

Coordination de la Formation par la Recherche

Sujet de Thèse CEA "SUJET-LABO 2024"

Référence du dossier :

Pôle : DRF

N° : SL-DRF-24-0366

1 - Laboratoire d'accueil au CEA

Centre : **Cadarache**

Département/Service : **IRFM**

Nom du laboratoire : **GMPP/Groupe Mesures Physiques Plasma**

2 - Titre du sujet de thèse

**Méthodes d'Apprentissage Automatique pour la Détection d'Anomalies dans les Données
Expérimentales de Plasma de Fusion - Application aux Données de WEST**

3 - Thématique de Recherche

Défis technologiques / Data intelligence dont Intelligence Artificielle

4 - Pièce jointe

Y a t-il une pièce jointe associée ? **Non**

Intitulé de la pièce jointe :

5 - Résumé

Les plasmas de fusion dans les Tokamaks ont une dynamique non-linéaire complexe. Dans le tokamak WEST, de la même famille que le projet ITER, une grande quantité de données expérimentales hétérogènes sur la fusion est collectée. Assurer l'intégrité et la qualité de ces données en temps réel est indispensable pour le fonctionnement stable et sûr du Tokamak. Une surveillance et une validation continues sont essentielles, car toute perturbation ou anomalie peut affecter significativement notre capacité à assurer la stabilité du plasma, à contrôler ses performances voire sa durée de vie. La détection de séquences ou d'événements inhabituels dans les données collectées peut fournir des informations précieuses et aider à identifier des comportements potentiellement anormaux dans les opérations sur le plasma.

Cette thèse vise à étudier et à développer un système de détection d'anomalies pour le tokamak WEST -- en préfiguration de ce qui pourrait être installé sur ITER -- en intégrant des algorithmes d'apprentissage automatique, des méthodologies statistiques et des techniques de traitement du signal pour valider divers signaux diagnostics dans les opérations Tokamak, notamment la densité, l'interférométrie, la puissance rayonnée et les mesures magnétiques.

Les résultats attendus sont :

- Le développement d'algorithmes d'apprentissage automatique capables de détecter des anomalies dans des séries temporelles sélectionnées à partir des données du Tokamak WEST.
- La mise au point d'un système autonome opérationnel pour assurer la qualité des données dans les machines de fusion de type Tokamak, intégré à la plateforme IA de WEST.
- La constitution d'une base de données exhaustive.
- La validation d'un algorithme automatique d'assurance qualité des données spécifiques aux plasmas de fusion.

6 - Exposé du sujet

Keywords: Anomaly Detection, Time-Series Diagnostics, Plasma Fusion, WEST Tokamak, Machine Learning, Artificial intelligence , Signal Processing, Plasma Physics

Scientific Context:

Nuclear fusion in tokamak plasmas represents one promising path to achieve sustainable and clean energy production. In the WEST tokamak, operated at CEA-Cadarache and testbed for the international ITER project, a vast amount of heterogeneous experimental data is collected in real time, based on several diagnostics that diagnose the plasma and ensure the machine safety. The integrity and quality of these data are mandatory for a safe and efficient operation of any Tokamak. Given the complex nonlinear dynamics of fusion plasmas, continuous monitoring and validation of data quality are mandatory. Any disruption or anomaly in the data can lead to significant complications, affecting the stability of the entire plasma fusion operations. The detection of unusual patterns or events within the data collection, the observation of possible inconsistencies, can provide valuable insights and help identifying potentially abnormal behaviors in plasma operations.

Recent advancements in Artificial Intelligence (AI) have opened new possibilities for data analysis and quality control. AI algorithms have shown proficiency in complex tasks, ranging from playing games to autonomous data exploration [Somech2020].

AI algorithms have recently become central to many applications related to Fusion research [Farias 2020, Anand2022], highlighting the importance of AI in accelerating and automating manual tasks and ensuring data quality in the domain. Notably, DeepMind's recent work [Degrave2022] in applying reinforcement learning to control plasma in Tokamak reactors highlighted the potential of integrating AI methods in the plasma fusion research.

