



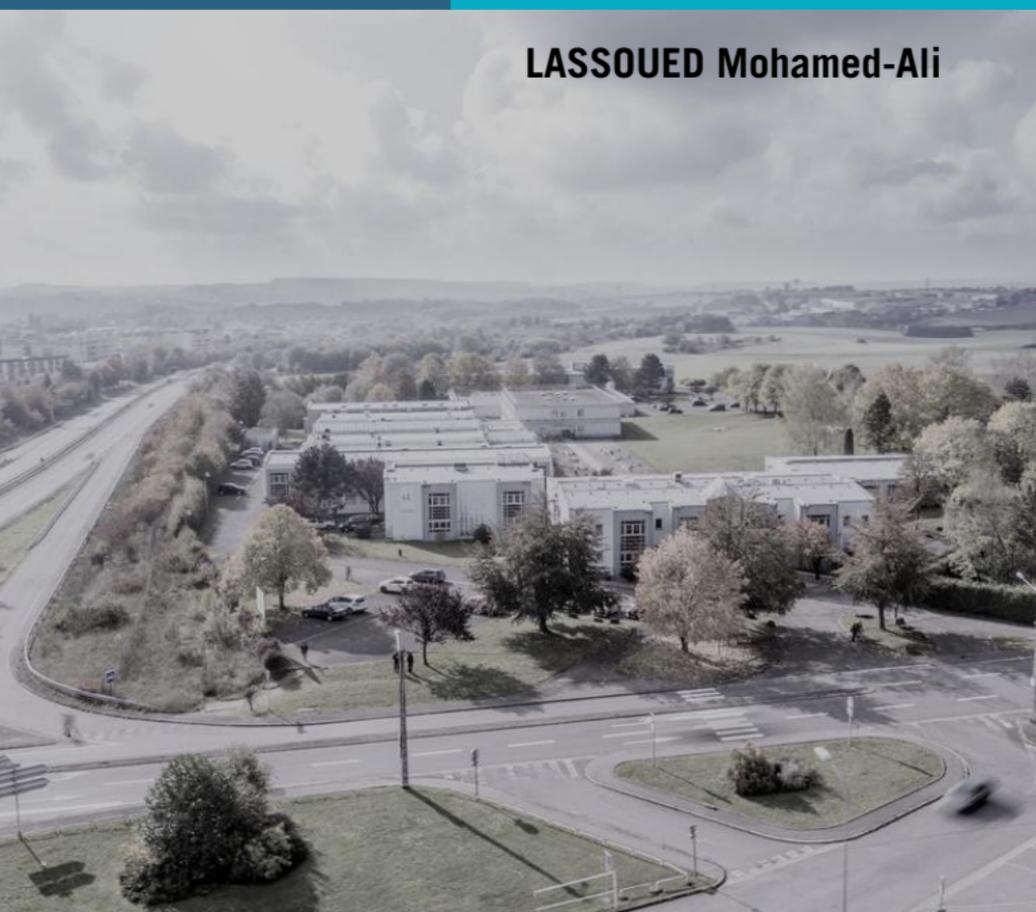
UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE



STAGE MASTER

2022-2023

LASSOUED Mohamed-Ali



## Étude de la dynamique de Double Pendule Inversé monté sur Chariot : Modélisation & Commande

### Résumé

Le stage a pour objectif de développer des stratégies de commande pour des systèmes sous-actionnés chaotiques, en utilisant le double pendule inversé sur CHARRIOT comme étude de cas. Il inclut la modélisation mathématique (formalisme d'Euler-Lagrange), l'application de méthodes de stabilisation linéaires (LQR, placement de pôles, Lyapunov) et l'optimisation des paramètres via PSO. Les stratégies développées seront validées expérimentalement sur un prototype afin d'évaluer leur efficacité. Ce stage combine théorie et pratique pour améliorer le contrôle de systèmes dynamiques complexes.

