

Examens Projets 2026 MIA FST : Architecture Edge-Fog-Cloud et Federated Learning

Applications Stratégiques pour la Mauritanie

Dr. EL BENANY Mohamed Mahmoud

23 janvier 2026

1. Architecture de Référence

L'architecture adoptée pour l'ensemble des projets repose sur une hiérarchie à trois niveaux, optimisant la latence, la bande passante et la confidentialité des données.

- **Niveau Edge** : Collecte des données locales via capteurs (IoT). Réalisation d'un pré-traitement et d'un entraînement initial léger (modèles simplifiés ou mise à jour locale des poids).
- **Niveau Fog** : Nœuds intermédiaires assurant l'agrégation régionale. Ce niveau réduit la latence en traitant les alertes urgentes et sécurise le partage entre plusieurs unités Edge.
- **Niveau Cloud (Serveur Central)** : Coordination globale du *Federated Learning* (FL). Il fusionne les modèles reçus pour créer un modèle global robuste, gère le stockage à long terme et les analyses macro-économiques.

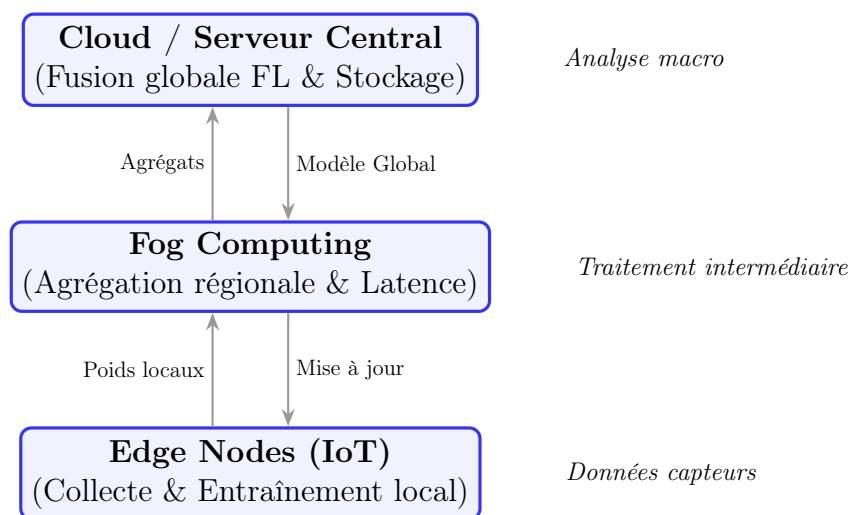


FIGURE 1 – Architecture Hiérarchique Edge-Fog-Cloud pour le Federated Learning

2. Principe du Federated Learning (FL)

Le Federated Learning est au cœur de ces sujets pour garantir la confidentialité et l'efficacité :

1. Les modèles sont entraînés localement sur les nœuds **Edge**.
2. Seuls les **poids ou gradients** (et non les données brutes) sont partagés via le **Fog**.
3. Le **Serveur Central** fusionne ces poids (ex : Algorithm *FedAvg*) pour générer un modèle global, redistribué ensuite vers la périphérie.

