

# Validité d'une centrale inertielle pour la mesure de signaux vibratoires durant une activité de course à pied.

T. PROVOT<sup>a</sup>, F. BOLAERS<sup>b</sup>, G. VITRY<sup>a</sup>, X. CHIEMENTIN<sup>b</sup>

a. neXXtep technologies, 51100 Reims France : thomas.provot@etudiant.univ-reims.fr

b. GRESPI, Université de Reims Champagne-Ardenne, 51687 Reims Cedex 2, France

## Résumé :

*L'Homme est régulièrement soumis à des vibrations extérieures : dans le monde du travail, comme dans la vie de tous les jours. L'impact de ces vibrations sur la santé, mais aussi sur la performance, est aujourd'hui un sujet très préoccupant. Cependant, la notion de mesure de la vibration n'est pas toujours maîtrisée lors de certaines activités qui présentent des contraintes particulières. Cette étude se concentre sur la mesure de la réponse dynamique du corps humain durant une activité de course à pied.*

## Abstract :

*Man is regularly subjected to external vibrations: in the working world, as in everyday life. The impact of these vibrations on health, but also on the performance, is today a matter of great concern. However, the concept of measuring the vibration is not always mastered during some activities that have particular constraints. This study focuses on the measurement of the dynamic response of the human body during running.*

**Mots clefs : Exposition aux vibrations, Instrumentation, Centrale inertielle**

## 1 Introduction

Le domaine du sport s'intéresse fortement à l'amélioration de la performance du sportif ainsi qu'à la diminution du risque de blessure des athlètes. Cette étude passe par l'analyse fine des sollicitations imposées au cours d'une activité sportive. L'analyse unique de la cinématique du corps n'est pas suffisante, il est nécessaire de la coupler avec la mesure de la dynamique [1], [2]. Cependant les contraintes technologiques actuelles rendent difficile la mesure de la cinématique et de la dynamique, de manière couplée, dans des conditions réelles et sans surcharger le sportif de capteurs, câble, ou système d'acquisition de données [3], [4]. La mesure de la cinématique sur terrain, et notamment en course à pied, est souvent menée à l'aide de centrales inertielles portables équipées d'accéléromètres type MEMS (Microelectromechanical systems) [5], [6] [7]. Celles-ci présentent l'avantage d'être petites, sans fils, autonomes en mémoire et en énergie. De plus certaines de ces centrales proposent

des fréquences d'échantillonnages élevées ce qui ouvre la discussion sur la possibilité de mener une étude dynamique parallèlement à l'étude cinématique. Le but de cette étude est donc de valider l'utilisation d'une centrale inertielle à fréquence d'échantillonnage élevée pour la mesure de signaux vibratoires durant une activité de course à pied. L'étude est menée sur deux fréquences d'échantillonnages différentes de la centrale, et la validation est pratiquée au travers la comparaison avec un capteur accélérométrique industriel de référence défini comme gold standard.

## 2 Matériel & Méthode

### 2.1 Sujet & équipement

Un sujet fut recruté pour ce test (homme, 33ans, 60km hebdomadaire, équipé de ses chaussures de course habituelles, sans blessure ni contre-indication). Le sujet fut équipé sur chaque jambe d'une centrale inertielle à accéléromètre triaxiaux (Hikob, système Fox, France) et d'un accéléromètre industriel triaxial calibré défini comme gold standard (Bruel&Kjaer, 4525B). Les centrales furent placées de manière sécurisée sur le corps au moyen de bandes élastiques auto-agrippantes et les références furent attachées sur la jambe à l'aide d'une bande collante double face. Les capteurs furent placés sur la peau, sur le tibia, au niveau du centre de gravité de la jambe, d'après les données anthropométriques décrites par Winter [8]. Les centrales équipées sur la jambe droite et gauche furent échantillonnées respectivement à 1344Hz (maximum admissible du système) et 400Hz. Afin de respecter les normes ISO 5349 [9] et ISO 2631 [10] pour l'évaluation de l'exposition aux vibrations, les capteurs de références furent échantillonnés à 2560Hz afin de mesurer une plage théorique de 0-1000Hz.

### 2.2 Protocoles

Après un échauffement de cinq minutes à 12km/h, le sujet réalisa 15 mesures randomisées sur un tapis de course qui furent divisées en deux études. Premièrement dix mesures à 12km/h furent utilisées pour un protocole de reproductibilité. La valeur efficace RMS (Root Mean Square) de l'accélération totale fut calculée pour chacune des dix mesures. La valeur moyenne, l'écart type ainsi que le coefficient de variation des capteurs furent déterminés pour juger la reproductibilité des centrales.

