



HAL
open science

Étude du comportement vibratoire d'un vélo grand public

Jarir Mahfoudh, Lionel Manin, Anne-Claire Charlot

► **To cite this version:**

Jarir Mahfoudh, Lionel Manin, Anne-Claire Charlot. Étude du comportement vibratoire d'un vélo grand public. 17e Congrès Français de Mécanique, Aug 2005, Troyes, France. hal-04262450

HAL Id: hal-04262450

<https://hal.science/hal-04262450>

Submitted on 27 Oct 2023

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.

ETUDE DU COMPORTEMENT VIBRATOIRE D'UN VELO GRAND PUBLIC

Jarir MAHFOUDH*, Lionel MANIN* & Anne-Claire CHARLOT**

** Maître de Conférences, LDMS INSA de Lyon
Bâtiment Jean d'Alembert - 8 rue des sciences - 69621 Villeurbanne cedex - France*

*** Ingénieur produit vélo loisir Décathlon Cycle
4, Bld de Mons, BP 299, 59665 Villeneuve d'Ascq*

Résumé :

Le vélo est une structure soumise à des sollicitations dynamiques variées qui peuvent provoquer un inconfort lors de l'utilisation. L'objectif de l'étude est de connaître les vibrations en usage sur un vélo et proposer des pistes d'optimisation de la conception permettant de les réduire, voir les supprimer.

Le travail comporte deux aspects; l'un expérimental où la structure a été étudiée en laboratoire afin d'identifier les modes vibratoires les plus énergétiques; et l'autre numérique où le comportement vibratoire d'un prototype proposé a été comparé et évalué par rapport à la structure d'origine.

Abstract :

The bicycle is a structure subjected to varied dynamic stresses that can lead to discomfort. The objective of this study is to characterize the vibrations while riding a bicycle and to propose possible solutions for the design optimization in order to reduce (with the goal of removing) it.

The work is composed of two parts; one experimental where the structure was studied under laboratory conditions in order to identify the most energetic vibration modes; and the other numerical, where the dynamic behavior of proposed prototype was compared and assessed with respect to the original structure.

Mots clefs :

Dynamique des Structures ; Expérimentations ; Calculs ; Vélo.

1 Introduction

Décathlon Cycle affiche une volonté de favoriser l'innovation et ceci par des programme de recherche et de développement touchants plusieurs domaines: le Marketing, le Design, la Qualité, la Conception Mécanique, La collaboration avec le Laboratoire de Dynamique des Machines et des Structures concerne plus particulièrement ce dernier point, dont le but est de mettre en place une méthodologie d'optimisation de la conception. Afin d'atteindre cet objectif, il est nécessaire en premier lieu de définir:

- des critères objectifs d'évaluation du comportement d'un vélo basée sur les normes (ISO 2631-1, -2, DIS 5349-1),

- les fonctions principales qu'un vélo doit remplir afin de satisfaire les attentes des utilisateurs. Ces attentes, en terme d'usages, doivent être traduites en termes techniques avec des grandeurs physiques mesurables,
- les composants qui interviennent dans la réalisation de ces fonctions. Une fois ces composants et leurs interactions identifiés, une démarche d'optimisation de la conception, voire de re-conception, est appliquée.

Plusieurs travaux, en interne, ont été déjà réalisés [1, 2, 3] ce qui a permis de définir un certain nombre de fonctionnalités comme l'adaptabilité à l'utilisateur, la stabilité, la maniabilité, le confort d'assise et de préhension du grip, l'absorption des chocs et des vibrations, ... Dans cet article nous nous intéressons uniquement à la fonction "absorption des chocs et des vibrations". Plusieurs composants interviennent dans cette fonction : roues, pneus, fourche, cadre, ... Dans cette étude on s'intéresse à l'ensemble cadre, fourche et guidon (cintre + potence), car ce sont les composants de base conçus et réalisés par Décathlon Cycle.

