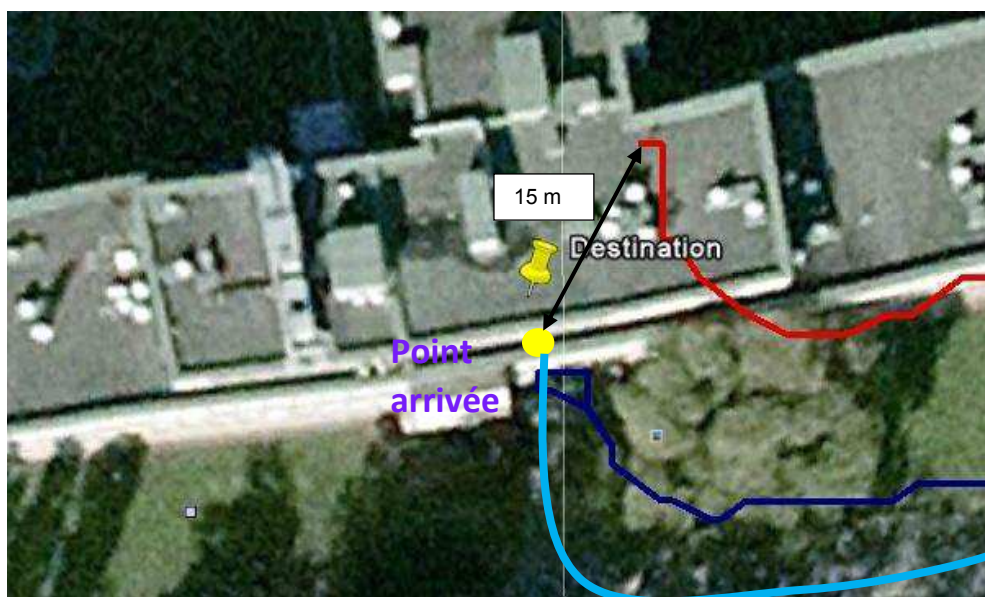


Figure 5.2 En rouge trace du GPS du *Galaxy S2*, en bleu foncé trace de l'antenne GPS SIRF III et en bleu ciel trace du chemin réel.

Avec certaines antennes très sensibles, le GPS peut rester accroché à l'intérieur de certaines surfaces commerciales ayant un toit peu opaque aux rayonnements Gigahertz. Cependant la précision se dégrade rapidement et atteint l'ordre de la centaine de mètres dans certains cas ce qui ne permet plus d'en faire un outil opérationnel de guidage.

L'absence de positionnement absolu, en intérieur, nous oblige à utiliser le relevé de la trajectoire de la personne qui est confrontée au plan du bâtiment pour la guider.

Dans les études relatives au « *Dead Reckoning* » présentées au Chapitre 1 § 1.5, les concepteurs utilisent une centrale inertielle fixée sur le pied, couplée aux bornes de Radio (*RFID*) pour recalibrer les valeurs de la centrale inertielle. Pour mesurer le déplacement de la centrale inertielle fixée sur le pied ils intègrent le signal accélérométrique. Autres chercheurs utilisent des bornes *Wifi* ou *Bluetooth* pour faire la géolocalisation en intérieurs couplées à une boussole. Nous utilisons juste une centrale inertielle sur la hanche sans bornes radio dans le bâtiment. Comme nous l'avons expliqué au chapitre 2 § 2.3.2.2, on n'utilise pas l'intégration du signal de l'accéléromètre, difficilement exploitable dans le contexte du port à la hanche. On doit trouver d'autres moyens pour relever le déplacement. Pour la mesure des distances nous allons utiliser le comptage de pas et tester sa reproductibilité.

5.1 Mesure des distances

5.1.1 Analyse de la marche d'une personne

On va analyser la façon de marcher d'une personne, en utilisant l'accéléromètre sur la hanche droite. La Figure 5.3 montre les 3 signaux de l'accéléromètre avec un premier sujet et la Figure 5.4 montre aussi les 3 signaux de l'accéléromètre avec une deuxième personne lors d'une marche en ligne droite. L'accéléromètre utilisé est le LSM330DLC de STMicroelectronics.

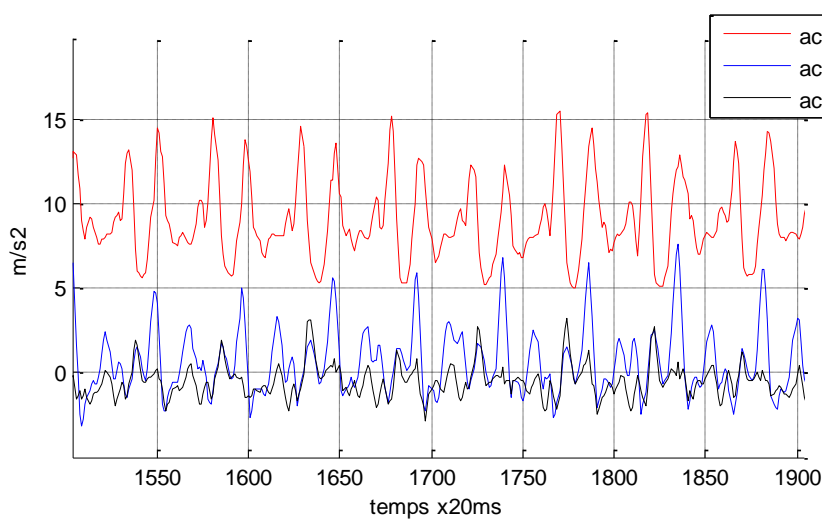


Figure 5.3 Trois composantes de l'accéléromètre lors d'une marche en ligne droite (sujet 1). X, sens de la marche, Z verticale

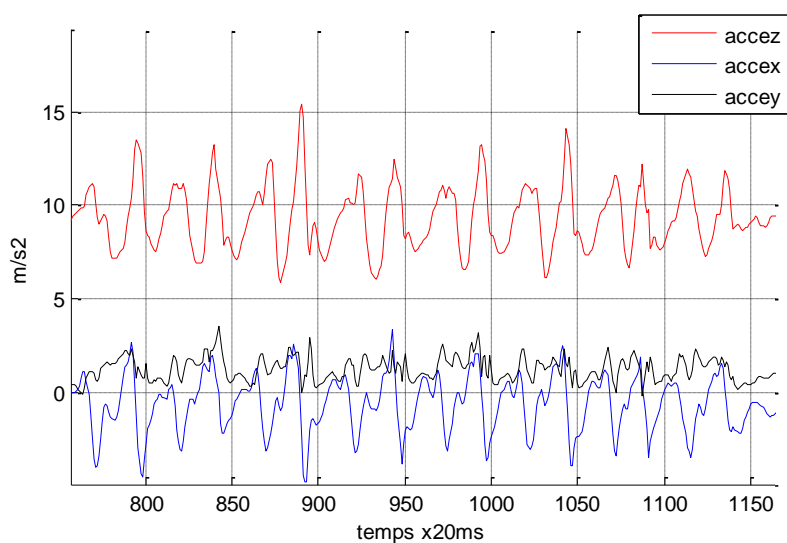


Figure 5.4 Trois composantes de l'accéléromètre lors d'une marche en ligne droite (sujet 2). X, sens de la marche, Z verticale.

CHAPITRE V

Dans la Figure 5.3 et 5.4, on observe qu'avec un dispositif sur la hanche, l'information de l'accélération verticale (ac_{vez}) et horizontale (axe de déplacement, ac_{hex}) ont des valeurs exploitables. Dans la Figure 5.3, l'accélération verticale a une amplitude plus grande que l'accélération horizontale et une forme moins dépendante de la personne, c'est pour cela qu'on la retient pour faire le comptage des pas.

La Figure 5.5 montre une période du signal de l'accéléromètre, avec les différentes phases de la marche, correspondant à un « *cycle de marche* » (2 pas) allant de A à A'. L'appareil est porté à droite.

La valeur maximale de l'accélération vers le bas correspond au début du cycle en « A » et au début du cycle suivant en « A' », c'est le moment où le talon droit de la personne touche le sol (voir, Figure 5.5, signal de l'accélération verticale et Figure 5.6, mouvement de la hanche et le pied associé à cette accélération).

La position « A » est le moment où la personne pose le pied droit sur le sol. Le signal augmente rapidement à cause du choc du talon sur le sol (voir Figure 5.5 et Figure 5.6).

Le rebond de l'accélération vers le haut correspond à la séquence « A-B » qui représente l'accélération horizontale faite par le bassin pendant le posé du pied droit. La position « B » est le moment où le pied droit est complètement posé sur le sol (Figure 5.5 et Figure 5.6).

La phase « B-C » correspond au pas effectué par le pied gauche avant le posé du pied gauche (Figure 5.5 et Figure 5.6).

La phase « C-D » correspond au moment où le pied droit revient au niveau du pied gauche. « D » est le moment où le pied gauche est posé complètement sur le sol (Figure 5.5 et Figure 5.6).

La phase « D-E » correspond à la chute du pied droit vers le sol avant de commencer un nouveau « cycle de marche » (Figure 5.5 et Figure 5.6).

La phase « E-A' » correspond au début du cycle suivant lorsque le pied droit va à nouveau toucher le sol (Figure 5.5 et Figure 5.6).

CHAPITRE V

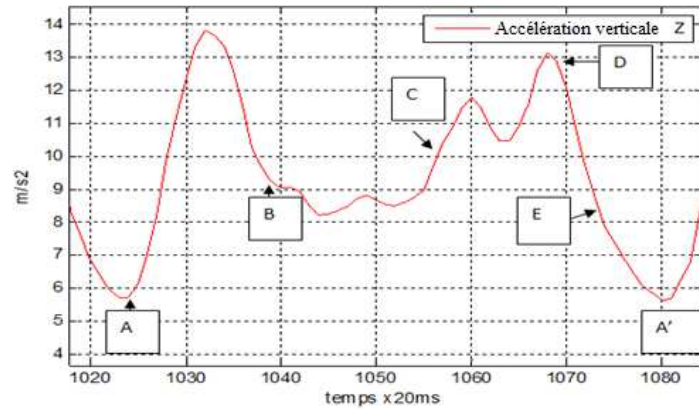
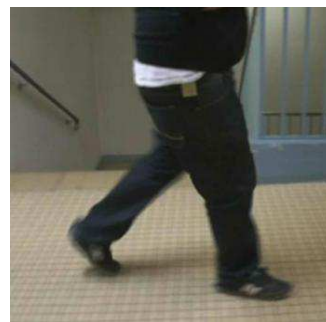


Figure 5.5 Signal d'accélération verticale avec les différentes phases dans un « cycle de marche » qui représente (2 pas) A-A'



(A)



(B)



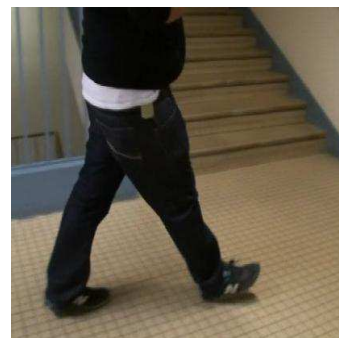
(C)



(D)



(E)



(A')

Figure 5.6 Mouvements de la hanche et du pied dans un « cycle de marche » (2 pas).

CHAPITRE V

5.1.2 Compteur de pas

Notre algorithme de comptage de pas compte le nombre de pas d'une personne à partir des valeurs maximales de l'accélération verticale lors de la marche (voir, Figure 5.7). D'abord, nous devons différencier l'état de marche de celui de l'arrêt tel que décrit au Chapitre 3 § 3.2. Les valeurs de l'accéléromètre sont obtenues chaque 20 millisecondes.

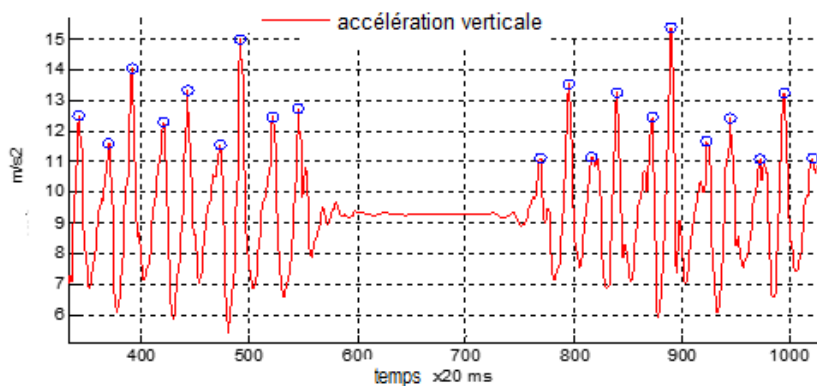


Figure 5.7 Comptage de pas à partir de l'accélération verticale.

Pour déterminer un pas, on détecte la valeur de pic maximal $Z[k]$ de l'accélération verticale en utilisant les critères suivants :

On fait un test toutes les 28 échantillons c'est-à-dire toutes les 560 ms (instants t_n , t_n+28 , t_n+56 , etc., voir Figure 5.8). Un test sur un échantillon porte sur les 11 échantillons avant et après. L'exploration se fait sur les 50 derniers échantillons (dernière seconde). A l'instant t_n , par exemple, on va tester si un maximum existe entre t_n-38 et t_n-11 (durée 560 ms). Pour cela on fait pour chaque échantillon compris entre t_n-38 et t_n-11 les tests suivants :

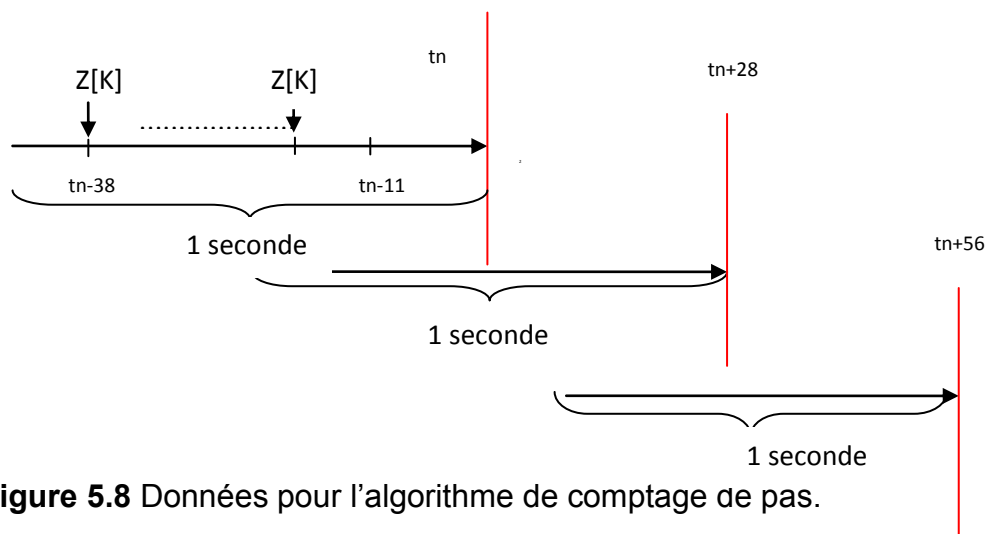


Figure 5.8 Données pour l'algorithme de comptage de pas.

CHAPITRE V

Si $Z[k-n] < Z[k]$, pour $n=1, 2, 3, \dots, 11$

Et si $Z[k+n] < Z[k]$, pour $n=1, 2, 3, \dots, 11$

Et si $Z[k-11] << Z[k] - 2$,

Et si $Z[k] > \text{acce_zeroz}$ avec $\text{acce_zeroz} = \frac{Z[0]+Z[1]+Z[2]+\dots+Z[49]}{50}$, moyenne des

données pendant un état à l'arrêt (Chapitre 3 § 3.2).

Alors $Z[k]$ signifie qu'un pas a été effectué.

Dans la déambulation d'une personne, on peut observer trois types de marche : normale, accélérée et ralentie. Le dispositif conçu doit faire face à ces trois différentes marches.

La Figure 5.9 montre le test réalisé avec un même sujet pendant ces trois types de marche. Il est observé que la fréquence de marche change dans chaque cas. Par exemple, dans le cas de marche normale un « *cycle de marche* » est de 1,18 seconde ; dans le cas de la marche rapide un « *cycle de marche* » est de 1 seconde avec un signal d'amplitude plus grande que celui de la marche normale et que celui de la marche ralentie. Pour la marche ralentie le « *cycle de marche* » est de 1,6 secondes avec une amplitude plus petite que dans la marche normale et dans la marche accélérée.

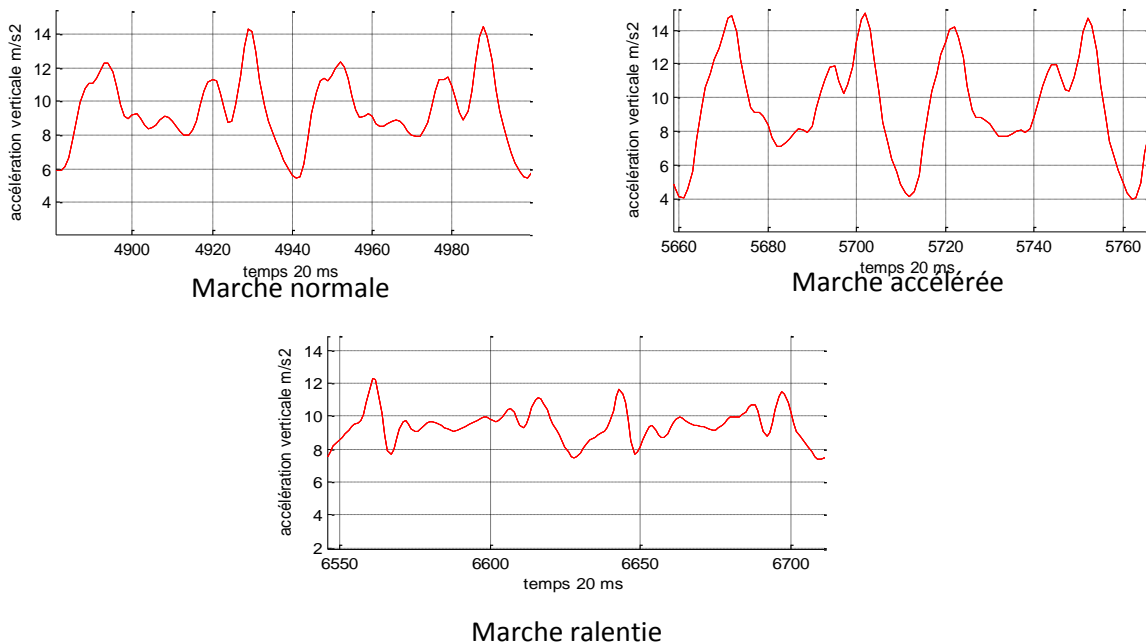


Figure 5.9 Trois types de marche (normale, accélérée et ralentie) du même sujet.

CHAPITRE V

Pour tester la robustesse de l'algorithme compteur de pas et la stabilité de la longueur de pas, dans les trois conditions décrites auparavant, 4 sujets de corpulence différente (taille et poids) ont marché sur une ligne droite de 94,5 mètres de long pour chaque condition : marche normale (voir, Figure 5.10 et Figure 5.11), marche accélérée (voir, Figure 5.12 et Figure 5.13) et marche ralentie (voir, Figure 5.14 et Figure 5.15). Dans les tests, le sujet fait quatre fois le même trajet et on compare la longueur de pas donné par l'appareil avec la longueur de pas réelle.

