MachinaEar
Système de Maintenance Prédictive Intelligent

Élaboré par :

Aziz BENSALAH
Salem Aziz FRADI
Zied KALLEL
Chiheb Eddine ZIDI

Encadré par :

Dr. Mohamed Béchaa KAÂNICHE

Année Universitaire 2025 – 2026

1 Introduction

MachinaEar est un projet de maintenance prédictive embarquée visant à surveiller la santé des machines industrielles à faible coût. Le système repose sur un **Raspberry Pi 4** équipé de capteurs acoustiques et vibratoires, un modèle d'intelligence artificielle embarqué (**TensorFlow Lite**), et une architecture logicielle cloud basée sur **Jakarta EE** et **MongoDB Atlas**.

L'objectif est de détecter précocement les anomalies mécaniques, de prévenir les défaillances, et d'offrir une interface web intuitive pour la supervision et la maintenance proactive.

—

2 Architecture Générale du Système

L'architecture de MachinaEar repose sur trois couches interdépendantes :

— **Couche Edge (IoT) :** Raspberry Pi 4 exécutant un modèle TensorFlow Lite pour l'analyse locale des signaux.

— **Couche Cloud :** Serveur WildFly hébergeant les services REST Jakarta EE et la base de données MongoDB Atlas.

— **Couche Application :** Interface web Jakarta EE permettant la visualisation en temps réel, la configuration et la gestion des alertes.

—

3 Diagramme de Cas d'Utilisation

Le diagramme suivant illustre les interactions entre les acteurs et les principaux cas d'utilisation du système.

Description des acteurs

— **Utilisateur :** surveille la santé des machines, consulte les historiques et reçoit les alertes.

— **Administrateur :** gère les utilisateurs et les accès.

— **Raspberry Pi :** collecte et envoie les données capteurs au cloud.

— **Serveur Cloud :** stocke les données, entraîne et met à jour le modèle IA.