2 Position du Problème

Plusieurs travaux ont été réalisés afin de caractériser le comportement vibratoire de différents types de vélos avec différents types de matériaux et des conditions de tests [4, 5, 6]. Ces études ont montré l'existence de différents modes dans la gamme de fréquences jusqu'à 300 Hz, ces modes sont soit verticaux (dans le plan du vélo) soit latéraux. Les auteurs attribuent l'inconfort (constaté par les utilisateurs) aux modes verticaux. Ces fréquences et modes changent en fonction des conditions des tests (Libre-libre, Appuyé-appuyé ou en utilisation sur route).

Toute structure possède un certain nombre de fréquences et modes propres, sous sollicitations aléatoires (type en utilisation sur route ou excitation par un bruit blanc) la réponse dynamique est une combinaison de ces modes, et il est à noter que les modes de basses fréquences sont les modes dominants [7].

L'objectif de notre étude est d'optimiser la conception du cadre d'un vélo grand public afin d'augmenter le confort d'utilisation. Nous nous intéressons ainsi aux modes verticaux (responsables d'inconfort) dans une gamme de fréquences allant jusqu'à 200 Hz, au-delà les modes sont très peu énergétiques. Nous estimons que l'inconfort, bien qu'il soit une sensation donc un jugement subjectif, peut être caractérisé par l'amplitude de vibration mesurée aux fréquences des modes dominants. Nous avons choisi de ne pas travailler sur les modes en utilisation pour différentes raisons : la difficulté de reproduire les mêmes conditions de sollicitations, le bruit de mesure, le coût ainsi que la difficulté de reproduire ces test numériquement. Une diminution des amplitudes des accélérations pour les modes considérés, même en libre – libre, va se traduire par une diminution des amplitudes en utilisation et par conséquent va avoir de l'effet sur le confort. L'étude comprend plusieurs étapes, dans un premier temps le comportement dynamique d'un vélo (B'Twin) a été caractérisé expérimentalement en laboratoire, l'objectif est de fournir les données nécessaires afin de recalibrer le modèle numérique, ensuite et à partir de ce modèle, un prototype permettant d'optimiser le comportement dynamique est proposé.

3 Etude Expérimentale

Afin de s'affranchir des contraintes dues aux conditions aux limites, le vélo a été étudié en mode Libre – Libre. Le vélo a été suspendu par des élastiques dont la raideur est très faible, les fréquences propres des modes rigides étaient inférieures à 10 Hz. La structure a été excitée en utilisant un pot électromagnétique, un balayage harmonique a été appliqué, le pot d'excitation a été également suspendu afin d'éviter l'effet de masse ajoutée. Nous avons analysé la fonction de transfert (accélération / force). La force a été mesurée par un capteur placé entre le pot d'excitation et le pushrod, le placement a été choisi de sorte à exciter tous les modes considérés (Figure 1). Des accéléromètres piézoélectriques ont été placés en différents point de la structure afin d'identifier les modes étudiés. L'emplacement, de l'excitation et des points de mesures, a été choisi de sorte à éviter les lignes nodales de la structure.

Le système LMS a été utilisé à la fois pour le pilotage de l'excitation ainsi que pour le traitement et l'analyse des mesures. Plusieurs tests ont été effectués afin de s'assurer de la répétitivité des mesures.