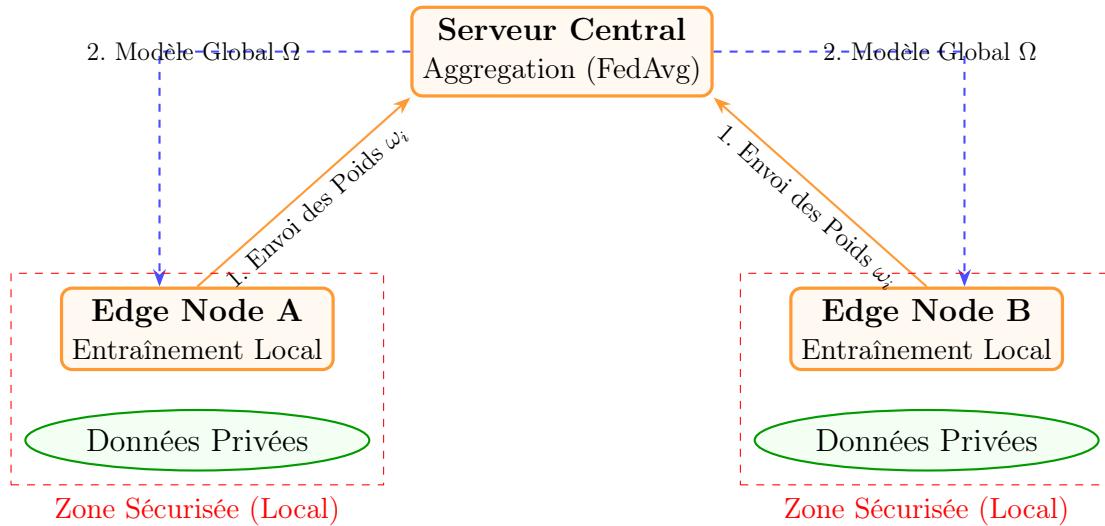


FIGURE 2 – Cycle de mise à jour du Federated Learning : Échange de paramètres uniquement.

3. Sujets Nationaux (Mauritanie)

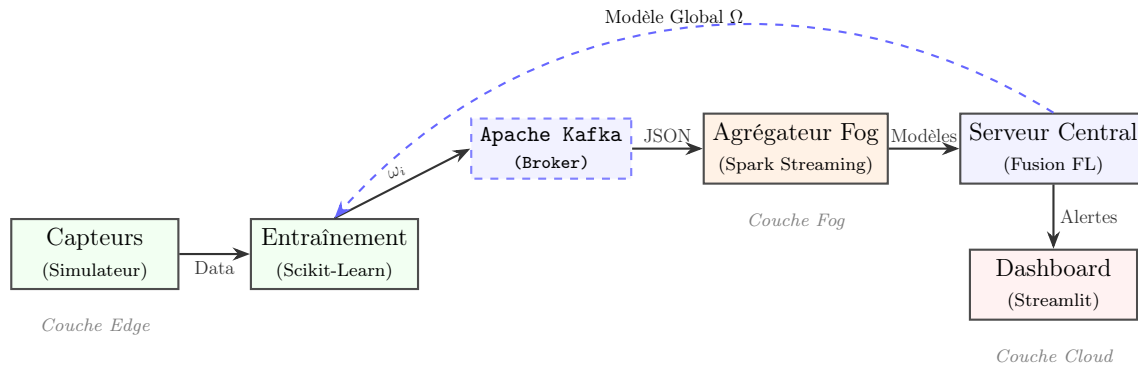
3.1. 1. Détection d'anomalies dans le réseau électrique rural

L'accès à l'électricité reste fragile dans de nombreuses zones rurales et péri-urbaines, avec des pannes et surcharges fréquentes liées à des infrastructures vieillissantes. Les réseaux ruraux de la **SOMELEC** (Société Mauritanienne d'Électricité) manquent souvent d'outils de diagnostic automatisés. Une détection rapide permettrait de réduire les coûts d'intervention et d'augmenter la fiabilité du service dans les zones isolées.

Ce projet propose de mettre en place un système distribué de détection d'anomalies basé sur le *Federated Learning* (FL), en traitant les flux de données via **Apache Kafka** et **Spark Streaming**. Les modèles sont entraînés localement sur des nœuds Edge (sous-stations), agrégés au niveau Fog (centres régionaux) pour une réactivité accrue, puis consolidés au Cloud pour une optimisation globale.

Objectif : Surveiller les sous-stations pour détecter pannes ou surcharges en temps réel sans transfert massif de données brutes.

Architecture Technique de l'Application



T.A.F :

1. **Simulation** : Générer des flux de données synthétiques (tension V , courant I) simulant des capteurs IoT pour plusieurs villages.
2. **Couche Edge** : Prétraitement et entraînement local d'un auto-encodeur (ou modèle de forêt aléatoire) pour identifier les déviations.
3. **Couche Fog** : Ingestion des mises à jour via **Kafka** et agrégation intermédiaire des modèles des villages voisins.
4. **Couche Cloud** : Fusion globale (FedAvg), stockage historique et redistribution du modèle optimisé vers le Edge.
5. **Visualisation** : Dashboard temps réel (ex : Grafana ou Streamlit) affichant les alertes de pannes et l'état de santé du réseau.

