

Edge AI et Apprentissage Fédéré pour la Viticulture : Vers une Agriculture Intelligente et Durable

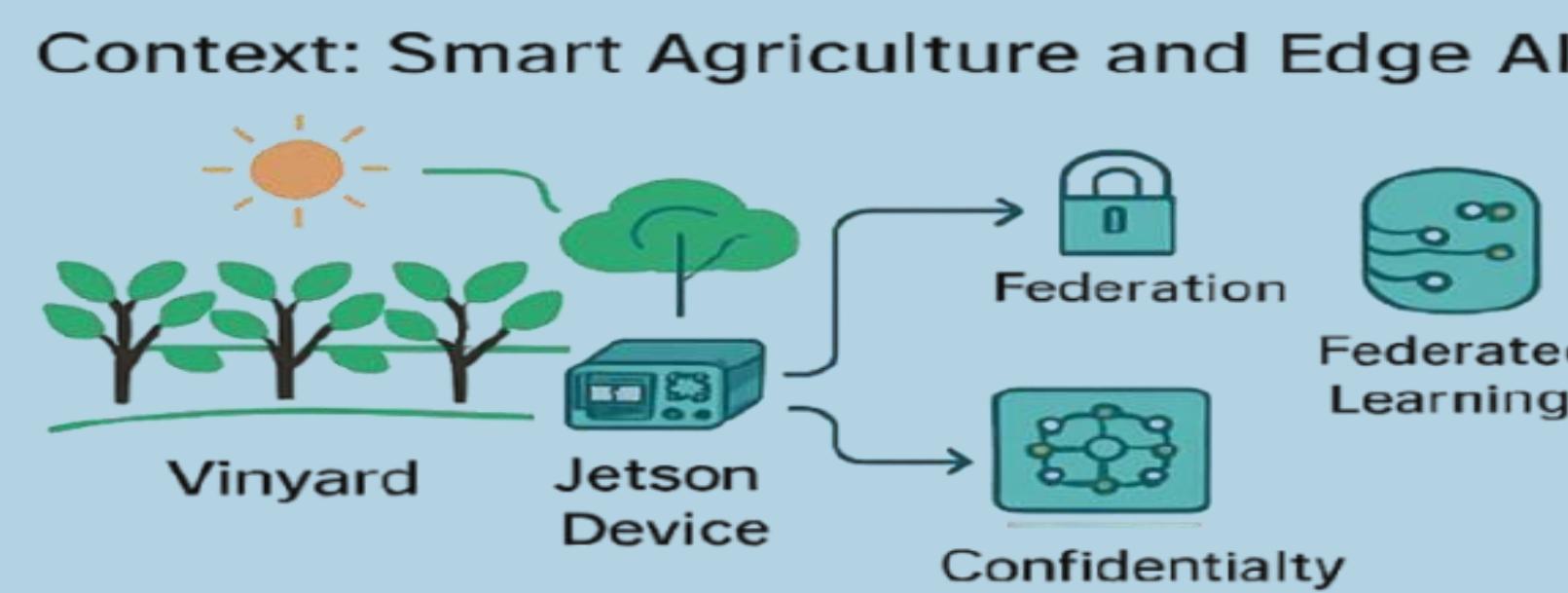
Projet réalisé dans le cadre du Laboratoire LICIIS – Université de Reims Champagne-Ardenne - CHPS

Wejdane Bouchhioua , Luiz Angelo Steffenel

Introduction

L'agriculture moderne joue un rôle central dans l'économie française et européenne, mais elle est confrontée à des défis majeurs : changement climatique, pression sur les ressources, exigence de durabilité. La Smart Agriculture, en intégrant l'IA, l'IoT et le Edge Computing, propose des solutions innovantes pour une gestion fine des cultures. Le traitement local des données via le Edge Computing permet des décisions en temps réel, tout en respectant la confidentialité et en réduisant la dépendance aux infrastructures réseau.