Pour le cas de la marche accélérée, on demande à la personne d'accélérer son allure pour obtenir une marche rapide. En revanche, pour le cas de la marche ralentie, on demande à la personne de ralentir son allure de marche. Pour calculer l'erreur moyenne, on se sert de la formule 5.1.

$$\text{Erreur moyenne} = \frac{\sum_{i=1}^4 \left(\frac{\text{valeur_maxim}_i - \text{valeur_minim}_i}{\text{valeur_maxim}_i} \right) \times 100\%}{4} \quad (5.1)$$

$i = \text{numéro du sujet}$

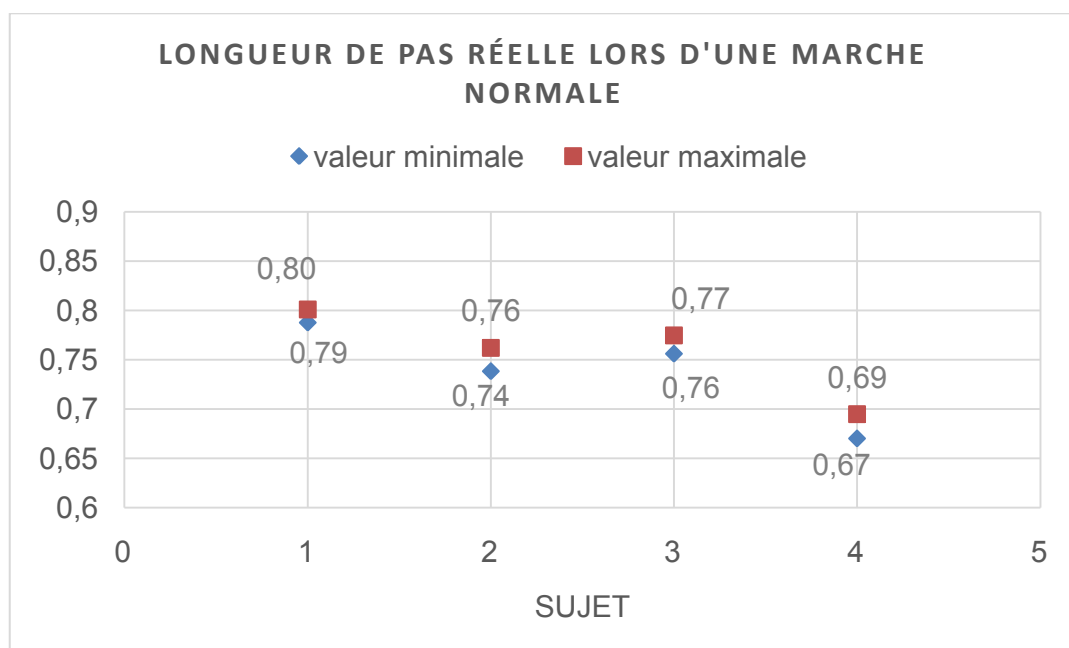


Figure 5.10 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas réelle, des 4 sujets lors d'une marche normale après avoir fait 4 fois le même trajet.

L'erreur moyenne est de 2% dans une marche normale avec les valeurs réelles obtenues dans le test.

CHAPITRE V

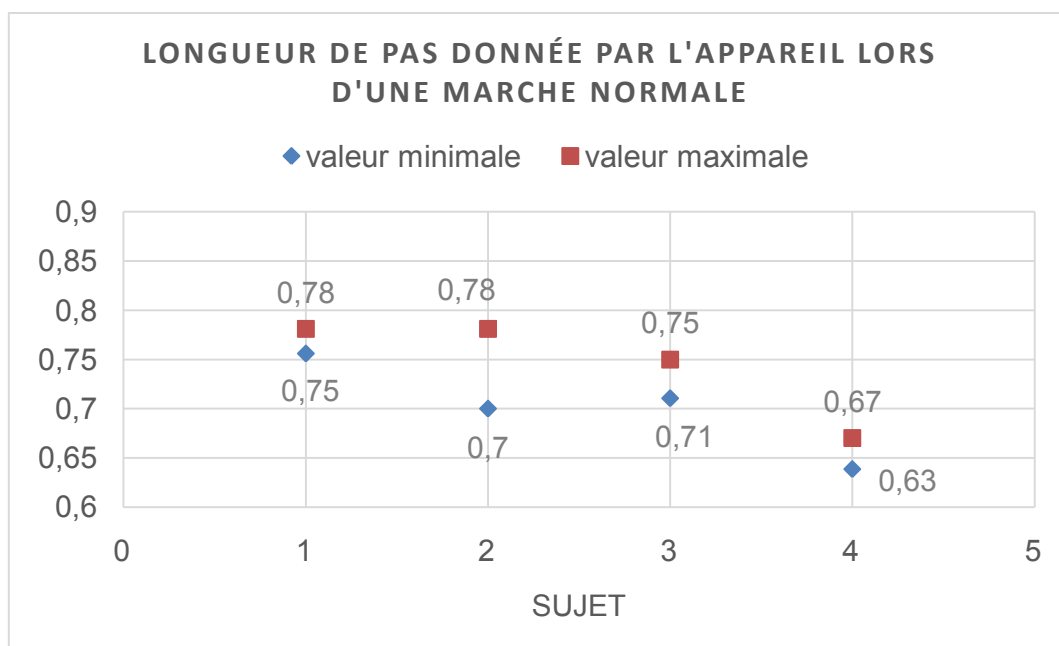


Figure 5.11 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas donnée par l'appareil, des 4 sujets lors d'une marche normale après avoir fait 4 fois le même trajet.

L'erreur moyenne est de 6,4%, dans une marche normale, avec l'information donnée par le compteur de pas.

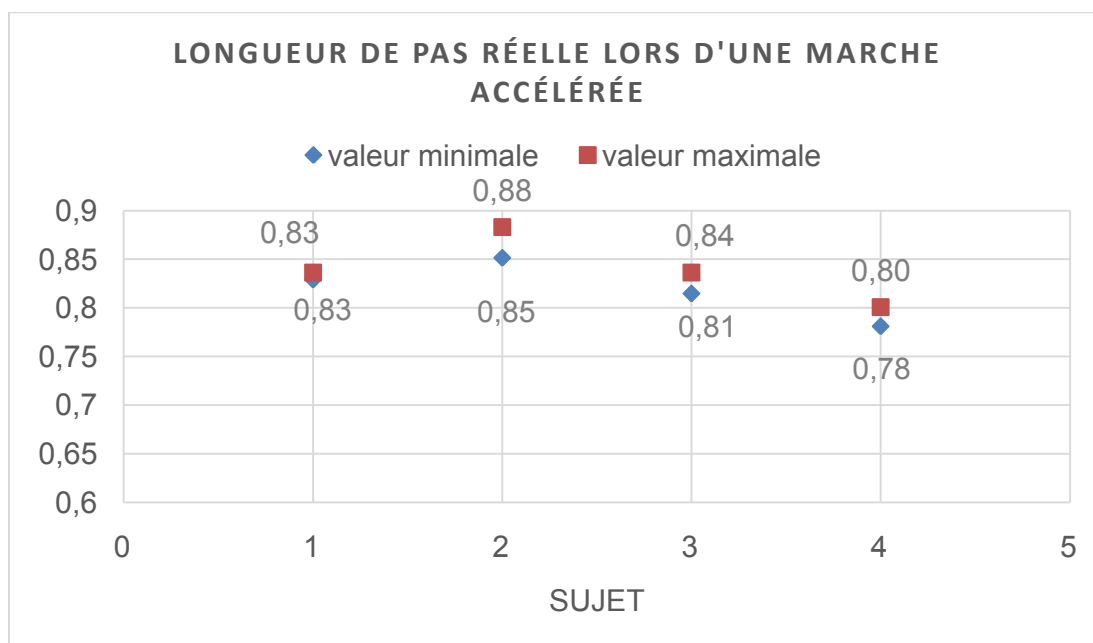


Figure 5.12 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas réelle, des 4 sujets lors d'une marche accélérée après avoir fait 4 fois le même trajet.

L'erreur moyenne est de 2,3 % dans une marche accélérée avec les valeurs réelles obtenues dans le test.

CHAPITRE V

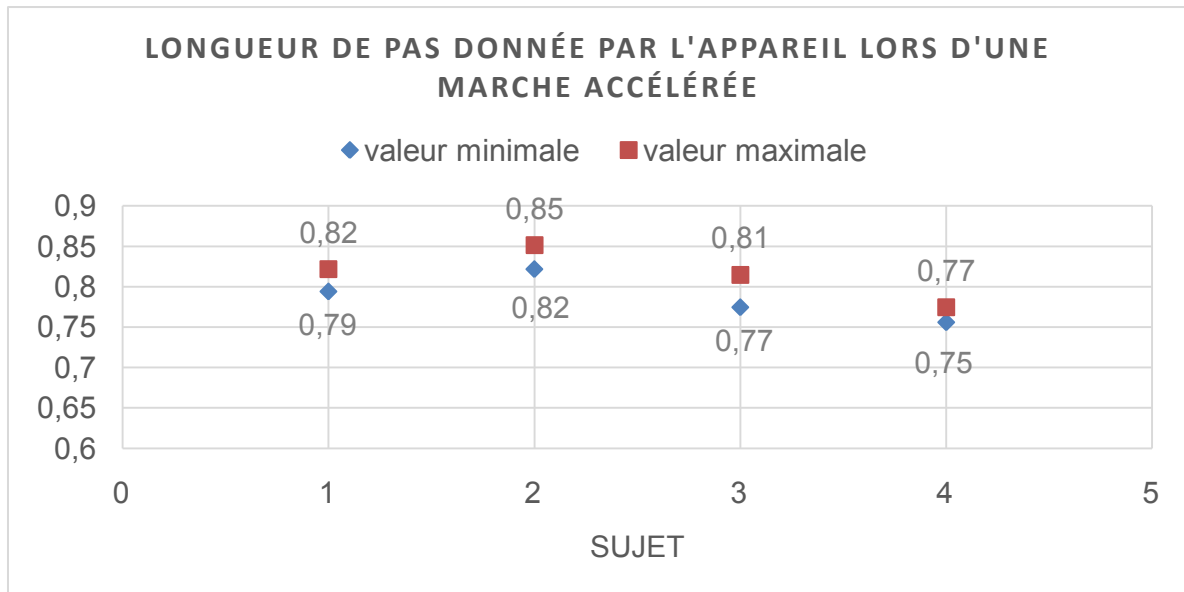


Figure 5.13 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas donnée par l'appareil, des 4 sujets lors d'une marche accélérée après avoir fait 4 fois le même trajet.

L'erreur moyenne est de 3,68%, dans une marche accélérée, avec l'information donnée par le compteur de pas.

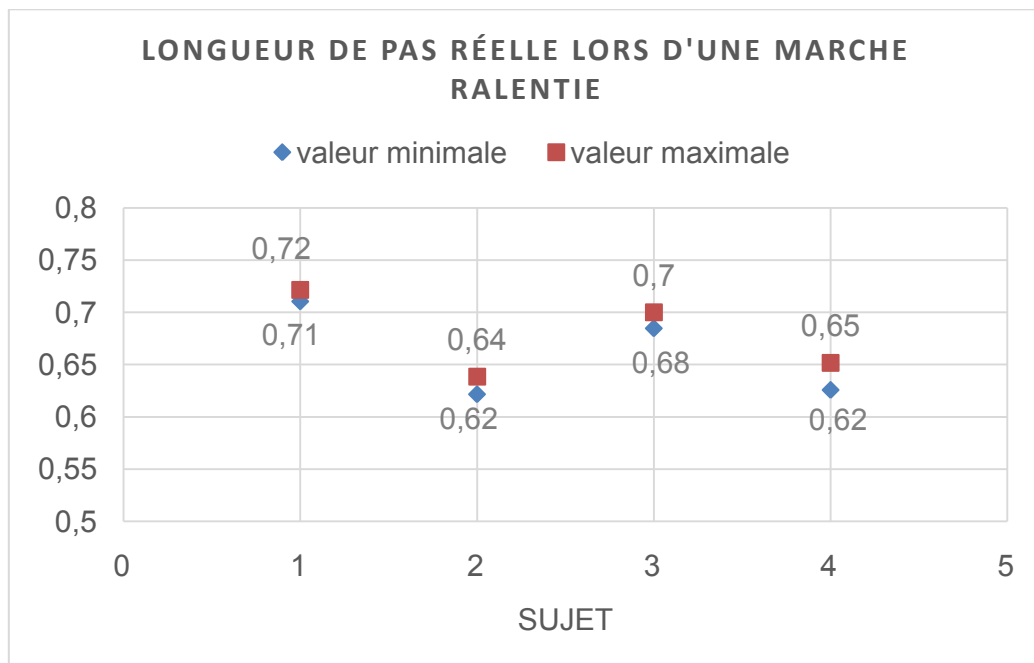


Figure 5.14 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas réelle, des 4 sujets lors d'une marche ralentie après avoir fait 4 fois le même trajet.

L'erreur moyenne est de 3% dans une marche ralentie avec les valeurs réelles obtenues dans le test.

CHAPITRE V

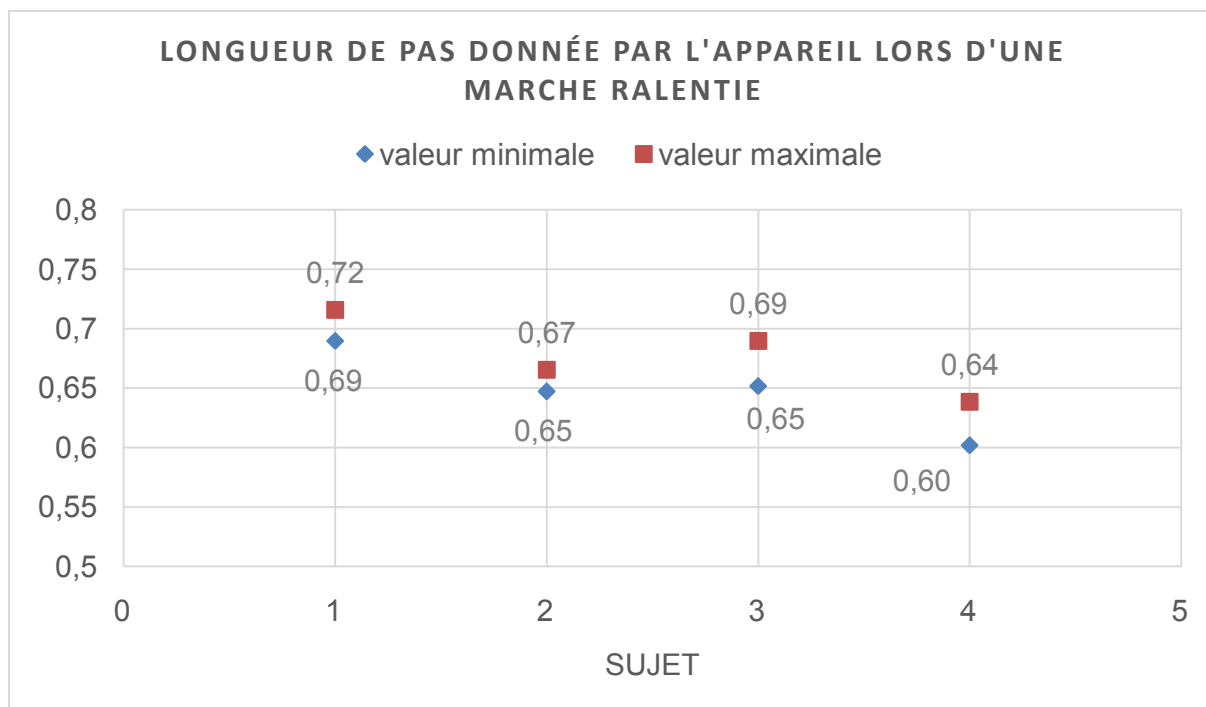


Figure 5.15 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas donnée par l'appareil, des 4 sujets lors d'une marche ralentie après avoir fait 4 fois le même trajet.

L'erreur moyenne est de 4,8%, dans une marche accélérée, avec l'information donnée par le compteur de pas.

On va comparer la variation de la longueur de pas par rapport aux trois types de marche (accélérée, normale et ralentie)

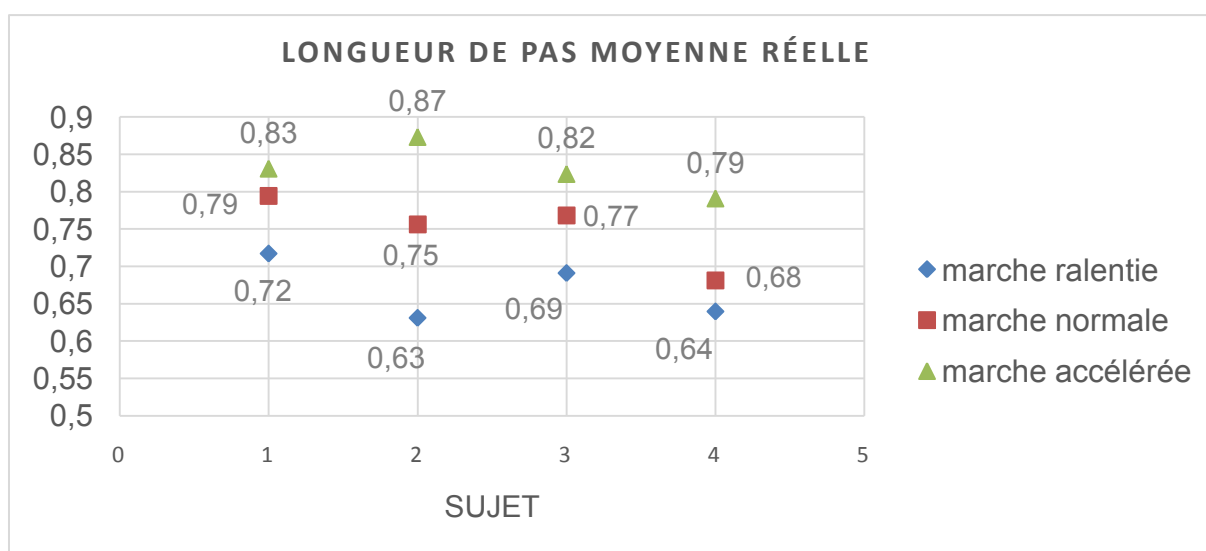


Figure 5.16 Longueurs de pas moyen réels obtenues, après avoir fait 4 fois le même trajet, lors de la marche ralentie, la marche normale et la marche accélérée.

CHAPITRE V

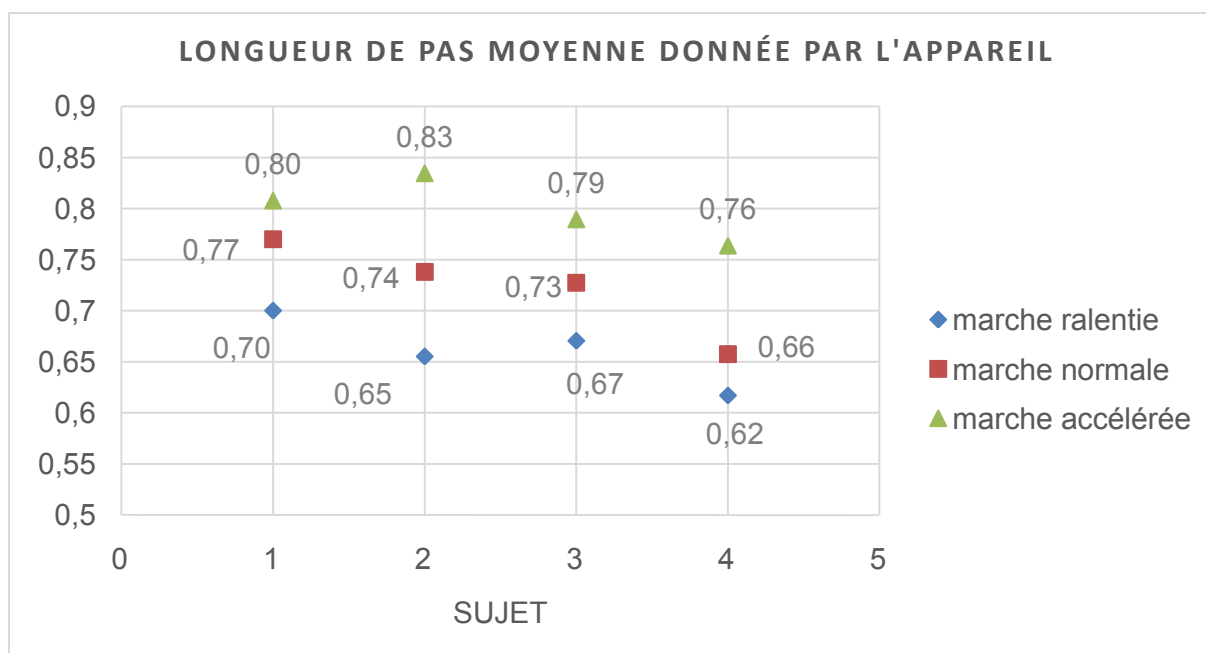


Figure 5.17 Longueurs de pas moyen données par l'appareil, après avoir fait 4 fois le même trajet, obtenu lors de la marche ralentie, la marche normale et la marche accélérée.

