

**Sujet de thèse :**

Commande avancée embarquée et ses contraintes temps réel

---

**Établissement d'inscription :** Université Lyon 1 / Ecole Centrale Lyon / INSA LYON

**École doctorale :** ED 160 EEA de Lyon

**Unité de recherche :** Laboratoire Ampère, UMR CNRS 5500

**Financement :** Contrat doctoral établissement

**Directeur de thèse :** Romain DELPOUX

---

**Domaine et contexte scientifiques :**

La littérature en automatique est abondante en méthodes avancées de commande, d'observation et d'identification s'adaptant à toutes sortes de spécifications et de systèmes (non-linéarité, saturation, robustesse, optimalité, etc.). La plupart de ces méthodes reposent sur l'optimisation ou autres procédures très exigeantes en ressources. Bien que ces algorithmes puissent être exécutés hors ligne sur du matériel dédié, doté de logiciels et de boîtes à outils avancés (par exemple, Matlab), ils ne sont souvent pas directement applicables dans les situations où les ressources de calcul sont limitées et les logiciels non disponibles.

**Mots-clefs :** Commande, Observation, Identification, Optimisation, Systèmes embarqués.

## **Objectifs de la thèse :**

Ce sujet vise à prendre en compte les contraintes temps réel, de la conception, l'optimisation à la mise en œuvre expérimentale de la loi de commande, ceci en fournissant des solutions de commande embarquées intelligentes (flexibles, reconfigurables), qui peuvent être déployés facilement et à moindre coût dans différents contextes avec une intervention minimale de l'utilisateur. L'objectif est d'augmenter l'autonomie des systèmes de contrôle embarqués pour obtenir des fonctionnalités avancées de commande, d'observation et d'identification. Cela nécessitera évidemment d'aborder plusieurs questions importantes telles que les compromis réalisables entre ressources et performances, les garanties de stabilité avec une ressource de calcul ou des actionneurs limités, l'impact énergétique des méthodes sur le système embarqué. Les solutions seront validées expérimentalement sur des microcontrôleurs industriels bas coût et appliquées entre autres à différents types de moteurs électriques.

## **Verrous scientifiques :**

La littérature sur le sujet est déjà riche, mais peu de travaux s'intéressent à la mise en œuvre sur cible temps réelle à bas coût. En s'inspirant de la littérature, l'enjeu de cette thèse est de développer des algorithmes de synthèse de loi de commande efficaces en vue d'une mise en œuvre temps réel. L'utilisation de solution Model Based Design permettra de faciliter cette mise en œuvre expérimentale sur des cibles microcontrôleur à bas coût.

## **Contributions originales attendues :**

L'exécution en temps réel embarquée de solutions d'optimisation pour la synthèse de lois de commande est une approche originale qui à notre connaissance n'a pas été étudiée. Cette solution permettra de davantage lier la synthèse des contrôleurs aux caractéristiques et propriétés des cartes microcontrôleurs, pour tenir compte dès la synthèse des problématiques telles que les saturations, et les quantifications liées au calcul en virgule fixe

## **Programme de recherche et démarche scientifique proposée :**

Le travail de thèse se focalisera sur des solutions de synthèse de loi de commande basée sur des méthodes d'optimisation LMI [1] pour la commande et l'observation de systèmes dynamiques avec un focus sur la mise en œuvre embarqué temps réel sur cible microcontrôleur [2]. Après une étude bibliographique sur le sujet, la première étape reposera sur la formalisation du problème applicatif visé et son contexte. Les solutions visées reposeront sur des approches linéaires à paramètres variants [3] et nécessiteront la prise en compte de phénomènes tels que les saturations [4,5], la prise en compte de phénomènes de quantification [6].

### **Plan de travail :**

#### **Première année :**

Tâche 1 : Recherche bibliographique sur les techniques de commande et d'observation pour les systèmes linéaires à paramètres variants tenant compte des saturations et quantifications.

Tâche 2 : Prise en main de la solution de prototypage rapide de loi de commande embarquée sur cible microcontrôleurs.

Tâche 3 : Étude de potentielles méthodes applicables au problème, simulations, évaluation de l'efficacité et des performances.

Tâche 4 : Validation des méthodes en simulation.

#### **Deuxième année :**

Tâche 1 : Ouverture sur les méthodes, évaluations des possibilités d'améliorations ou intégration de techniques innovantes.

Tâche 2 : Validation expérimentale des méthodes

Tâche 3 : Continuer le développement selon les compétences maturées, en particulier en visant la robustesse des algorithmes

Tâche 4 : Rédaction d'un ou plusieurs articles scientifiques.

Troisième année :

Tâche 1 : Examen d'une stratégie d'observation/contrôle globale.

Tâche 2 : Rédaction du mémoire de thèse et soutenance finale.

**Références bibliographiques sur le sujet de thèse :**

- [1] Boyd, S., El-Ghaoui, L., Feron, E., & Balakrishnan, V. (1994). Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory. Studies In Applied Mathematics. Philadelphia, PA: SIAM.
- [2] Delpoux, R., Kerhuel, L., & Léchappé, V. (2021). On Chip Rapid Control Prototyping for DC Motor. J3eA, Journal Sur l'enseignement Des Sciences et Technologies de l'information et Des Systèmes.
- [3] R. Toth. Modeling and identification of linear parameter-varying systems, volume 403. Springer, 2010
- [4] Tarbouriech, S., Garcia, G., Gomes da Silva Jr., J.-M., & Queinnec, I. (2011). Stability and Stabilization of Linear Systems with Saturating Actuators. Springer-Verlag London.
- [5] Tarbouriech, S., & Turner, M. (2009). Anti-windup design: an overview of some recent advances and open problems. IET Control Theory & Applications, 3(1), 1-19(18).
- [6] Francesco Ferrante, Frédéric Gouaisbaut, Sophie Tarbouriech, Stabilization of continuous-time linear systems subject to input quantization, Automatica, Volume 58, 2015, Pages 167-172,

**Profil du candidat recherché (prérequis) :**

Ingénieur ou Master en automatique, connaissances de base sur observateurs et systèmes non linéaires. Des compétences en génie électrique et systèmes temps réel seront appréciées.

**Compétences qui seront développées au cours du doctorat :**

Compétences pluridisciplinaires en Commande, Programmation temps réel, Optimisation, Génie Électrique.

**Candidature :**

Envoyer CV, lettre de motivation et relevé de note (licence, Master 1 et premier semestre de Master 2) à Romain DELPOUX [romain.delpoux@insa-lyon.fr](mailto:romain.delpoux@insa-lyon.fr). Une lettre de recommandation dans le dossier sera appréciée.