

**Étude de faisabilité d'un dispositif inertiel autonome de signalisation  
des stations du métro ou RER**

C. Coudevylle<sup>1</sup>, R. Farcy<sup>2</sup>, Y. Bellik<sup>3</sup>, C. Jacquet<sup>3</sup>, R. Leroux<sup>2</sup> et R. Damaschini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 5 rue de la feverie, F-91190 Gif-sur-Yvette, France

<sup>2</sup> Laboratoire Aimé Cotton – CNRS, Bât. 505, F-91405 Orsay CEDEX, France  
<http://www.lac.u-psud.fr>

<sup>3</sup> LIMSI-CNRS, BP 133, F-91403 Orsay CEDEX, France  
<http://www.limsi.fr>

[coudevyll@wanadoo.fr](mailto:coudevyll@wanadoo.fr), [rene.farcy@lac.u-psud.fr](mailto:rene.farcy@lac.u-psud.fr), [yacine.bellik@limsi.fr](mailto:yacine.bellik@limsi.fr)

# Etude de faisabilité d'un dispositif inertiel autonome de signalisation des stations du métro ou RER

Christian Coudeville<sup>1</sup>, René Farcy<sup>2</sup>, Yacine Bellik<sup>3</sup>, Christophe Jacquet<sup>3</sup>,  
Roger Leroux<sup>2</sup>, Roland Damaschini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 5 rue de la Feveric, 91190 Gif sur Yvette

<sup>2</sup> Laboratoire Aimé Cotton - CNRS, Bat 505, 91405 Orsay cedex,  
<http://www.lac.u-psud.fr>

<sup>3</sup> LIMSI-CNRS, BP 133, 91403 Orsay cedex,  
<http://www.limsi.fr>

[coudevyll@wanadoo.fr](mailto:coudevyll@wanadoo.fr), [rene.farcy@lac.u-psud.fr](mailto:rene.farcy@lac.u-psud.fr), [yacine.bellik@limsi.fr](mailto:yacine.bellik@limsi.fr)

**Résumé** – Dans le métro, un dispositif de localisation autonome ne peut reposer que sur des capteurs inertiels : accéléromètres, gyroscopes. Nous étudions dans cet article la faisabilité d'un tel dispositif. Nous analysons les signatures accélérométriques de quelques stations, les sources de perturbations, les biais possibles. Nous discutons ensuite de l'éventuelle utilité d'un tel dispositif dans le cadre de l'aide aux déplacements des non-voyants.

**Mots clés** : handicap visuel, positionnement inertiel, accélérométrie.

## 1. INTRODUCTION

On parle depuis des années voir maintenant depuis plus d'une décennie de l'utilisation du GPS pour l'aide à la navigation des déficients visuels. Quelques dispositifs existent sur le marché, très peu d'information a filtré sur ce qu'en faisait effectivement au quotidien les utilisateurs non-voyants pionniers [1], [2], [3]. Il est clair que l'un des obstacles importants est le peu de disponibilité du signal GPS dans le cadre de la navigation piétonne. Le signal se perd près des bâtiments, n'est pas du tout disponible dans les intérieurs et les sous-sols (métro), passe mal à l'intérieur d'un bus (un GPS individuel ne peut avoir une antenne externe sur le toit du bus) etc. Nous allons étudier les moyens possibles pour prolonger une information GPS de manière inertielle dans un contexte particulièrement simple : celui de l'identification des stations du réseau métropolitain. L'information GPS n'est pas présente, tout recours à l'information d'une boussole est exclu, dans la mesure où le champ magnétique généré par les lignes d'alimentations des rames est plus fort que le champ terrestre à proximité des voies. Nous allons donc explorer la voie purement inertielle. Par contre le contexte du déplacement est particulièrement bien défini, puisque le passage se fait toujours exactement aux mêmes endroits (sur les rails) avec des conditions de vitesses très reproductibles, ce qui fait la simplicité de ce cas.

## 2. SIGNATURE INERTIELLE DE STATIONS

### A. Relevés expérimentaux sans les perturbations

Nous sommes placés sur la partie aérienne du RER B entre Le Guichet et Saint Rémy les Chevreuses pour une première raison de proximité au laboratoire, mais aussi pour pouvoir ultérieurement, sur cet exemple, mesurer les écarts à titre de validation avec le signal GPS.