On va calculer les deux écarts moyens pour la marche ralentie et pour la marche accélérée par rapport à la marche normale.

$$\text{Ecart moyen marche ralentie} = \frac{\sum_{i=1}^{i=4} \left(\frac{\text{longueur_pas_normale}_i - \text{longueur_pas_ralentie}_i}{(\text{longueur_pas_normale}_i)} \right) \times 100\%}{4} \quad (5.2)$$

$$\text{Ecart moyen marche accélérée} = \frac{\sum_{i=1}^{i=4} \left(\frac{\text{longueur_pas_accélérée}_i - \text{longueur_pas_normale}_i}{(\text{longueur_pas_normale}_i)} \right) \times 100\%}{4} \quad (5.3)$$

i = numéro du sujet

L'écart moyen en utilisant la longueur du pas moyen réel à la place de celui ralenti réel est de 10,2% (formule 5.2), à la place de celui accéléré réel est de 10,9% (formule 5.3).

En considérant le comptage des pas donné par l'appareil (figure 5.17) l'écart est de 8,8% (formule 5.2) et de 9,8% (formule 5.3).

Lors de ces essais, on observe aussi que lors d'une marche accélérée, la longueur de pas est la plus grande et la fréquence plus élevée. En revanche, avec une marche ralentie, les testeurs font des longueurs de pas plus petites et des fréquences plus faibles.

Si on affecte la valeur moyenne du pas à vitesse moyenne, sans tenir comptes des pas accélérés ou ralentis, on a une erreur moyenne de l'ordre de 10%, ce qui est suffisant, pour

CHAPITRE V

notre objectif. On ne prendra pas, pour le moment, en considération la fréquence du pas, paramètre permettant d'ajuster de manière plus précise la longueur de pas.

Pour les cas de piétinements, le dispositif obtient une valeur de pas incorrecte à chaque flexion de jambes involontaire et aussi quand la personne saute dans une même position. La Figure 5.18, à gauche, montre le relevé du signal quand la personne fait une flexion de jambe, à droite, quand la personne saute dans une même position. Ce sont des sources d'erreurs peu fréquentes que nous n'avons pas pour l'instant traitées.

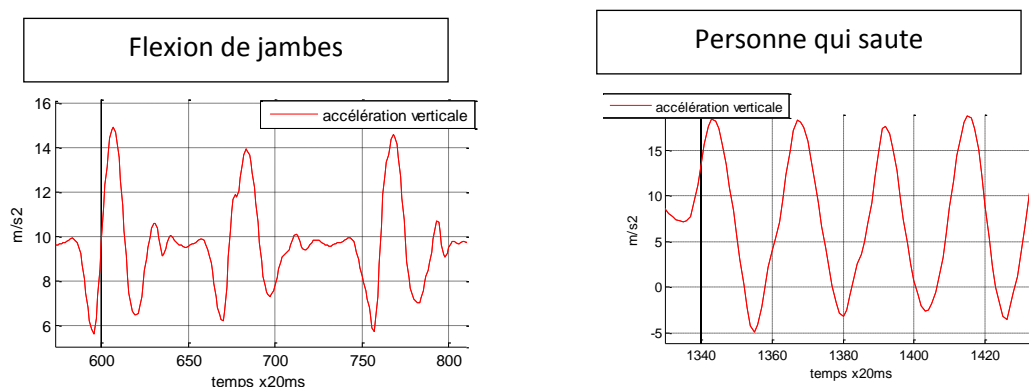


Figure 5.18 A gauche : signal de l'accéléromètre de flexion des jambes, A droite : signal de l'accéléromètre quand la personne saute.

La méthode de détermination de la longueur des pas par intégration de l'accélération horizontale a été infructueuse, à cause des problèmes vus au chapitre 2 § 2.3.2.2 avec le port des accéléromètres à la ceinture, empêchant d'avoir une vitesse initiale correcte (contrairement au port des accéléromètres au pied).

Pour connaître la longueur de pas moyenne de la personne, soit, on la rentrera manuellement (pour une valeur connue), soit on demande à la personne de marcher sur un long trottoir, le compteur de pas fonctionne et la distance est déterminée par le signal GPS. Pour avoir une valeur correcte il faut attendre quelques dizaines de secondes avant de démarrer, puis de même lors de la fin du trajet pour être sûr que les données GPS sont bien actualisées. En effet de plus en plus les GPS des téléphones portables fonctionnent en « *trickle mode* » pour faire des économies d'énergie. Cela signifie qu'ils sont en permanence éteints et rallumés, ce qui peut engendrer des retards de quelques secondes dans la mise à jour de la position.

5.2 Relevé de trajectoire avec le cap boussole plus le comptage de pas

Une trajectoire dans le bâtiment 503 (trace en noir) de l'Université Paris Sud est choisie pour tester l'efficacité de la centrale inertielle (juste le cap donné par la boussole et l'algorithme du comptage de pas) (voir Figure 5.19). Deux tests sont effectués à deux états de charge de batterie différents (relevé en bleu à 100% de charge et en rouge à 50% de charge). Les points d'arrivé des deux relevés ne sont pas le même que le point d'arrivé réel et les trajectoires ne passent pas par les mêmes points. Dans le cas de la trace en bleu, la différence est de 5 mètres. En revanche, dans le deuxième cas, la différence entre les deux points d'arrivé est de 10 mètres.

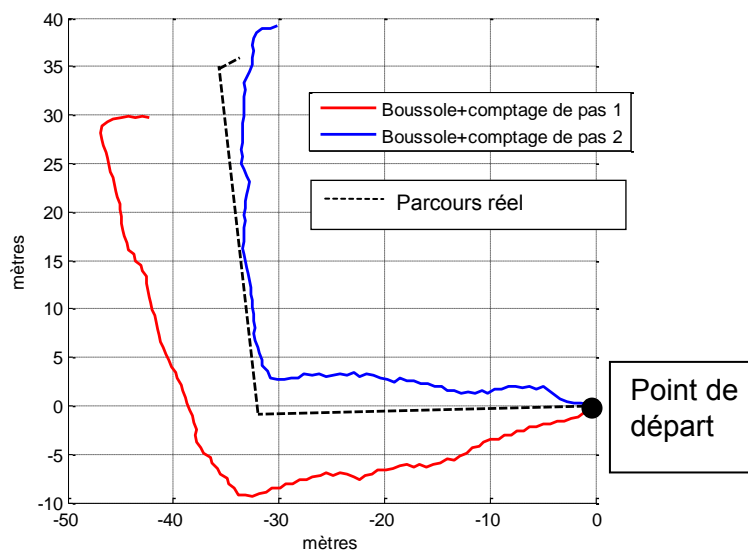


Figure 5.19 Relevés de trajet en intérieurs avec le cap de la boussole plus le comptage de pas avec un même dispositif à 100% et 50% d'état de charge de la batterie.

Les perturbations magnétiques ponctuelles en intérieur, les mouvements de la hanche et la décharge de la batterie font que juste avec l'utilisation du cap donné par la boussole et la distance par comptage de pas, on n'obtient pas de traces reproductibles.

5.2 Relevé de trajectoire avec le cap du gyroscope plus le comptage de pas

On sait que le gyroscope est insensible aux perturbations magnétiques. Cependant, le problème du gyroscope est qu'on ne peut pas connaître le cap initial pour commencer le relevé de la trajectoire. Si bien que pour obtenir un cap initial, on utilise le cap de la boussole, mais avec une erreur de l'ordre de 20° par rapport au cap réel, phénomène fréquent en intérieur, on obtient une erreur conséquente qui ne permet pas d'arriver au point de destination. La Figure 5.20 montre la comparaison de la trajectoire réalisée par les

CHAPITRE V

capteurs inertiels (gyroscope et accéléromètre) et la trajectoire réelle. Le cap de départ pour commencer le relevé avec le gyroscope est le cap réel cartographique.

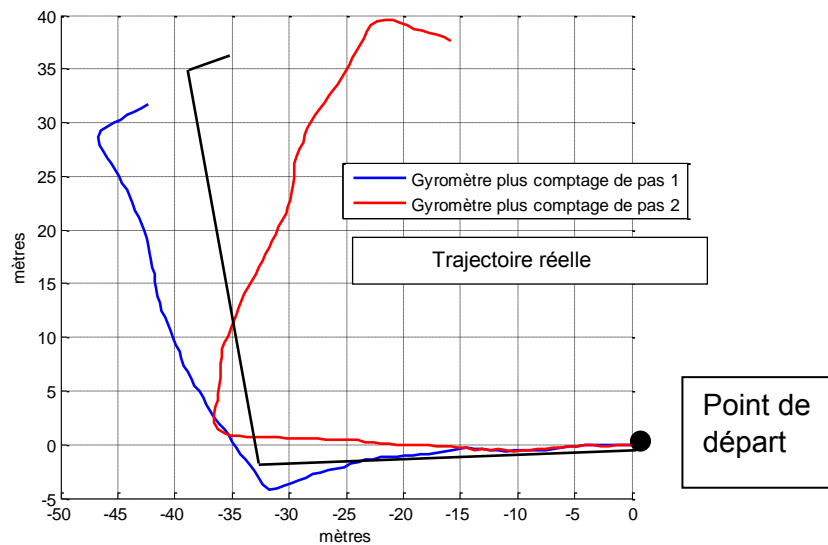


Figure 5.20 Comparaison entre la trajectoire obtenue par la centrale inertielle avec deux tests (gyroscope plus comptage de pas) sur le même trajet et la trajectoire réelle.

Dans les deux premiers segments de la trajectoire en bleu et en rouge, on observe que le « *phénomène de ramage* », expliqué au Chapitre 2 § 2.4.2, est aussi présent. On observe aussi que les deux courbes ne sont pas reproductibles.

Nous allons proposer une méthode permettant de réduire les limitations évoquées.

5.4 Matériel

La centrale inertielle des nouveaux Smartphones (Samsung *Galaxy S3*, *S4* ou similaire), incluant une boussole 3 axes, un gyromètre 3 axes, un accéléromètre 3 axes et un altimètre, est utilisée pour faire le guidage en intérieurs : stations du métro et centres commerciaux. Cette partie du projet, réalisée en fin de thèse, a été uniquement développée sur ces Smartphones.

Pour faire la programmation, on utilise l'interface de programmation « *Eclipse IDE* » avec le langage de programmation Java pour Android [48].

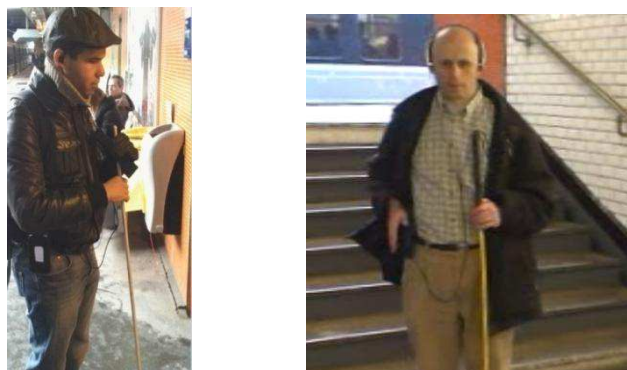


Figure 5.21 Non-voyant et malvoyant utilisant l'appareil dans les stations du métro.

5.5 Gestion des capteurs

Ce contexte est plus compliqué que les autres (en milieu urbain et pendant une randonnée) parce qu'on n'a pas de positionnement absolu en intérieur (bâtiments non équipés de bornes Wifi, ce qui est notre contexte général d'utilisation). En revanche, en extérieur le signal GPS permet de compenser certaines erreurs magnétiques et surtout par son positionnement absolu, évite l'accumulation d'erreurs.

Dans les intérieurs une erreur magnétique introduit un décalage qui ne peut pas être rattrapé par la suite. Nous devons donc avoir une autre stratégie. L'idée de base est de reconnaître à l'aide de la centrale inertielle les caractéristiques de chaque tronçon de parcours, puis de valider le passage d'un tronçon à l'autre.

On ne peut pas compter non plus sur la connaissance d'une direction précise par la boussole, même si la valeur du gyroscope ne dérive pas trop, une erreur de 10° ou 20° dans la direction initiale, donnée par la boussole, n'est pas supportable, et ce type d'erreur est fréquent.

On recherche une technique consistant à identifier des tronçons de trajectoire par ces caractéristiques : ligne droite, tournants, compteur de pas et les escaliers. Dans cette partie, on va expliquer chacune de ces techniques.

L'algorithme du comptage de pas est déjà expliqué au paragraphe 5.1.2.

5.5.1 Identification des tournants

L'angle de cap donné par le gyroscope est utilisé pour détecter le quart de tour à droite, le quart de tour à gauche et le demi-tour d'une personne avec le dispositif sur la hanche.

Soit $G(t)$ l'angle donné par le gyroscope. Pour calculer le tournant, on calcule $G(t) - G(t - 1,5s)$ toutes les 0.5 secondes. Après avoir obtenu 5 valeurs consécutives ($\Delta G1, \Delta G2, \Delta G3, \Delta G4$ et $\Delta G5$, voir Figure 5.22), on va calculer la valeur maximale parmi les 5. Si la valeur maximale n'est pas $\Delta G3$, on calcule si $\Delta G3$ est la valeur minimale parmi les 5. Si $\Delta G3$ n'est pas la valeur maximale et non plus la valeur minimale, on reprend le calcul après 0,5 seconde. Dans notre centrale inertielle, une valeur maximale positive est un tournant à gauche et une valeur maximale négative représente un tournant à droite.

Si $\Delta G3$ est la valeur maximale et si $60 < \Delta G3 < 140$, on considère que la personne fait un quart de tour à gauche. Par contre si $\Delta G3 > 140$, on considère que la personne fait un demi-tour à gauche

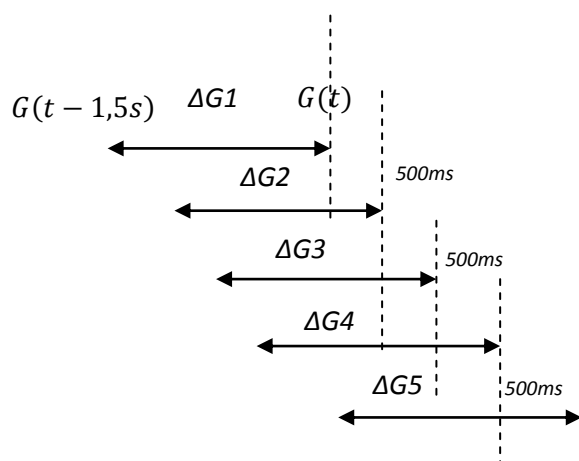


Figure 5.22 Données du gyroscope.

Si $\Delta G3$ est la valeur minimale et si $-140 < \Delta G3 < -60$, on considère que la personne fait un quart de tour à droite. Par contre, si $\Delta G3 < -140$, on considère que la personne fait un demi-tour à droite.

D'après la figure suivant (voir Figure 5.23), on va tester l'algorithme pour calculer un demi-tour, un quart de tour à gauche et un quart de tour à droite (voir Figure 5.24).

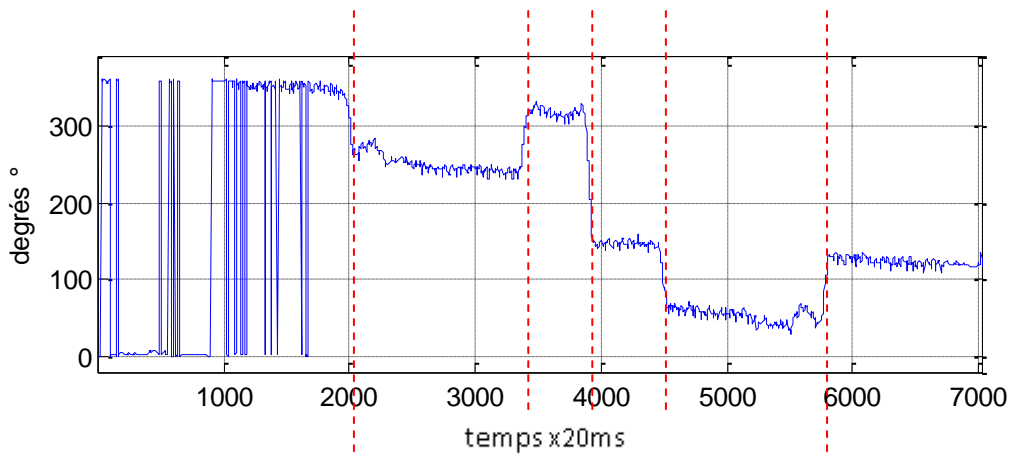


Figure 5.23 Angle du gyroscope obtenu lors d'une marche dans les couloirs du bâtiment 503 de l'université Paris Sud.

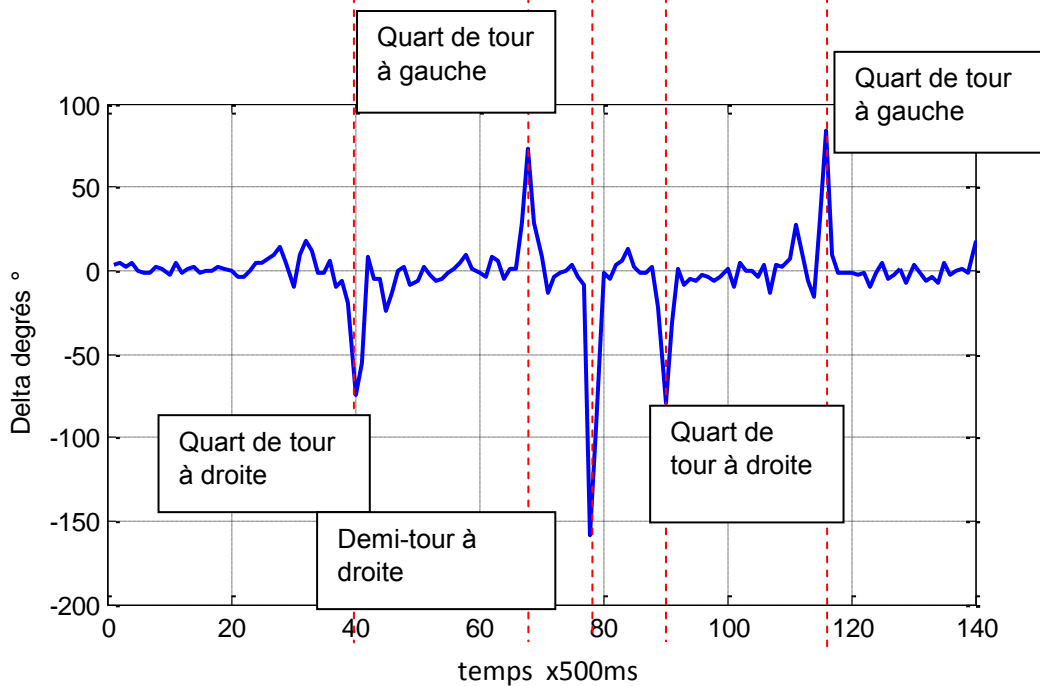
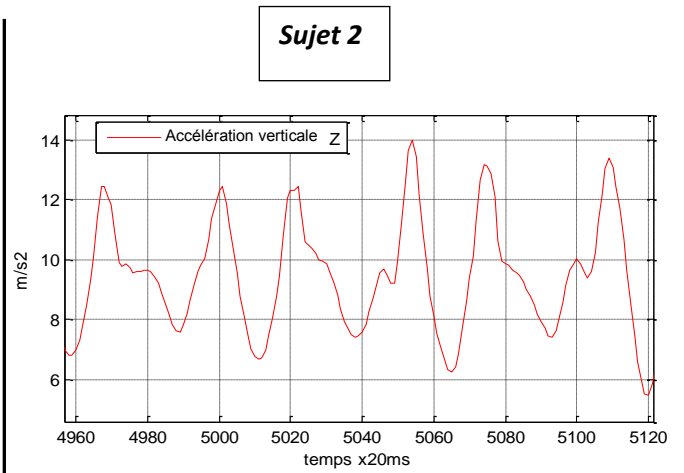
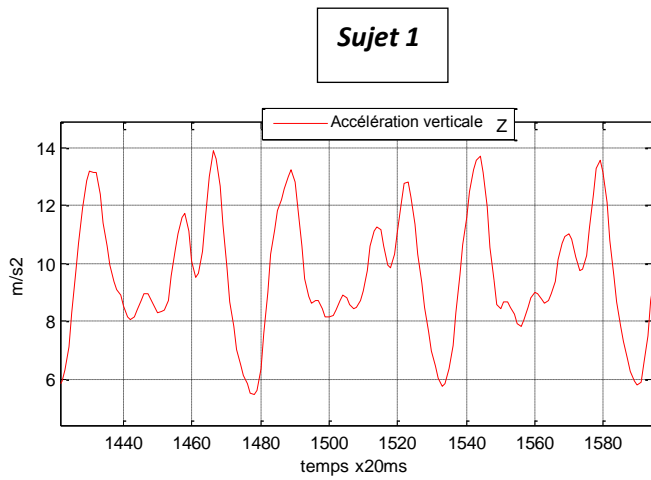


Figure 5.24 Variation de cap du gyroscope (chaque 1.5 secondes) pour détecter un quart de tour et un demi-tour.

