

Système intelligent de gestion des interventions avec intégration IoT et maintenance prédictive

Présenté par:

Mohamed Rida Lajghal

Sous la supervision:

M. El ARCHI Nabil

PR. LYAQINI Soufiane

Membres du jury:

KAROUM Bouchra

ENSA

Président

Salma Rafik

ENSA

Examineur

Overview

- ① Introduction
- ② Contexte du projet
- ③ Problématique
- ④ Méthodologie proposée
 - Architecture du système
 - Workflow prédiction
 - Cadrage du Problème d'Apprentissage Automatique
 - Dataset Siemens
 - Sélection du Modèle Optimal
- ⑤ Interfaces de la plateforme
 - Dashboard temps réel
 - Administrateur
 - Utilisateur & Technicien
- ⑥ Conclusion
- ⑦ Perspectives d'Évolution
- ⑧ Bibliographie

Introduction

Le défi industriel :

- ▶ **Arrêts imprévus** des machines = Coûts énormes pour l'industrie (OCP).
- ▶ Maintenance souvent **réactive** : on intervient après la panne.

La solution : La Maintenance Prédictive 4.0

- ▶ Anticiper les pannes grâce aux **données** des capteurs (IoT).
- ▶ **Intelligence Artificielle** pour analyser ces données en temps réel.
- ▶ Digitaliser les processus de gestion des interventions.

Notre objectif : Développer une plateforme intelligente qui fait tout cela à la fois.

Contexte du projet

- ▶ **Organisme d'accueil:** Groupe OCP - Leader mondial des phosphates
- ▶ **Problématique industrielle:**
 - ▶ Gestion manuelle des interventions
 - ▶ Données capteurs non exploitées pour la prédiction
 - ▶ Pas de plateforme centralisée combinant gestion et prédiction
- ▶ **Objectif:** Développer une plateforme unifiée de maintenance prédictive
- ▶ **Limites des outils existants:** Utilisation de papier/Excel, peu pratique et limité



Problématique

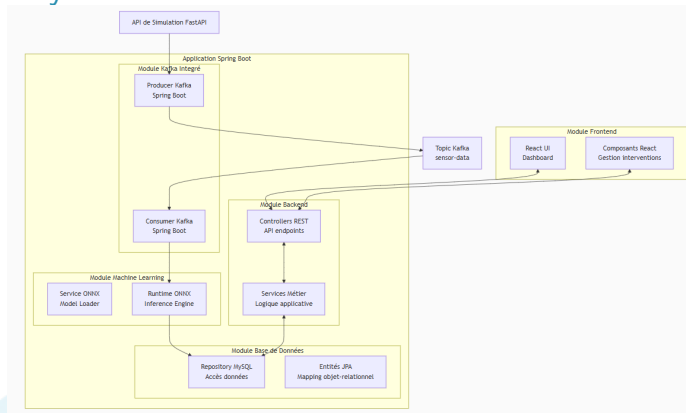
► Défis techniques:

- Intégration de flux de données temps réel hétérogènes
- Prédiction fiable des défaillances avec faible latence
- Orchestration de workflows métier complexes

► Solution proposée:

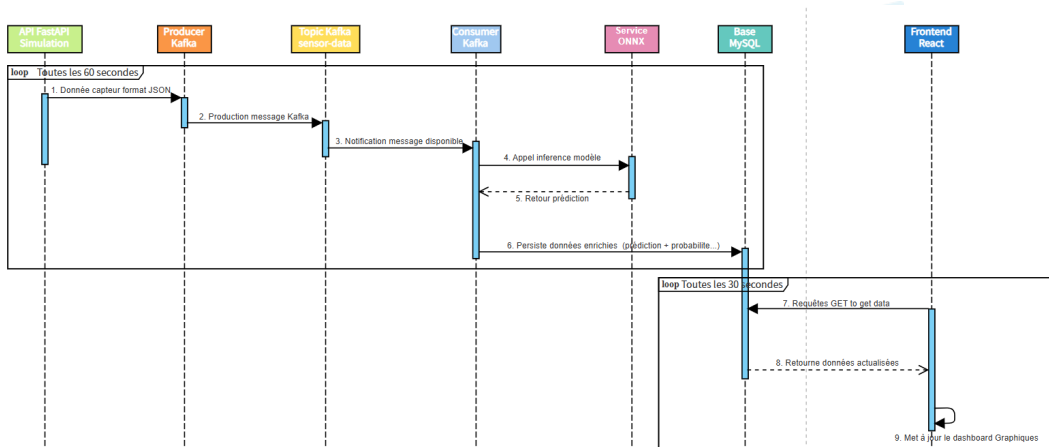
- Architecture modulaire avec Kafka pour le streaming
- Modèles ML optimisés pour l'inférence temps réel
- Interface unifiée pour tous les acteurs (Admin, Technicien, Utilisateur)

