

10iBike, un banc d'essai dédié à l'étude et l'analyse du crissement des freins à disque

10iBike, a testrig dedicated to the study and the analysis of disc brake squeal

David LENOIR ¹, Frédéric GILLOT ¹, Sébastien BESSET ¹, Lyes NECHAK ¹, Jean-Jacques SINOUE ¹²

¹ Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (LTDS), CNRS UMR 5513, École Centrale de Lyon – F – 69134 Écully, e-mail : david.lenoir@ec-lyon.fr, frederic.gillot@ec-lyon.fr, sebastien.besset@ec-lyon.fr, lyes.nechak@ec-lyon.fr

² Institut Universitaire de France (IUF), Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique – F – 75005 Paris, e-mail : jean-jacques.sinou@ec-lyon.fr

Mots clés : Crissement, frein à disque, vibration non-linéaire, banc d'essais, rayonnement acoustique.

Keywords : *Squeal, disc brake, nonlinear vibration, testrig, acoustic emission.*

Résumé du résumé

Cette communication présente le banc d'essais 10iBike qui a pour objectif l'étude et l'analyse vibro-acoustique du crissement d'un frein à disque. Après avoir précisé le contexte, les objectifs et les principales grandeurs dimensionnantes de ce banc, nous présenterons en détails sa conception ainsi que l'instrumentation vibro-acoustique que nous avons choisi de mettre en œuvre. Les premiers essais, actuellement en cours, ainsi que les premières analyses réalisées seront présentés à l'occasion de la session plénière de la conférence, les 15 et 17 novembre prochains.

1 Introduction

La problématique autour du thème « bruit, vibration et frottement » et plus spécifiquement du crissement de frein a fait l'objet de nombreuses études expérimentales et numériques ces dernières années [1-9]. Pour autant, la compréhension et la prédiction du comportement vibratoire et du bruit généré reste un problème ouvert. Le projet 10iBike se propose d'apporter une contribution expérimentale à la caractérisation et l'analyse du phénomène de crissement et à terme, de constituer une base de données expérimentales ouverte à toute la communauté travaillant sur cette problématique.

Pour cela nous avons décidé de retenir plus spécifiquement les systèmes de freinage par disque mis en œuvre par l'industrie du cycle, en particulier pour les pratiques dites « tout-terrain ». Ce choix est motivé par plusieurs raisons, la principale d'entre elle étant la bonne représentativité de ce type de système par rapport à ceux déployés dans l'industrie du transport, notamment automobile. Le faible coût et la facilité d'implantation de ces freins, sans contraintes technologiques importantes, ont également largement motivé notre choix.

2 Dimensionnement du banc 10iBike

Quelle que soit la marque et le modèle considéré, les freins à disque pour VTT sont très classiquement constitués d'un maître-cylindre, d'un étrier fixe non-flottant pourvu généralement de 2 à 4 pistons actionnant une paire de plaquettes et bien entendu, d'un disque.

Dans le cas de freins dédiés à la pratique du cross-country, on peut considérer la situation suivante comme étant dimensionnante : arrêter en 5s un ensemble roulant de 70kg évoluant à 60km/h, ce qui est satisfait par la plupart des constructeurs grâce à des freins à seulement deux pistons, des plaquettes d'environ 3cm² chacune et des disques de 160mm de diamètre. Moyennant quelques hypothèses simplificatrices, on peut alors déterminer les principales caractéristiques d'un frein à disque de ce type, à savoir :

- le couple de freinage moyen $Q = 40 \text{ N.m}$;
- la force normale de compression $F = 500 \text{ N}$;
- et la pression à l'interface disque/plaquettes $P = 16 \text{ kPa}$.

Ces grandeurs sont suffisantes pour spécifier en première approximation la motorisation à mettre en œuvre sur le banc afin de pouvoir réaliser des **essais dits de « maintien en vitesse »** qui consistent à équilibrer à tout instant le couple de freinage par le couple moteur afin de maintenir une vitesse de rotation constante. En revanche, elles ne suffisent pas tout à fait pour dimensionner le banc vis-à-vis des exigences d'un **essai dit « d'arrêt »** qui correspond à la situation dimensionnante décrite ci-dessus. Pour autant, un rapide calcul montre qu'il suffit que le banc soit capable d'emmagasiner 9,7kJ d'énergie cinétique pour que nous soyons en mesure de simuler en laboratoire cette situation.

3 Conception du banc 10iBike

Le banc 10iBike a été conçu dans le souci de s'intégrer facilement à un environnement de laboratoire banalisé, tout en étant capable de s'adapter rapidement aux différentes situations et configurations que nous souhaitons tester. Il est illustré par les photos ci-dessous.



