



DEEP LEARNING FOR SOLVING PDES : APPLICATIONS TO SOFTWARE SENSORS

Résumé

Le 14 avril 2026, s'est déroulée la soutenance de thèse de Dr Ayoub Farkane, réalisée en cotutelle entre le CRAN – Université de Lorraine et le TICLab – Université Internationale de Rabat.

Ces travaux de recherche témoignent d'une collaboration académique internationale et de l'engagement des équipes de recherche autour de projets scientifiques innovants.

Composition du jury :

- Mohammed Ziani – Rapporteur
- Denis Efimov – Rapporteur
- Fatima-Zahrae El Alaoui – Examinatrice
- Frédéric Kratz – Examineur
- Latifa Boutat-Baddas – Examinatrice
- Nadir Maaroufi – Professeur invité

Résumé des travaux :

Cette thèse étudie les méthodes d'apprentissage profond pour la résolution des équations aux dérivées partielles (EDP) et la construction de capteurs logiciels dans les systèmes dynamiques non linéaires.

Premièrement, nous améliorons les réseaux de neurones informés par la physique (PINNs) pour les équations de Navier-Stokes incompressibles en 2D et 3D, en proposant des stratégies d'entraînement et des variantes architecturales qui améliorent l'efficacité des données, la stabilité et la précision.

Nous analysons leur convergence, étudions la pondération des pertes et la décomposition de domaine, et démontrons une réduction de l'erreur de prédiction sur les champs de vitesse et de pression pour différentes tailles de jeux de données et capacités de modèles.

Deuxièmement, nous introduisons APINN-Obs, un observateur adaptatif basé sur les PINNs pour les équations différentielles ordinaires non linéaires.

La méthode estime les états non mesurés directement à partir de mesures limitées en intégrant la physique du système dans la fonction de perte, et nous fournissons des garanties théoriques ainsi que des études d'ablation sur la profondeur, l'activation et les poids de perte.

Troisièmement, nous concevons des capteurs logiciels robustes qui couplent les réseaux de neurones avec la commande par mode glissant adaptatif (SMC) pour améliorer la résilience aux incertitudes de modèle et au bruit de mesure.

Des expériences approfondies — couvrant les oscillateurs harmoniques, les attracteurs de Rössler, les entraînements de moteurs à induction, la dynamique d'attitude des corps rigides et un processus à trois réservoirs — montrent que les modèles proposés fournissent une reconstruction d'état précise et une convergence d'erreur favorable, même avec des initialisations perturbées et des données bruitées.

Collectivement, ces contributions positionnent les approches basées sur les PINNs et les architectures hybrides d'apprentissage-commande comme des outils pratiques et théoriquement fondés pour la résolution des EDP et l'estimation d'état dans des systèmes complexes du monde réel.