Nous avons placé deux accéléromètres horizontalement, l'un dans le sens de la marche, l'autre perpendiculaire au centre de la marche. Le relevé est obtenu sur la figure 1. Afin de séparer les signaux parasites des signatures accélérométriques des stations, nous effectuons le trajet retour représenté à la figure 2.

Pour localiser les stations, le temps écoulé entre deux stations n'est pas une donnée fiable, le RER peut s'arrêter entre deux stations ou fortement ralentir. On observe dans le sens du déplacement une structure reproductible entre deux stations. Prenons par exemple la figure 2 entre Gif et Hacquinière l'accélération à sa structure type : Le plat (niveau 175 environ) représentant la phase d'arrêt, le démarrage se traduisant par la pente positive, la phase d'accélération se traduisant par un plat de niveau plus élevé (niveau 210 sur la figure 2), la partie à vitesse constante se traduisant par un nouveau plat de niveau 175, puis le début du freinage se traduisant par une pente brutale négative, la phase de freinage en dessous du niveau 150 que l'on observe plus chaotique (le freinage est moins régulier que l'accélération), puis la secousse d'arrêt qui est la remontée brutale de l'accélération au niveau 175 représentant le « zéro ».

Concernant le « zéro » on observe deux aberrations sur la figure 1 pour les stations Le Guichet et Orsay, le « zéro » est à un niveau plus élevé que pour les autres stations. Ceci est dû au fait que l'horizontalité du capteur dans le sens de la marche a été légèrement perturbée pendant cette phase du trajet. Le décalage est l'effet de l'accélération de la pesanteur projetée sur la composante non parfaitement horizontale de l'axe du capteur. Dans le cadre d'un système accélérométrique pouvant être positionné n'importe comment pour une utilisation quotidienne, le dispositif trois axes s'avère donc

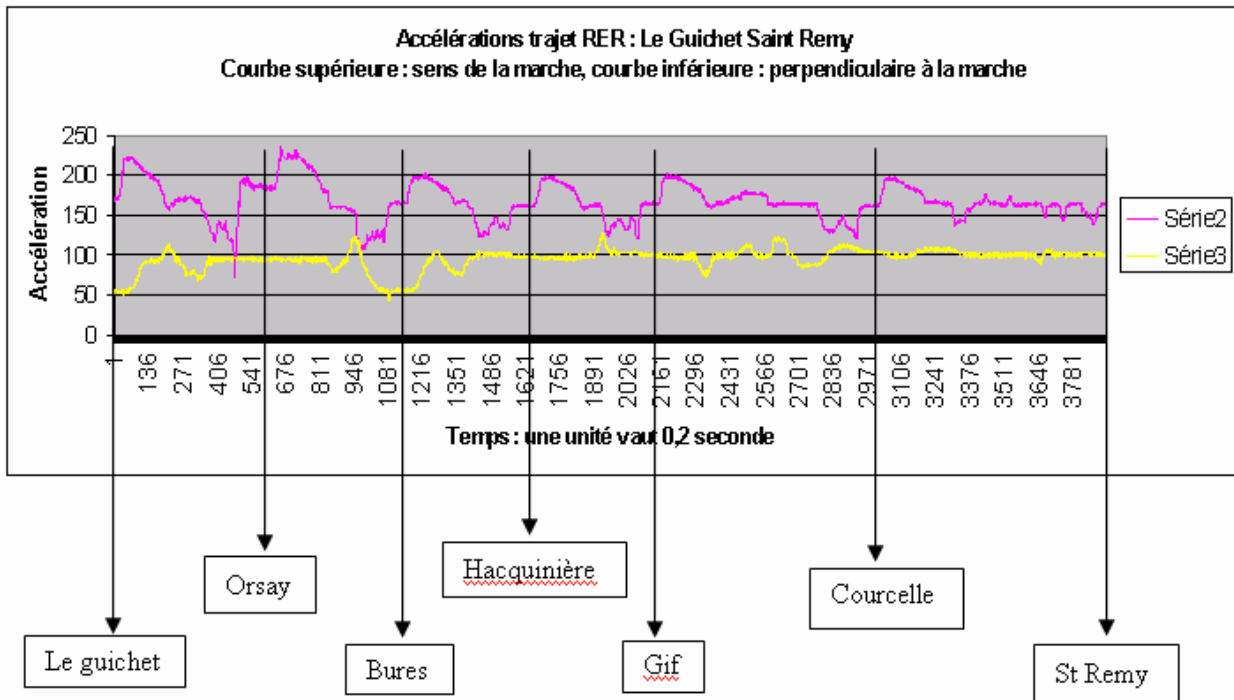


Fig.1. Relevé accélérométrique d'un trajet de six stations.

