

# Maintenance Prédicative par Empreinte ADN Temporelle sous MATLAB

March 8, 2025

## **Abstract**

Ce rapport présente un projet de maintenance prédictive novateur basé sur l’empreinte ADN temporelle des machines industrielles. Cette méthode permet d’individualiser la détection des défaillances en tenant compte des spécificités de chaque équipement. L’objectif est de développer un système sous MATLAB pour générer des empreintes ADN temporelles, créer et valider des modèles prédictifs, et démontrer la supériorité de cette approche par rapport aux méthodes classiques.

## 0.1 Introduction

L'objectif de ce projet est de développer un système de maintenance prédictive basé sur l'empreinte ADN temporelle des machines industrielles. Cette méthode permet de suivre le comportement d'une machine au fil du temps et de détecter des anomalies avant qu'elles ne provoquent des défaillances. Le projet consiste en la simulation de ce système sous MATLAB, en implémentant les algorithmes nécessaires et en validant les modèles prédictifs.

## 0.2 Objectifs du Projet

Les principaux objectifs du projet sont :

- Développer un environnement de simulation sous MATLAB.
- Implémenter des algorithmes pour générer les empreintes ADN temporelles.
- Créer et valider deux modèles prédictifs : un modèle complexe (LSTM-CNN hybride) et un modèle simplifié (SARIMA-Boosting).
- Comparer les résultats obtenus avec les méthodes traditionnelles de maintenance prédictive.

## 0.3 Environnement de Développement et Simulation

Le projet utilise MATLAB et plusieurs de ses toolboxes spécifiques :

- **Simulink** : Pour la modélisation et la simulation des systèmes dynamiques.
- **Simscape** : Pour la modélisation physique des composants des machines.
- **Statistics and Machine Learning Toolbox** : Pour les algorithmes de machine learning.
- **Signal Processing Toolbox** : Pour l'analyse des signaux des capteurs.
- **Deep Learning Toolbox** : Pour la création de modèles de réseaux de neurones.
- **Predictive Maintenance Toolbox** : Pour les fonctionnalités spécifiques à la maintenance prédictive.

L'architecture de simulation comprend trois couches principales :

- **Couche Physique** : Modélisation des équipements industriels (moteurs, pompes, etc.) avec Simscape.
- **Couche Acquisition** : Simulation des capteurs et du système SCADA.
- **Couche Analytique** : Implémentation des algorithmes de maintenance prédictive.

## 0.4 Algorithmes et Modèles Prédicatifs

La génération d'empreintes ADN temporelles repose sur l'extraction de caractéristiques des signaux obtenus par les capteurs, telles que :

- Analyse temps-fréquence avec la transformée de Fourier à court terme (STFT) et les spectrogrammes.
- Analyse par ondelettes pour détecter les transitoires.
- Calcul de caractéristiques statistiques (moyenne, variance, asymétrie, kurtosis).
- Indicateurs de complexité comme l'entropie et la dimension fractale.

Les empreintes ADN temporelles sont structurées sous forme de vecteurs normalisés, avec une réduction de dimension par des techniques comme l'ACP (PCA).

Deux modèles prédictifs sont utilisés :

- **Modèle complexe (LSTM-CNN hybride)** : Combinaison de réseaux de neurones convolutionnels (CNN) et à mémoire longue (LSTM).
- **Modèle simplifié (SARIMA + Boosting)** : Utilisation de SARIMA pour modéliser les tendances saisonnières, amélioré par un modèle de boosting (Gradient Boosting).

## 0.5 Validation et Comparaison des Modèles

Les modèles sont validés à l'aide de techniques de validation croisée et de tests sur des profils de dégradation simulés. Les performances sont mesurées selon les métriques suivantes:

- Précision de la prédiction (RMSE, MAE).
- Temps de détection des défaillances.
- Taux de fausses alarmes.
- Robustesse aux variations des conditions.

La comparaison des modèles se fait en fonction de ces critères pour déterminer celui qui offre la meilleure performance en matière de maintenance prédictive.

## 0.6 Conclusion

Ce projet vise à démontrer l'efficacité de l'empreinte ADN temporelle dans la maintenance prédictive. Les modèles développés montrent des avantages significatifs en termes de précision et de réactivité, et ouvrent des perspectives pour leur intégration dans des systèmes SCADA.