

# Analyse modale opérationnelle du couple vélo-cycliste

M. DEMANY, S. CREQUY, X. CHIEMENTIN

GRESPI, Groupe de Recherche en Sciences pour l'Ingénieur  
51687 Reims Cedex 2

## Résumé :

*A l'heure actuelle, le confort du cycliste est devenu primordial, surtout quand on sait que certains cyclistes peuvent parfois passer plus de 6 heures sur leur vélo lors de certaines courses ou encore accumuler plus de 3000km lors de grands tours. Les travaux de Chiementin [1], estiment une durée limite d'exposition de 7 minutes avant d'engendrer des effets délétères sur route pavée.*

*L'objectif du travail est ici d'étudier le comportement dynamique du vélo, de manière à mettre en avant les différents paramètres qui peuvent éventuellement influencer le confort du cycliste. Cette étude du comportement dynamique s'est réalisée par la mise en place d'une analyse modale opérationnelle.*

**Mots clés : Analyse modale opérationnelle, cyclisme, comportement dynamique du vélo**

## 1 Introduction

L'analyse modale opérationnelle a pour avantage, par rapport à l'analyse modale expérimentale, le fait d'étudier le comportement dynamique de la structure dans des conditions réelles de motricité. Elle fut d'abord implémentée dans le cadre de l'étude du comportement dynamique de structures dans le domaine du génie civil, structures qui la plupart du temps sont difficilement excitables de manière expérimentale [3][4]. Dès lors, les propriétés dynamiques du système sont déterminées dans ses conditions réelles de fonctionnement. Les conditions limites ainsi que l'excitation ne doivent donc plus être reproduites de manière plus ou moins précise en laboratoire. Cependant, comme l'excitation est ici engendrée dans des conditions opérationnelles, elle est inconnue. Celle-ci est donc assimilée, de manière simple, à un signal aléatoire de type bruit blanc gaussien.

## 2 Protocole

Les différents essais (figure 1) se sont déroulés rue Nicolas Henriot, rue pavée à Reims. Ceux-ci se sont réalisés sur deux vélos de matériaux différents, à savoir un premier vélo avec un cadre en aluminium et un second avec un cadre en fibres de carbone. Pour chaque cadre deux vitesses, 10 et 20km/h, et deux sujets de masses différentes, 65 et 100kg, sont testés afin d'évaluer leur influence sur le comportement dynamique du vélo .



FIGURE 1 – Prise de mesure sur le vélo en aluminium.



FIGURE 2 – Matériel emporté par le cycliste lors des différents essais.

Du point de vue du matériel utilisé, le cycliste était équipé d'un sac à dos spécialement aménagé pour accueillir un analyseur portable OROS OR 35, une batterie d'alimentation et une tablette portable (figure 2) qui permettait, une fois reliée à l'analyseur, de procéder à l'acquisition des différentes mesures de signaux vibratoires via l'interface du logiciel dédié NVGATE. Les différents signaux étaient mesurés grâce à deux accéléromètres triaxiaux Bruël & Kjaer d'une sensibilité de 10mV/g. Un des deux accéléromètres était utilisé en tant que référence et est resté fixe tout au long des essais. Le second accéléromètre était quant à lui mobile et a parcouru l'ensemble du cadre des deux vélos, en 14 points de mesure différents pour le vélo cadre en aluminium et 13 points différents pour le vélo cadre en carbone. Notons aussi que de manière à valider les différents résultats obtenus, un test de répétabilité a été fait pour le vélo en carbone, à une vitesse de 10km/h avec le cycliste de 100kg. Ce dernier s'est révélé concluant étant donné que les résultats obtenus via ces trois prises de mesure aux paramètres identiques présentaient une erreur maximale de 7% .

### 3 Résultats

Les différents résultats obtenus après traitement des données sont présentés dans les tableaux 1 et 2 respectivement pour le vélo en aluminium et pour le vélo en fibres de carbone. Ceux-ci présentent pour chaque mode la fréquence propre correspondante ainsi que son degré d'amortissement :

|        | 65kg-10km/h | 65kg-20km/h | 100kg-10km/h | 100kg-20km/h |
|--------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Mode 1 | 8,3Hz/3,8%  | 11,9Hz/2,2% | 8,5Hz/5,8%   | 5,4Hz/0,0%   |
| Mode 2 | -           | -           | -            | 18,9Hz/2,2%  |
| Mode 3 | -           | -           | -            | 19,4Hz/1,8%  |
| Mode 4 | 20,2Hz/0,3% | 20,8Hz/4,0% | 24,4Hz/0,2%  | 22,3Hz/1,5%  |
| Mode 5 | -           | -           | -            | 26,9Hz/0,6%  |
| Mode 6 | 30,9Hz/1,8% | 28,2Hz/3,9% | 29,3Hz/3,1%  | 34,3Hz/3,2%  |
| Mode 7 | 51,5Hz/2,0% | 48,5Hz/4,2% | 53,5Hz/0,4%  | 55,4Hz/0,7%  |