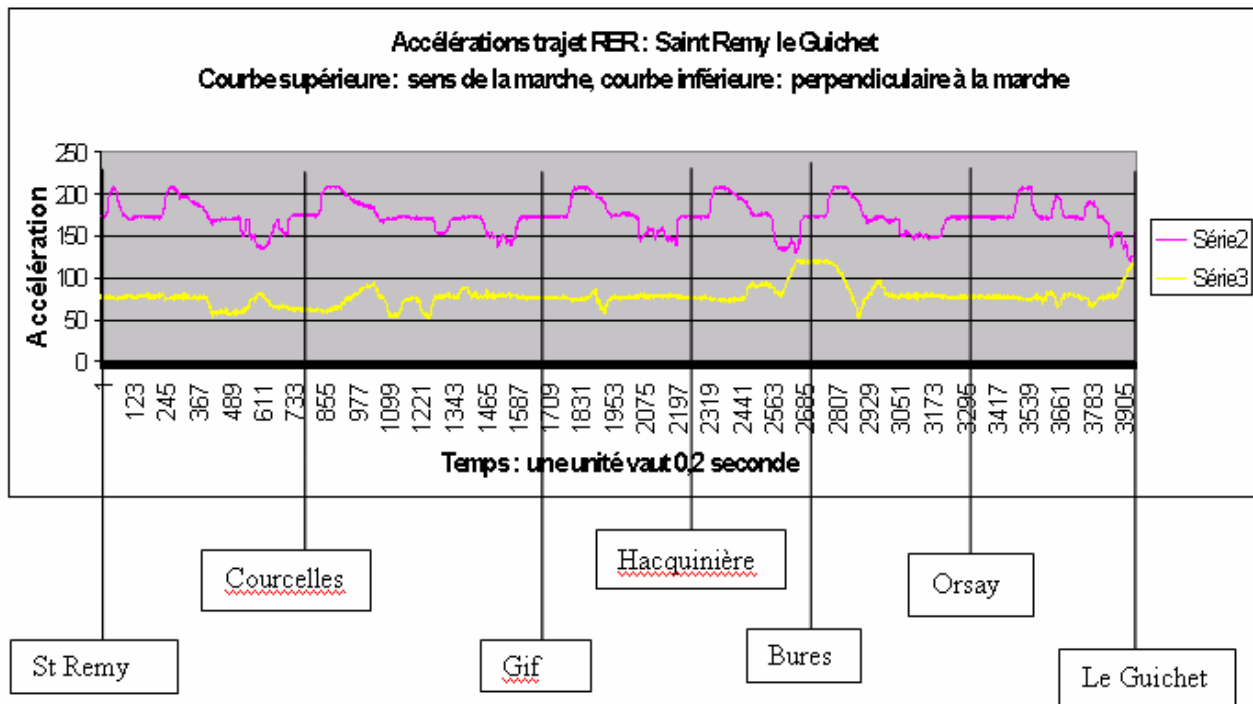


Fig.2. Relevé accélérométrique d'un trajet de six stations au retour.

incontournable. On détermine la verticale grâce à l'accélération de la pesanteur, le sens de la marche grâce au front montant de démarrage, on effectue ensuite les projections vectorielles nécessaires pour retrouver l'équivalent des courbes représentées.

Entre Courcelles et Gif, deux stations éloignées on observe dans le sens Courcelles – Gif sur la figure 2 un pseudo freinage moins fort qu'un freinage d'arrêt et moins « chahuté ». Dans le sens Gif – Courcelles sur la figure 1 on observe une pseudo accélération, moins forte que l'accélération de démarrage.