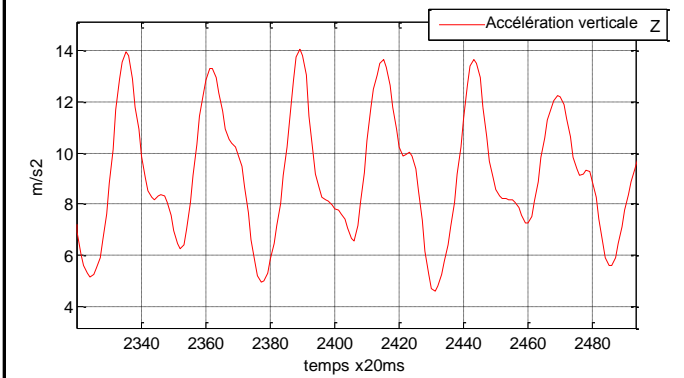
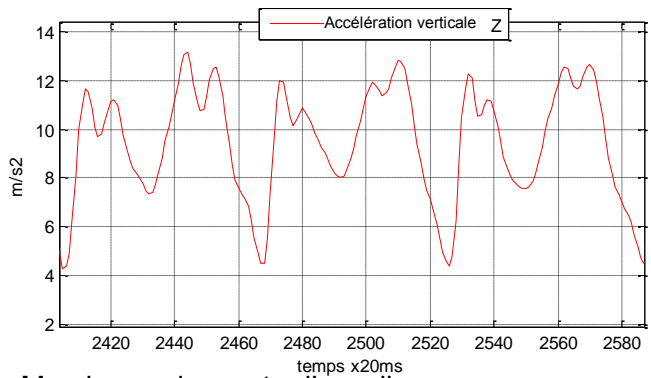
5.5.2 Identification des escaliers

Avec les relevés de l'accéléromètre des différents individus, on a essayé de trouver un algorithme pour différencier une montée ou une descente d'escaliers uniquement avec l'accélération verticale en plus de la marche sur terrain plat.

Marche sur terrain plat



Marche en montée d'escaliers



Marche en descente d'escaliers

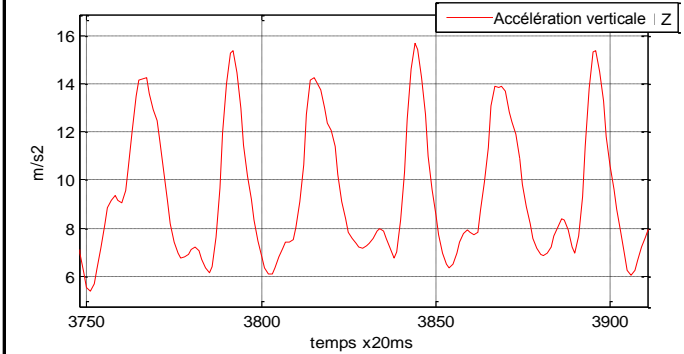
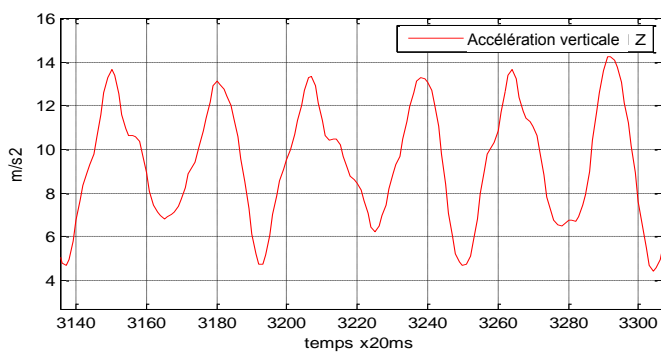


Figure 5.25 Comparaison entre la marche sur un terrain plat, la marche montante et la marche descendante pour deux sujets différents.

CHAPITRE V

Pour le sujet à droite (Figure 5.25), c'est très compliqué de faire une différenciation entre les trois cas de marche (marche montante, descendante et sur terrain plat). Les signaux de l'accéléromètre se ressemblent dans les trois cas.

Pour le sujet à gauche (Figure 5.25) la marche descendante ressemble un signal sinusoïdal. En revanche, le signal de la marche sur un terrain plat ressemble un signal sinusoïdal avec des maximums secondaires. Les valeurs d'accélération maximales ne sont pas des valeurs très exploitables surtout si la personne marche avec une allure différente.

Tel qu'il est expliqué au paragraphe § 5.1, la marche est optimisée pour exploiter la gravitation. En revanche, pour la montée ou descente, il existe plusieurs variables : la fréquence de marche, la fatigue et aussi l'allure de la personne. L'information des axes horizontaux peut être utilisée pour établir une différenciation, cependant, l'algorithme reste un algorithme individuel à chaque utilisateur. L'élément qui nous a le plus dissuadé de persister dans cette voie est que nous avons observé également de grandes dispersions dans l'allure du signal pour les montées ou descentes d'escalier en fonction de l'état de fatigue de la personne, alors que la marche sur sol plat est peu affectée.

On a tenté, également une double intégration sur l'accélération verticale pour détecter si la personne monte ou descend les escaliers ou si elle marche sur terrain plat, on n'a pas trouvé d'algorithme probant sans doute à cause de mauvaises constantes d'initialisation à cause du port de l'accéléromètre à la ceinture et de la complexité et la diversité du mécanisme de montée de marche. Cela restera un point à étudier car il serait très pratique de se servir de petits escaliers de 1 à 5 marches pour faire un recalage des valeurs de la centrale inertielle.

Notre dispositif inertiel dispose néanmoins d'un capteur barométrique. Le capteur de pression (LPS3331AP) est un altimètre intégré au Smartphone *Galaxy S3*. Grâce à ce capteur, on peut détecter par la différence de pression, la différence de hauteur. La seule contrainte de ce dispositif est qu'on ne peut pas détecter les petits dénivelés de 3 ou 4 marches (0.6 mètres) parce que le signal reste au niveau du bruit. Pour rendre le capteur efficace, on utilise la moyenne des valeurs enregistrées les 10 dernières secondes toutes les demi-secondes. L'utilisation du capteur de pression est détaillée au chapitre 2 § 2.6.

CHAPITRE V

5.5.3 Identification d'un déplacement en ligne droite

Pour identifier un déplacement en ligne droite, on utilise le compteur de pas et l'angle donné par le gyroscope. On part du principe que si la personne se déplace en ligne droite, la valeur de la variation d'angle du gyroscope est inférieure à 30° à chaque pas pendant 6 pas de déplacement, sans que les effets cumulatifs ne dépassent 30° . La Figure 5.26, montre deux cas, (un cas de ligne droite, et autre cas avec un déplacement irrégulier). L'angle du gyroscope est enregistré à chaque pas. Avec ces 6 valeurs d'angle du gyroscope, on calcule les variations d'angle $|G2-G1|$, $|G3-G1|$, $|G4-G1|$, $|G5-G1|$, $|G6-G1|$. Si elles sont toutes inférieures à 30° , on est sur une marche en ligne droite.

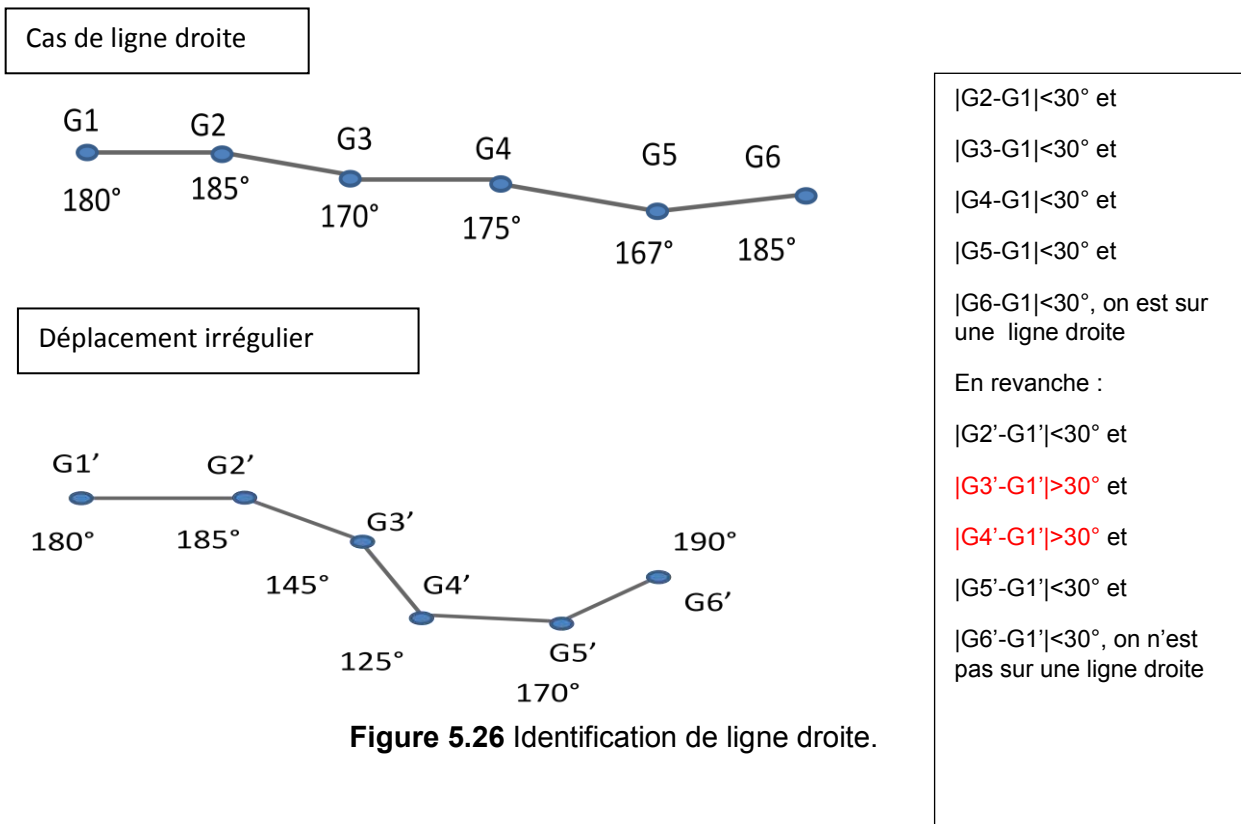


Figure 5.26 Identification de ligne droite.

CHAPITRE V

5.5.4 Transition extérieur - intérieur :

Afin d'avoir moins d'aléas sur la latitude et la longitude du point d'entrée, on se servira d'un point situé à une trentaine de mètres avant la porte d'entrée ou en tout cas, d'un point de latitude ou longitude moins perturbé par le bâtiment que le point d'entrée effectif. Le raccord de ce point à trente mètres avec celui de l'entrée se fait par la centrale inertielle, insensible à l'approche du bâtiment.

Donc, on se servira du capteur infrarouge vers le haut qui détectera le plafond (Voir Chapitre 2 § 2.7) quand la personne s'approche d'un mur. L'idée est que le télémètre, aussi détaillé au chapitre 2.7, comportant un module Bluetooth, soit connecté au Smartphone pour obtenir les signaux des deux proximètres pour détecter le moment où la personne s'approche de mur.

Cette partie du travail n'est pas encore implémentée et ne concernera que les utilisateurs équipés de Télétact III, peu diffusé à ce jour. La personne doit s'arrêter au moment où elle rentre dans un intérieur et le signaler à l'appareil.



Figure 5.27 Utilisation Télétact III pour détecter la porte d'entrée.

5.6 Mode de guidage

Le mode de guidage utilise les tournants (quarts de tour à droite ou à gauche), les segments en ligne droite et les escaliers pour confirmer que l'on est passé d'un couloir à l'autre ou d'un étage à un autre comme il a été expliqué au paragraphe 5.4. On analyse deux cas importants : les métros et les centres commerciaux.

Les indications données sont de type « *chemin par explication* », en utilisant le même vocabulaire que dans les formations de locomotion.

CHAPITRE V

Les trajets dans les stations du métro sont plus simples que les trajets des centres commerciaux car ils sont constitués de couloirs guidant la personne et comportent peu de grands espaces ou d'allées très larges. Dans certains cas, notamment dans les stations du métro, on demandera à l'utilisateur de confirmer qu'il est bien arrivé à une étape intermédiaire du parcours, par exemple, quand il passe les composteurs. Ceci permet de réinitialiser un point supplémentaire non détecté par l'appareil et d'éviter de cumuler les dérives passées.



Figure 5.28 Métros : Couloir guidant la personne.

En revanche, pour les centres commerciaux, le déplacement est beaucoup plus libre, ce qui complique les choses. La personne doit traverser de grandes allées pour passer d'un côté de mur à un autre. Pour les instructions il faut faire au plus simple dans le contexte. Si un mur fait plusieurs décrochements pendant 70 mètres, mais qu'il suffit le marcher le long du mur en le serrant à droite pour être bien positionné pour la prochaine intersection, on dira *serrez le mur le droite pendant 70 m*, puis la distance s'actualisera, *60 m... 20 m...10 m* jusqu'à l'intersection.



Figure 5.29 Centre commercial : grande allée à traverser.

5.7 Interface utilisateur

L'Interface utilise le principe du glissement de doigt, sur l'écran du Smartphone, de droite à gauche ou de gauche à droite et de confirmation avec un double click n'importe où sur l'écran. Le menu de navigation principal a les fonctions suivantes :

- Choisir le trajet préenregistré à parcourir dans les stations du métro
- Choisir le trajet préenregistré à parcourir dans le centre commercial
- Stocker les valeurs des capteurs de la centrale inertielle pour enregistrer un nouveau trajet (dans un centre commercial ou dans une station du métro)
- Enregistrer la longueur de pas moyenne de la personne. Cette fonction ouvre une autre fenêtre de clavier 12 touches sur l'écran pour entrer la valeur de pas moyenne. Pour calculer la longueur de pas moyenne, on propose également à l'utilisateur de faire un long trajet d'une centaine de mètres sur un trottoir rectiligne.

Après avoir choisi le trajet, le non-voyant doit aller à la position initiale indiquée par l'appareil pour confirmer son point de départ. Par exemple, dans les stations du métro, une information pour confirmer son point initial peut être: « *descendre en tête de train, trouver le couloir perpendiculaire à l'axe du quai, confirmer le départ après avoir descendu le premier groupe de 8 marches* ». Dans le centre commercial, cela peut être, « *confirmer le départ en sortant de la boutique X* ».

Dans le menu de navigation, en intérieur, après avoir choisi le trajet, il y a une fonction « *reécouter dernier message* » qui permet de reécouter la dernière indication vocale à suivre.

5.8 Préparation du fichier de Navigation en intérieur

La cartographie des trajets est obtenue à partir du relevé effectué avec la même centrale inertielle. Un autre utilisateur a fait les parcours, avant de faire les tests avec les déficients visuels, pour trouver les points relais et donner les indications du trajet.

Le fichier créé, avec les points relais, est installé dans le Smartphone. On écrit dans ce fichier les coordonnées GPS du point de départ, celles des points relais trouvés et du point d'arrivée d'après la cartographie. A coté de chaque point, une indication est ajoutée pour qu'elle soit énoncée par le Smartphone.

Soit un exemple avec 3 points :

CHAPITRE V

Point1 <trkpt lat="48.70221100" lon="2.1186551"></trkpt><name>Point de départ</name>

Point2 <trkpt lat="48.70249531" lon="2.1193096"></trkpt><name> Aller tout droit et faire un quart de tour à droite en fin de mur </name>

Point3 <trkpt lat="48.702585" lon="2.1198447"></trkpt><name>Après avoir marché quelques pas, suivre mur de droite et continuez tout droit </name>*

Le programme qui lit le fichier calcule la distance entre deux points consécutifs grâce aux coordonnées (par exemple D1 (points 1 et 2) et D2 (points 2 et 3), voir Figure 5.30) ainsi que l'angle (α_1) formé par les trois points consécutifs (deux tronçons du chemin)

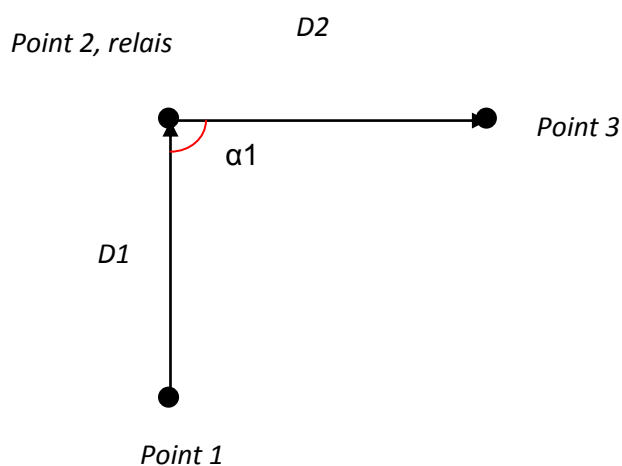


Figure 5.30 Paramètres obtenus après la lecture du fichier.

5.9 Tests dans les stations du métro

On a choisi 3 stations du métro pour faire les tests : la station Denfert-Rochereau, la station Raspail et la station Place d'Italie. Deux non voyants et un malvoyant ont testé ces parcours avec notre système.

5.9.1 Station Denfert-Rochereau :

L'arrivée est par le RER B, direction aéroport (personne en tête de train). En sortant du train, le sujet se déplace pour trouver le quai de la ligne 4, direction Porte de Clignancourt, point C (tête du métro ligne 4) (voir Figure 5.31).

Le trajet comprend deux escaliers descendants de 8 marches chacun au début du trajet et un petit escalier montant de 5 marches à la fin du chemin avant d'arriver au quai (Point C, voir Figure 5.31). La distance du parcours est de 70 mètres.

La principale difficulté est de trouver le composteur (point B, voir Figure 5.31) qui se trouve dans un hall vaste pour le confirmer manuellement (le bruit du composteur est un repère sonore évident). Ce point intermédiaire est donc confirmé après avoir passé le composteur (indication « confirmer *composteur* »). En effet, il y a de nombreux composteurs possibles et les effets de foule peuvent faire que la personne n'arrive pas directement dans le composteur le plus proche et puisse faire une dérive importante par rapport au trajet prévu. La confirmation permet de réinitialiser le trajet à ce point intermédiaire.

La personne doit commencer la navigation en descendant le premier escalier de 8 marches (Point A, Figure 5.31). Une fois la confirmation faite, le non-voyant doit suivre un seul couloir (en suivant le mur de droite) qui tourne et le mène vers un grand hall. Dans le hall, se trouve le composteur (Point B, Figure 5.31) où il doit arriver pour confirmer son point relais intermédiaire pour aller à la destination (Point C, Figure 5.31). Après avoir passé le composteur; le non-voyant doit trouver le couloir de gauche et suivre le mur de gauche, après 15 pas, il doit suivre le mur de droite et monter 5 marches pour arriver au quai de la ligne 4.