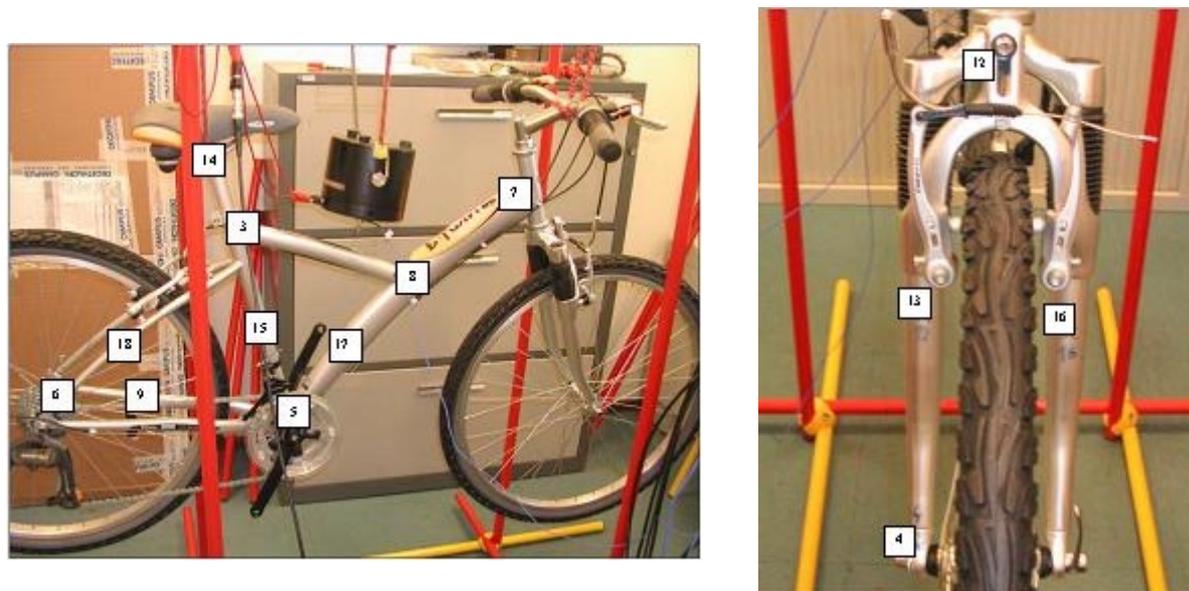


FIG. 1 – Emplacement de point d'excitation et des points de mesures

Trois modes verticaux ont été observées: 27 Hz, 90 Hz, 140 Hz. Les deux premiers modes correspondent à un déplacement important au niveau de l'avant du vélo, quant au troisième mode il correspond à des déplacements importants au niveau du guidon, ces résultats sont cohérents avec la bibliographie (Fig. 2).