Cette structure reproductible des accélérations permet de reconnaître la phase d'arrêt sans ambiguïté. On peut donc remonter à une évaluation de la distance entre deux stations. En effet, la phase d'arrêt est un point de vitesse nulle et de position connue (celui de la station), on a donc le point origine et la vitesse origine permettant de remonter à la distance par double intégration par rapport au temps de l'accélération.

Nous observons également les stations courbes, c'est à dire se situant dans un virage : il s'agit des stations du Guichet et de Bures. En effet sur les figures 1 et 2, l'accélération perpendiculaire à l'axe est non nulle pour ces deux stations : il ne s'agit pas d'un effet des forces centrifuges, puisque l'on est à vitesse très faible ou à l'arrêt, mais de l'inclinaison des rails, produisant un effet dû à l'accélération de la pesanteur. On observe d'ailleurs que cet effet est de sens contraire entre l'aller et le retour ce qui est normal, l'inclinaison relativement au sens de déplacement a changé de sens.

Nous observons également des tournants entre les stations (il est difficile ici de séparer les forces centrifuges de l'inclinaison des rails). Par exemple entre Gif et Hacquinière, un pic négatif dans le sens Gif-Hacquinière sur la figure 2 et positif dans le sens Hacquinière-Gif sur la figure 1. Les deux pics n'ont pas tout à fait la même allure, ils ne sont pas pris dans la même phase d'accélération, ce qui modifie les forces centrifuges. Sur la figure 1 il arrive en début de décélération, l'horizontalité du capteur a pu être secouée. Entre Orsay et Bures, juste avant Bures on observe bien une structure reproductible de signe contraire entre l'aller et le retour, traduisant un changement de courbure du trajet. De même entre chaque station, on trouve des signatures reproductibles sur l'accélération perpendiculaire au sens de la marche.

En résumé dans le cadre d'accéléromètres soigneusement posés sur la banquette du RER on trouve dans le sens de la marche une signature type des phases de démarrage et d'arrêt, discernable des pseudo freinages ou des reprises d'accélération. On peut grâce à cela remonter à la distance entre les stations. L'accélération perpendiculaire au sens de la marche permet de retrouver les virages du parcours, signature des trajets inter stations. Ces résultats ne prennent pas en compte le fait que le dispositif est placé dans la poche ou le sac d'une personne se déplaçant éventuellement dans la rame entre les stations, se levant, s'asseyant ou pire étant debout en situation d'équilibre précaire. Nous allons voir les perturbations que cela peut engendrer sur le signal et les moyens pour remonter à la source de l'information.

### *B. Relevés expérimentaux des perturbations*

Elles sont de plusieurs ordres : déplacement de la personne dans la rame, retournement de la personne, passage de position assis à debout, perte d'équilibre en position debout etc. Voyons séparément le type de signaux engendrés. Pour la marche (figure 3) les

constantes de temps sont de l'ordre de la seconde, voir moins pour un cycle complet, alors que les signatures accélérométriques pour la rame sont de plusieurs secondes (voir figures 1 et 2). Il est donc possible de moyenniser les perturbations et de s'en affranchir. Il en est de même pour le passage en position assis (figure 4), les pertes d'équilibres peuvent se faire sur des constantes de temps plus longues et peuvent avoir des formes très diverses (figure 5). Ces événements sont à priori de constante de temps plus courte et filtrables, mais même filtrés ils peuvent intervenir en chahutant par exemple une décélération provisoire en la rendant ressemblante à un arrêt. De plus ils sont susceptibles de changer l'orientation du dispositif (supposé trois axes), qui va devoir recalculer la position de la verticale (gravité) ainsi que le sens de la marche.

Les rotations de la personne sont des événements gênants pour les calculs, un demi tour change le signe de l'accélération dans le sens de la marche. Une rotation lente, d'amplitude assez faible étalée sur plusieurs secondes peut avoir des effets pernicieux et faire croire à de fausses accélérations ou décélération. On a, à ce moment, aucun moyen de détecter la composante d'axe vertical de cette rotation par les accéléromètres (pas de changement par rapport à l'accélération de la pesanteur, amplitude induisant une confusion avec un comportement possible de la rame). La solution peut consister à adjoindre un gyroscope, quoique les petits gyroscopes piézoélectriques bas coût ne sont pas très performants pour la mesure des rotations lentes.