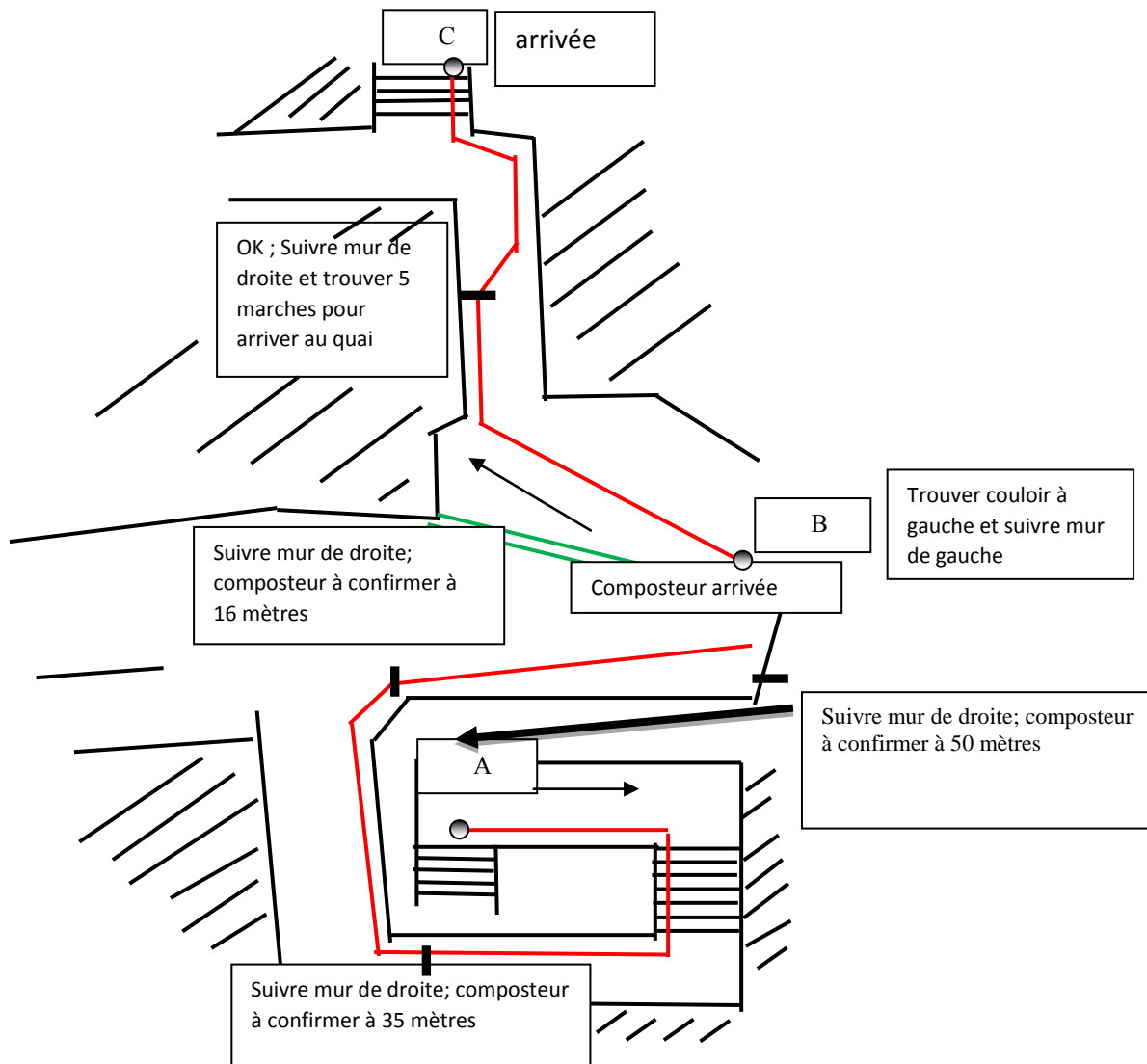


Figure 5.31 Schéma de Navigation Métro Denfert-Rochereau. Depuis A vers C avec les indications reçues par l'utilisateur en passant par B (composteur).

5.9.2 Station Raspail :

L'arrivée est par le métro de la ligne 4, direction porte de Clignancourt (personne en tête de métro). En sortant du train, le sujet se déplace depuis A (Figure 5.32), où il doit confirmer son point de départ (voir Figure 5.32) pour trouver le quai de la ligne 6, direction métro Charles de Gaulle Étoile (B, voir Figure 5.32). Le trajet comprend un escalier montant de 18

CHAPITRE V

marches au début et un escalier descendant de 18 marches avec 2 changements de direction et 3 couloirs. C'est un mode de navigation automatique avec confirmation automatique après avoir réalisé chaque action. La distance du parcours est de 45 mètres

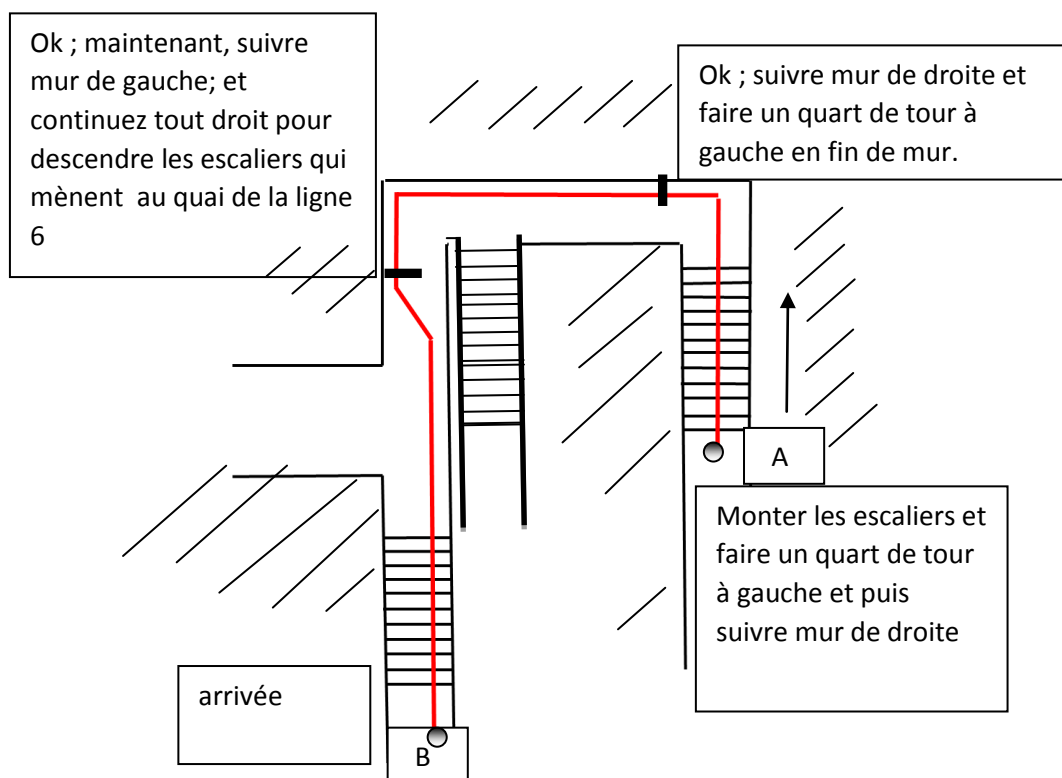


Figure 5. 32 Schéma de Navigation Métro Raspail. Depuis A vers B avec les indications reçues par l'utilisateur. En rouge trajet correct fait par la personne. Après le premier quart de tour on a dit de suivre le mur de droite pour ne pas être tenté de prendre le premier escalier à gauche.

Le non-voyant doit marcher depuis le quai du métro ligne 4 (A) vers l'autre quai du métro ligne 6 (B) comme à la Figure 5.32. La confirmation pour commencer la navigation se fait au point A, Figure 5.32. Le non-voyant doit marcher tout droit et monter un premier groupe d'escalier (18 marches). En fin d'escalier, il doit faire un quart de tour à gauche et continuer tout droit en suivant le mur de droite. Après, il doit tourner à gauche, en fin de mur, et suivre le mur de gauche. Finalement, il doit marcher tout droit en suivant le mur de gauche, et descendre un escalier de 18 marches, jusqu'à arriver au quai de la ligne 6 (point B, Figure 5.32).

5.9.3 Station Place d'Italie :

L'arrivée est par la ligne 6, direction du métro Nation (non-voyant au milieu du train). En sortant du train, la personne se déplace vers le couloir perpendiculaire au milieu du quai (A, voir Figure 5.33) pour confirmer son départ. Après, il se déplace vers le quai de la ligne 7, direction Villejuif (B, voir Figure 5.33).

Le trajet comprend, deux escaliers descendant de 15 marches au début et un autre escalier descendant de 18 marches avant la fin du trajet. Il y a aussi 5 changements de couloir et 6 couloirs dans ce parcours. La distance du parcours est d'environ 120 mètres.

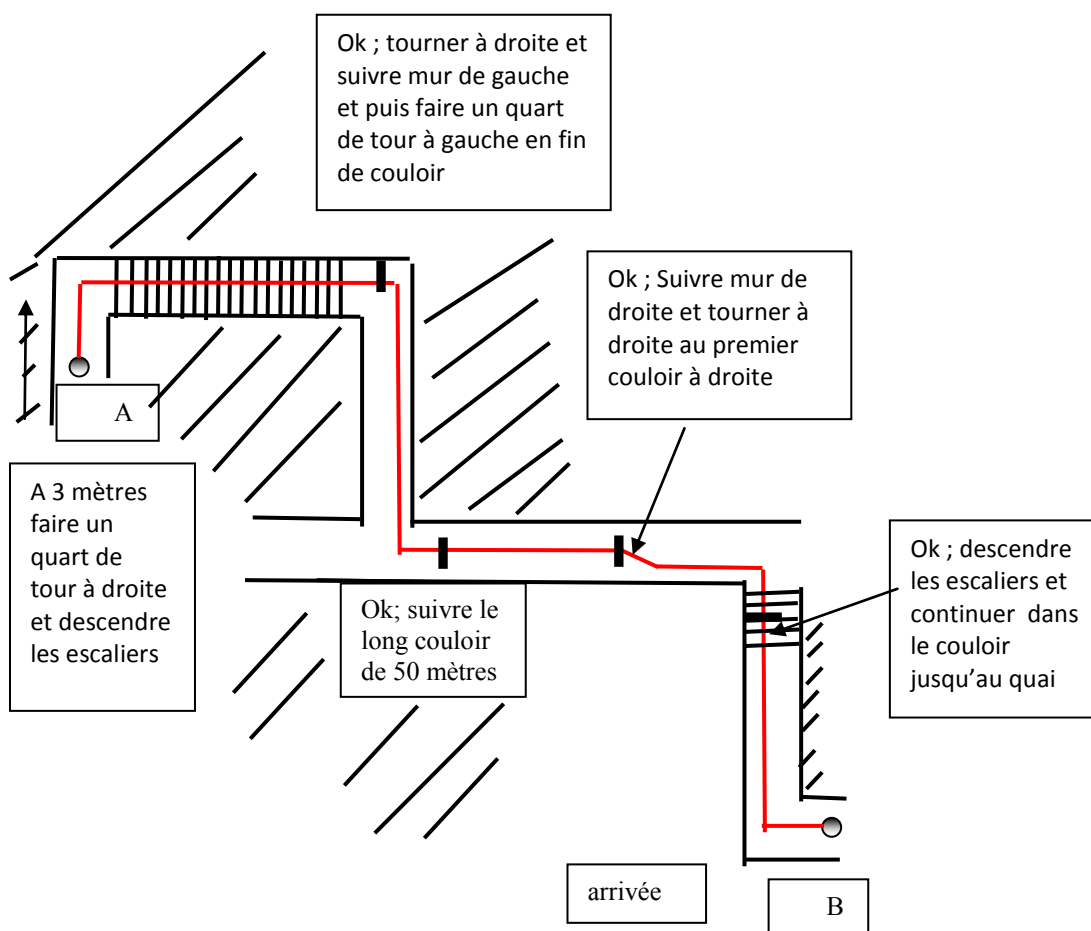


Figure 5.33 Schéma de la navigation en intérieurs dans le métro Place d'Italie. Depuis A vers B avec les indications reçues par l'utilisateur.

CHAPITRE V

Le parcours commence au milieu du quai. Le non-voyant doit être perpendiculaire à l'axe de quai, marcher 3 mètres et tourner à droite pour descendre un grand escalier. En fin de l'escalier, le non-voyant doit tourner à droite et suivre le mur de gauche du couloir de 20 mètres. Après, en fin de couloir, faire un quart de tour à gauche et continuer dans le grand couloir de 50 mètres. Après une quarantaine de mètres l'appareil lui indique de suivre le mur de droite et tourner dans le premier couloir qui se trouve à droite et descendre l'escalier. Finalement, il doit continuer tout droit dans le seul couloir qui mène vers le quai de la ligne 7. C'est aussi un mode de navigation automatique avec confirmation après avoir réalisé chaque tronçon du trajet.

5.9.4 Observations lors des tests dans le métro :

Une formation de moins de 20 minutes est donnée à chaque déficient visuel avant l'utilisation de l'appareil. Ils ont apprécié la facilité de son apprentissage à base de glissement de doigts sur l'écran et de double click.

Une première difficulté observée dans les tests avec deux utilisateurs non-voyants a été dans la station du métro Denfert-Rochereau. Deux des trois utilisateurs connaissaient déjà la station et avaient d'autres repères personnels pour démarrer le trajet. Ils n'ont pas fait attention aux indications de démarrage et après quand ils sont voulus prendre en compte les indications de l'appareil, ils se sont sentis un peu perdus. Les deux autres stations leur étant inconnues, ce problème a disparu.

Un autre problème a été dans la station du métro Place d'Italie avec un utilisateur gaucher. Les seuils pour la détection d'un tournant à gauche ne sont pas les même que l'appareil soit porté à droite ou à gauche, pour des raisons de position de l'axe de rotation. Le quart de tour pour entrer dans un long couloir de 50 mètres n'a pas été détecté et l'utilisateur s'est ai rendu compte suite à l'absence de confirmation. Ce problème a été résolu par un affinement des valeurs de seuils de détection du quart de tours.

Deux utilisateurs sur trois avaient une canne électronique qui a été utile pour la détection des longs couloirs dans les stations du métro.

Sur les neufs trajets au total, 6 ont été réussi du premier coup et les 3 autres au second essai. Les informations de guidage ont été très appréciées par les testeurs.

Les premiers tests par rapport au guidage en intérieur sont encourageants. Cela confirme dans ce contexte l'opportunité du fonctionnement par détection de segments de trajets.

CHAPITRE V

Il est cependant indispensable que le non-voyant ait une pratique générale des déplacements en transport en commun. Il est inimaginable d'arriver à guider une personne n'ayant pas d'expérience du déplacement autonome. Nos informations qui exploitent les formulations d'indications de trajet enseignées en locomotion ont été appréciées par les utilisateurs.

Nous voyons cependant qu'avec des moyens techniquement simples et gratuits (puisque existants dans un Smartphone), nous arrivons à une aide efficace.

Les points restants à améliorer sont la robustesse en cas d'erreurs de suivi des consignes par l'utilisateur. En effet bien que le système détecte si la personne a choisi un mauvais couloir, mais nous n'avons pas encore développé un moyen efficace de la remettre sur le bon chemin, si elle n'a pas d'hypothèses sur son erreur. Pour le moment toutes les instructions ont été faites par un voyant connaissant la locomotion et ayant vu le trajet. Nous n'avons pas encore de solution pour que le non-voyant puisse faire seul le jeu d'instruction.

5.10 Test dans un centre commercial

Les tests réalisés sont effectués dans le centre commercial « Les Ulis 2 » dans la région francilienne. On a choisi 3 destinations (McDonald, Quick Burger et les Toilettes). Un non-voyant a testé les parcours choisis.



Figure 5.34 (1) Quick Burger, (2) Entrée de couloir qui mène vers les toilettes, (3) McDonald's.

Le non-voyant doit confirmer son point initial pour commencer la navigation en mode automatique comme dans la navigation dans les stations du métro.

CHAPITRE V

La principale différence avec le guidage dans le métro est qu'on se base simplement sur les tournants de la personne pour recalibrer la centrale inertielle. On n'a pas non plus de longs couloirs qui permettent de guider la personne. On n'utilise pas l'altimètre parce que le centre commercial choisi est d'un seul étage. L'utilisation du télémètre est indispensable pour trouver un couloir et les intersections.

Il est clair que, dans le centre commercial, on doit traverser de grands espaces pour passer d'un côté à l'autre. Si la personne dépasse par 7 mètres le moment de tournant le système lui indique que le tournant est dépassé et la personne doit revenir sur ses pas, ou aller à la position du point de départ et recommencer la navigation.

Six trajets de navigation ont été proposés dans le centre commercial : un trajet depuis McDonald's vers Quick, un trajet depuis Quick vers McDonald's, un trajet depuis Quick vers les toilettes, un trajet depuis les toilettes vers Quick, un trajet depuis McDonald's vers les toilettes et un trajet depuis les toilettes vers McDonald's.

Pendant le trajet « Depuis Quick vers les toilettes », on indique la boutique Histoire d'Or (voir Figure 5.35).

Pendant le trajet « Depuis McDonald's vers Quick », on indique 4 boutiques ou points d'intérêts : cordonnerie, pharmacie, Nicolas et « C et A » (voir Figure 5.36).

Pendant le trajet « Depuis les toilettes vers McDonald's », on indique 4 boutiques ou points d'intérêts : Caisse d'Épargne, Lingerie, Bijouterie et « H & M » (voir, Figure 5.37).

Dans le menu de navigation, il y a une fonction nommée « *pause* » qui permet à l'utilisateur de mettre en pause la navigation. Par exemple, s'il veut entrer dans une boutique, il met en pause la navigation, rentre dans la boutique et au moment d'en sortir, il peut choisir « *continuer navigation* », se mettre dans l'axe du parcours pour réactiver le mode navigation et continuer son trajet.

Ci-après, on montre les 3 parcours avec les indications données par notre système.

5.10.1 Guidage depuis Quick vers les toilettes

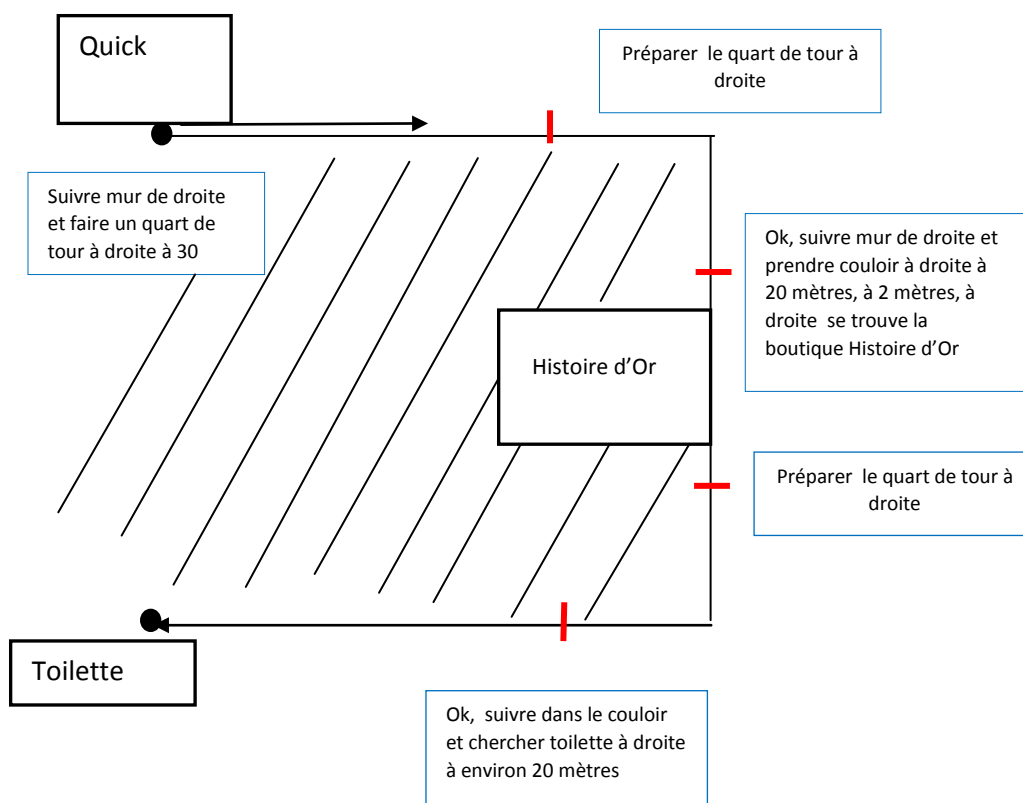


Figure 5.35 Navigation depuis Quick vers les Toilettes.

L'information « *préparer le quart de tour à droite* » ou « *à gauche* », prévient l'utilisateur, 7 mètres avant un tournant et la personne doit chercher avec le télémètre ce tournant.

