

Modélisation et validation expérimentale du comportement statique, dynamique et thermique d'une roue libre aéronautique intégrée

Sujet Thèse CIFRE Safran Helicopter Engines / LaMCoS INSA Lyon

1 CADRE DES TRAVAUX

Une roue libre (RL) est un mécanisme constitué d'une bague intérieure, d'une bague extérieure, de galets et d'un ressort de rappel entre ces galets tel que schématisé Figure 1 et Figure 2. Selon l'application, la roue libre fonctionne soit en mode embrayé, auquel cas la bague extérieure et intérieure sont solidaires du galet et une piste entraîne l'autre en rotation via le galet. Soit elle fonctionne en mode désembrayé, auquel cas une bague est en rotation et en contact avec le galet mais l'autre bague est désengagée et à l'arrêt.



Figure 1 : Roue libre [1]

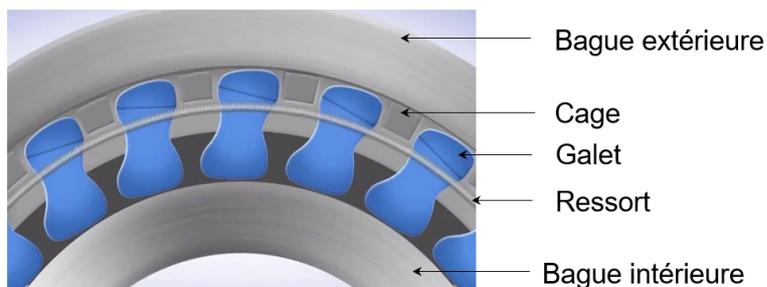


Figure 2: Composants d'une roue libre

Ainsi, ces travaux de thèse s'inscrivent dans le cadre du développement de nouveaux moteurs et de l'intégration de la RL, dans un contexte d'évolution des contraintes réglementaires. La RL est un composant hélicoptère auquel est associé un niveau de criticité élevé. Ce composant est parfois intégré au moteur, mais de fourniture externe sur lequel la connaissance en interne SHE est donc limitée. Ceci peut être limitant lors de phases d'avant projets ou en développement où SHE aurait besoin de davantage de données, de connaissances et de moyens de calcul pour (i) prédimensionner l'environnement à proximité de la RL et notamment des roulements et dentures, (ii) appréhender le comportement dynamique de la roue-libre lors des phases de ré-enclenchement conduisant à des surcoups dynamiques, et (iii) permettre une tenue du composant lors des phases d'interruption d'huile 15 min réglementaires.

De nouveaux projets visant par ailleurs à combiner un moteur thermique à un moteur électrique bénéficieront de l'ensemble de ces travaux sur le dimensionnement des roues libres.

C'est pourquoi, depuis 2021, SHE a fait appel au LaMCoS de l'INSA Lyon pour réaliser des Projets de Recherche en Ingénierie (PRI) afin de développer des moyens de calcul et d'essai pour prédire le comportement de RL. Un premier code de calcul quasi-statique a été mis en place en Python puis a été comparé à un modèle élément fini ABAQUS. Un modèle ANSYS a aussi été construit chez SHE pour évaluer le code. Un banc d'essai permettant d'évaluer la statique, dynamique et thermique de RL a également été développé. Et, un banc d'essai est en cours de développement chez SHE pour davantage étudier les phénomènes de coupure d'huile.

2 OBJECTIFS DES TRAVAUX

L'objectif sera de développer des outils de modélisation validés numériquement et expérimentalement pour prédire le comportement statique, dynamique notamment pour les applications hybridées, et en transitoire thermique pour les phases glissantes. Les principaux objectifs scientifiques de l'étude proposée sont donc quadruples :

- i) Améliorer le modèle quasi-statique précédemment développé pour avoir des résultats comparables aux modèles éléments finis et aux essais.
- ii) Proposer un modèle recalé de dynamique de la roue libre lors des phases d'enclenchement (accostage, glissement éventuel, ressort, impact des tolérances, etc.)
- iii) Modéliser les effets thermiques associés.
- iv) Mettre en œuvre une série d'essais statiques, dynamiques et thermiques permettant de valider le modèle analytique.

3 TRAVAUX PROPOSES & PLANNING (INDICATIF)

Les travaux de thèse se focaliseront sur la modélisation numérique. Des essais de validation pourront être menés sur le banc INSA. Les résultats numériques seront également confrontés à des données expérimentales provenant d'essais SHE ou de notes de calcul fournisseur.

L'activité se décomposera dans les principales étapes décrites ci-dessous, un planning indicatif est donné en suivant.