## 3. CONCLUSION

Compter les stations de métro est une opération faite par tous les déficients visuels se déplaçant de manière autonome. Elle ne présente pas de difficultés particulières dans la mesure où la personne est bien informée et non distraite. Il n'est pas toujours obligatoire d'avoir à compter les stations, il existe parfois des astuces, par exemple le passage de l'aérien au souterrain est auditivement facile à reconnaître à la résonance, la station Saint Michel sur le RER B à ses portes qui s'ouvrent de l'autre côté, on commence à compter seulement à partir de cette station etc.

Cette étude préliminaire montre que réaliser un système d'un haut degré de fiabilité va s'avérer être une opération complexe demandant un programme lourd et un travail de relevé accélérométrique individuel de chaque station. En effet ce n'est qu'avec un accéléromètre trois axes, par recoupement des signatures des stations, faisant intervenir l'intégration de l'accélération pour accéder à la distance, le recalcul permanent de la position du dispositif par rapport à la verticale, ainsi qu'une aide éventuelle au décodage des rotations par un gyroscope additionnel, une mémoire suffisamment profonde pour retrouver une position après une période d'erreur... que l'on peut espérer parvenir à un dispositif satisfaisant. Dans tous les

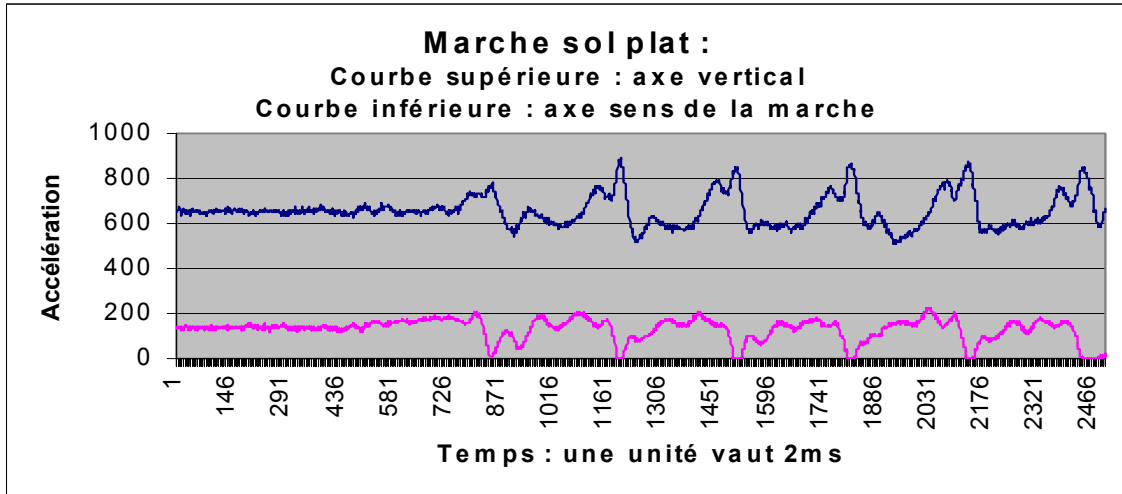


Fig.3. Relevé accélérométrique d'une situation de marche.