5.10.2 Guidage depuis McDonald's vers Quick

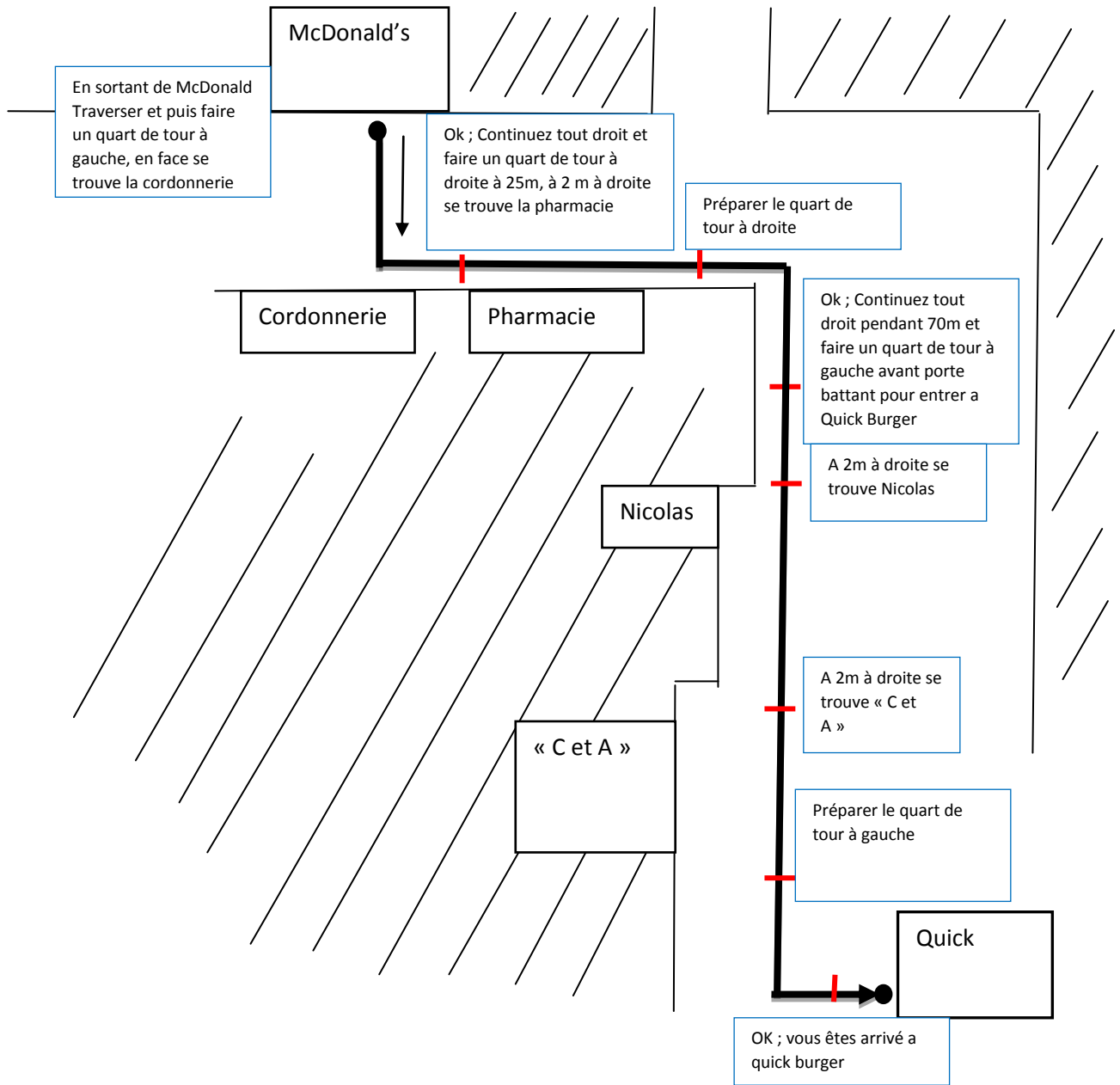


Figure 5.36 Navigation depuis McDonald's vers Quick.

5.10.4 Observations lors des tests dans le centre commercial :

Contrairement au métro où sauf anecdote passagère, le trajet était réussi d'emblée, les trajets dans le centre commercial ont été pendant la première demi heure de tentatives des échecs à répétition. En effet le centre commercial ne guide pas comme les couloirs de métro et il faut acquérir une discipline d'utilisation, ni évidente, ni spontanée.

En effet marcher au milieu d'un large couloir en slalomant entre les zones de repos, les stands temporaires et les gens a vite fait de faire perdre au segment de trajet toutes ses caractéristiques. Il est indispensable de se rester proche des magasins, de faire des quart de tours nets, de traverser au plus court les grands espaces tel qu'indiqué par les instructions.

Une fois ce type de déambulation intégré, et maintenu avec discipline, la notion de segment de trajet identifiable reprend son sens.

L'utilisateur a partir de ce moment à réussi les 3 trajets en totalité, alors que les échecs arrivaient au début dans le premier tiers du trajet.

Nous allons bien entendu reproduire l'expérience au plus vite avec d'autres utilisateurs pour confirmer ces observations.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

I. Synthèse des résultats

Nous avons proposé un dispositif d'aide à l'orientation pour déficients visuels prévu pour être essentiellement porté à la ceinture et occasionnellement tenu à la main. Nous sommes parvenus à fournir à l'utilisateur un cap fiable et instantané (direction de la localisation à atteindre par rapport à son axe corporel), qu'il soit à l'arrêt ou à faible vitesse dans les milieux extérieurs aussi bien en milieu urbain qu'en randonnée. Ceci était la première limitation des antennes GPS actuelles à surmonter. Le résultat a été atteint par un dispositif hardware que nous avons construit dans un premier temps, et nous avons réussi à transposer son fonctionnement dans les Smartphones actuels en utilisant leurs accéléromètres, magnétomètres et gyromètres prévu pour d'autres utilisations.

Le cap fourni est fonctionnel, c'est-à-dire, suffisant pour ne pas faire d'erreur de routes et parvenir dans de bonnes conditions à destination. Certains problèmes non résolus dans les téléphones portables (état de charge de la batterie perturbant les capteurs magnétiques) ne permettent pas d'avoir un cap aussi précis que dans notre dispositif inertiel hardware, où la position des capteurs magnétiques par rapport à la batterie avait été spécialement étudiée pour réduire ces effets (voir Chapitre 3 § 3.3).

Malgré cela le dispositif utilisant le Smartphone est de loin préférable, car il est plus facile à diffuser, il ne s'agit plus que d'installer un simple logiciel sans faire appel à un appareil supplémentaire.

Un capteur magnétique est toujours susceptible de dériver dans le temps, nous avons donné à l'utilisateur une alerte signalant une décalibration importante de la boussole et une procédure de recalibration accessible (voir Chapitre 2 § 2.5.2).

Nous avons également résolu les problèmes liées aux mouvements des hanches de la personne, susceptibles d'induire des erreurs aussi bien dans les capteurs magnétiques que dans les gyromètres (voir Chapitre 3 § 3.2).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ceci a permis d'obtenir des performances robustes en milieu urbain. Nous pouvons également démarrer une navigation de l'intérieur d'un bâtiment sans attendre l'accrochage des satellites (voir Chapitre 3 § 3.1).

Concernant la grande randonnée (GR), nous avons du prévoir un mode enrichi de transmission de l'information. En effet, contrairement au mode urbain, il y a rarement plusieurs chemins possibles pour aller à un endroit. Une erreur ponctuelle d'orientation est beaucoup plus difficile à rattraper.

Un test de longue durée a été fait dans une grande randonnée (GR 65) de 700 km sur la partie française du chemin de Saint Jacques de Compostelle en juillet – août 2011 (voir Chapitre 4 § 4.6.1). Ce test nous a permis de beaucoup progresser par le nombre de configurations à difficultés mises en évidence. Cette expérimentation s'est bien terminée car les dernières étapes ont pu s'enchaîner sans problèmes, et les bonnes capacités de mobilité du randonneur en fin de randonnée ont impressionné la presse, parfois ironique sur les difficultés du début.

A la suite de cette expérimentation faite avec notre centrale inertielle hardware, nous avons initié quelques journées de sensibilisation à la randonnée, ce qui a permis de tester la migration de notre dispositif vers les Smartphones (voir Chapitre 4 § 4.6.2).

Aussi bien en milieu urbain qu'en randonnée, le non-voyant est autonome pour sa cartographie, il peut aller la chercher sur internet ou la faire lui-même.

Nous avons en dernière partie travaillé sur la prolongation du signal GPS dans les intérieurs (voir Chapitre 5). Nous sommes parvenus à guider des déficients visuels dans le métro avec fiabilité, à condition d'avoir relevé le trajet à l'avance. Le déficient visuel n'est pas autonome et ne peut pas faire lui-même sa cartographie dans ce cas. Pour les centres commerciaux, la fiabilité est moindre, car beaucoup plus tributaire de la stratégie d'utilisation du déficient visuel : avoir des trajectoires si possibles rectilignes en ne s'éloignant pas trop des murs, faire des traversées perpendiculaires au couloir pour rejoindre l'autre côté, etc. Le déficient visuel n'est pas non plus autonome, pour le moment, pour faire sa cartographie comme pour le métro.

II. Description du dispositif que l'on prévoit de diffuser

Notre approche reste dans l'objectif de fournir un service à courte échéance aux déficients visuels, même s'il n'intègre pas de suite la totalité des travaux effectués. Pour le moment nous estimons que les fonctions urbaines et de randonnées sont suffisamment robustes pour être diffusées sans restriction. Concernant les fonctions pour les intérieurs, nous ne les proposerons qu'aux testeurs avec qui nous collaborons étroitement.

Choix du support et de l'interface :

Nous avons développé dans un premier temps sous le système d'exploitation Windows Mobile puis Android, pour la facilité d'accès à l'ensemble des fonctions du téléphone. Ce choix n'était pas forcément à posteriori le plus pertinent dans la mesure où les iPhones d'Apple sont devenus très largement majoritaires dans la population non-voyante, leur accessibilité étant meilleure.

Le système d'exploitation Android a été désespérément inaccessible aux déficients visuels malgré les annonces. Ce n'est que très récemment que la version 4.1 implantée sur les *Galaxy S3* a été enfin accessible. Nous doutons cependant que le retard dans la diffusion de ces téléphones dans la population déficiente visuelle par rapport aux iPhones puisse se combler rapidement. Nous sommes en mesure de proposer un logiciel pour les quelques utilisateurs de *Galaxy S3*, *S3 mini*, *S4*, et la priorité après la thèse est de faire une version du logiciel pour le iPhone.

Présentation sommaire des menus du logiciel pour les Galaxy S3 et S4 :

On a retenu l'interface à base de glissement des deux doigts à gauche ou à droite, vers le haut ou vers les bas, sur l'écran du Smartphone, avec l'utilisation de l'accessibilité pour non-voyants pour passer d'une fonction vers une autre dans le menu déroulant.

Pour accéder à une fonction, on fait :

- Un clic pour choisir la fonction énoncée par « **Talk Back** » (surcouche d'accessibilité de Android 4.1).
- Double clic n'importe où sur l'écran pour y accéder.

On se référera à la notice d'utilisation fournie en Annexe III.

III. Perspectives

Les perspectives sont de deux natures, celles technologiques et celles dans l'utilisation du dispositif.

Techniquement il y a des progrès à faire dans la robustesse du dispositif dans les intérieurs. Pour les intérieurs canalisés, comme le métro il faut trouver une technique d'auto cartographie par simple réalisation du trajet, alors qu'actuellement nous faisons appel à l'analyse intelligente d'une personne pour déterminer les bonnes instructions de guidage. Dans les intérieurs peu canalisés (centres commerciaux), il faudra arriver à réduire le niveau d'exigence sur la discipline de déambulation de l'utilisateur. Pour cela plusieurs pistes sont envisageables : une exploitation plus approfondie des signaux des capteurs optiques du Télétact III placés sur la canne, une analyse d'image en temps réel obtenue par la caméra du Smartphone filmant sur le côté afin de se situer par rapport à des repères, comme les enseignes des magasins obéissant à des chartes graphiques assez strictes.

On peut se poser la question si la poursuite immédiate des développements techniques est le point le plus important. En effet actuellement, moins de 1% de la population non-voyante a les pré-requis en mobilité pour utiliser correctement le dispositif élaboré. Ce taux est plus élevé chez les malvoyants, mais cela reste marginal, la plupart n'osent plus s'aventurer en lieux inconnus. Les améliorations futures pour le moment ne profiteront qu'à cette minorité, certes importante pour les progrès des outils, mais dont l'exemple ne semble pas être très incitatif sur le reste de la population.

Plus de 30% de la population déficiente visuelle a cependant les moyens physiques et cognitifs pour utiliser ce type d'aide, mais n'entreprennent pas la démarche du retour vers l'autonomie.

Il est apparu au cours de la randonnée expérimentale sur les sentiers de Saint Jacques de Compostelle, que certains passages de la randonnée, non spécialement exigeants sur le plan physique, et dans un cadre de qualité, ne pouvaient qu'être appréciés. Il a été également clair que les sentiments de reprise de confiance et de liberté pouvant être obtenus par un déficient visuel maîtrisant son orientation dans ce contexte étaient très forts. Pourquoi cette aide à l'orientation dans le contexte de randonnées non agressives ne pourrait elle pas être un vecteur du retour vers l'autonomie ? Ce retour se fait habituellement par des cours de locomotion en déambulation urbaine où les situations sont agressives et

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

stressantes, si bien que peu de déficients visuels franchissent cette étape. Développer une transition par la randonnée est une tentative à faire pour essayer de remonter ce taux aussi faible de retour vers l'autonomie. C'est certainement l'enjeu principal à développer. Il faudra certainement que les structures entreprenant cette démarche aient un suivi très rigoureux de l'utilisateur. En effet au-delà d'une prise de contact de curiosité, il faut s'assurer une présence assidue de l'utilisateur aux séances d'entraînements et pallier les possibles instabilités de la motivation.

REFERENCES

Références

- [1] International Agency for the Prevention of Blindness. *State of the world sight VISION 2020 : The right to sight*. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2005.
- [2] Association Valentin Haüy, Cécité, malvoyance : les données, Retrieved septembre 2010 from « http://www.avh.asso.fr/rubriques/association/cecite_malvoyance.php »
- [3] M. de la Santé, « <http://www.sante-sports.gouv.fr/IMG/pdf/er416.pdf> »
- [4] Villanueva, Joselin, *Contribution à la télémétrie optique active pour l'aide aux déplacements de non-voyants*. Thèse Physique. Université paris SUD, 2011 « http://tel.archivesouvertes.fr/docs/00/59/86/05/PDF/VA2_VILLANUEVA_JOSELIN_16052011.pdf »
- [5] René Farcy, Benoit Billat, Cannes Blanches Electroniques Aides optroniques à la locomotion, point de vue du concepteur et de l'instructeur, Congrès AILDV 15 janvier 2006
- [6] Richard, Edwin Hoover, « http://www.aph.org/hall_fame/bios/hover.html »
- [7] Wikipedia, White cane, « http://en.wikipedia.org/wiki/White_cane »
- [8] Marie Laure Bouygues, Manuel instructeur, Association Formation aux Cannes Blanches Electronique, édition 2010
- [9] Historique du GPS, « <http://reperageterrestre.free.fr/historique.html> »
- [10] GPS : Global Positioning System, « http://lcs.verne.lyc14.ac-caen.fr/~annej/spip/IMG/pdf_TD2_GPS.pdf »
- [11] Wikipedia, Global Positioning System, « http://fr.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System »
- [12] Le GPS. C'est Quoi? , « <http://www.tomtomax.fr/tomtom-principe-fonctionnement-gps.html> »
- [13] Grappe Freed, "Le système GPS : Global Positioning System" « <http://www.fredericgrappe.com/enseignement/entrainement/GPS.pdf> »
- [14] Mihai, Trame NMEA GPS, « <http://www.mihairainer.ro/dl/nmea/nmea0183.pdf> »
- [15] CSR's SIRF STAR IV GPS powers location awareness in new Samsung Galaxy S2 smartphones, 2011, « <http://www.csr.com/news/pr/release/455/en> »
- [16] Wikipedia. List of Smartphones using GLONASS Navigation, « http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Smartphones_using_GLONASS_Navigation »
- [17] Trekker 2.6 Guide d'utilisation, 2005 « http://www.humanware.ca/web/Guides/TREKKER_2_6_USER_GUIDE_fr.htm »
- [18] Trekker fournit un GPS pour aveugles, 2007 « <http://fr.ubergizmo.com/2007/06/trekker-fournit-un-gps-aux-aveugles/> »

REFERENCES

- [19] Un GPS parlant pour non-voyant (Trekker Breeze)
« <http://www.francoischarron.com/un-gps-parlant-pour-nonvoyant/-/tH2Et2L7SV/> »
- [20] Humanware, Trekker Breeze, « http://www.humanware.com/fr-france/products/blindness/talking_gps/trekker_breeze/details/id_101/trekker_breeze_handheld_talking_gps.html »
- [21] Kaptén, “Un Nuevo intento por popularizar el GPS personal” 2010
« <http://www.xataka.com/gps/kapten-un-nuevo-intento-por-popularizar-el-gps-personal> »
- [22] Kaptén, le GPS multitransport, 2010 « <http://www.lievreoutortue.com/kapten-le-gps-multi-transport/> »
- [23] Kaptén Mobility, « http://www.canadialog.com/ftp/Flyers/KAPT_MOB_CNDG-FR.pdf »
- [24] Navigon, (2012)
« http://www.navigon.com/portal/fr/produkte/navigationsoftware/mobile_navigator_iphone_eu.htm »
- [25] Ariadne GPS (2012), « <http://www.ariadnegps.eu> »
- [26] Erreur circulaire probable, « http://fr.wikipedia.org/wiki/Erreur_circulaire_probable »
- [27] Paul D. Groves (2008) “Principle of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems”, pp-6,7,340 Artech House,
- [28] Faure, P.; Camberlein, L.; Vieille, M. (1971) “Systèmes de navigation hybrides optimaux: 1ère partie : Méthodologie (P. Faure) 2ème partie Système expérimental (Camberlein)” GRETSI, Groupe d’Etudes du Traitement du Signal et des Images
« <http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/10020/AR43.pdf?sequence=1> »
- [29] Carvalho, H.; Del Moral, A.; Salut, G. (1995) “Optimal non linear Filtering in GPS/INS Integration”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 33, issue 3, pp. 835-850, 07/1997
« http://homepages.laas.fr/~monin/Version_anglaise/Publications_files/GPS.pdf »
- [30] O Mezentsev, J Collin, G Lachapelle (2005) “Pedestrian Dead Reckoning--A Solution to Navigation in GPS Signal Degraded Areas? ” . *Geomatica*, 59(2), 175-182.
« http://plan.geomatics.ucalgary.ca/papers/Geomatica_Mezentsevetal_2005.pdf »
- [31] R. Stirling, K. Fyfe, G. Lachapelle (2005) “Evaluation of a New Method of Heading Estimation for Pedestrian Dead Reckoning Using Shoe Mounted Sensors”, The Journal Of Navigation 2005, pp 31- 45
« http://plan.geomatics.ucalgary.ca/papers/RIN%20Navigation_Stirlingetal_Jan06.pdf »
- [32] V. Renaudin, M. Susi, G. Lachapelle (2011) “Step Length Estimation Using Handheld Inertial Sensors”, Sensors 2012, ISSN 1424-8220 pp 8507-8525
« <http://plan.geomatics.ucalgary.ca/papers/sensors-12-08507.pdf> »

REFERENCES

- [33] M. Li. K. Tasaka. K. Yoshihara. (2012) "An Integrated Location Method using Reference Landmarks for Dead Reckoning System" The Eleventh International Conference on Networks , CN 2012, Saint Gilles, Reunion
- [34] R. Felix, E. Zamma, J. Gomez Garcia (2009) "Pedestrian Tracking using inertial sensors", Journal of Physical Agents, Vol. 3, N1, January 2009.
« http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/12578/1/JoPha_3_1_05.pdf »
- [35] S. House, S. Connell, I. Milligan (2011) "Indoor Localization: Using pedestrian dead reckoning updated with RFID Based Fiducials", 33rd Annual International Conference of the IEE EMBS, Boston, Massachusetts USA, August 30, September 3, 2011
- [36] Vissiere, D, Martin A. Petit N. (FR) "Système fournissant vitesse et position d'un corps en utilisant les variations de champ magnétiques évaluées grâce aux mesures d'un ou des magnétomètres d'une des centrales inertielles", Brevet FR2914739A1
- [37] Champ Magnétique terrestre,
« <http://www.edumedia-sciences.com/fr/a108-champ-magnetique-terrestre> »
- [38] Déclinaison magnétique, 2012
« http://www.captainjane.com/glossaire/d%C3%A9clinaison_magn%C3%A9tique »
- [39] Electromog, "Champ magnétique terrestre" Champ Magnétique en France,
« <http://www.delta-service17.com/gt-champ-magnetique-terrestre/s31.html> »
- [40] LPS 331AP high resolution pressure sensor, « http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/sales_and_marketing/promotional_material/flyer/fllps331a_p.pdf »
- [41] « La Montagne », Sur le pas de Saint-Jacques en aveugle, 2011,
« <http://www.lamontagne.fr/auvergne/actualite/departement/haute-loire/haute-loirelocal/2011/07/04/sur-les-pas-de-saint-jacques-en-aveugle-133262.html> »
- [42] « Midi Libre », Un randonneur malvoyant équipé de son GPS sur le chemin de Saint Jacques, 2011,
« <http://www.midilibre.fr/2011/07/11/un-randonneur-malvoyant-sur-le-chemin-de-saint-jacques,353188.php> »
- [43] « L'express », L'ambassadeur de la cécité, 2011
« http://www.lexpress.fr/actualites/1/styles/l-ambassadeur-de-la-cecite-solitaire-sur-le-chemin-de-compostelle_1019325.html »
- [44] « 20minutes.fr », Chemin de l'espérance pour un aveugle, 2011,
« <http://www.20minutes.fr/article/793160/compostelle-chemin-esperance-aveugle> »
- [45] « Sudouest », Pèlerin dernier cri, 2011
« <http://saint-jean-pied-de-port.blogs.sudouest.fr/tag/p%C3%A8lerinage> »
- [46] « DNA », Pouvoir randonner sur chemins numérisés, 2012 ; mercredi 11 avril
- [47] « Point de vue sur la ville », Pouvoir randonner sur chemins numérisés 2012
« <http://pointdevuesurlaville.org/2012/04/24/pouvoir-randonner-sur-chemins-numerises/> »