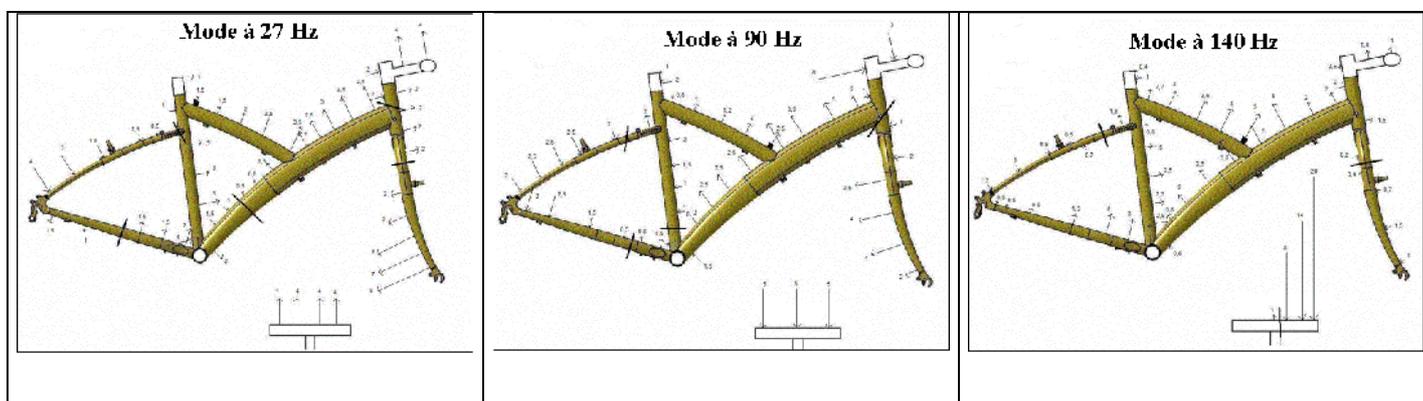


FIG. 2 – Modes propres du vélo en Libre - Libre

Sachant que l'inconfort est induit par les liaisons entre l'utilisateur et le vélo, on peut en isoler trois : les pédales, la selle et le guidon. Les précédentes études ont montré que la liaison pieds – pédales a très peu d'influence. Les vibrations au niveau de l'assise peuvent être efficacement isolées soit par l'utilisation de tiges de selle suspendues soit par l'introduction de matériaux viscoélastiques dans la selle. Les sources d'inconfort au niveau du guidon sont soit des vibrations de hautes fréquences, filtrées par des matériaux spéciaux des poignées, soit un débattement dû aux passages d'obstacles, absorbé par des fourches télescopiques, or les modes observés correspondent soit à un mouvement de l'ensemble de l'avant du vélo (dans le plan du vélo) soit à une déformation du guidon (battement d'ailes), nous estimons que ces déformations sont responsables de l'inconfort. Ces conclusions vont orienter les recherches dans l'étude numérique.

4 Etude Numérique

Une modélisation simplifiée du vélo a été réalisée en utilisant le solveur éléments finis du logiciel Catia V5. Des éléments tétraédriques à 3 Degrés De Libertés (ddl) par nœuds ont été utilisés pour le maillage, avec au total 145 000 ddl. Seuls le cadre, le guidon et la fourche ont été maillés, la selle, les roues, les grips et la chaîne ont été modélisés par des masses ajoutées indéformables. La forme des modes est "quasiment" identique, la différence entre les fréquences expérimentales et théoriques (tableau 1) est due à l'approximation de la géométrie et la modélisation de certaines pièces par des masses équivalentes (roues, poignées, ...). La liaison pivot entre la fourche et le cadre n'est pas prise en compte, ces deux derniers sont considérés comme une même pièce.

Expérimentation Fréquence en Hz	Calcul Fréquence en Hz
27	29
90	87
140	123

Table 1 – Fréquences des modes verticaux

Plusieurs pistes ont été explorées : modification des épaisseurs des tubes afin de rigidifier la structure, l'ajout de raidisseurs ou la modification de la forme du cadre, seule la modification de la forme a donné satisfaction. Nous présentons ici la forme retenue, cette forme doit à la fois, satisfaire des exigences mécaniques, esthétiques et de design (figure 3).



FIG. 3 – Géométrie du modèle proposé

Les modifications de l'avant du cadre et du guidon visent essentiellement à rigidifier l'ensemble (décaler les fréquences vers les hautes valeurs) et à diminuer les amplitudes d'accélération du guidon. Nous avons comparé les pourcentages d'augmentation des fréquences propres des modes considérés ainsi que les amplitudes maximales d'accélérations dans les deux cas (Tableau 2). Il est à noter que les valeurs d'amplitudes sont des valeurs normées et sans unité.

		Hz	Fourche	Guidon	Selle	Triangle arrière
Modèle initial	f1	29	660	170	15	190
	f2	87	120	1100	240	153
	f3	123	125	1660	45	60
Modèle proposé	f1	32	670	142	20	190
	f2	100	95	900	270	170
	f3	173	225	1600	130	92
% de variation	f1	10	2	-16	33	0
	f2	15	-21	-18	13	11
	f3	41	80	-4	189	53

Table 2 – Comparaison des caractéristiques entre les deux modèles

Le modèle proposé permet de rigidifier la structure, l'augmentation des fréquences des modes considérés est d'au moins 10%, et permet également de diminuer les amplitudes au niveau du guidon, ceci avec une augmentation total de 2.5 % pour le poids ce qui est acceptable. Bien que le pourcentage pour la selle soit important, les accélérations restent à un niveau acceptable.

Les zones de confort (ou d'inconfort) dépendent à la fois de la fréquence, de l'amplitude et de la durée d'utilisation. La norme DIS 5349.1 destinée aux grips, pour une durée d'utilisation d'une heure, est présentée en figure 4, d'où l'intérêt à la fois de faire glisser les valeurs des fréquences vers les hautes valeurs et de diminuer les amplitudes d'accélération. Il est à noter que les niveaux d'accélération maximale du B'twin existant se situent sur la courbe.