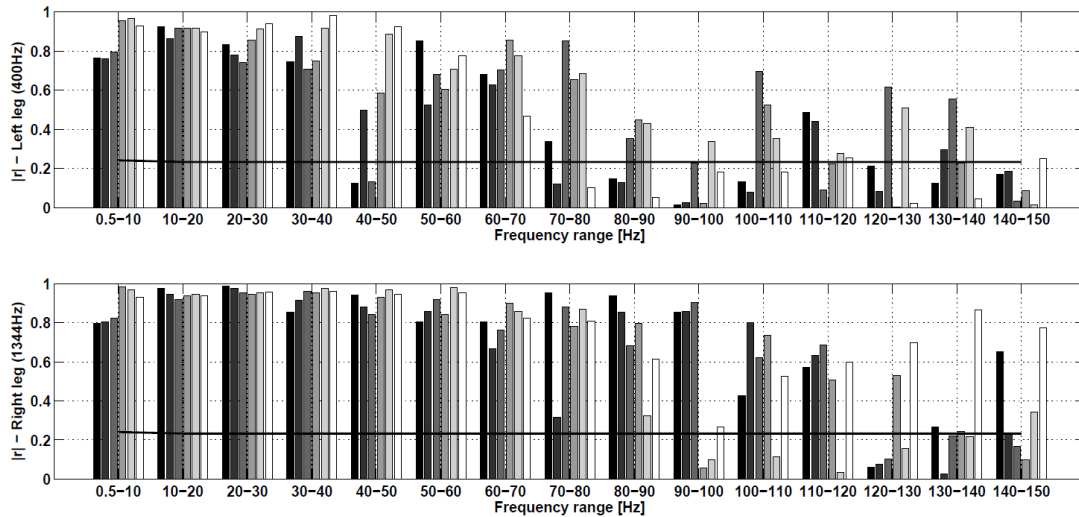
Puis six mesures à vitesses différentes (8-10-12-14-16-18km/h) ont permis d'étudier l'impact de la vitesse sur la réponse des centrales. Les signaux furent représentés dans le domaine spectral sur la bande 0.5-150Hz. Le coefficient de corrélation  $r$  fut calculé entre la centrale et sa référence pour des fenêtres glissantes de 10Hz sur toute la largeur du spectre. Un test de Bravais Pearson ( $p$ -value<0.05) fut effectué sur les valeurs de  $r$  déterminées afin d'observer l'existence de différences significatives entre la centrale et sa référence pour la bande de fréquence sélectionnée.

## 3 Résultats

Les résultats du protocole de reproductibilité montrent que l'accélération de la centrale échantillonnée à 1344Hz, en termes de valeur RMS, présente un coefficient de variation de 3% ( $26.65 \pm 0.69 \text{m/s}^2$ ) et de 2% ( $26.63 \pm 0.61 \text{m/s}^2$ ) pour la centrale échantillonnée à 400Hz. Ces deux valeurs sont similaires à celles observées pour les deux références.

Les résultats du protocole de l'impact des vitesses montrent que les premières gammes de fréquence sont bien corrélées entre les centrales et leurs références, il n'existe pas de différences significatives.

Cependant, passé un certain seuil (90Hz et 30Hz pour les centrales échantillonnées respectivement à 1344Hz et 400Hz), la corrélation nous montre des différences significatives (Figure 1). En revanche l'étude au cas par cas de chaque vitesse ne permet pas de conclure sur l'impact de la vitesse sur la réponse du capteur, même si ce paramètre influe sur l'amplitude des signaux et sur l'étalement du spectre.



*Figure 1*: Valeur absolue du coefficient de corrélation entre la centrale inertielle et sa référence pour chaque bande de fréquence. En haut pour la jambe gauche (associé à 400Hz), en bas la jambe droite (associée à 1344Hz). Les vitesses sont représentées par des couleurs du plus foncée (8km/h) au plus claire (18km/h). La ligne noire représente la valeur de  $r$  associée à une  $p$ -value=0.05.

### 3 Discussions

Les centrales inertielles Hikob Fox présentent une bonne reproductibilité en course à pied. De plus les centrales ne semblent pas impactées par la vitesse du coureur. Cependant les signaux de la centrale échantillonnée à 400Hz ne permettent pas de représenter un spectre complet de course à pied sans négliger une grosse partie de la résonance structurelle située au-delà de 30Hz. Cette fréquence d'échantillonnage peut néanmoins permettre d'étudier la cinématique qui est présente exclusivement dans une gamme de fréquence plus faible. La centrale échantillonnée à 1344Hz offre une gamme de mesure plus large qui représente une partie importante du spectre de course à pied. Si les centrales inertielles présentent des avantages pour la mesure d'activité sportive comme leur autonomie ou leur taille, celles-ci peuvent être limitées pour une représentation complète du spectre de course à pied. Cependant elles offrent la possibilité de mesurer de manière fiable la gamme de fréquence la plus représentative en énergie.

### Références

- [1] B. Friesenbichler, L. Stirling, P. Federolf, B. Nigg. Tissue vibration in prolonged running. *Journal of biomechanics*, 2011, 44(1):116\_20.
- [2] M. Giandolini, P. Gimenez, G. Millet, J-B Morin, P. Samozino. Consequences of an ultra-trail on impact and lower limb kinematics in male and female runners. *Footwear Science*, 2013, 5(sup1):S14\_S15.
- [3] X. Chiementin, M. Rigaut, S. Crequy, F. Bolaers, W. Bertucci. Hand-arm vibration in cycling. *Journal of Vibration and Control*, 2012, 19(16):2551\_2560.

- [4] F. Bonnardot, M. El Badaoui. Etude de la fatigue d'un coureur, de l'instrumentation à l'analyse vibratoire. 10ème Congrès Français d' Acoustique, 2010.
- [5] N. Horvais, M. Giandolini. Foot strike pattern during downhill trail running. *Footwear Science*, 2013, 5(sup1):S26\_S27.
- [6] J. Lee, K. Sutter, C. Askew, B. Burkett. Identifying symmetry in running gait using a single inertial sensor. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*, 2010, 13(5):559\_63.
- [7] M. Patterson, D. McGrath, B. Caulfeld. Using a tri-axial accelerometer to detect technique breakdown due to fatigue in distance runners: a preliminary perspective. In *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*, 2011, volume 2011, pages 6511\_4.
- [8] D. Winter. *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley edition, New-York, 1990.
- [9] ISO 5349: *Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to handtransmitted vibration*, 2002.
- [10] ISO 2631: *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration*, 1997.