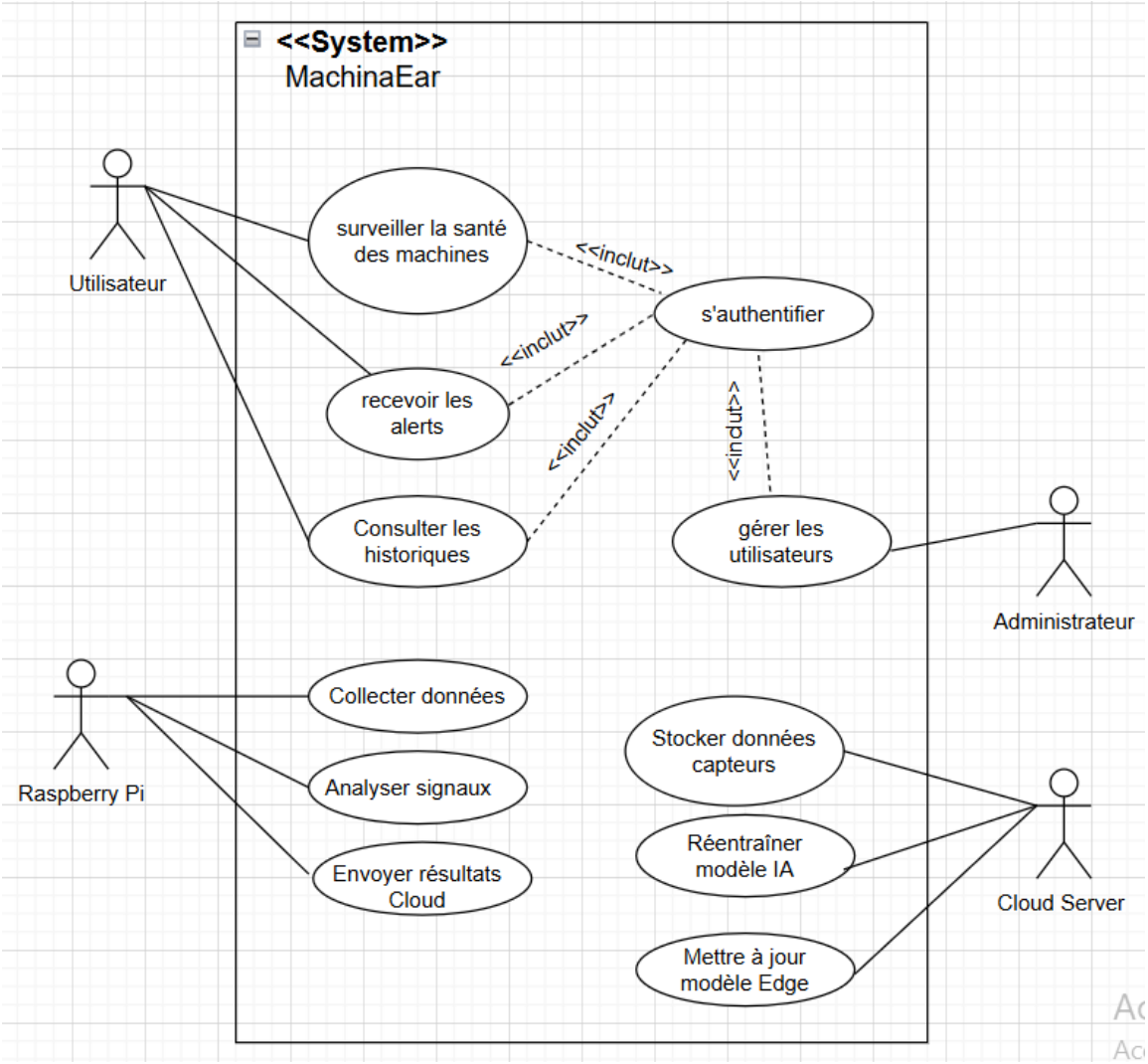

FIGURE 1 – Diagramme de cas d'utilisation du système MachinaEar.

4 Diagramme de Classes

Ce diagramme présente la structure orientée objet du système, les classes principales et leurs relations.

Analyse des relations principales

- **Administrateur** hérite de la classe **Utilisateur**.
- Un **Utilisateur** consulte un **TableauDeBord** (1→1).
- Le **TableauDeBord** affiche l'état de plusieurs **Machines**.
- Une **Machine** contient un ou plusieurs **Capteurs**.
- Les **Capteurs** envoient leurs données au **DétecteurAnomalie** via un **MQTT-Client**.
- Le **DétecteurAnomalie** génère des **Alertes** et met à jour son modèle via le

ServeurCloud.

— Le **ServeurCloud** stocke les données dans le **DatabaseManager**.

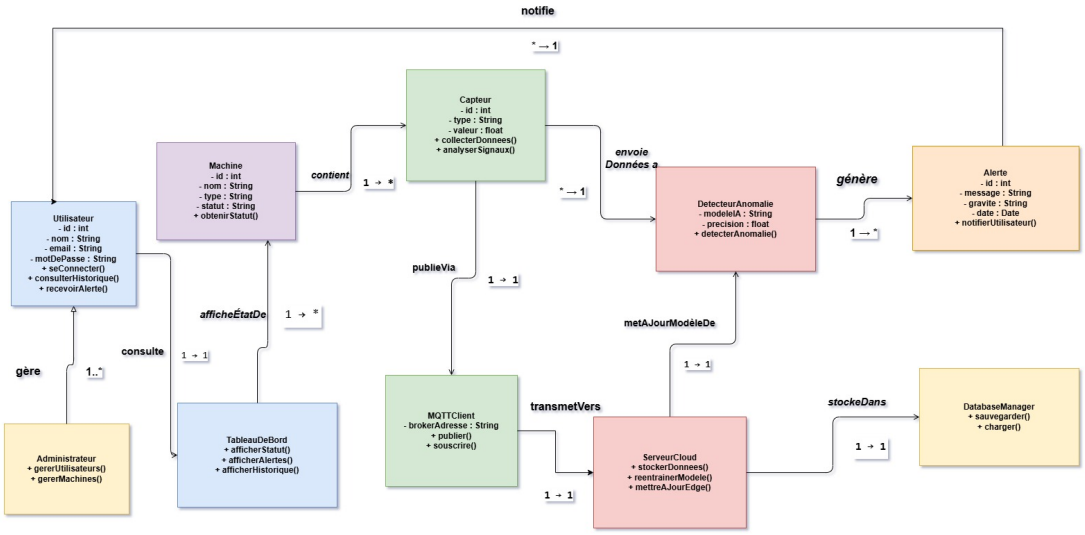

FIGURE 2 – Diagramme de classes du système MachinaEar.

5 Diagramme de Déploiement

Le diagramme suivant illustre la distribution physique du système entre les couches Edge, Cloud et IA.