Architecture du Système



- **Backend:** Spring Boot avec intégration Kafka et ONNX Runtime
- **Frontend:** React avec visualisations Recharts
- **ML:** LightGBM optimisé converti en ONNX
- **BDD:** MySQL pour la persistance des données

Workflow de Prédiction Temps Réel



Cadrage du Problème d'Apprentissage Automatique

Problème : Classification Binaire Supervisée

- ▶ **Objectif** : Prédire une défaillance (`failure_occurrence = 1`)
- ▶ **Entrée** : 93 caractéristiques techniques et opérationnelles
- ▶ **Sortie** : 2 classes (0: « Normal », 1: « Défaillance imminente »)
- ▶ **Approche** : Apprentissage supervisé sur données historiques étiquetées

Modèles entraînés et comparés:

Algorithmes testés

- ▶ Random Forest (Base + Optimisé)
- ▶ Extra Trees (Base + Optimisé)
- ▶ XGBoost (Base + Optimisé)
- ▶ LightGBM (Base + Optimisé)
- ▶ HistGradientBoosting (Base + Optimisé)

Métriques d'Évaluation

- ▶ Précision (**Precision**)
- ▶ Rappel (**Recall**)
- ▶ Score F1 (**F1-Score**)
- ▶ AUC-ROC (**ROC AUC**)
- ▶ Temps d'inférence (**Latence**)
- ▶ Taille mémoire

Dataset Siemens

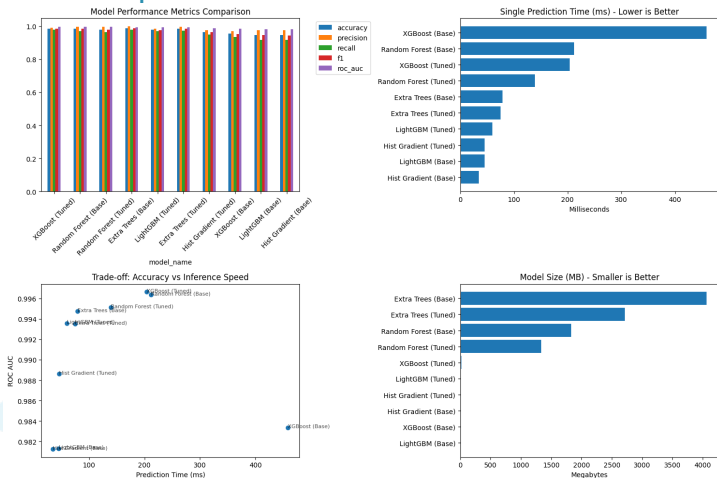
Source : Siemens Smart Manufacturing Lab

- ▶ **Période** : Janvier 2022 - Janvier 2025 (3 années complètes)
- ▶ **Fréquence** : 1 mesure toutes les 60 secondes
- ▶ **Volume** : 1.5+ millions d'enregistrements
- ▶ **Origine** : Capteurs industriels réels (CNC, presses hydrauliques)

Caractéristiques principales :

- ▶ Vibrations (X, Y, Z)
- ▶ Température moteur
- ▶ Pression hydraulique
- ▶ Niveau d'usure outils
- ▶ Taux de production
- ▶ Conditions environnementales
- ▶ Latence réseau
- ▶ État des équipements
- ▶ Historique maintenance
- ▶ Occurrence de défaillances

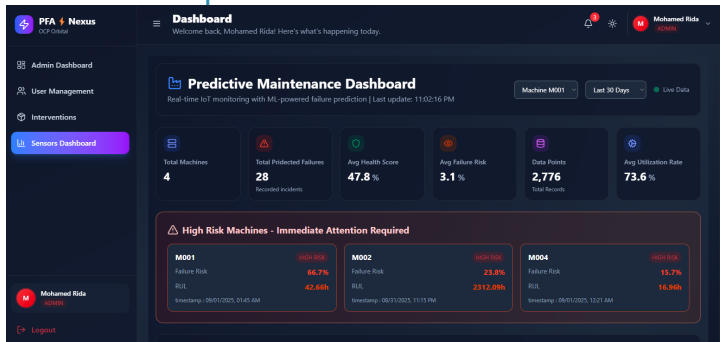
Sélection du Modèle Optimal



LightGBM (Optimisé) retenu:

F1-Score: 97.7% Précision: 98.5% Rappel: 97.0% ROC AUC: 0.9935 Latence: < 60 ms Taille: 7.2 MB