Le laboratoire LICIIS dans le cadre du projet européen EdgeAI-Trust, vise à développer un système embarqué, distribué et de confiance, avec des démonstrateurs concrets dans le domaine viticole. Dans ce projet, nous exploitons le modèle YOLO pour détecter des maladies visibles sur les raisins dans les pressoirs, directement sur des dispositifs edge comme les Jetson TX2. L'approche repose sur l'apprentissage fédéré, permettant à chaque Jetson d'entraîner un modèle local sans partager les données brutes, garantissant ainsi la confidentialité et la souveraineté des données agricoles.



Technologies et Methodologies

1. Apprentissage Fédéré : Principe et Mise en Œuvre

L'apprentissage fédéré permet à plusieurs clients (dans notre cas les Jetson TX2) d'entraîner des modèles localement, puis de partager uniquement les poids du modèle avec un serveur central. Ce serveur agrège les poids (via des algorithmes et des stratégies comme FedAvg) pour créer un modèle global, sans jamais accéder aux données brutes. Cette approche garantit la confidentialité, réduit les besoins en bande passante, et permet une collaboration inter-sites.

a. Apprentissage Fédéré Centralisé :

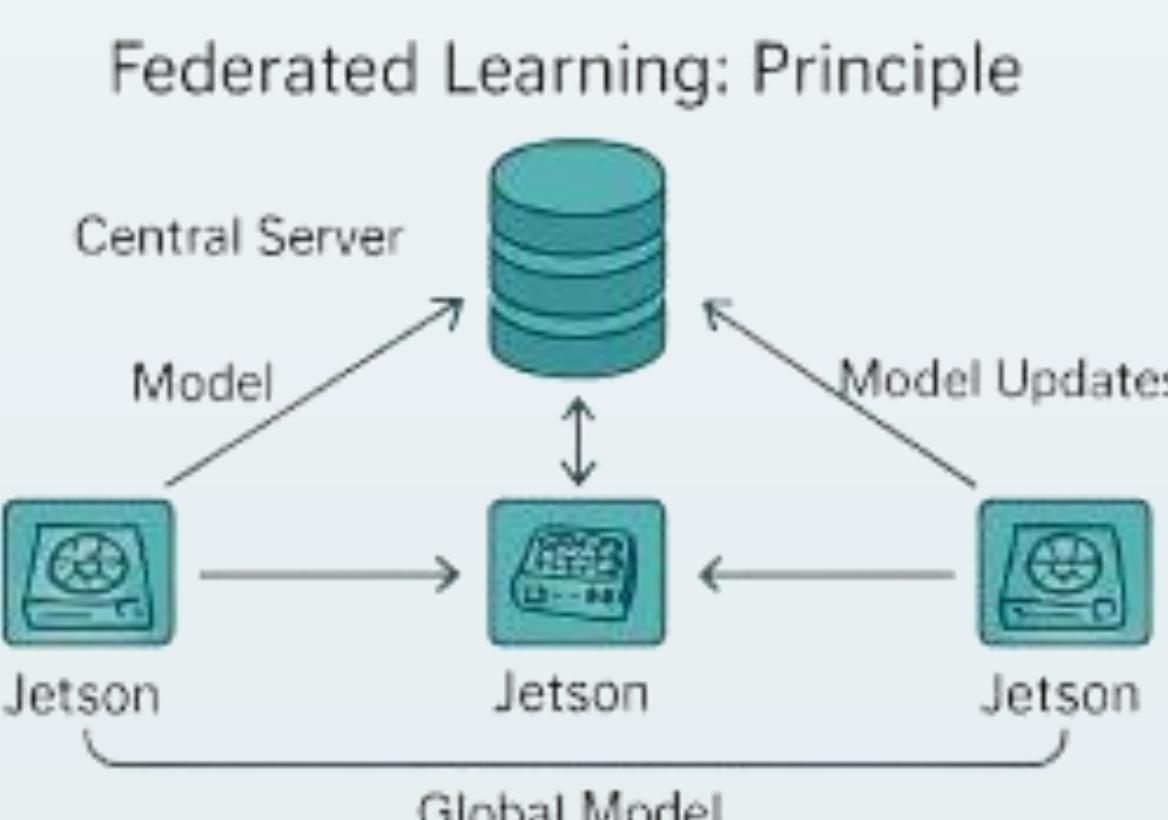
Principe : Un serveur central orchestre tout le processus.
Spécificité : Potentiel goulet d'étranglement, dépendance unique au serveur.