REFERENCES

- [48] Android Developers, « <http://developer.android.com/tools/sdk/eclipse-adt.html> »

Liste des Figures

Figure 1.1 Satellite [13]

Figure 1.2 Appareil GPS Bluetooth SIRF-III Royaltek

Figure 1.3 A gauche : Appareil GPS Bluetooth SIRF-III Holux. A droite : GPSlim236 et GlobalSat GBT-338

Figure 1.4 GPS Trekkeur pour déficients visuels [18]

Figure 1.5 GPS Trekkeur Brezze pour déficients visuels [20]

Figure 1.6 Kaptén modèle 2008 [21]

Figure 1.7 iPhone tenu à la main gauche (Ariadne GPS) [25]

Figure 1.8 Géotact V1 porté à l'épaule

Figure 1.9 Indications typiques de « cap » et de « distance » sur un trajet

Figure 1.10 Multiplicité des trajets possibles pour rejoindre deux points

Figure 1.11 Utilisatrice du Télétact (détecteur d'obstacle) et du Géotact

Figure 1.12 Géotact V2 (clavier, récepteur GPS SIRF-III et oreillette communiquant par Protocole Bluetooth)

Figure 1.13 : Concept de « Dead Reckoning » [27]

Figure 1.14 Capteurs inertiels sur la chaussure [31]

Figure 1.15 Le testeur à gauche utilise un capteur dans la main et un autre sur la chaussure pour analyser l'estimation de la longueur de pas. La personne, à droite, utilise un capteur de vitesse pour comparer les résultats [32]

Figure 1.16 Capteur inertiel fixé sur un pied de l'utilisateur [34]

Figure 1.17 A gauche : Dispositif Centrale inertielle/RFID sur la chaussure [35]. A droite : En rouge : trajectoires obtenues avec la centrale inertielle. En vert : trajectoires obtenues en utilisant le système avec le RFID [35].

Figure 2.1 Objectif à 9 heures

Figure 2.2 Objectif à 6 heures

Figure 2.3 Port des capteurs à la ceinture

Figure 2.4 Appareil pointé devant soi

Figure 2.5 Trajectoire GPS en voiture (blanc), trajectoire GPS piéton (rouge), trajectoire réelle (flèches jaunes)

Figure 2.6 Comparaison entre le cap donné par le GPS et le cap réel en fonction de la vitesse pour un piéton (partie gauche) et pour une voiture (partie droite)

Figure 2.7 Modèle d'un trajet de récupération de cap après hésitation

Figure 2.8 Comparaison du cap fournit par le GPS et du cap réel en fonction de la vitesse lors d'un trajet modèle d'une hésitation de parcours

Figure 2.9 Calibration de l'appareil avec une fréquence de 50 Hz

Figure 2.10 Différenciation des signaux de marche et d'arrêt avec l'appareil fixé à la ceinture

Figure 2.11 Comparaison des accélérations horizontales :
A gauche accéléromètre fixé au pied, à droite accéléromètre fixé à la ceinture.

Figure 2.12 Les trois angles donnés par le gyroscope à l'arrêt

Figure 2.13 Les trois angles donnés par le gyroscope en situation de marche en ligne droite.

Figure 2.14 Mouvement du dispositif effectuant une rotation de 60° sans bouger la valeur du cap donné par l'axe z du gyroscope.

Figure 2.15 Variation d'angle du gyroscope provenant de différents demi-tours dans un sens et dans l'autre.

Figure 2.16 Angle de cap, donné par le gyroscope, quand la personne marche en ligne droite

Figure 2.17 Comparaison entre l'angle de tangage mesuré par le gyroscope et par l'accéléromètre

Figure 2.18 Comparaison entre l'angle de roulis mesuré par le gyroscope et par l'accéléromètre

Figure 2.19 Dipôle magnétique de la Terre [37]

Figure 2.20 Champ magnétique terrestre en France

Figure 2.21 Champ magnétique Horizontal

Figure 2.22 Cap de la boussole et cap du gyroscope avec aimant perturbateur

Figure 2.23 Appareil à la ceinture avec direction de déplacement dans l'axe « X »

Figure 2.24 Signaux BX, BY et BZ obtenus lors d'une marche en ligne droite dans un endroit non perturbé magnétiquement

Figure 2.25 Comparaison entre le cap par rapport au nord donné par la boussole et le cap réel

Figure 2.26 Variation de la mesure du champ magnétique par l'angle de tangage P

Figure 2.27 Angle de tangage P à la ceinture dans un sens et dans l'autre

Figure 2.28 Variation de la mesure du champ magnétique par l'angle de roulis R

Figure 2.29 Comparaison entre la simulation et les valeurs réelles de la mesure du champ magnétique en fonction de l'angle de tangage pour les 3 axes du magnétomètre quand la valeur est de $\alpha=0^\circ$ (angle par rapport au nord).

Figure 2.30 Comparaison entre la simulation et les valeurs réelles de la mesure du champ magnétique en fonction de l'angle de tangage pour les 3 axes du magnétomètre quand la valeur est de $\alpha=45^\circ$ (angle par rapport au nord).

Figure 2.31 Comparaison entre la simulation et les valeurs réelles de la mesure du champ magnétique en fonction de l'angle de roulis pour les 3 axes du magnétomètre quand la valeur est de $\alpha=0^\circ$ (angle par rapport au nord).

Figure 2.32 Comparaison entre la simulation et les valeurs réelles de la mesure du champ magnétique en fonction de l'angle de roulis pour les 3 axes du magnétomètre quand la valeur est de $\alpha=45^\circ$ (angle par rapport au nord).

Figure 2.33 Grille métallique

Figure 2.34 Cap magnétique, champ magnétique total et inclinaison dans la campagne (le long d'une grille métallique)

Figure 2.35 A gauche : parcours ABCBA choisi pour le test. A droite : Test réalisé dans une rue étroite (mauvaise réception du signal GPS)

Figure 2.36 Cap magnétique, champ magnétique total et inclinaison en milieu urbain

Figure 2.37 A gauche : parcours ABCBA choisi pour le test dans le bâtiment 503. A droite : couloir du parcours

Figure 2.38 Cap magnétique, champ magnétique total et inclinaison en intérieurs

Figure 2.39 A gauche : Champ magnétique \vec{B}_T non perturbé, B_O et B_V composantes vertical et horizontale. A droite : Champ magnétique \vec{B}_{TP} perturbé, B_{OP} et B_{VP} , composantes verticale et horizontale, cap maintenu

Figure 2.40 A gauche : Champ magnétique \vec{B}_T non perturbé, B_O et B_V composantes verticale et horizontale. A droite : Champ magnétique \vec{B}_{TP} perturbé, B_{OP} et B_{VP} , composantes verticale et horizontale, cap non maintenu.

Figure 2.41 Différence de pression (mbars) pour monter 6 mètres de hauteur

Figure 2.42 (1) Proximètres infrarouge pointant horizontalement et un autre pointant à 45 degrés vers le haut ; (2) Détection de hauteur de plafond avec le proximètre infrarouge qui pointe vers le haut ; (3) Proximètre infrarouge horizontal pour trouver les passages de portes

Figure 2.43 Courbe d'hauteur : résultats obtenus avec le proximètre infrarouge horizontal. En bas : résultats obtenus avec le proximètre dirigé vers le plafond (test dans un couloir du bâtiment 503)

Figure 2.44 Télétact III

Figure 2.45 Rapport entre détection du passage et détection du plafond. Une différence de hauteur est liée à une détection du passage libre

Figure 2.46 A gauche : distance relative, proximètre pointé vers le plafond, quand la personne s'approche d'un mur. A droite : distance relative, proximètre horizontal, quand la personne s'approche d'un mur.

Figure 3.1 Cap et distance au point d'arrivée après avoir déclaré la position actuelle hors couverture GPS

Figure 3.2 Boussole à la ceinture avec axes Bx (axe de marche), By (axe perpendiculaire à l'axe de marche), Bz (axe verticale)

Figure 3.3 Accélération verticale de marche en ligne droite

Figure 3.4 Critère pour différencier l'état de marche de l'état à l'arrêt

Figure 3.5 3 axes d'un accéléromètre quand le dispositif n'est pas bien vertical sur la hanche

Figure 3.6 3 axes d'un accéléromètre quand le dispositif n'est pas bien horizontal sur la hanche

Figure 3.7 Schéma électronique de la centrale inertielle

Figure 3.8 Circuit imprimé de la centrale inertielle

Figure 3.9 A gauche : circuit électronique de la centrale inertielle développé au laboratoire. A droite : boîtier développé en CAO réalisé en impression 3D

Figure 3.10 A gauche : non-voyant utilisant l'appareil dans une main. A droite : le masque avec le Smartphone OMNIA I8000

Figure 3.11 A gauche : exemple de distribution de boutons dans l'écran. A droite : le Smartphone *Galaxy S2* avec des boutons et petites boules de colle sur l'écran.

Figure 3.12 A gauche : utilisateur avec le Smartphone à la ceinture. A droite : l'interface développée.

Figure 3.13 A gauche : mode clavier 12 touches pour entrer les coordonnées GPS. A droite : mode clavier texte 12 touches pour taper les adresses.

Figure 3.14 Mode Clavier Azerty

Figure 3.15 Comparaison du cap donné par le GPS, la centrale inertielle et le cap réel.

Figure 3.16 Parcours choisi pour tester le GPS couplé à la centrale inertielle développée au laboratoire

Figure 3.17 A gauche et à droite, les deux malvoyants utilisant le système

Figure 3.18 Cas d'une fourche parallèle en milieu urbain

Figure 3.19 A gauche : position des points 1 à 7 du parcours test. A droite : non-voyant en train de tester l'appareil

Figure 4.1 Le tournant à gauche après le point 1 peut faire croire à la personne qu'elle a raté le passage le menant directement au point 2.

Figure 4.2.a, Figure 4.2.b

Figure 4.3 En noir, direction réelle, en rouge, directions possibles dues à l'incertitude sur la position des points pouvant se trouver n'importe où dans le cercle de 10 mètres de rayon

Figure 4.4 Trajet randonnée : chemin avec points espacés entre 30 et 50 mètres

Figure 4.5 Les écarts entre la trace GPS recalée sur la cartographie IGN et le chemin réel peuvent atteindre couramment 20m.

Figure. 4.6 Cas d'erreur : deux chemins presque parallèles

Figure. 4.7 Prochain point se trouve à 2 heures par rapport à l'axe corporel de la personne

Figure. 4.8 Chemin avec trois routes presque parallèles

Figure 4.9 Schéma de principe du dispositif

Figure 4.10 A gauche: antenne SIRF-III liaison Bluetooth. A droite: Centrale Inertielle en état de charge (lumière verte allumée).

Figure 4.11 Interface Navigation pour la grande randonnée

Figure 4.12 Interface Calibration

Figure 4.13 En noir, parcours par indication à 3 tournants. En rouge, retour sans indication par un trajet différent

Figure. 4.14 Test réalisé dans la forêt de Rambouillet

Figure 4.15 A gauche : expérimentateur portant avec le bâton et GPS. A droite : bâton de marche avec Smartphone OMNIA I8000.

Figure 4.16 Premier jour de la randonnée [41]

Figure 4.17 Non-voyant en pleine nature [42]

Figure 4.18 Jour de l'arrivée à Saint Jean Pied de Port [45]

Figure 4.19 Smartphone *Galaxy S2*, avec l'application développée, tenu à la main

Figure 4.20 A gauche : non-voyant de naissance utilisant l'appareil en main gauche [46]. A droite : malvoyant en train d'utiliser l'appareil [46]

Figure 5.1 En jaune, déplacement réel. En rouge, signal GPS perdu après avoir marché quelques mètres en intérieur

Figure 5.2 En rouge trace du GPS du Galaxy S2, en bleu foncé trace de l'antenne GPS Sirf III et en bleu ciel trace du chemin réel

Figure 5.3 Trois composantes de l'accéléromètre lors d'une marche en ligne droite (sujet 1). X, sens de la marche, Z verticale

Figure 5.4 Trois composantes de l'accéléromètre lors d'une marche en ligne droite (sujet 2). X, sens de la marche, Z verticale

Figure 5.5 Signal d'accélération verticale avec les différentes phases dans un « cycle de marche » qui représente (2 pas) A-A'

Figure 5.6 Mouvements de la hanche et le pied dans un « *cycle de marche* » (2 pas)

Figure 5.7 Comptage de pas à partir de l'accélération verticale

Figure 5.8 Données pour l'algorithme de comptage de pas

Figure 5.9 Trois types de marche (normale, accélérés et ralentie) du même sujet

Figure 5.10 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas réelle, des 4 sujets lors d'une marche normale après avoir fait 4 fois le même trajet

Figure 5.11 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas donné par l'appareil, des 4 sujets lors d'une marche normale après avoir fait 4 fois le même trajet

5.12 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas réelle, des 4 sujets lors d'une marche accélérée après avoir fait 4 fois le même trajet

Figure 5.13 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas donné par l'appareil, des 4 sujets lors d'une marche accélérée après avoir fait 4 fois le même trajet

Figure 5.14 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas réelle, des 4 sujets lors d'une marche ralentie après avoir fait 4 fois le même trajet

Figure 5.15 Valeurs maximales et minimales, de la longueur de pas donné par l'appareil, des 4 sujets lors d'une marche ralentie après avoir fait 4 fois le même trajet

Figure 5.16 Longueurs de pas moyen réels obtenus, après avoir fait 4 fois le même trajet, lors de la marche ralentie, la marche normale et la marche accélérée

Figure 5.17 Longueurs de pas moyen donnés par l'appareil, après avoir fait 4 fois le même trajet, obtenu lors de la marche ralentie, la marche normale et la marche accélérée

Figure 5.18 A gauche : signal de l'accéléromètre de flexion des jambes. A droite : signal de l'accéléromètre quand la personne saute

Figure 5.19 Relevés de trajet en intérieurs avec le cap de la boussole plus le comptage de pas avec un même dispositif à 100% et 50% d'état de charge de la batterie.

Figure 5.20 Comparaison entre la trajectoire obtenue par la centrale inertielle (gyroscope plus comptage de pas) et la trajectoire réelle

Figure 5.21 Non-voyant et malvoyant utilisant l'appareil dans les stations du métro

Figure 5.22 Données du gyroscope

Figure 5.23 Angle du gyroscope obtenu lors d'une marche dans les couloirs du bâtiment 503 de l'université Paris Sud

Figure 5.24 Variation de cap du gyroscope (chaque 1.5 secondes) pour détecter un quart de tour et un demi-tour

Figure 5.25 Comparaison entre la marche sur un terrain plat, la marche montée et la marche descend pour deux sujets différents.

Figure 5.26 Identification de ligne droite

Figure 5.27 Utilisation Télétact III pour détecter la porte d'entrée

Figure 5.28 Métros : Couloir guidant la personne

Figure 5.29 Centre commercial : grande allée à traverser

Figure 5.30 Paramètres obtenus après la lecture du fichier

Figure 5.31 Schéma de Navigation Métro Denfert-Rochereau. Depuis A vers C avec les indications reçues par l'utilisateur en passant par B (composteur)

Figure 5.32 Schéma de Navigation Métro Raspail. Depuis A vers B avec les indications reçues par l'utilisateur. En rouge trajet correct fait par la personne. Après le premier quart de tour on a dit de suivre le mur de droite pour ne pas être tenté de prendre le premier escalier à gauche

Figure 5.33 Schéma de la navigation en intérieurs dans le métro Place d'Italie. Depuis A vers B avec les indications reçues par l'utilisateur

Figure 5.34 (1) Quick Burger; (2) Entrée de couloir qui mène vers toilettes (3) McDonald's

Figure 5.35 Navigation depuis Quick vers les Toilettes

Figure 5.36 Navigation depuis McDonald's vers Quick

Figure 5.37 Navigation depuis les toilettes vers McDonald's

Liste des tableaux

TABLEAU 2 .1 Distance réelle vs Distance GPS dans le cas piéton

TABLEAU 2 .2 Distance maximale à la route et écart type

TABLEAU 2.3 Erreur de cap maximale et écart type

TABLEAU 2.4 Temps d'accrochage et réaccrochage des deux antennes GPS (*Galaxy S2* et SIRF-III) et une GPS/GLONASS (*Galaxy S3*) dans une rue étroite à Paris, les deux tests ont été effectués des jours différents.

TABLEAU 2.5 Temps d'accrochage et réaccrochage des deux antennes GPS (*Galaxy S2* et SIRF-III) et une GPS/GLONASS (*Galaxy S3*) dans un lieu dégagé, les deux tests ont été effectués des jours différents.

