

Étude du crissement d'un frein à disque ferroviaire

Réduction de modèle en dynamiques transitoire et stationnaire

A. Loyer^{1,2,3}, J.-J. Sinou², O. Chiello³,
X. Lorang¹

¹ SNCF, Direction de l'Innovation et de la Recherche, France, {andrea.loyer,xavier.lorang}@sncf.fr

² LTDS, École Centrale Lyon, France, jean-jacques.sinou@ec-lyon.fr

³ LTE, INRETS Bron, France, olivier.chiello@inrets.fr

Résumé — Ce travail s'intéresse à la simulation numérique du crissement des freins à disque dans le domaine ferroviaire. Le modèle retenu considère une déstabilisation du système par couplage de mode induite par le frottement entre le disque et la garniture. Une étude sur un modèle éléments finis simplifié d'un frein TGV permet de montrer différents comportements observables. Compte tenu des temps de calculs nécessaires pour obtenir une solution en temporel, la mise en place de technique de réduction est impérative. L'influence de la réduction sur les solutions obtenues est étudiée.

Mots clés — crissement, contact, frottement, instabilité.

1 Introduction

Le crissement des freins à disque est un phénomène complexe qui préoccupe de plus en plus les industriels tant dans l'automobile que le ferroviaire ou encore l'aéronautique. Ce phénomène a fait l'objet de nombreuses études, plus particulièrement dans les domaines automobiles et aéronautique et n'a fait que récemment l'objet d'études dans le domaine ferroviaire. Le bruit de crissement est intimement lié au frottement et peut être expliqué par deux types d'approches principales. La première se fonde sur des aspects tribologiques telles que des variations de coefficients de frottement [4]. La deuxième considère une déstabilisation de la structure par le couplage de mode induit par le frottement [5, 2]. C'est cette seconde explication qui est retenue dans cette étude. La description du contact frottant se limitera donc au contact Signorini-Coulomb à coefficient constant.

Afin de réduire les coûts de calculs liés à la simulation temporelle en dynamique non-linéaire, le calcul sur base réduite de la solution sera étudié. En particulier, cette étude s'intéresse à montrer les effets d'une telle réduction sur le comportement non-linéaire du système. Dans un travail précédent [3], Lorang a montré qu'une solution temporelle d'un système de frein TGV simplifié était convenablement représentée a posteriori par projection sur la base des modes complexes issus de l'étude de stabilité du système. Cette base servira donc de point de départ à l'élaboration de bases de réduction.

Dans ce travail, le comportement d'un modèle de frein simplifié est étudié. Dans un premier temps, on s'intéressera à l'étude de stabilité du système sous plusieurs conditions de fonctionnement et de frottement. Puis pour certaines conditions de fonctionnement. De manière similaire à ce qui avait été fait par Chevillot [1], une simulation temporelle du système est alors effectuée afin de caractériser les différents comportements pour ces différentes configurations. Ce travail apporte la prise en compte de conditions initiales variées sur la réponse stationnaire du système. Suivant les conditions, le système peut avoir un comportement dépendant de l'histoire ou non. Les systèmes au comportement indépendant de l'histoire ont un coefficient de frottement plutôt faible et atteignent un état final identique quelles que soient les conditions initiales. Pour les autres systèmes, plusieurs attracteurs existent et les conditions initiales jouent un rôle essentiel dans le choix du bassin. L'influence du choix d'une base de réduction sur la reproduction de ces comportements est montrée. Le but de cette étude est de guider les choix de réduction envisageable pour étudier les systèmes déstabilisés par le frottement afin de compléter des études expérimentales pour l'identification des paramètres structuraux du frein influents sur le crissement par des simulations.

2 Modélisation du problème

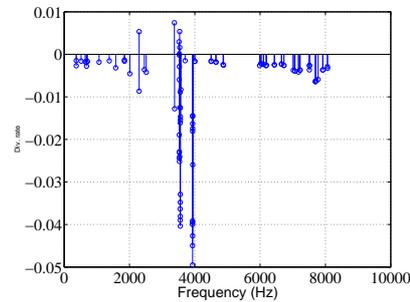
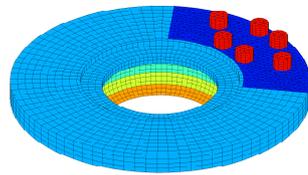
2.1 Traitement du contact

Le traitement du contact est effectué à partir d'un algorithme de point fixe défini à l'aide des lois de contact de Signorini-Coulomb sous forme de projection (1). Le critère d'arrêt utilisé mesure la différence de vitesses entre deux itérations.

$$\begin{aligned} r_n &= \text{proj}_{\mathbb{R}^-} (r_n - \rho_n^u (u_n - g)), \forall \rho_n^u > 0 \\ \mathbf{r}_t &= \Pi_t \text{proj}_{K_\mu} (\mathbf{r} - \rho_t (\dot{\mathbf{u}} - \mathbf{v}_g)), \forall \rho_t > 0 \end{aligned} \quad (1)$$

2.2 Étude de stabilité

Le maillage éléments finis du modèle étudié est donné sur la figure (1(a)). Sa stabilité est étudiée en considérant des perturbations harmoniques respectant l'état de contact autour de la solution d'équilibre quasi statique. Un problème aux valeurs propres quadratique et non symétrique est alors obtenu. Sa résolution permet d'obtenir des modes complexes ainsi que leurs valeurs propres associées. Lorsque la valeur propre d'un mode a une partie réelle positive, ce mode est dit instable.



(a) Maillage éléments finis du frein simplifié (b) Stabilité du modèle de frein simplifié

FIGURE 1 – Étude d'un frein TGV simplifié

À partir de ces modes, on définit plusieurs types de bases de réduction qui sont comparées grâce à divers indicateurs sur des quantités d'intérêt telles que l'amplitude vibratoire, les fréquences et les déformées au pics.

Références

- [1] F. Chevillot, J.-J. Sinou, and N. Hardouin. Nonlinear transient vibrations and coexistences of multi-instabilities induced by friction in an aircraft braking system. *Journal of Sound and Vibration*, 328(4-5) :555 – 574, 2009.
- [2] R. Jarvis and B. Mills. Vibration induced by dry friction. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, pages 847–866, 1964.
- [3] Xavier Lorang. *Instabilité vibratoire des structures en contact frottant : Application au crissement des freins de TGV*. PhD thesis, École Polytechnique, 2007.
- [4] H. Ouyang, J. E. Mottershead, M. P. Cartmell, and M. I. Friswell. Friction-induced parametric resonances in discs : Effect of a negative friction-velocity relationship. *Journal of Sound and Vibration*, 209(2) :251 – 264, 1998.
- [5] R.T. Spurr. A theory of brake squeal. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1 :33–40, 1962.