### Encadrants

CRAN

Latifa BOUTAT-BADDAS  
Maîtresse de conférences  
latifa.baddas@univ-lorraine.fr

CRAN

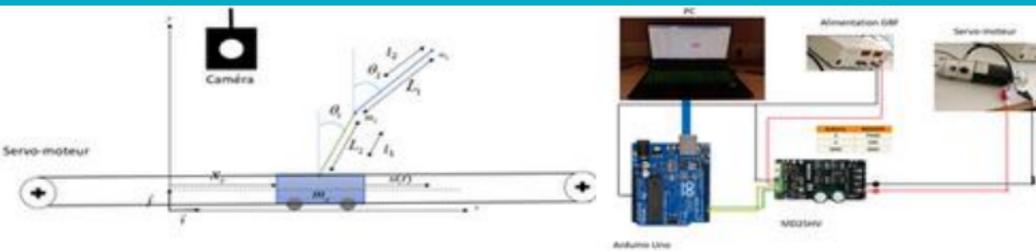
Mohamed BOUTAYEB  
Professeur des universités  
mohamed.boutayeb@univ-lorraine.fr

MACS/ISSIG

Assem THABET  
Maître de conférences  
assem.thabet@issig.rnu.tn

### Financement

# Sujet du stage



Travail à réaliser :

1. Étude bibliographique : Explorer les méthodes modernes et classiques de commande des systèmes non linéaires, incluant IA (réseaux de neurones, PSO).
2. Modélisation mathématique : Développer les équations dynamiques du double pendule via Euler-Lagrange.
3. Simulation et validation : Simuler sous MATLAB Simulink pour valider le modèle et analyser le comportement.
4. Conception de stratégies de commande : Proposer et optimiser des approches de stabilisation (LQR, Lyapunov, PSO).
5. Implémentation expérimentale : Tester les lois de commande sur un banc d'essai réel.
6. Système de vision (via OpenCV) : Développer un système pour mesurer en temps réel les angles des pendules en utilisant OpenCV pour la détection et le suivi des couleurs.

## Résultats obtenus

1. Modélisation validée :

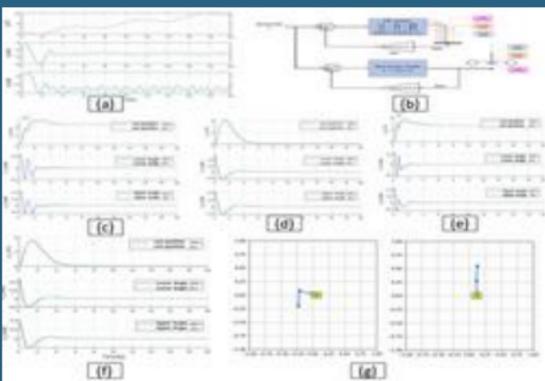
- Les équations de mouvement du double pendule inversé, dérivées via Euler-Lagrange, ont été confirmées par des simulations MATLAB/Simulink cohérentes avec les dynamiques attendues (Figure a).

2. Stratégies de stabilisation :

- La linéarisation et le placement de pôles assurent une convergence rapide mais sont sensibles aux perturbations (Figure c).

- LQR offre un bon compromis entre stabilité et consommation d'énergie (Figure d).

- Lyapunov, associé aux LMIs, garantit une stabilité globale théorique (Figure e).



(a) Simulation des dynamiques non linéaires du système de double pendule inversé.

(b) Schéma bloc de la commande du double pendule inversé.

(c) Stabilisation du système par placement de pôles.

(d) Stabilisation du système à l'aide de la théorie de Lyapunov.

(e) Stabilisation du système avec un contrôleur LQR.

(f) Amélioration des stratégies de commande par optimisation PSO pour la stabilisation du système.

(g) Animation 2D du contrôle du système réalisée sous Python pour valider expérimentalement les lois de commande établies.

1. Optimisation par PSO :

L'algorithme PSO optimise les gains des contrôleurs, réduisant oscillations et sensibilités, et renforçant la robustesse globale (Figure f).

2. Système de vision pour le double pendule inversé :

Un système de vision utilise des couleurs (rouge, vert, violet) pour identifier le chariot et les pendules. Grâce à des techniques de détection avancées, il localise précisément les positions, permettant un calcul précis des angles pour un contrôle en temps réel.