TABLEAU 2.6 Variation du zéro_x et du zéro_y par rapport à la charge de la batterie dans trois séries d'essai

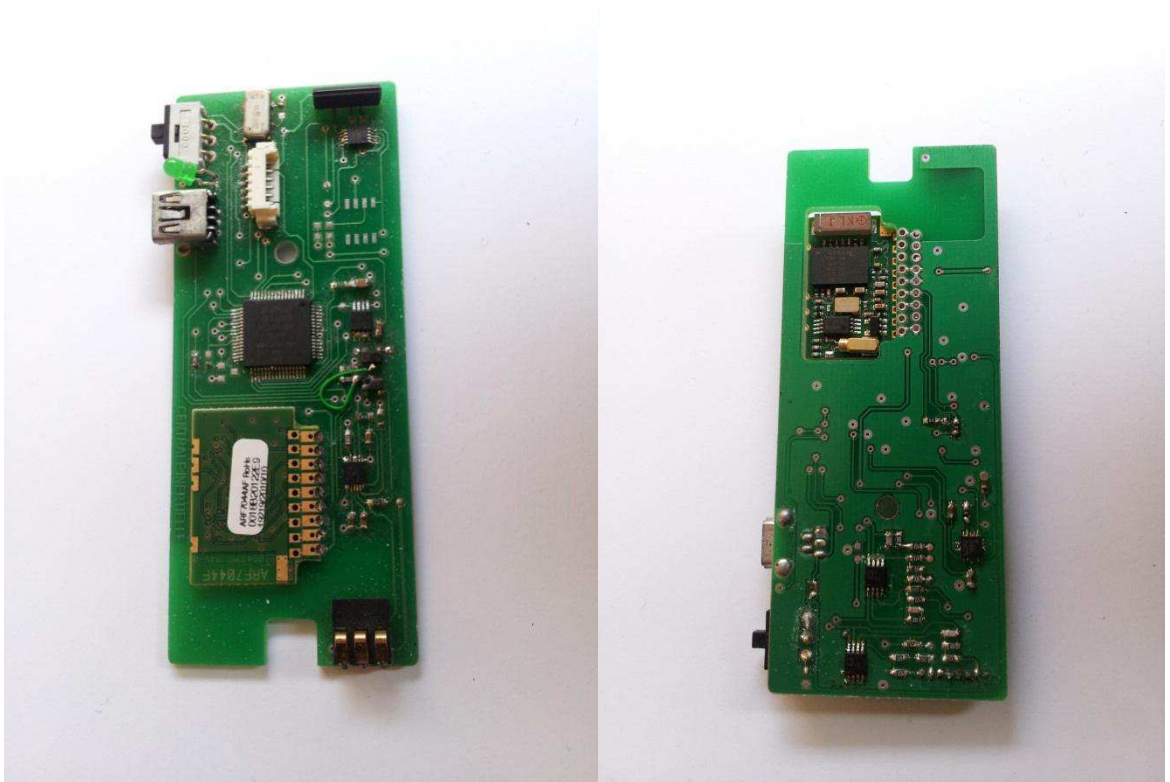
TABLEAU 2.7 Variation du cap par rapport à la charge de la batterie en utilisant les données du troisième essai : Tests avec les angles de 0°, 90°, 180° et 270°

TABLEAU 3.1 Comparaison entre l'erreur de cap maximale et l'écart type en utilisant la centrale inertielle et le GPS

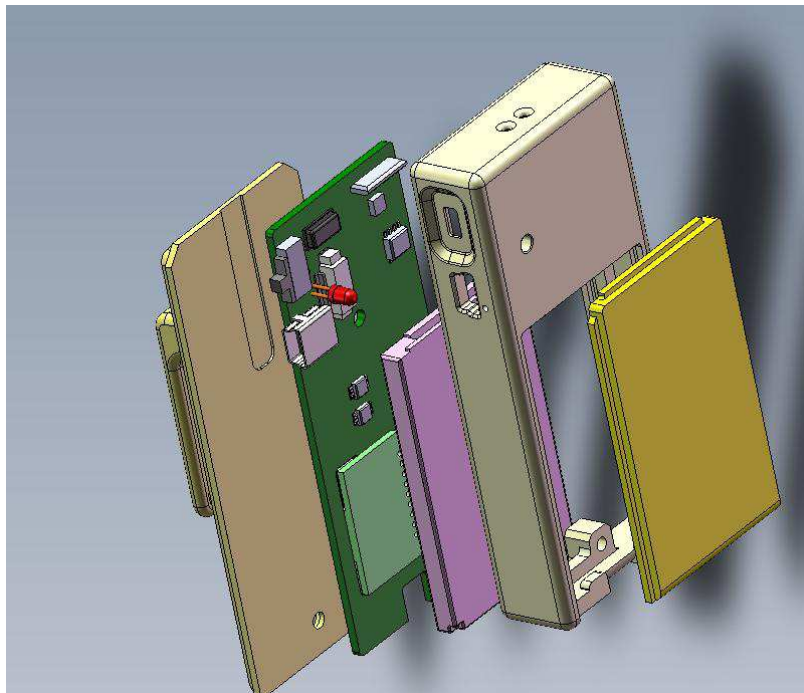
TABLEAU 3.2 : Résultats des tests avec les trois dispositifs (Navigon, Ariadne GPS et Navitact)

Annexes

I. Montage de la carte Recto et verso de la Centrale inertielle (Photos)



II. Boitier de la centrale inertielle + carte dessin (Solid Works)



III. Notice d'utilisation du logiciel Navitact sous le système d'exploitation Android

III.1 Page d'accueil

Les derniers Smartphones Android (Galaxy S3 et S4) viennent avec les surcouches d'accessibilité appelées « **Talk Back** » et « **Explore by Touch** ». Lorsque l'accessibilité est activée, on peut accéder facilement au menu de réglage des paramètres en appuyant sur le bouton d'extinction du Smartphone, qui se trouve sur le côté droit. Ce bouton ouvre un sous-menu qui s'affiche sur l'écran où la fonction « **Accessibilité** » se situe en tête du menu déroulant.

Quand « **Talk Back** » et « **Explore by touch** » sont activés le fonctionnement du Smartphone est différent de son fonctionnement habituel : le glissement du doigt sur l'écran vocalise les icônes situés sous le doigt. Pour accéder au programme, l'utilisateur doit faire un double clic rapide n'importe où sur l'écran.

L'appareil peut se tenir horizontalement à la main ou se mettre à la ceinture, on peut passer de l'un à l'autre.

Par glissement des deux doigts en contact avec l'écran vers la gauche ou la droite, le haut ou le bas, on peut changer de fenêtre.

Après avoir ouvert le programme **Navitact**, c'est avec ces glissements (de droite à gauche ou de gauche à droite) à deux doigts qu'on peut défiler dans le menu principal déroulant qui propose les fonctions suivantes : « *mode urbain* », « *mode randonnée* », « *niveau de la batterie* », « *calibration* », « *accrochage* » et « *quitter* ». Pour accéder à la fonction, on doit d'abord toucher l'écran puis faire un double clic.

La fonction « *niveau de la batterie* » donne le niveau de charge en pourcentage.

La fonction « *accrochage* » permet de savoir si le GPS est accroché ou non.

La fonction « *quitter* » ferme l'application.

III.2 La fonction «mode urbain »

Elle permet d'accéder à un sous-menu pour chercher son point de destination ou déclarer sa position (dans le cas où on doit démarrer sa navigation d'un milieu intérieur), puis de naviguer.

ANNEXES

Dans le sous-menu du « mode urbain », on trouve, dans le menu déroulant, les fonctions : « Mes destinations », « Enregistrer latitude et longitude », « Enregistrer adresse, clavier Azerty » et « Retourner au menu précédent ».

« **Mes destinations** » ouvre une liste avec toutes les destinations préenregistrées. Si le signal GPS est disponible, l'ordre des destinations proposées commence par le point le plus proche. Dans ce sous menu, on peut aussi effacer un point de destination par glissement des deux doigts, du haut vers le bas, le dispositif dit « effacer », si on veut accéder à effacer on touche l'écran puis on fait un double clic, le dispositif dit « voulez vous effacer le point » et on peut choisir entre « oui » ou « non ».

Si, on veut naviguer vers le point de destination, on touche l'écran et on fait un double clic menant au menu navigation (paragraphe III.3).

« **Enregistrer latitude et longitude** » : Cette fonction sert à enregistrer les coordonnées GPS (latitude et longitude) avec le clavier à 15 touches. La façon d'enregistrer la latitude et la longitude est la suivante : d'abord, il faut enregistrer la latitude et après la longitude. Par exemple, les coordonnées en mode degré, décimales du métre d'Orsay ville trouvées sur Google Earth sont 48,69784 et 2,18223 (signes positifs pour le Nord et l'Est).



Ecran de la saisie de la latitude longitude sur clavier 15 touches

ANNEXES

On doit commencer par la latitude, glisser le doigt sur l'écran jusqu'à vocaliser le numéro 4, faire ensuite un double clic, n'importe où sur l'écran pour confirmer. De même pour le numéro 8 qui suit, puis pour la virgule en bas à gauche etc. Quand on a fini d'enregistrer tous les chiffres de la latitude on glisse son doigt pour vocaliser la touche « sauver » en bas à droite et on fait le double clic pour confirmer. L'appareil dit alors « latitude enregistrée, tapez la longitude »

Même démarche pour la longitude, après avoir sauvé on a le message « longitude enregistrée, enregistrez l'étiquette vocale après le « beep », 2 secondes plus tard le « beep » se produit et on a 8 secondes pour enregistrer le message vocal.

Finalement, le logiciel propose si on veut naviguer vers le point qui vient d'être enregistré. Alors, on peut choisir entre oui et non (glissement des deux doigts vers la droite ou la gauche). On touche ensuite l'écran puis double clic pour confirmer.

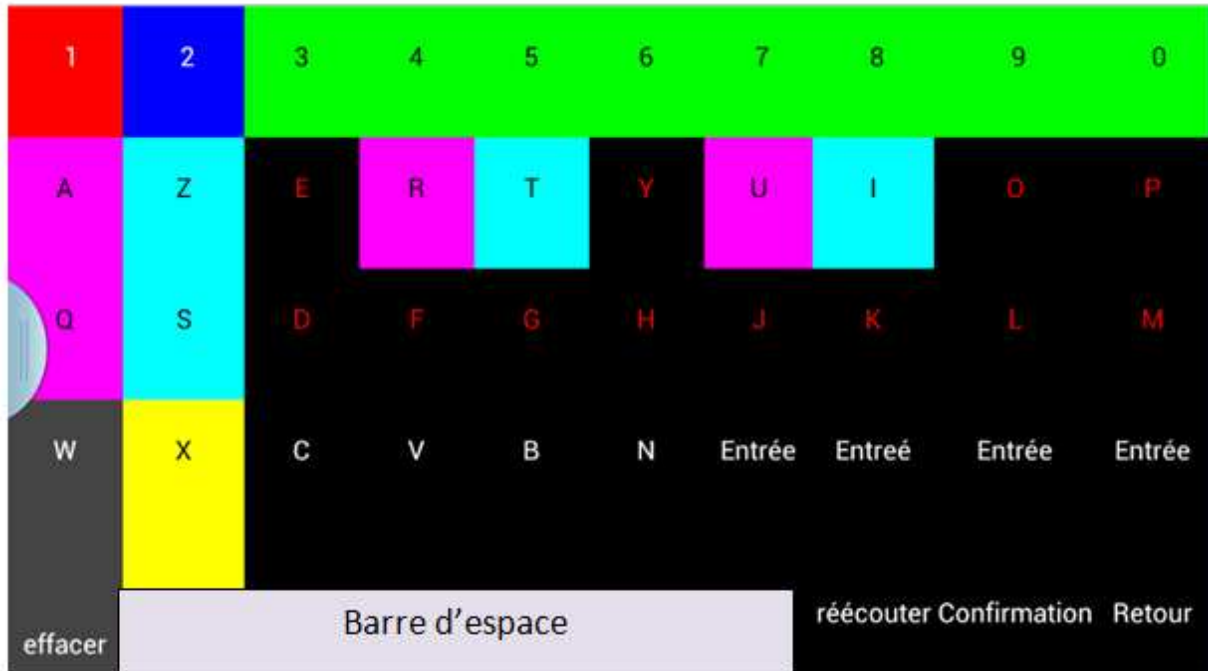
Le bouton « effacer » (en bas à gauche au dessus de la virgule et sous le 7) sert à effacer le dernier numéro enregistré. Le bouton « retour » en bas à droite permet de retourner au menu précédant.

Et le bouton « - » en bas au milieu permet d'enregistrer une latitude ou longitude avec des coordonnées négatives (signes négatifs pour le Sud et l'Ouest à mettre avant le premier chiffre).

« **Enregistrer adresse, clavier azerty** » : Cette fonction permet de récupérer les coordonnées GPS à partir de l'enregistrement d'une adresse avec l'utilisation d'un clavier azerty. La première ligne du clavier est constituée des chiffres de 1 à 9 puis du zéro. Les trois lignes suivantes sont le clavier azerty standard, sur la troisième ligne à droite du N on a « entrée », en bas à gauche on a « effacer », en bas au milieu la touche espace, à droite de espace une touche « réécouter », à droite encore « confirmer » et finalement en bas à droite « retour ».

Il faut, d'abord, enregistrer le code postal, puis la ville, ensuite le nom de la rue ou du boulevard et, finalement, le numéro. Pour taper chaque numéro ou lettre il faut vocaliser la lettre en glissant le doigt dessus puis faire un double clic n'importe où pour confirmer.

ANNEXES



Par exemple :

Code postal : 75014, pour confirmer le code postal, il faut appuyer sur « *Entrée* »

Ville : Paris, pour confirmer, il faut appuyer sur « *Entrée* »

Nom de la Rue : Morere, pour confirmer, il faut appuyer sur « *Entrée* »

Numéro de la rue : 15, pour confirmer, il faut appuyer sur « *Entrée* »

Après il faut appuyer sur le bouton « *Confirmation* » qui permet de chercher sur Internet les coordonnées. Si l'adresse est trouvée, le dispositif demandera de donner une étiquette vocale pour la destination. Après le « beep » sonore, la personne a de nouveau 8 secondes pour enregistrer le nom.

Finalement le logiciel propose aussi, si on le souhaite, de naviguer vers le point qui vient d'être enregistré. Alors, on peut choisir entre oui et non.

Toutes les « destinations enregistrées » se retrouvent automatiquement dans la liste « Mes destinations »

III.3 Menu Navigation

Le menu de Navigation urbain a 5 fonctions :

-« *Cap et distance* » : Donne le cap et la distance au point destination

ANNEXES

-« *Adresse actuelle* » : Recherche sur Internet l'adresse à partir des coordonnées GPS actuelles

-« *Enregistrer position actuelle* » : Enregistre les coordonnées GPS de la position actuelle, après il faut enregistrer un étiquette vocale.

-« *Activation/ Désactivation de l'énonciation automatique* » : Si la fonction est activée, elle donne le cap et la distance au point de destination chaque 15 secondes.

-« *Déclarer la position actuelle* » : Cette fonction est utilisée si la personne connaît sa position actuelle pour commencer la navigation depuis l'intérieur d'un bâtiment sans attendre que l'antenne GPS soit accrochée aux satellites.

-« *Retourner au menu mode urbain* » : Retour au menu du mode urbain

III.4 La fonction «mode randonnée» : elle permet d'accéder à un sous-menu pour choisir un circuit de randonnée préenregistré ou créer un nouveau chemin.

III.4.1 : enregistrement d'une randonnée

Pour enregistrer sa propre randonnée, le menu déroulant a les fonctions suivantes :

-« *Enregistrer la position actuelle* » : Enregistre les coordonnées du point relais.

-« *Commenter le dernier point enregistré* » : Enregistre le commentaire vocal sur le dernier point enregistré (10 secondes). Par exemple le commentaire du point 2 sera lu lorsque le point 2 sera appelé en tant que point suivant sur le trajet. La vocalisation sera « point 2, 1h, 80 mètres, commentaire ». Attention ce commentaire ne doit pas être ambigu, il peut concerner un évènement avant le point 2 (dans ce cas dire par exemple 50 m avant, serrer à droite). Il peut concerner un évènement pile au point 2 (embranchement à 3 voies, pendre la voie de gauche), ou bien un évènement un peu après le point 2 (dire alors par exemple 20m après, attention à la rivière à droite).

-« *Effacer le dernier point enregistré* » : Efface le dernier point relais enregistré.

-« *Enregistrer la randonnée avant de quitter* » : Enregistre les données et aussi le fichier .gpx (compatible avec Google Earth) pour lire la randonnée.

-« *Nommer la randonnée* » : Donner un nom à la randonnée, 5 secondes maximum d'enregistrement vocal (important, il faut le faire au début avant de commencer à enregistrer les points relais).

-« *Quitter la randonnée sans enregistrer* » : Quitte l'application sans rien enregistrer.

III.4.2 : Réalisation d'une randonnée

Pour réaliser une randonnée, après avoir choisi le circuit de randonnée, le menu de Navigation déroulant a les fonctions suivantes :

-« *Point, le plus proche* » : Trouve le point le plus proche du trajet de la randonnée avec le commentaire.

-« *Point précédent* » : Passe au point précédent jusqu'à arriver au point initial.

-« *Point suivant* » : Passe au point suivant jusqu'à arriver au point final de la randonnée.

-« *Cap et distance* » : Donne le cap et la distance au point relais choisi.

-« *Activer l'énonciation automatique de cap et de distance* » : Active le mode automatique qui donne le cap et la distance chaque 17 secondes au point suivant. Si on est proche du point relais d'une distance inférieure à 20 mètres, on passe au point suivant automatiquement.

-« *Retourner au menu précédent* » : Reviens au menu du mode randonnée.

III.5 La fonction « Calibration »

Elle permet de calibrer la boussole et le gyroscope, on a 4 opérations à faire et on passe de l'une à l'autre par glisser des deux doigts sur l'écran.

III.5.1 Calibration de la boussole

Après activation du programme, le premier glisser énonce le message suivant :

-« *Tenir le téléphone en position verticale face à vous ; puis, faites lui faire une rotation complète autour de l'axe vertical* » :

ANNEXES



Réalisation d'un tour complet autour de l'axe de rotation vertical

Le message « fin de calibration » arrive au bout de 5 secondes, si le tour n'a pas été complet il faut recommencer. Faire plus d'un tour n'est pas gênant.

Le second glisser énonce le message suivant :

-« *Tenir le téléphone en position verticale écran face à vous; faites lui faire une rotation complète autour de l'axe horizontal perpendiculaire à l'écran* »



Rotation complète autour de l'axe horizontal perpendiculaire à l'écran

Le message « *fin de calibration* » arrive au bout de 5 secondes, si le tour n'a pas été complet il faut recommencer. Faire plus d'un tour n'est pas gênant.

III.5.2 Calibration du Gyroscope

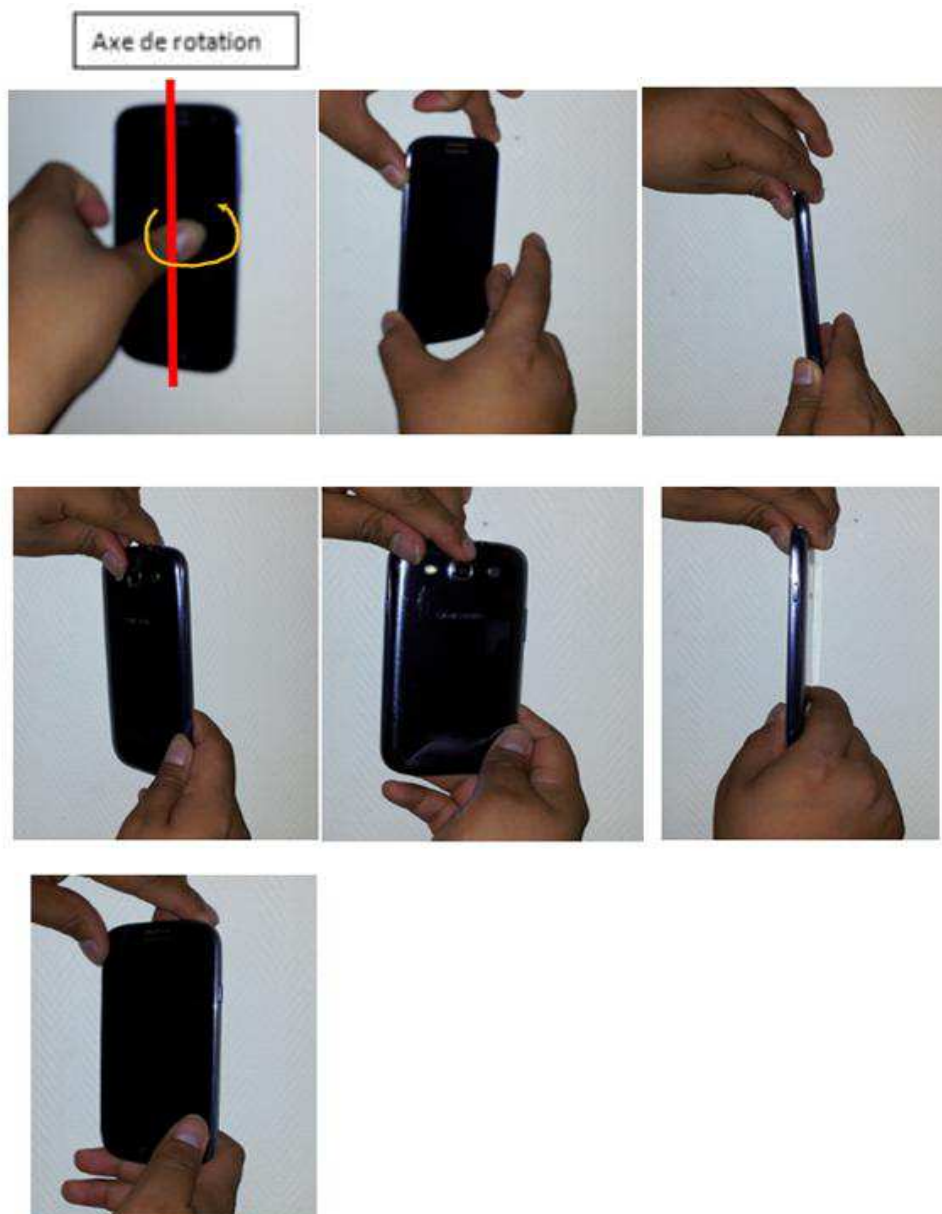
Le troisième glisser énonce :

-« Calibration du gyroscope ; posez le téléphone sur une surface plane ; et patientez 10 secondes environ ».

Au bout de 10 secondes le message « fin de calibration » est énoncé.

Le quatrième et dernier message est :

-« Plaquer le téléphone en position verticale contre un mur ; puis faites lui faire un tour complet sur lui-même autour de l'axe vertical le plus précis possible en lui faisant retrouver sa position initiale à la fin du tour »



ANNEXES

Faire un tour complet sur lui-même autour de l'axe vertical le plus précis possible en lui faisant retrouver sa position initiale à la fin du tour.

-« *Retourner au menu précédent* » : Retour au menu principal.