Pour obtenir des données réelles sur l'infrastructure électrique et les statistiques de consommation en Mauritanie :

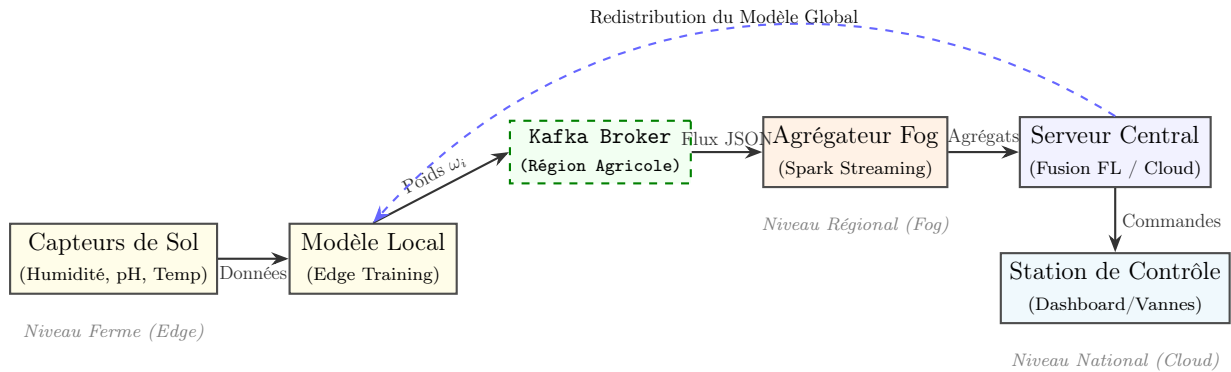
- **ANSADE Open Data** : Portail national pour les indicateurs énergétiques. mauritania.opendataforafrica.org
- **Banque Mondiale (Data Catalog)** : Cartographie du réseau de transmission SOMELEC et indicateurs d'accès. datacatalog.worldbank.org

3.2. 2. Optimisation de l'irrigation connectée dans la Vallée du Fleuve

L'agriculture mauritanienne est un pilier de la sécurité alimentaire, mais elle reste fortement contrainte par la rareté des ressources hydriques et une dépendance aux aléas climatiques. Dans les périmètres irrigués gérés par la **SONADER** (Société Nationale pour le Développement Agricole et Rural), l'irrigation non optimisée entraîne un gaspillage d'eau et une dégradation des sols par salinisation.

Ce projet vise à déployer une solution intelligente pour prédire précisément les besoins en eau à l'aide de capteurs IoT. L'usage du *Federated Learning* (FL) permet de protéger les données stratégiques des exploitations tout en créant un modèle de prédiction robuste à l'échelle nationale. Les flux de données massifs sont orchestrés par **Apache Kafka** et analysés en temps réel par **Spark Streaming**.

Architecture Technique de l'Irrigation Intelligente



Objectif : Ce système permet au **CNRADA** (Centre National de Recherche Agromatique) de disposer d'analyses macro-économiques sans collecter les données brutes sensibles, tout en réduisant la consommation d'eau pour les agriculteurs.

T.A.F (Travail À Faire) :

1. **Simulation** : Générer des séries temporelles de capteurs (humidité, évapotranspiration) via Python.
2. **Edge Computing** : Développer un algorithme de régression locale pour prédire le temps d'arrosage nécessaire.
3. **Big Data Pipeline** : Configurer un cluster **Kafka** pour la transmission sécurisée des mises à jour du modèle.
4. **Federated Learning** : Implémenter la fusion *FedAvg* au niveau Cloud pour globaliser l'apprentissage des différents types de sols (argileux, sableux).
5. **Visualisation** : Concevoir un tableau de bord affichant les recommandations d'irrigation et l'économie d'eau réalisée.