Objectives:

The focus of this thesis is to develop an AI-driven Anomaly Detection system dedicated to the WEST tokamak, in view of preparing the operation of ITER. The proposed framework will leverage state-of-the-art machine learning and Artificial Intelligence algorithms, statistical analysis and signal processing techniques. It will focus on validating a wide range of diagnostic signals, notably those related to plasma density, interferometry, radiative power and magnetic data from WEST operations. This proactive approach will allow for a fast identification and resolution of potential

issues, minimizing downtime and maximizing productivity during Tokamak operations.

Research Methodology:

- Identify the best state-of-the-art approaches: analyze and quantify the efficiency of the various algorithms in the literature for anomaly detection methods using heterogeneous data sources and plasma dynamics understanding
- Build a database with anomalies indicators regarding physics measurements
- Formally model the multi-criteria multi-objective anomaly detection methods for the selected signals
- Build a comprehensive model, perform a real-time implementation and validation on WEST Tokamak. Experimentally compare the results of different methods.
- Refinement, contributions, and finalizing the thesis.

Expected outcomes:

- A state-of-the-art anomaly detection system for time-series diagnostics of fusion plasmas, qualified during WEST Tokamak operations.
- Contribution to the WEST Tokamak's operation success in preparation of ITER.

References:

- [Somech2020] Somech A. et al., "Towards Autonomous, Hands-Free Data Exploration" CIDR 2020. <http://cidrdb.org/cidr2020/papers/p15-bar-cidr20.pdf>
- [Degrave2022] Degrave J. et al., "Magnetic control of tokamak plasmas through deep reinforcement learning", Nature 602.7897 (2022) 414-419. <https://www.nature.com/articles/s41586-021-04301-9.pdf>
- [Anand2022] H. Anand et al., "Real-Time Magnetic Sensor Anomaly Detection Using Autoencoder Neural Networks on the DIII-D Tokamak", IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 50, no. 11, pp. 4126-4130, Nov. 2022. doi: 10.1109/TPS.2022.3181548.
- [Debashish2020] Debashish M. et al., "Real-time sensor fault detection in Tokamak using different machine learning algorithms", Fusion Engineering and Design, Volume 151, 2020, 111401
- [Farias2020] G. Farias et al., "Automatic Recognition of Anomalous Patterns in Discharges by Applying Deep Learning", Fusion Science and Technology, 76:8 (2020) 925-932. DOI: 10.1080/15361055.2020.1820804

7 - Collaborations (éventuelles) prévues

8 - Partenariat(s) industriels prévu(s) (éventuellement)

9 - Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Nom: **ALMUHISEN**

Prénom: **Feda**

Adresse : **CEA, IRFM, F-13108 Saint-Paul-lez-Durance, France**

Téléphone **+33(0)442256289**

@mail: **feda.almuhisen@gmail.com**

Habilitation à diriger des recherches :

Non

Organisme de rattachement : **CEA**

Combien de thèses avez-vous déjà

0

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2024/2025 ? **1**

10 - Directeur de thèse

Nom: **DUMONT**

Prénom: **Rémi**

Adresse : **CEA, IRFM, F-13108 Saint-Paul-lez-Durance, France**

Téléphone: **+33 (0)442254876**

@mail: **remi.dumont@cea.fr**

Habilitation à diriger des recherches :

Oui

Organisme de rattachement : **CEA**

Combien de thèses avez-vous déjà encadrées

3

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2024/2025 ? **3**

11 - Signatures :

Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Date : /././././

Feda ALMUHISEN

Signature :

Directeur de Thèse (lorsqu'il est identifié)

Date : /././././

Rémi DUMONT

Signature :

Chef de Département CEA (ou son représentant)

Date : /././././

Jérôme BUCALOSSI

Signature :

Directeur du Pôle CEA (ou son représentant)

Date : /././././

Elsa CORTIJO

Signature :

12 - Avis du Responsable de l'Ecole Doctorale :

Physique et Sciences de la Matière (ED352)

Nom du Responsable :

Date : /././././

Signature :

Avis : Favorable Défavorable

Avis circonstancié :