Un prototype a été fabriqué, un test de ressenti utilisateurs a été réalisé pour le moment. Une différence a été constatée, le nouveau prototype semble être plus confortable.

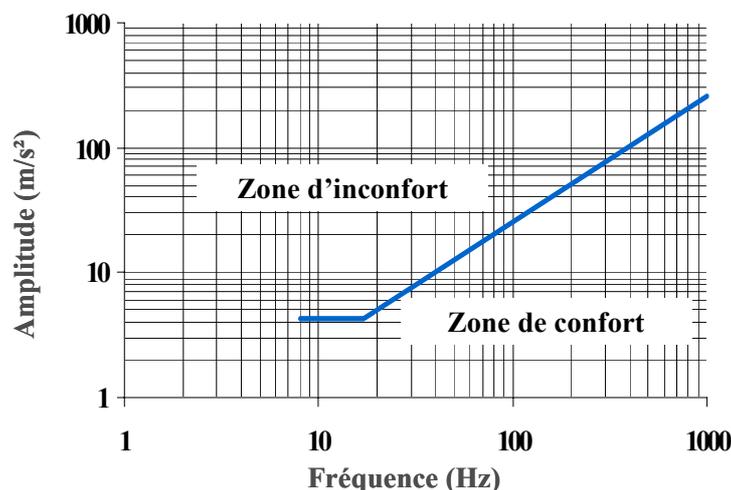


FIG. 4 – Normes DIS 5349.1

5 Conclusions

L'objectif de l'étude est de connaître les vibrations en usage sur un vélo grand public et de proposer des pistes d'optimisation de la conception permettant de les réduire. L'étude expérimentale en laboratoire a permis d'isoler et d'identifier les modes verticaux, responsables de l'inconfort. Les modes observés

correspondent soit à un mouvement de l'ensemble de l'avant du vélo (dans le plan du vélo) soit à une déformation du guidon (battement d'ailes), ces observations ont orienté le travail de l'étude numérique. La modélisation numérique a permis de comparer le comportement dynamique de différents prototypes par rapport à la structure initiale, le but étant de baisser d'une part le niveau vibratoire et de repousser plus haut les fréquences propres. Le modèle proposé permet de rigidifier la structure, l'augmentation des fréquences des modes considérés est d'au moins 10%, et permet également de diminuer les amplitudes au niveau du guidon (entre 4 et 18 %), ceci avec une augmentation total de 2.5 % pour le poids.

Un prototype basé sur le modèle choisi a été fabriqué, pour le moment, seul un test de ressenti utilisateurs a été réalisé. Une différence a été constatée, le nouveau prototype semble être plus confortable.

Remerciements

Plusieurs collègues, techniciens et étudiants ont participé à ce travail, les auteurs les remercient.

References

- [1] M. DANIEL, "Elaboration d'une batterie de tests standards d'évaluation de la maniabilité et de la stabilité du vélo", 2000, Rapport interne Décathlon.
- [2] A.C. CHARLOT, "Etude de la concurrence", 2001, Rapport interne Décathlon.
- [3] F. GOLLA, " Optimisation du confort de deux produits : Le roller de fitness et la selle de vélo de route", 2002, Rapport interne Décathlon.
- [4] T.Saito, Y.Chiba, "Vibration characteristics of driving bicycles/characteristics of road racer bicycles", The Engineering of Sport, 1998, pp. 541-548.
- [5] T.Saito, H.Tago, Y.Chiba, "Lateral vibration characteristics of road racer bicycles", 3rd International Conference on the Engineering of Sport, Sydney - Australia, 2000, pp. 513-520.
- [6] J. Thibault, Y. Champoux, "Rider influence on modal properties of bicycle frames", CANADIAN ACOUSTICS 0711-6659; 2000; VOL. 28; NO 3.
- [7] M. LALANNE, P.BERTHIER, J. DER HAGOPIAN, "Mechanical vibrations for Engineers", JOHN WILEY & SON, p.266.