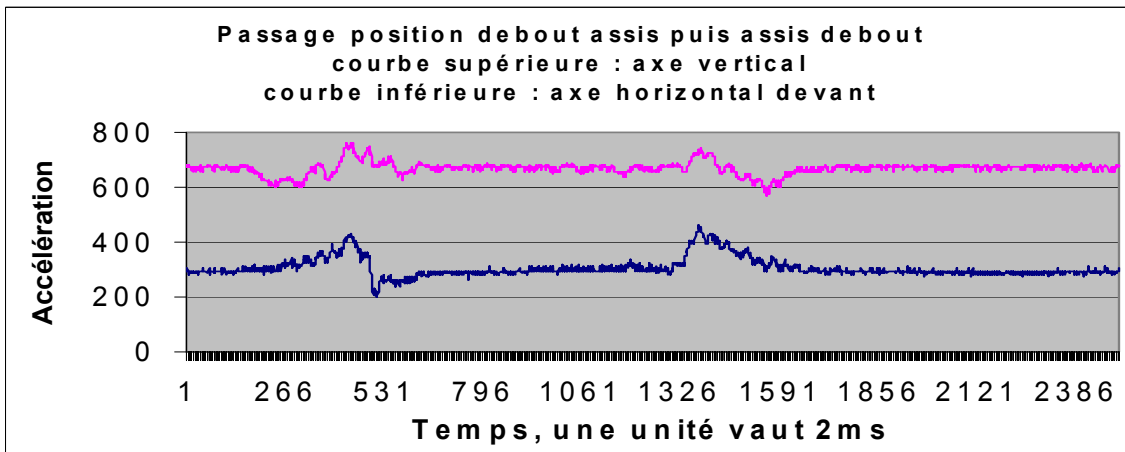


Fig.4. Relevé accélérométrique du passage position assis – debout.

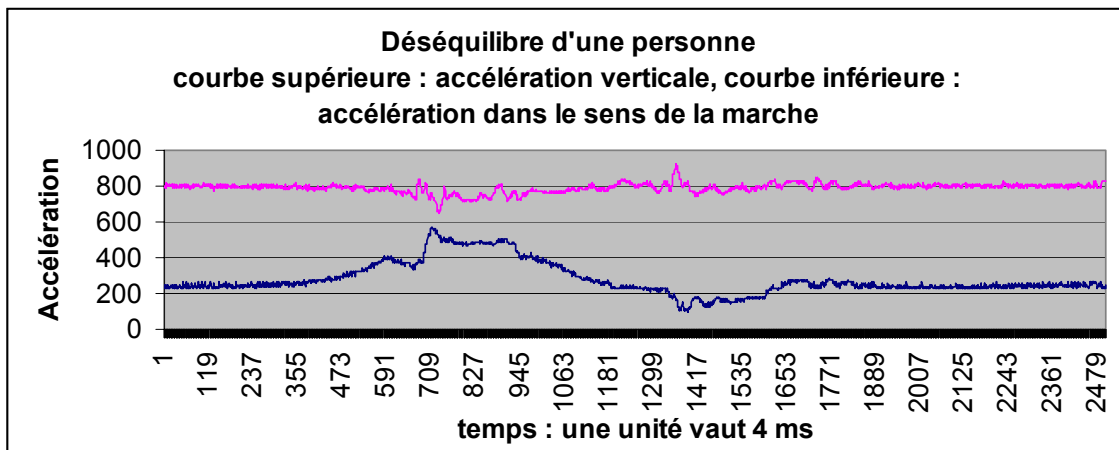


Fig.5. Relevé accélérométrique d'une perte d'équilibre.

cas, un tel dispositif ne permettra pas de savoir ou s'arrête le RER dans les cas de destinations multiples, mais ne devrait pas être gêné par l'absence d'arrêts à certaines stations.

Il apparaît que tenter un dispositif bas coût (accéléromètres plus microcontrôleur) ayant cette fonctionnalité est illusoire, le traitement de signal est trop lourd. Un dispositif plus cher et réellement fonctionnel ne rendra vraisemblablement pas un service suffisant pour justifier son coût et sa mise en œuvre. Nous sommes donc en face du dilemme, faire un dispositif inertiel, même pour une configuration aussi simple que reconnaître les stations de métro, est complexe et long en développement. Il est probable que sa réalisation en y mettant les moyens soit possible, par contre pour se justifier le système doit aller au delà de cette fonction et donc affronter des situations bien plus difficiles. Si le prolongement inertiel du GPS n'a pas encore été réalisé de manière convaincante dans le cadre de la navigation piétonne, c'est pour de réelles difficultés techniques.

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

[1] Brusnighan D.A., Strauss M.G., Floyd J.M., Wheeler B.C. (1989), *Orientation aid implementing the global positioning system*, Proceeding of the 15<sup>th</sup> annual northeast bioengineering conference, p 33-34, Boston IEEE.

[2] [http://www.visuaide.com/press\\_rel\\_trekker\\_fra.html](http://www.visuaide.com/press_rel_trekker_fra.html)

[3] Loomis J.M., Golledge R.G., Klatsky R.L. (1998), *Navigation system for the blind : Auditory display modes and guidance*, Presence : Teleoperators and Virtual environment, 7, 197-203.