Pour calibrer les modèles sur les sols de la Vallée (Rosso, Kaédi, Boghé) :

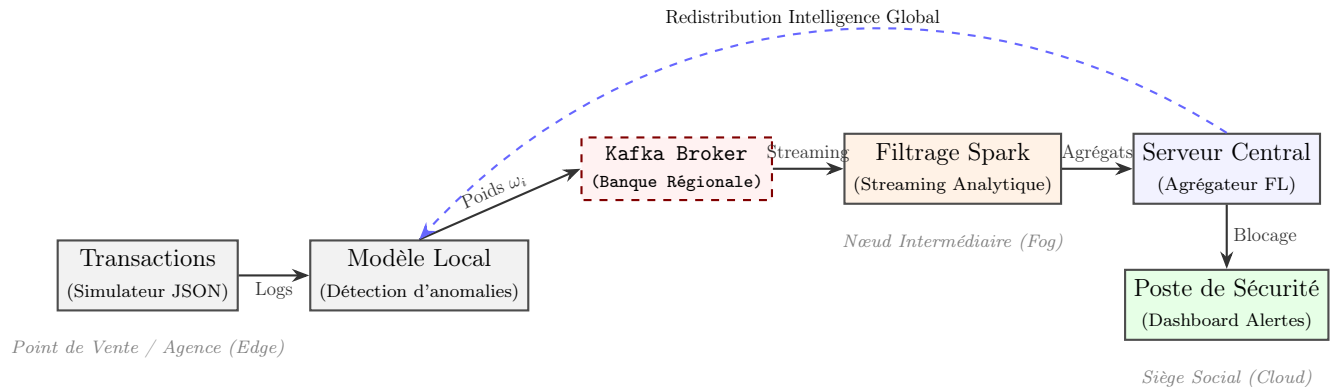
- **FAO AQUASTAT** : Profils hydriques et données d'irrigation pour la Mauritanie. fao.org/aquastat
- **CNRADA** : Rapports techniques sur la cartographie des sols et rendements. cnrada.org

3.3. 3. Détection de fraude dans les transactions financières mobiles

L'usage des services de *Mobile Money* a transformé l'économie mauritanienne, facilitant l'inclusion financière via des plateformes comme **Bankily**, **Masrivi** ou **Sadad**. Cependant, cette numérisation rapide s'accompagne d'une augmentation des tentatives de fraude (usurpation d'identité, phishing, blanchiment). La détection centralisée classique pose des problèmes de confidentialité des données bancaires et de latence.

Ce projet propose une solution de détection de fraude distribuée basée sur le *Federated Learning*. Les modèles de détection sont entraînés localement sur les serveurs des agents ou des agences régionales (**Edge**), garantissant que les données personnelles des clients ne quittent jamais leur zone d'origine. Les mises à jour des modèles sont orchestrées par **Apache Kafka** et consolidées au niveau du **Cloud** pour identifier des schémas de fraude complexes à l'échelle nationale.

Architecture Technique de Détection de Fraude



Objectif : Ce système permet aux institutions financières mauritaniennes de collaborer contre la fraude sans partager les données confidentielles de leurs clients, respectant ainsi les réglementations de la **Banque Centrale de Mauritanie (BCM)** sur la protection de la vie privée.

T.A.F (Travail À Faire) :

1. **Simulation :** Générer un dataset synthétique de transactions (montant, fréquence, localisation, heure) incluant des comportements frauduleux.
2. **Edge Computing :** Implémenter un classifieur local (ex : *XGBoost* ou *Neural Network*) pour évaluer le score de risque d'une transaction.
3. **Big Data Pipeline :** Utiliser **Kafka** pour transporter les mises à jour du modèle et **Spark Streaming** pour le monitoring en temps réel.
4. **Federated Learning :** Appliquer l'algorithme *FedAvg* pour fusionner les connaissances des différents nœuds sans exposer les transactions brutes.
5. **Visualisation :** Dashboard interactif montrant les tentatives de fraude bloquées et l'évolution de la précision du modèle global.