b. Apprentissage Fédéré Décentralisé :

Principe : Les clients se coordonnent directement entre eux pour échanger les mises à jour.
Spécificité : Élimine le serveur unique, performance dépendante de la topologie réseau.

c. Apprentissage Fédéré Hétérogène (HeteroFL) :

Principe : Gère des clients aux configurations matérielles/logicielles différentes.
Spécificité : Permet des architectures de modèle variées par client, agrégées en un modèle global. Adapté aux capacités diverses des appareils (IoT, mobiles).



2. Présentation du Modèle YOLO (You Only Look Once)

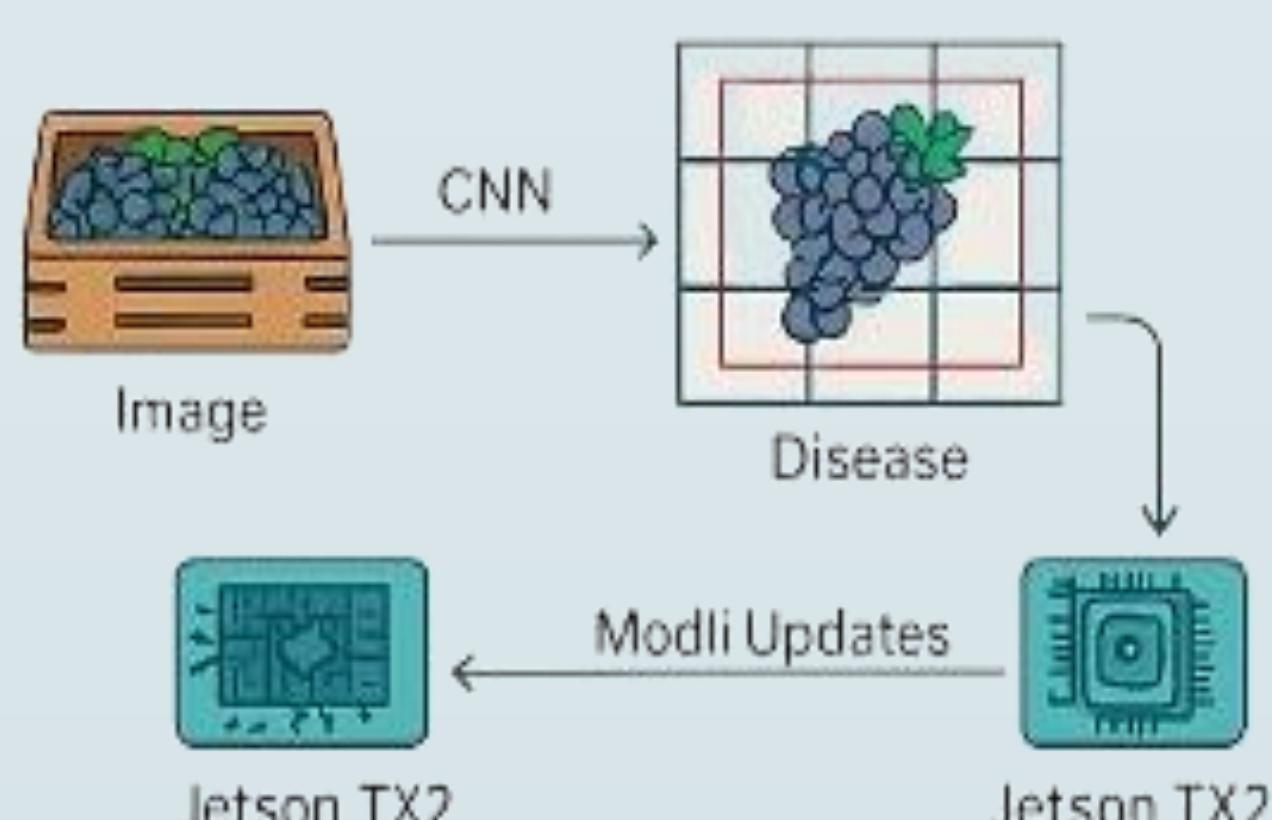
YOLO est un modèle de détection d'objets en temps réel, basé sur des réseaux de neurones convolutifs (CNN).