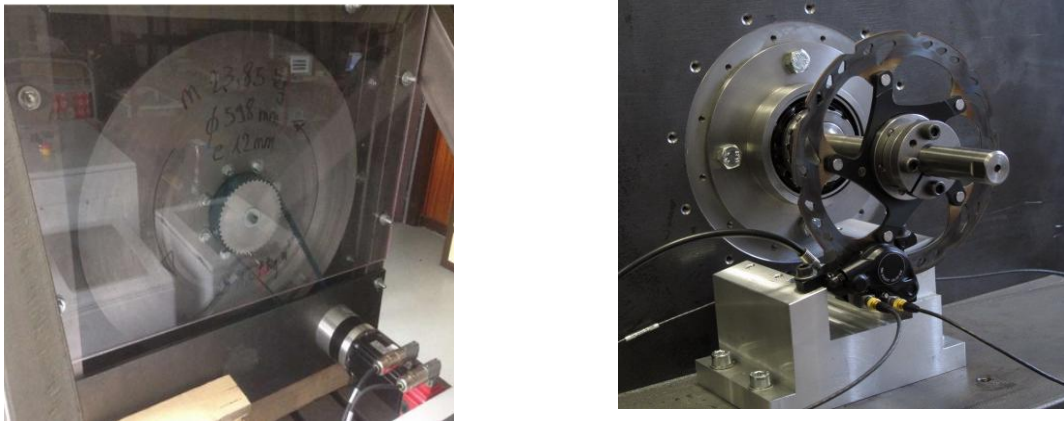


Fig. 1. Le banc 10iBike.

Il est constitué :

- d'une équerre métallique mécano-boulonnée
- qui supporte en son centre un axe monté sur roulements ;
- sur lequel sont fixés d'une part, le disque du frein et d'autre part, un volant d'inertie ;
- l'ensemble étant entraîné en rotation, grâce à un train de poulies/courroie crantées, par la motorisation du banc ;
- l'étrier étant quant à lui actionné par une pompe manuelle qui s'est substituée au maître-cylindre d'origine du frein à disque.

Une des difficultés rencontrées lors de la conception du banc concerne le volant d'inertie. En effet, en retenant une vitesse de rotation de 500t/min, il aurait dû être dimensionné de façon à embarquer une inertie de $7,8 \text{ kg.m}^2$, ce qui est beaucoup. Nous avons donc été amenés à revoir à la baisse cette composante du banc pour au final, retenir un volant d'inertie de $2,2 \text{ kg.m}^2$. Cette modification impacte principalement les essais d'arrêt et nécessitera la mise en œuvre pour ces essais, d'un asservissement spécifique de la motorisation tenant compte de la puissance instantanée dissipée par le frein.

4 Instrumentation vibro-acoustique du banc 10iBike

Afin de suivre au plus près le phénomène de crissement, nous avons choisi de mettre en œuvre l'instrumentation suivante :

- 2 capteurs accélérométriques tri-axe par plaquette, soit 4 capteurs tri-axe en tout ;
- 4 capteurs accélérométriques mono-axe de *monitoring* : 1 sur l'étrier de frein, 1 sur le support de l'étrier de frein et 2 sur l'équerre ;
- 10 microphones montés en antenne et placés à l'intérieur d'une enceinte anéchoïde entourant le système de freinage ;
- 1 laser de mesure de déplacement pour suivre spécifiquement les vibrations du disque ;
- et une caméra numérique rapide qui viendra filmer transversalement le contact disque/plaquettes.

L'ensemble de ces mesures sont échantillonnées par un système d'acquisition *National Instrument* à une cadence de 56200s/s. Les grandeurs de pilotage de l'essai – vitesse de rotation du disque, couple-moteur, pression de freinage et température des plaquettes – sont quant à elles échantillonnées à une cadence de 20s/s.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier les personnels techniques qui ont largement contribué au développement et à la réalisation du banc d'essai 10iBike : Stéphane LEMAHIEU (Technicien à l'ECL,

instrumentation), Sébastien LEONE (Technicien à l'ECL, motorisation) et Lionel CHARLES (Assistant-ingénieur à l'ECL, fabrication et assemblage).

Références

- [1] Étude des phénomènes de crissement pour les freins automobiles : Modélisation non-linéaire et conception robuste, Guillaume Fritz, thèse de l'École Centrale de Lyon, 2007.
- [2] Instabilité des structures en contact frottant : Application au crissement des freins à disque de TGV, Xavier Lorang, thèse de l'École Polytechnique, 2007.
- [3] Analyse non-linéaire des instabilités multiples aux interfaces frottantes : application au crissement de frein, Nicolas Coudeyras, thèse de l'École Centrale de Lyon, 2009.
- [4] Étude de l'incidence des comportements dissipatifs dans les instabilités vibratoires des systèmes de freinages, Franck Renaud, thèse de l'École Centrale de Paris, 2011.
- [5] Frequency and time simulation of squeal instabilities. Application to the design of industrial automotive brakes, Guillaume Vermot des Roches, thèse de l'École Centrale de Paris, 2011.
- [6] Influence de la variabilité des plaquettes de freins automobiles sur les instabilités de crissement, Arnaud Heussaf, thèse de l'Université de Valenciennes, 2012.
- [7] Étude numérique et expérimentale du crissement des systèmes de freinage ferroviaires, Andréa Loyer, thèse de l'École Centrale de Lyon, 2012.
- [8] Étude multi-échelle du crissement : dispositif expérimental et éléments de compréhension, Martin Duboc, thèse de l'Université de Lille 1, 2013.
- [9] Dynamique non linéaire et rayonnement acoustique de structures comportant des interfaces frottantes, Kévin Soobbarayen, thèse de l'École Centrale de Lyon, 2014.