**Titre la thèse** : Influence des effets non linéaires sur la stabilité des freins aéronautiques.

**Résumé** :

Safran Landing Systems (SLS) est le leader mondial dans le domaine des systèmes de freinage aéronautiques et des trains d'atterrissage. Comme pour la plupart des structures, les freins aéronautiques sont soumis à des instabilités vibratoires lors des freinages imposés après atterrissage ou après les taxiages (déplacements de l'avion). Ces vibrations peuvent induire une usure prématurée et un endommagement des pièces constituant la structure. Les normes aéronautiques sont généralement très strictes notamment pour celles relatives aux niveaux vibratoires de la structure. Par conséquent, les ingénieurs concepteurs doivent veiller au respect des spécifications durant les étapes de développement et de qualification des freins. Chez SLS, les campagnes de validation des systèmes de freinage sont réalisées sur des bancs expérimentaux reproduisant le lien existant avec un train d'atterrissage en service. Les inconvénients majeurs de ces campagnes expérimentales vibratoires sont leurs coûts importants provenant du nombre ressources humaines nécessaires au bon déroulement des essais ainsi que des temps d'essais qui sont généralement très importants. Afin de limiter ces coûts, des nombreux travaux de recherche ont été réalisés avec pour objectif principal, la réalisation d'un outil numérique robuste permettant de réaliser des simulations de freinage. L'outil permettrait de prédire avec une certaine précision, l'apparition d'instabilités vibratoires et les niveaux associés. De plus, il permettrait également d'explorer certains phénomènes et de tester des solutions techniques antivibratoires.

La modélisation de la dynamique d'un frein doit contenir plusieurs domaines physiques dont les principaux sont la dynamique de la structure, celle du fluide permettant de générer l'effort de freinage, de l'automatique et de la thermique pour l'ensemble des disques. Les précédents travaux ont permis de lister et de tester les phénomènes non-linéaires nécessaires à une bonne corrélation avec les essais. Ces phénomènes sont relatifs aux contacts avec frottements aux principales interfaces de la structure ainsi qu'aux pertes de charges présentes dans le circuit hydraulique du frein. Dans un premier temps, la construction d'un modèle de la structure basée sur les travaux précédents est réalisée en détaillant les hypothèses principales ainsi que toutes les étapes associées. Dans un second temps, la construction d'un modèle du circuit hydraulique est faite puis un couplage fort de ce dernier avec celui de la structure est réalisé. Enfin, des améliorations de la modélisation multiphysique sont apportées en s'appuyant sur un modèle phénoménologique permettant la réalisation de pré-études avant l'implémentation sur le modèle du frein. L'avantage principal de ce modèle phénoménologique réside dans les temps de calcul qui sont faibles en raison du faible nombre de degrés de liberté. Par ailleurs, une partie thermique est également ajoutée à la modélisation dans le but de connaitre les températures en chacune des interfaces des disques de freinage.

**Mots clés** : Crissement de frein, Instabilités vibratoires, Phénomènes non linéaires, Cycles limites, Stabilité de points fixes, Stabilité orbitales, Intégration temporelle, Contact, Frottement.

**Thesis title**: Nonlinear effects influence on the stability of aircraft braking systems.

**Abstract** :

Safran Landing Systems is the world leader in the field of aeronautical braking systems and landing gear. Like most structures, aeronautical brakes are subjected to vibratory instabilities during braking after landing or after taxiing. These vibrations can induce premature wear and damage to the parts constituting the structure. Aeronautical standards are generally very strict, in particular for those relating to the vibration levels of the structures. Therefore, design engineers must ensure that specifications are met during the brake development and qualification stages. At Safran Landing Systems, brake system validation campaigns are carried out on experimental benches reproducing the existing link with a landing gear in service. The major drawbacks of these vibratory experimental campaigns are their high costs resulting from the number of human resources carrying out the tests and the test times which are important. In order to limit these costs, numerous research works have been carried out, the main objective of which is the creation of a digital tool allowing braking simulations to be carried out. The tool would make it possible to predict, with a given precision, the appearance of vibratory instabilities and the associated levels. In addition, it would make it possible to explore certain phenomena and test anti-vibration technical solutions.

The modeling is multiphysics and includes the dynamics of the structure, the fluid, the automatic and the thermal. Most of the non-linear phenomena relate to contact with friction at the main interfaces of the structure as well as to the pressure losses present in the hydraulic circuit of the brake. First, the construction of a model of the structure based on the previous work is carried out by detailing the main assumptions as well as all the stages associated with this construction. Secondly, a model of the hydraulic circuit and of a regulation loop is made, then a strong coupling of the model with that of the structure is made. Finally, improvements to the multiphysics modeling are made by leaning on a phenomenological model making it possible to carry out a pre-study before the implementation on the brake model. The main advantage of this phenomenological model lies in the computing times which are low due to the few degrees of freedom. Furthermore, a thermal part is also added to the multiphysics modeling in order to know the temperatures at each of the brake disc interfaces. Finally, it is advisable to specify parametric studies are carried out throughout this work by carrying out linear stability analysis of fixed points, limit cycles as well as temporal integrations.

**Keywords**: Brake squeal, Vibratory instability, Nonlinear phenomena, Limit cycle, Stability of fixed points, Stability of limit cycles, Temporal integration, Contact, Friction.