1. **Etude bibliographique et prise en main du code de calcul quasi-statique et du banc d'essai :** plusieurs chercheurs se sont intéressés à la modélisation statique ou dynamique de roue libre [2]-[9]. Il conviendra d'analyser et de s'appropriier la littérature sur le sujet ainsi que les outils développés lors des précédents PRI et chez SHE, avant d'arrêter la stratégie de développement. *Trimestre 1*
2. **Correction et amélioration du code quasi-statique :** les travaux précédents ont mis en évidence certaines lacunes dans le code. Il s'agira donc de l'améliorer, et notamment de se pencher sur les modèles de frottement et glissement aux contacts bagues/galets. La possible mise en contact de galets adjacents par arc-boutement devra être ajoutée. Egalement, la géométrie du galet n'est pas partagée par le fournisseur de roue libre. Elle est issue d'une mesure du contour du galet par la métrologie SHE. Des défauts de surface peuvent donc être relevés entraînant des divergences du code. La définition de la surface de contact du galet devra donc être revue. Une optimisation algorithmique est aussi attendue tout au long des développements. *Trimestres 2 & 3*
3. **Ajout de la dynamique de RL :** le ressort et le basculement de RL en centrifuge devront être ajoutés. Le système d'équation devra être transposé en dynamique notamment pour étudier le mécanisme d'accostage. Lorsqu'un moteur est à l'arrêt et qu'un moteur de substitution prend le relais, l'alimentation en huile du moteur à l'arrêt est coupée, la RL est désembrayée ce qui engendre du glissement. Le modèle proposé devra simuler un tel comportement et estimer la puissance dissipée. *Trimestres 3, 4, 5, 6, 7 & 8*
4. **Prise en compte des phénomènes thermiques :** les effets thermiques devront être estimés en particulier lors d'une interruption d'huile. *Trimestres 8 & 9*
5. **Mise en œuvre et suivi d'essais :** il s'agira de continuer à exploiter le banc d'essai développé à l'INSA lors des précédents PRI. Il faudra résoudre certains problèmes si besoin et réaliser de nouvelles mesures pour obtenir des données permettant de valider le code de calcul. Il s'agira aussi de suivre la campagne d'essais SHE et de récupérer les mesures. *Trimestres 4, 5, 6, 7, 8 & 9*
6. **Validation du modèle :** le modèle pourra être validé par comparaison aux résultats expérimentaux ou aux notes de calculs transmises par le fournisseur de RL Formsprag. L'un des modèles élément finis développé précédemment pourra être repris pour valider les nouveautés apportées au code en quasi-statique. *Trimestres 9 & 10*
7. **Déploiement de l'outil :** l'outil est destiné à être utilisé par plusieurs bureaux d'études chez SAFRAN Helicopter Engines. En s'appuyant sur la méthodologie et l'expérience du LaMCoS qui distribue de

nombreux logiciels (DYNAR, BB20, DYLAM, etc.), une version de l'outil sera déployée au bureau d'étude des transmissions mécanique. *Trimestres 11 & 12*

8. **Rédaction** des rapports annuels (années 1 et 2) puis **du mémoire de doctorat, valorisation des résultats** par des publications et communications. *Trimestres 4 et 8 (rapports années 1 & 2), 6 et 10 (publications), 11 & 12 (mémoire thèse).*

Lieu	INSA			SHE	INSA						SHE	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Etude bibliographique et prise en main du code de calcul quasi-statique et du banc d'essai	X										x	
2. Correction et amélioration du code quasi-statique		X	x									
3. Ajout de la dynamique de RL			X	X	X	X	X	x	(x)			
4. Prise en compte des phénomènes thermiques								X	X			
5. Mise en oeuvre et suivi d'essais				x	x	x	x	x	x			
6. Validation du modèle									X	X		
7. Déploiement de l'outil											X	X
8. Rédaction rapports annuels, mémoire de thèse et valorisation				x		x		x		x	X	X

X : activité principale

x : activité secondaire (préparation ou ultime développement par exemple)

(x) : activité secondaire selon avancement du travail

4 ENCADREMENT DE LA THESE

- Laboratoire : LAMCOS (Laboratoire de Mécanique de Contacts et des Structures), INSA Lyon / CNRS UMR 5259
- Site internet: <http://lamcos.insa-lyon.fr/>
- Etablissement : INSA de Lyon.
- Ecole doctorale : ED MEGA de Lyon (ED 162)
- Directeur de thèse : Daniel Nélias, Professeur
- Encadrants industriels : Karine Petuya, Rémi Lanquetin, Damien Lecouveur
- Société : SAFRAN Helicopter Engines.
- Date de démarrage souhaitée : 02/01/2024

5 PROFIL & ELEMENTS A FOURNIR

Profil recherché : Bac + 5 : Ingénieur ou Master en Mécanique avec des compétences en modélisation et expérimentation sur banc d'essais.

Éléments à fournir pour la candidature :

- CV
- Lettre de motivation
- Lettre(s) de recommandation
- Bulletins de notes (master ou école d'ingénieur)

6 REFERENCES

- [1] Formsprag clutch, Overrunning clutches [en ligne]. Disponible sur : <https://www.formsprag.com/key-markets/aerospace-defense/fixed-wing-aircraft/overrunning-sprag-clutches/overrunning-clutches> (Consulté le 04/07/2023).
- [2] Huang, C., Liu, M., & Zhao, Y. (2017). An analytical model of multiarc sprag clutch considering geometry and internal interaction during engagement. *Shock and Vibration*, 2017.
- [3] Liu, Z. H., Yan, H. Z., & Cao, Y. M. (2015). Design and analysis of logarithmic spiral type sprag one-way clutch. *Journal of Central South University*, 22(12), 4597-4607.
- [4] TANAKA, M., SAKAKIBARA, S., FUJIOKA, T., & MIYAZAWA, H. (1981). Fundamental Studies on the Self-locking Characteristics of Oneway Clutch. *Bulletin of JSME*, 24(198), 2154-2161.
- [5] AIRCRAFT, S. Helicopter Freewheel Unit Design Guide. *AVRADCOM*, 1977.
- [6] CARUSO, G. (2012). Simulazione e analisi di ruote libere per applicazioni elicotteristiche.
- [7] Lynwander, P., Meyer, A. G., & Chachakis. S. (1972). *Sprag overriding aircraft clutch* (p. 0168). US Army Air Mobility Research and Development Laboratory, Eustis Directorate.
- [8] Li, J., Yan, H., Lin, M., Cai, M., & Hu, X. (2021). Wear of sprag clutch wedge in overrun state under high temperature condition. *Advances in Mechanical Engineering*, 13(2), 1687814021996513.
- [9] Vernay, P. (1999). *Comportement dynamique en torsion et en régime transitoire d'un démarreur de réacteur d'avion* (Doctoral dissertation, Lyon, INSA).