Pour construire des modèles réalistes basés sur les standards financiers :

- **Banque Centrale de Mauritanie (BCM) :** Rapports sur les systèmes de paiement et l'inclusion financière. bcm.mr
- **Kaggle Credit Card Fraud Detection :** Dataset de référence pour la simulation de comportements frauduleux. kaggle.com/creditcardfraud
- **GSMA Mobile Money Metrics :** Statistiques globales et régionales sur le Mobile Money en Afrique. gsma.com/mobilemoney

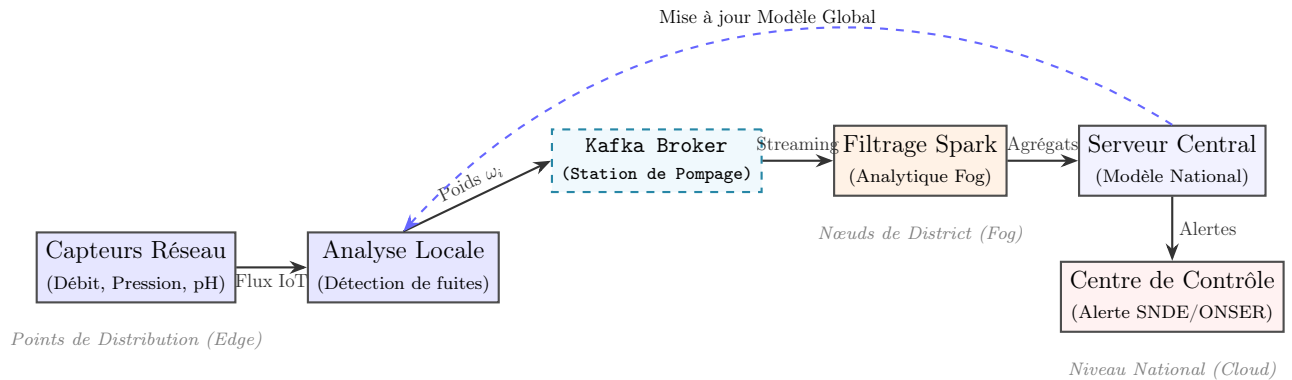
3.4. 5. Gestion intelligente des flux et de la qualité de l'eau potable

L'accès à l'eau potable et à l'assainissement reste un défi majeur en Mauritanie, particulièrement dans les zones rurales et certains quartiers périphériques de Nouakchott. Actuellement, environ 30,5 % des ménages seulement ont accès à une source d'eau améliorée. Les réseaux de distribution souffrent souvent de fuites non détectées, de baisses de pression et de risques de contamination biologique ou chimique.

Ce projet propose de transformer la gestion de la ressource via un système distribué de monitoring. Des capteurs IoT mesurent en temps réel le débit, la pression et la qualité

physico-chimique. L'utilisation du *Federated Learning* permet de détecter les anomalies de consommation (fuites) et les risques sanitaires localement, tout en consolidant une intelligence globale au niveau du Cloud via **Apache Kafka** et **Spark Streaming**.

Architecture Technique du Monitoring de l'Eau



Objectif : Une surveillance automatisée permet à la **SNDE** (Société Nationale d'Eau) et à l'**ONSER** de réduire drastiquement les pertes d'eau (eau non facturée), d'anticiper les ruptures de service et de garantir une qualité d'eau conforme aux normes de santé publique.

T.A.F (Travail À Faire) :

1. **Simulation** : Modéliser des flux de données simulant des profils de consommation urbaine et rurale avec injection d'anomalies (fuites et baisses de pression).
2. **Edge Computing** : Développer un modèle local capable de distinguer une consommation élevée normale d'une rupture de canalisation.
3. **Big Data Pipeline** : Configurer **Kafka** pour la collecte des alertes et **Spark Streaming** pour le calcul des statistiques de débit moyen par quartier.
4. **Federated Learning** : Implémenter la fusion des modèles pour adapter la détection aux spécificités de chaque réseau sans centraliser les données brutes.
5. **Visualisation** : Créer un tableau de bord affichant l'état de santé du réseau et les zones nécessitant une intervention urgente.