TABLE 1 – Tableau des résultats pour le vélo en aluminium.

|         | 65kg-10km/h  | 65kg-20km/h  | 100kg-10km/h | 100kg/20km/h |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Mode 1  | 12,1Hz/3,7%  | -            | 9,3Hz/7,8%   | -            |
| Mode 2  | 15,7Hz/3,0%  | 14,7Hz/3,4%  | -            | -            |
| Mode 3  | -            | 22,5Hz/4,6%  | 19,8Hz/0,6%  | 21,3Hz/0,2%  |
| Mode 4  | 24,8Hz/2,5%  | 23,4Hz/11,5% | -            | -            |
| Mode 5  | -            | 27,3Hz/0,0%  | 29,5Hz/1,1%  | -            |
| Mode 6  | 31,1Hz/0,7%  | 31,3Hz/5,6%  | 31,8Hz/3,3%  | 33,9Hz/0,6%  |
| Mode 7  | 42,3Hz/0,4%  | 42,4Hz/0,2%  | 35,8Hz/5,8%  | -            |
| Mode 8  | 46,7Hz/4,8%  | -            | -            | -            |
| Mode 9  | 53,6Hz/0,9%  | 51,9Hz/1,2%  | 49,4Hz/2,5%  | 53,6Hz/1,7%  |
| Mode 10 | 60,2Hz/4,2%  | 57,9Hz/2,3%  | -            | 56,7Hz/0,1%  |
| Mode 11 | 61,0Hz/0,8%  | -            | 70,4Hz/1,2%  | -            |
| Mode 12 | 79,3Hz/2,4%  | 76,5Hz/1,4%  | -            | 74,5Hz/1,4%  |
| Mode 13 | 85,7Hz/3,0%  | 87,5Hz/0,1%  | -            | 87,2Hz/1,2%  |
| Mode 14 | 91,2Hz/0,9%  | -            | 89,5Hz/0,0%  | -            |
| Mode 15 | 122,0Hz/0,4% | -            | -            | -            |

TABLE 2 – Tableau des résultats pour le vélo en fibre de carbone.

## 4 Discussions

On peut constater que le vélo en fibres de carbone présente davantage de mode que le vélo avec un cadre en aluminium. De plus, les fréquences de résonance sont comprises pour la majorité dans l'intervalle 0-100Hz. Les deux paramètres que sont la vitesse et la masse du cycliste semblent également avoir une influence sur le comportement dynamique du vélo. En effet, on peut remarquer qu'à une vitesse plus élevée, les fréquences de résonance tendent à augmenter quelque peu, même si cela semble toutefois moins marqué pour le vélo en fibres de carbone. Cela peut éventuellement s'expliquer par une rigidité plus importante du système apportée par une contraction musculaire et une "crispation" plus élevée du cycliste aux vitesses plus hautes. Munera, 2015, note que l'activité musculaire du membre inférieur est plus élevée avec la fréquence et l'amplitude de sollicitation, donc avec la vitesse de sollicitation [2]. De plus, pour le cycliste plus lourd, les fréquences de résonance semblent également tendre vers des valeurs plus élevées.

## 5 Conclusion

Enfin, ces différents résultats obtenus par la mise en place de l'analyse modale opérationnelle nous prouvent que celle-ci peut être tout-à-fait adaptée dans le cadre de l'étude du comportement dynamique d'un vélo. Il est à noter également que seules la vitesse et la masse du cycliste ont été modifiées dans le cadre de cette étude. Cependant, de nombreux paramètres supplémentaires sont susceptibles de modifier le comportement dynamique du système vélo-cycliste. Citons entre autre la pression des pneus, la position du cycliste sur sa machine, la géométrie du vélo, le revêtement sur lequel roule le cycliste... De nombreuses pistes supplémentaires pourraient encore être exploitées dans le but d'optimiser par la suite la perception qu'a le cycliste sur sa machine.

## Références

- [1] X. Chimentin, M. Rigaut, S. Crequy, F. Bolaers, W. Bertucci, Hand-arm vibration in cycling, *Journal of Vibration and Control*, 19(16), 2551 - 2560, 2013.
- [2] M. Munera, X. Chimentin, S. Duc and W. Bertucci ; Physiological and dynamic response to vibration in cycling : a feasibility study, *Mechanics & Industry*, accepté, avril 2015.
- [3] C. Rainieri, G. Fabbrocino, *Operational Modal Analysis of Civil Engineering Structures, An Introduction and Guide for Applications*, Springer, 2014.
- [4] W-H. Hu, *Operational Modal Analysis and Continuous Dynamic Monitoring of Footbridges*, Thesis of Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2012.