Interface - Dashboard Temps Réel



Visualisation des données pour tous les rôles:

Données Capteurs

- ▶ Visualisation temps réel
- ▶ État des machines
- ▶ Alertes actuelles

Prédictions ML

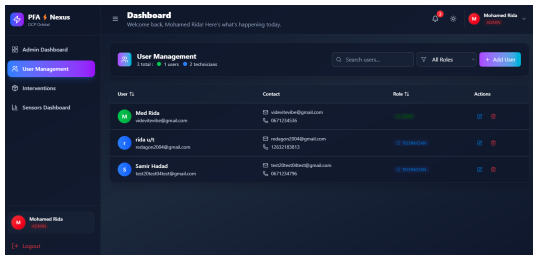
- ▶ Probabilités défaillance
- ▶ Historique des prédictions
- ▶ Niveaux de criticité

État du Parc

- ▶ Santé des équipements
- ▶ Statistiques globales
- ▶ Indicateurs KPI

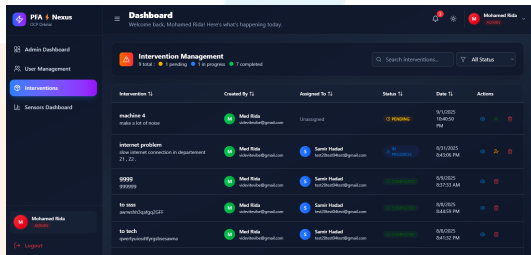
Interfaces Administrateur

Gestion complète des interventions et des utilisateurs



Gestion des Utilisateurs

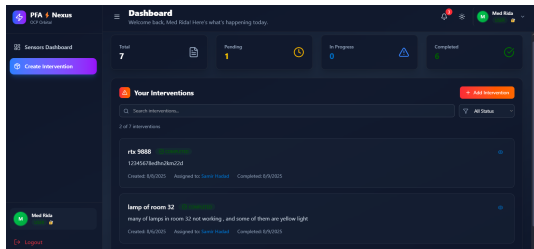
- ▶ Créer/modifier/supprimer des comptes
- ▶ Assigner les rôles (Technicien, Utilisateur)
- ▶ Envoyer les emails d'activation



Supervision des Interventions

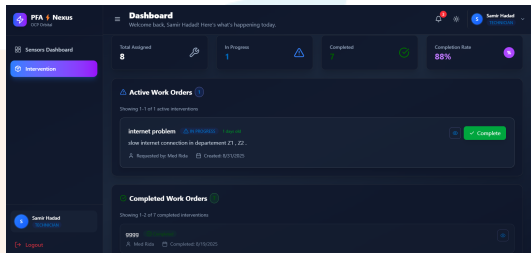
- ▶ Voir toutes les interventions
- ▶ Assigner/réassigner aux techniciens
- ▶ Supprimer les interventions

Interfaces Utilisateur et Technicien



Espace Utilisateur

- ▶ Créer une nouvelle demande
- ▶ Voir le statut des demandes
- ▶ Consulter l'historique



Espace Technicien

- ▶ Liste des interventions assignées
- ▶ Marquer comme "Terminé"
- ▶ Historique des interventions assignées

Conclusion

Ce que nous avons réalisé:

- ▶ Une **plateforme complète** de maintenance prédictive
- ▶ Des **prédictions précises** (97.7%) et rapides (<60ms)
- ▶ Une **interface simple** pour tous les utilisateurs
- ▶ Une **intégration temps réel** avec Kafka et ONNX
- ▶ Un **système sécurisé** avec rôles et permissions

Perspectives d'Évolution

Améliorations futures:

Évolutions techniques

- ▶ **WebSockets** pour du vrai temps réel
- ▶ **Application mobile** pour les techniciens
- ▶ **Notifications** en temps réel
- ▶ **Intégration** avec les systèmes OCP

Évolutions IA avancées

- ▶ **Prédiction du type de maintenance** nécessaire (reparation, remplacement , nettoyage)
- ▶ **Classification du type de défaillance**
- ▶ **RUL (Remaining Useful Life)** par séries temporelles

Bibliographie

- [1] Apache Kafka Documentation. <https://kafka.apache.org/documentation/>
- [2] Ke, G. et al. (2017). *LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree*. Advances in Neural Information Processing Systems.
- [3] ONNX Runtime. (2023). *ONNX Runtime Documentation*. <https://onnxruntime.ai/docs/>
- [4] Spring Boot Documentation. (2023). <https://spring.io/projects/spring-boot>
- [5] Siemens Smart Manufacturing Lab. (2024). *Industrial AI Research Program Dataset*. Kaggle.



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Questions ?