Il se caractérise par :

- Rapidité d'inférence (Edge-friendly)
- Détection multi-objets
- Facilement adaptable à de nouvelles classes (maladies, niveaux de maturité, etc.)

Dans notre cas, YOLO est utilisé pour détecter des anomalies visuelles dans les caisses de raisin (moisissures, taches, décoloration). Le modèle est pré-entraîné sur des jeux de données génériques, puis réentraîné localement sur chaque Jetson TX2 avec des images spécifiques à chaque pressoir.

YOLO Model and Training on Jetson TX2



3. Intégration Edge Computing sur Jetson TX2

L'utilisation du Edge Computing vise à rapprocher l'intelligence du terrain :

- Les **données sensibles** (images de raisins, conditions de production) ne quittent pas le site.
- Les traitements (inférence, prétraitement, apprentissage local) sont réalisés directement sur le Jetson, réduisant la **latence** et les besoins en **bande passante**.
- Les modèles sont synchronisés entre les Jetsons et un serveur d'agrégation, mais seules les **mises à jour de paramètres (poids)** sont échangées, pas les données.

=> Cette approche permet une autonomie locale, une confidentialité renforcée et une résilience aux coupures réseau, caractéristiques essentielles dans les exploitations rurales.

Dans ce projet, nous visons à explorer différents appareils edges (edge devices) mais nous avons commencé par l'exploration des Jetsons TX2.

Le **NVIDIA Jetson TX2** est une carte embarquée conçue pour l'exécution de modèles d'intelligence artificielle en environnement contraint. Dotée d'un GPU NVIDIA Pascal (256 coeurs CUDA), d'un CPU ARM 6 coeurs et de 8 Go de RAM LPDDR4, elle offre un excellent compromis entre puissance de calcul et consommation énergétique (7,5 à 15 W). Cette plateforme est largement utilisée pour des applications de vision embarquée, de robotique, et d'Edge AI, où les données doivent être traitées localement, sans dépendance à un serveur distant.