Pour baser le projet sur des données hydriques et sanitaires fiables :

- **SNDE / Ministère de l'Hydraulique** : Rapports annuels sur l'accès à l'eau potable en Mauritanie. hydraulique.gov.mr
- **UNICEF Mauritanie (WASH)** : Statistiques sur l'eau, l'hygiène et l'assainissement. unicef.org/mauritania
- **World Bank Data** : Indicateurs sur les infrastructures d'eau en Afrique subsaharienne. data.worldbank.org

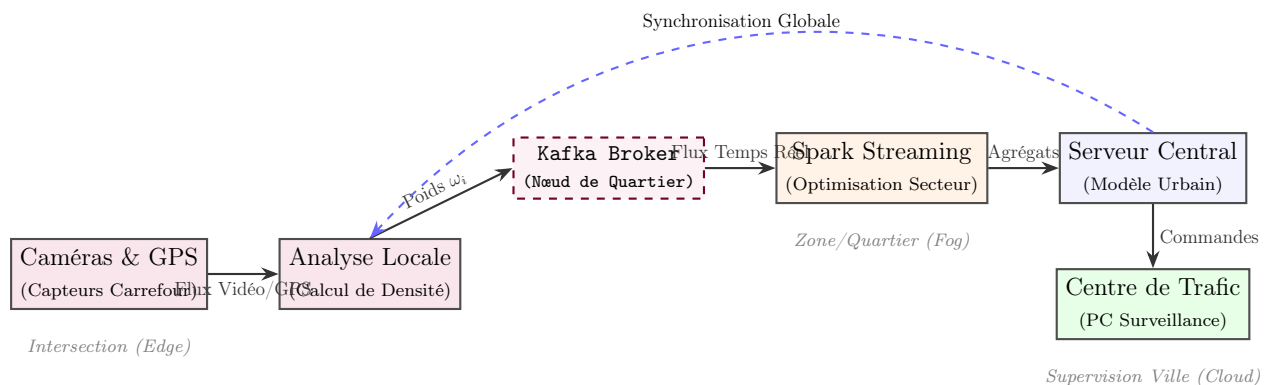
3.5. 5. Gestion intelligente du trafic urbain à Nouakchott

Nouakchott connaît une croissance urbaine fulgurante, concentrant environ 30 % de la population nationale. Cette densité exerce une pression constante sur les infrastructures routières, provoquant des congestions majeures aux heures de pointe. La gestion actuelle,

souvent manuelle, ne permet pas une adaptation dynamique aux flux de véhicules et aux incidents imprévus.

Ce projet propose de déployer un système de régulation intelligente basé sur le *Edge Computing* et le *Federated Learning*. En analysant les données GPS et les capteurs de circulation (caméras, boucles magnétiques) directement au niveau des carrefours (**Edge**), le système prédit les embouteillages localement. Les modèles sont ensuite agrégés par quartier (**Fog**) et consolidés au niveau de la ville (**Cloud**) via **Apache Kafka** et **Spark Streaming** pour synchroniser les feux tricolores et optimiser la mobilité globale.

Architecture Technique de la Smart Mobility



Objectif : Une meilleure prédiction de la congestion urbaine permet à la **Région de Nouakchott** et à la Direction des Transports de réduire les temps de trajet, de diminuer la pollution atmosphérique et d'améliorer la réactivité des services d'urgence (Ambulances, Pompiers).

T.A.F (Travail À Faire) :

1. **Simulation :** Créer un simulateur de trafic générant des données de position GPS et de vitesse moyenne pour plusieurs axes majeurs (ex : Avenue Charles de Gaulle).
2. **Edge Computing :** Développer un modèle de classification pour identifier les états du trafic (Fluide, Dense, Bloqué) à partir des données brutes.
3. **Big Data Pipeline :** Mettre en place **Kafka** pour l'ingestion des flux de capteurs et **Spark Streaming** pour calculer des indicateurs de performance (Taux d'occupation des voies).
4. **Federated Learning :** Fusionner les modèles de différents quartiers pour anticiper la propagation des bouchons d'une zone vers une autre.
5. **Visualisation :** Concevoir une carte interactive en temps réel montrant les niveaux de congestion et les suggestions de délestage.

Pour alimenter le projet avec des données de mobilité urbaine :

- **Google Maps Platform / TomTom API :** Données historiques et temps réel sur le trafic à Nouakchott. developers.google.com/maps
- **ANSADE :** Statistiques démographiques et de transport pour la ville de Nouakchott. ansade.mr
- **Microsoft T-Drive Dataset :** Dataset de référence pour la simulation de trajectoires GPS urbaines. microsoft.com/t-drive