

Résumé (en français)

Les turbomachines supportées par des paliers magnétiques actifs (PMAs) sont de plus en plus utilisées par les industriels notamment grâce à l'absence de contact direct entre parties fixes et parties tournantes. Les forces magnétiques sont naturellement instables et le contrôleur PID (proportionnel - intégral - dérivé) reste le plus implémenté pour sa simplicité et sa robustesse. Des paliers atterrisseurs, des roulements à billes pour la plupart, assurent le supportage du rotor lorsque la lévitation des PMAs n'est plus assurée ; lorsque la machine est à l'arrêt, pendant le transport, ou lorsqu'une coupure inattendue des PMAs survient. Considérant ce dernier cas, le rotor soumis à la gravité, subit un "atterrissage" et son comportement se caractérise par une dynamique transitoire et non-linéaire sur ses paliers atterrisseurs, pouvant porter atteinte à l'intégrité de la machine. Cette problématique a été largement étudiée ces vingt dernières années.

La majorité des turbomachines sont "embarquées" et reposent sur des supports plus ou moins mobiles. C'est le cas notamment pour les compresseurs montés sur les unités flottantes de production, de stockage et de déchargement (FPSO en anglais), ou encore pour les turbines de centrale nucléaire. Dans certains cas de fonctionnement critique, considérer leurs supports fixes peut être une hypothèse trop forte. Les forts déplacements potentiels du rotor peuvent engendrer des interactions avec les paliers atterrisseurs alors que les PMAs sont toujours opérationnels. Les contrôleurs PID utilisés dans les applications industrielles ne sont pas conçus pour supporter les charges combinées des mouvements de la base et des interactions rotor-palier atterrisseurs. On peut alors se demander quel serait le comportement du rotor dans une telle situation.

Cette thèse est une contribution à l'étude du comportement dynamique des turbomachines supportées par des PMAs, sujettes à de fortes sollicitations extérieures et des non-linéarités de contact potentielles. Les problématiques des rotors embarqués, des paliers magnétiques actifs et des paliers atterrisseurs sont traitées individuellement puis regroupées afin de bâtir le modèle complet. L'apport des mouvements de la base est considéré dans la formulation énergétique des éléments de poutre Timoshenko pour la prévision des rotors en flexion. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet d'implémenter n'importe quel modèle de palier, dans notre cas des PMAs. Ces derniers sont contrôlés par des PID conventionnels, pas particulièrement conçus pour supporter de forts mouvements de la base et des contacts. L'interaction avec les paliers atterrisseurs comprend la modélisation analytique du roulement à billes ainsi que celle de la liaison au support. Le modèle de palier atterrisseur est validé grâce à des expériences d'atterrissage réalisées sur un banc de type industriel. Il est montré qu'un modèle relativement simple est capable de retranscrire les phénomènes observés avec une précision suffisante.

Le modèle complet est validé à l'aide d'essais réalisés sur un banc académique rotor-PMA. Un exciteur 6-axes permet d'imposer des mouvements de type harmoniques et chocs, représentatifs de conditions réelles de fonctionnement. En fonction des niveaux d'accélération générés, le contact avec les paliers atterrisseurs est déclenché. Il est montré que les PMAs restent globalement stables et qu'aucune vibration dangereuse de frottement est mise en place. Les charges calculées au niveau des paliers restent loin de leurs capacités maximales. Considérant le rotor académique tournant à vitesse maximale, des essais de choc jusqu'à 3.1 G ont été réalisés. Il est montré que les charges sont partagées entre les PMAs et les paliers atterrisseurs. Les efforts de frottement restent limités et ne semblent pas être suffisants pour générer des instabilités.

MOTS CLÉS: Contact rotor-stator, Paliers atterrisseurs, Rotors embarqués, Paliers magnétiques actifs, Dynamique des rotors, Dynamique non-linéaire