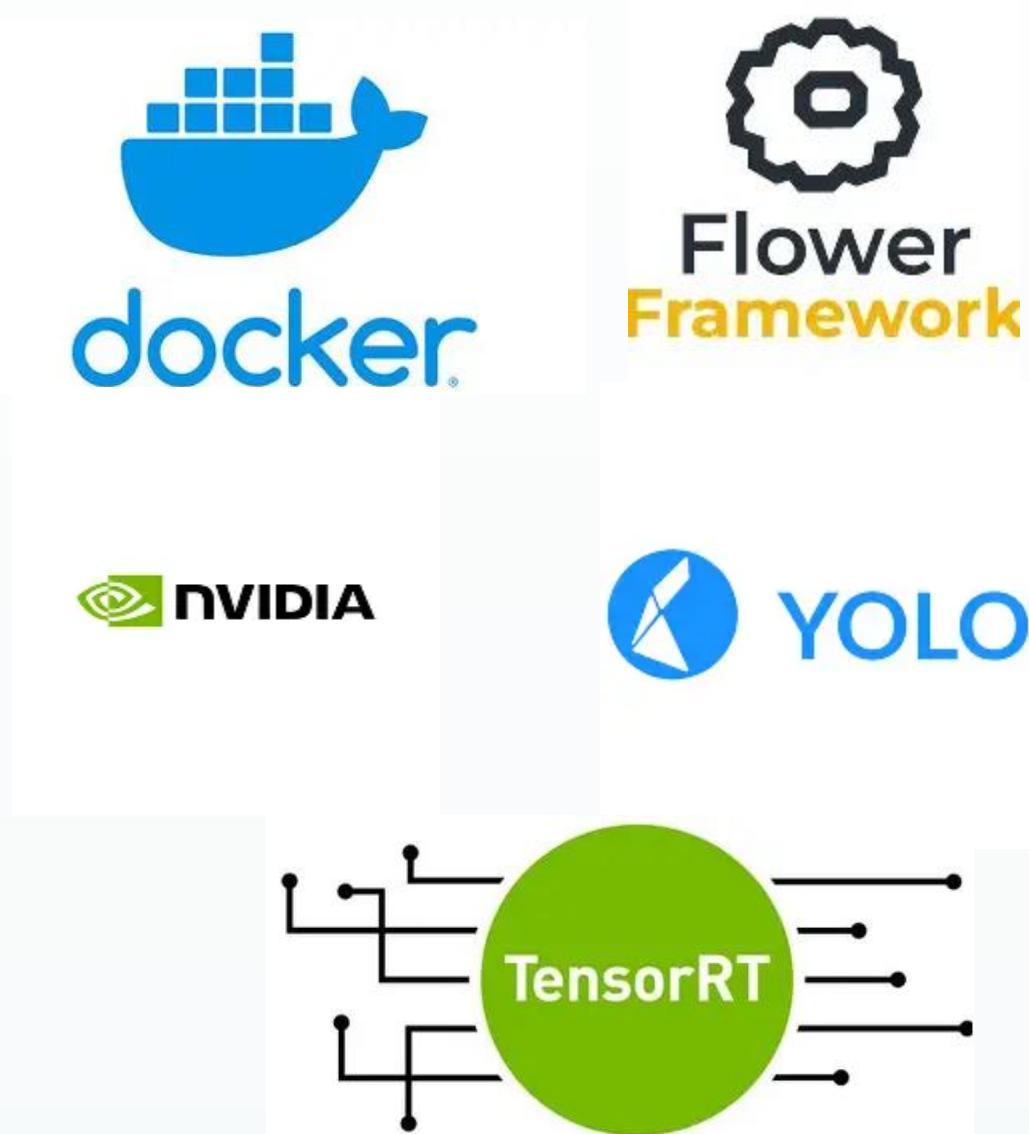
Technologies et Methodologies

a. Avantages techniques :

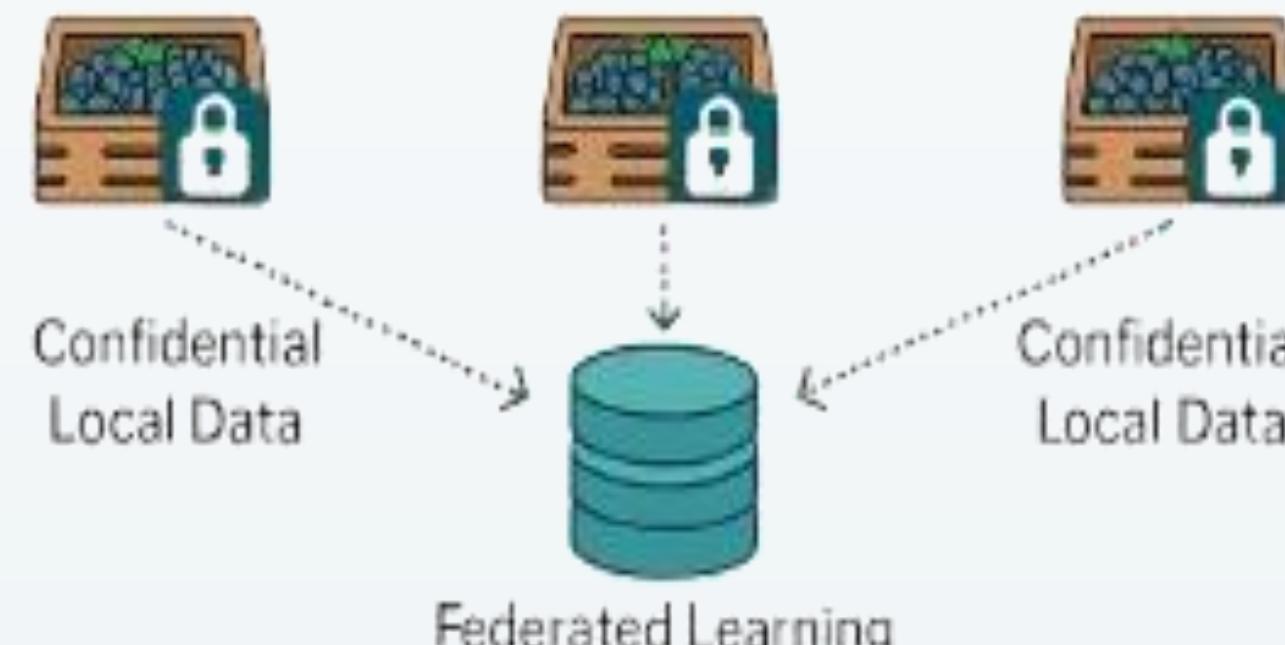
- Calcul local sur site (aucune dépendance cloud).
- Optimisation GPU via TensorRT pour accélérer YOLO.
- Déploiement flexible via Docker et orchestration Federated Learning (Flower / FedML).
- Communication via MQTT ou gRPC pour synchronisation des poids.