Description du déploiement

— **Raspberry Pi (Edge) :** exécute le modèle TensorFlow Lite et publie les mesures via MQTT (Eclipse Mosquitto).

— **Serveur Cloud (WildFly) :** héberge les API REST Jakarta EE et interagit avec MongoDB Atlas.

— **Pipeline IA :** GitHub Actions et MLflow assurent le réentraînement et la mise à jour automatique des modèles.

— **MongoDB Atlas :** stocke les données capteurs, historiques et alertes.

6 Sécurité et Communication

— Transmission sécurisée via **HTTPS** et **MQTTs**.

— Authentification par jeton **JWT**.

— Contrôle d'accès basé sur les rôles (utilisateur / administrateur).

— Sauvegarde automatique des données et versioning des modèles IA.

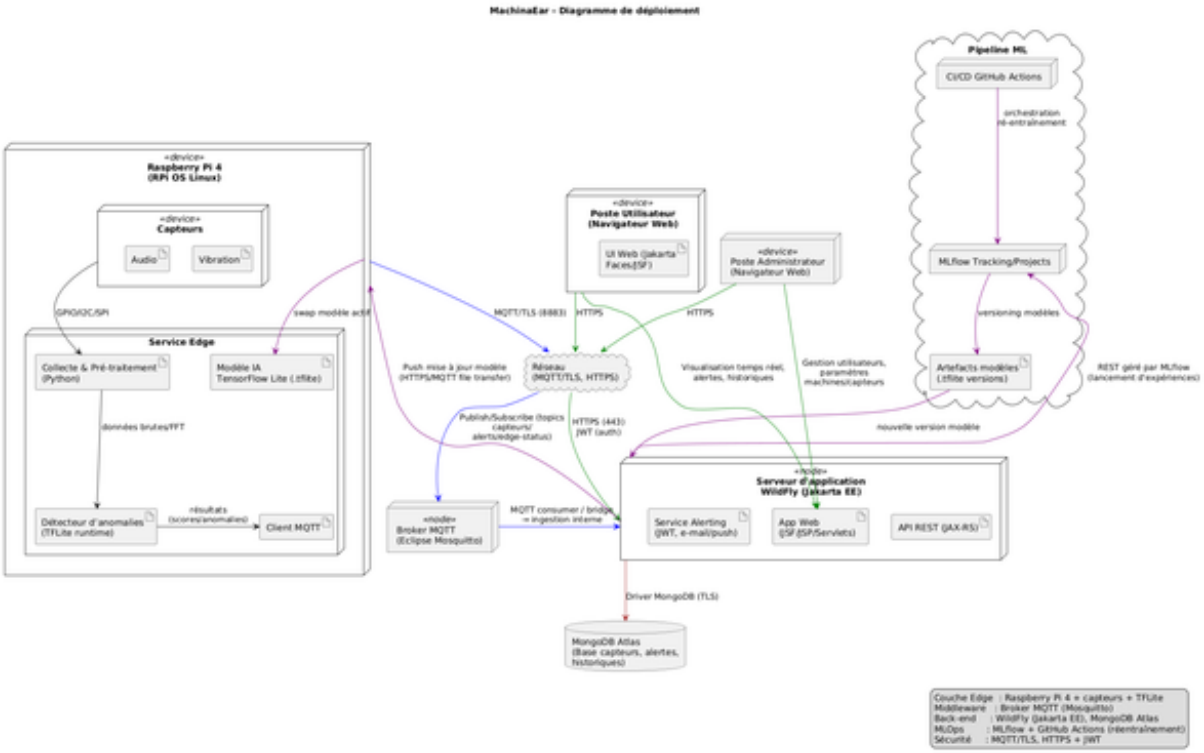

FIGURE 3 – Diagramme de déploiement du système MachinaEar (Edge–Cloud–Pipeline IA).

7 Améliorations Futures

— Intégration d'une application mobile Android connectée à l'API REST.
— Ajout de nouveaux capteurs : température, courant, pression.
— Support du protocole industriel OPC-UA.
— Visualisation enrichie via PrimeFaces et JSF.
—

8 Conclusion

Le projet **MachinaEar** combine **IoT**, **IA embarquée** et **architecture cloud** pour offrir une solution complète de maintenance prédictive. Grâce à l'utilisation de **Jakarta EE** et de **Raspberry Pi 4**, le système garantit une détection en temps réel, une grande fiabilité et une intégration simple dans les environnements industriels modernes.