



Un poste de doctorant (3 ans) est à pourvoir dans un projet de recherche conjoint entre **SKF Magnetic Mechatronics** (Vernon), le laboratoire **LIAS** (Université de Poitiers) et le laboratoire **Ampère UMR CNRS 5005** (Ecole Centrale de Lyon).

Sujet de la Thèse :

**Apprentissage Temps-Réel à partir de Données des Systèmes Dynamiques Complexes :
Application aux Machines Tournantes à Très Haute Vitesse utilisant le principe de
lévitation magnétique.**

Contexte, Problématique Générale :

Ces dernières années, les machines tournantes à très haute vitesse utilisant la technologie des paliers magnétiques actifs ont connu un essor considérable (aussi bien dans la diversité que dans le nombre d'applications). Ces machines répondent en grande partie aux deux plus grands défis du 21ème siècle: la crise énergétique et environnementale.

La grande vitesse de rotation (>20000rpm) combinée au principe de lévitation magnétique confère à ces systèmes les avantages significatifs suivants :

- très compact avec un volume utile deux à trois fois plus petit qu'une machine conventionnelle (basse vitesse),
- très économe en matières nobles (cuivre, acier, ...),
- très haut rendement énergétique,
- très grande fiabilité et durée de vie utile (la lévitation magnétique supprime tous les frottements, donc l'usure).

Tous ces éléments octroient à ces machines des performances énergétiques et dynamiques très importantes ainsi qu'une empreinte environnementale très faible (sur tout le cycle de vie).

Pour toutes ces raisons, ces machines sont utilisées dans de nombreuses applications et processus critiques : liquéfaction de l'hydrogène, production des semi-conducteurs, pompe à chaleur à très haut rendement énergétique, transport et stockage du gaz naturel utilisant le principe de « *Zero Leak* », récupération d'énergie (cogénération) utilisant le cycle de Rankine organique, ...

Actuellement, un modèle de la dynamique du système (machine tournante + paliers magnétiques + processus) est déterminé à partir de données collectées hors ligne et le contrôle actif de ce système instable et fortement résonant est synthétisé d'une manière définitive lors de l'installation.

L'apprentissage en ligne à partir de données, par sa capacité à suivre l'évolution de la dynamique du système, ouvre la possibilité d'optimiser les conditions de fonctionnement et d'adapter les lois de

commande en temps réel. De plus, cette identification permettrait également de prédire avec une grande fiabilité une défaillance à venir (Maintenance Prédictive).

L'analyse d'une multitude de données venant du terrain nous a en effet permis d'identifier de multiples phénomènes physiques engendrant une évolution structurelle du matériel (mécanique/électronique) constituant la machine, mais aussi des variations très significatives des conditions de fonctionnement (interactions fluide/structure liées aux processus aérodynamiques). Ces évolutions structurelles et la variation des conditions de fonctionnement en opération, qui ont un effet très négatif sur les performances du système ainsi que sur la durée de vie de la machine, justifient pleinement l'utilisation de techniques d'apprentissage temps-réel discuté plus haut.

Cet apprentissage en ligne nécessite d'exciter de manière permanente le système. Dans le cadre de ce projet (contrairement à une machine tournante utilisant des roulements à billes ou bien des paliers à huile conventionnels où seuls les signaux des capteurs de vibrations sont accessibles), il peut être fait usage de manière avantageuse du contrôle actif des paliers magnétiques pour générer des perturbations radiales/axiales excitant de manière persistante la dynamique du système.

Notons que l'excitation du système ne doit en aucun cas dégrader significativement les performances du système en boucle fermée. Générer ce type d'excitation sous contrainte de performance constitue l'un de principaux défis scientifiques de cette thèse de doctorat.

Objectifs de la thèse :

Comme indiqué précédemment, l'objectif de cette thèse est donc de développer des outils d'apprentissage (appelé aussi « identification des systèmes ») de la dynamique des machines tournantes à paliers magnétiques qui garantissent à la fois un suivi précis de la dynamique du système et le maintien des performances du système bouclé (robustesse en performance et stabilité).

Cet objectif s'inscrit dans une thématique de recherche très actuelle pour de nombreux domaines de l'ingénierie. Ce projet est, de plus, particulièrement ambitieux de part la nature et la complexité du système considéré.

Les indicateurs de complexité les plus significatifs du système à étudier sont en effet les suivants :

- système multiphysique, non-linéaire et ayant un nombre d'entrée/sortie et de variables d'état très élevé,
- système instable en boucle ouverte (inhérent au principe de lévitation magnétique active),
- système faiblement amorti à l'origine de nombreuses instabilités structurelles (phénomène de résonance).

Finalement, comme la procédure d'apprentissage doit se faire en ligne (machine en fonctionnement), de très nombreuses contraintes « temps réel » seront à prendre en compte lors de l'implémentation des algorithmes.

Organisation de la thèse :

La thèse sera structurée en trois phases principales :

1 - Recherche bibliographique et état de l'art :

- Appropriation et test (en simulation) des méthodes d'identification/apprentissage en ligne et de synthèse optimale des signaux d'excitation actuellement disponibles dans la littérature scientifique,
- Définition des avantages et inconvénients de chaque méthode (en particulier par rapport au déploiement des algorithmes dans un système embarqué et temps réel).

2 - Développement théorique et validation en simulation:

- Développement de nouveaux outils d'identification en ligne avec une attention particulière aux indicateurs de performances de la boucle fermée.
- Appropriation du modèle multiphysique actuellement disponible (mis à disposition par la société SKF).
- Implémentation et test de ces nouvelles méthodes en simulation sur ce modèle multiphysique.

3 – Implémentation et validation sur banc d'essais :

- Implémentation des algorithmes et des procédures d'identification sur un banc de test en prototypage rapide (matériel utilisé - OpalRT).
- Mise en place et réalisation des différents essais et mesures (un technicien d'essais sera mis à disposition par la société SKF).
- Comparaison des résultats théoriques et pratiques et recherche des causes expliquant de possibles écarts.
- Détermination de la méthode la plus appropriée à notre classe de système (compromis entre performance et complexité d'implémentation).

Equipe d'encadrement :

Ce projet de thèse sera encadré à la fois par des partenaires académiques et industriels.

L'équipe de contrôle de SKF (dirigée par J. Mouterde) supervisera le projet du point de vue industriel.

Du côté académique, le projet sera encadré par G. Mercère (Maître de Conférences à l'Université de Poitiers) et X. Bombois (Directeur de Recherche CNRS au Laboratoire Ampère).

Le doctorant sera inscrit à l'Ecole doctorale de Poitiers Université.

Prérequis pour la thèse :

Un Master 2 de recherche et/ou un diplôme d'une Ecole d'Ingénieurs réputée est nécessaire pour se porter candidat. Ce sujet de thèse requiert des compétences en automatique/mathématiques appliquées. En plus de maîtriser les bases de l'automatique, des connaissances en identification des systèmes sont un atout.

Candidature :

Si ce projet ambitieux vous intéresse, merci de contacter X. Bombois (xavier.bombois@ec-lyon.fr), G. Mercère (guillaume.mercere@univ-poitiers.fr) et J. Mouterde (joel.mouterde@skf.com) par e-mail avec pour objet " Thèse - Méthodes d'Identification ", en joignant un CV, une lettre de motivation, une copie de vos diplômes et de vos relevés de notes, une lettre de recommandation de votre directeur de mémoire de Master, un certificat de compétence en anglais, ainsi que tout autre document pouvant enrichir le dossier de candidature.