b. Architecture logicielle envisagée :

- Système Jetson Linux + Docker
- YOLOv8n (PyTorch / Ultralytics)
- Client FL (Flower) pour communication avec le serveur fédéré
- Serveur central Flower (Edge Node) pour agrégation des poids
- Module TensorRT pour accélération GPU



Federated Learning: Data Confidentiality



4. Confidentialité et Souveraineté des Données:

Les données agricoles sont sensibles : elles peuvent révéler des informations stratégiques sur la production, la qualité ou les pratiques d'un domaine. L'approche fédérée garantit que les images ne quittent pas le pressoir. Les poids du modèle sont partagés, et des techniques de sécurité et de differential privacy sont envisagées pour protéger davantage les mises à jour envoyées. Cette architecture respecte les principes du RGPD, et s'aligne avec les politiques européennes de souveraineté numérique et de durabilité.

Résultats attendus et perspectives

Performances visées :

- Précision de détection supérieure à 90 % sur les principales maladies.
- Réduction de 70 % du trafic réseau par rapport à l'apprentissage centralisé.
- Confidentialité totale des données locales.
- Temps d'inférence ≤ 0.1 s/image sur Jetson TX2 optimisé.

Perspectives de recherche :

- Intégration du Secure Aggregation (agrégation sécurisée chiffrée).
- Étude d'architectures décentralisées adaptatives (P2P).
- Extension à d'autres applications agricoles : estimation de maturité, classification de cépages, détection d'objets parasites.
- Fusion multimodale (vision + capteurs environnementaux).

Master CHPS & Laboratoire LICIIS

Le laboratoire LICIIS : Laboratoire d'Informatique en Calcul Intensif et Image pour la Simulation

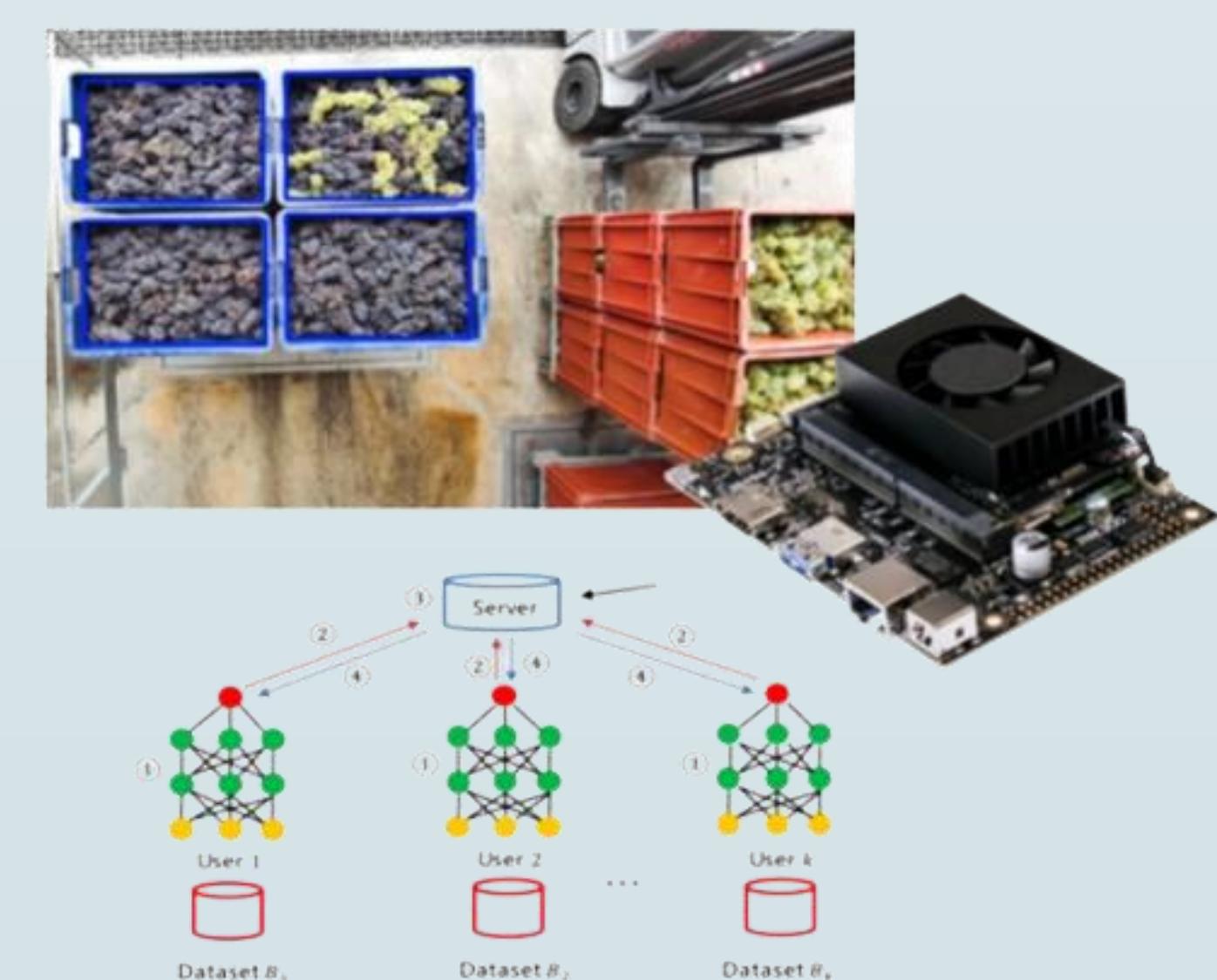
un laboratoire pluridisciplinaire qui regroupe des enseignants-chercheurs, ingénieurs et doctorants, et mène des travaux sur l'intelligence artificielle (Machine Learning, Deep Learning...), la simulation numérique et le calcul haute performance, les systèmes distribués et embarqués et les applications à la santé, la viticulture et la maintenance prédictive. L'équipe mène plusieurs projets en lien avec l'IA appliquée à l'agriculture de précision, la météorologie.

Le Master d'Informatique CHPS URCA:

Le master Calcul Haute Performance et Simulation , vise à former des informaticiens experts dans le domaine de la simulation numérique. spécialisation en Calcul Haute Performance (HPC), Simulation, Cloud, Big Data, Intelligence Artificielle, Apprentissage Profond, Deep Learning, Imagerie numérique et Visualisation Scientifique

Conclusion

Ce projet illustre la convergence entre : IA distribuée (Federated Learning), Edge Computing embarqué (Jetson TX2), et Smart Agriculture durable. Il démontre qu'il est possible d'intégrer des modèles d'IA avancés (YOLO) dans des dispositifs embarqués et fédérés, tout en garantissant la confidentialité, la résilience et la performance énergétique. Ces approches ouvrent la voie à une viticulture plus intelligente, autonome et respectueuse des données et de l'environnement.



Références

Vous trouverez toutes les références nécessaires dans le lien suivant :

https://github.com/Wej28C/Poster_Journee_reseau_figure_CMI_2025

