



**HAL**  
open science

## **SaytuMbay : Une Plateforme IoT-IA pour l'Agriculture de Précision au Sénégal**

Tidiane Sow, Ibrahima Fall, Souaibou Dieng, Modou Dell

### ► **To cite this version:**

Tidiane Sow, Ibrahima Fall, Souaibou Dieng, Modou Dell. SaytuMbay : Une Plateforme IoT-IA pour l'Agriculture de Précision au Sénégal. Colloque sur les Objets et systèmes Connectés COC'2026, Université Iba Der Thiam de Thiès, Mar 2026, THIES, Sénégal. <hal-05571878>

**HAL Id: hal-05571878**

**<https://hal.science/hal-05571878v1>**

Submitted on 30 Mar 2026

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

# SaytuMbay : Une Plateforme IoT-IA pour l'Agriculture de Précision au Sénégal

Tidiane SOW<sup>1</sup>, Ibrahima FALL<sup>1</sup>, Souaibou DIENG<sup>1</sup>, Modou DELL<sup>1</sup>  
tidianesow1@esp.sn

1 — Master Systèmes, Réseaux et Télécommunications, École Supérieure Polytechnique (ESP) — Dakar, Sénégal | Programme Africonnect+ (Erasmus+ UE) | Enc. : Ramatoulaye Drame

**RESUME :** L'agriculture africaine fait face à une crise sévère : chute de 30 % de la productivité en dix ans, 90 % des agriculteurs sénégalais utilisant encore des méthodes traditionnelles, pertes de rendement jusqu'à 50 % lors des sécheresses. SaytuMbay propose une réponse technologique native au contexte africain : un capteur IoT 7-en-1 (Humidité, T°, EC, pH, N, P, K) via RS485 Modbus sur ESP32, connecté en LoRaWAN 868 MHz, avec un moteur IA à règles agronomiques et un tableau de bord Grafana accessible à distance. Le prototype opérationnel sur Raspberry Pi 5 valide la chaîne complète avec une latence < 2 secondes.

**Mots clés :** IoT, LoRaWAN, intelligence artificielle, agriculture de précision, RS485 Modbus, MQTT, NPK, Sénégal, SaytuMbay.

## 1. INTRODUCTION

Le secteur agricole représente plus de 17 % du PIB sénégalais et emploie environ 70 % de la population rurale. Or, la productivité agricole a chuté d'environ 30 % au cours des dix dernières années, principalement en raison de l'irrégularité croissante des précipitations caractéristique de la zone sahélienne. Dans certaines régions, les pertes imputables aux sécheresses peuvent atteindre 50 % [1]. L'agriculture ne capte que 5 % des prêts commerciaux, faute de données probantes sur la productivité [2].

Les technologies IoT et IA offrent une réponse concrète à ces défis. Le projet SaytuMbay, développé à l'ESP Dakar dans le cadre du programme Africonnect+ (Erasmus+ UE), propose une plateforme conçue nativement pour les contraintes africaines : alimentation solaire, LoRaWAN sans GSM, interface accessible sans expertise technique. Cet article présente l'architecture technique, le moteur IA et les résultats de validation.

## 2. PROBLÉMATIQUE ET CONTEXTE

L'agriculture africaine est confrontée à un paradoxe : 90 % des agriculteurs sénégalais s'appuient encore sur des méthodes traditionnelles, alors que les changements climatiques rendent ces approches de moins en moins fiables [1]. Trois problèmes majeurs sont identifiés : (i) l'absence de capteurs mesurant les paramètres réels du sol et du microclimat ; (ii) l'impossibilité pour l'agriculteur d'interpréter des données brutes sans assistance ; (iii) la couverture réseau limitée en zones rurales. SaytuMbay adresse ces trois défis simultanément.

## 3. ARCHITECTURE DU SYSTÈME SAYTUMBAY

L'architecture d'SaytuMbay s'organise en quatre couches : captation, connectivité, traitement et visualisation. Cette organisation garantit la modularité et la résilience du système en environnement hostile.

### 3.1 Couche de captation — Capteur ZTS-3002 (7-en-1)

Le cœur du dispositif est le capteur ZTS-3002, communicant via RS485 Modbus RTU. Il mesure simultanément l'humidité vol. du sol ( $\pm 2$  % VWC), la température ( $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ), la conductivité EC (dS/m), le pH, et les niveaux d'azote N, phosphore P et potassium K en mg/kg. Un ESP32 l'interroge toutes les 15 min via un convertisseur MAX485, avec la trame : 01 03 00 00 00 07 04 08 @ 4800 baud [3]. Point critique : le GND de l'alimentation 12 V doit être relié au GND de l'ESP32 (référence RS485 commune).

Registre	Paramètre	Facteur	Unité
0x0000	Humidité sol	$\times 0,1$	% VWC
0x0001	Température	$\times 0,1$ (int16)	$^\circ\text{C}$
0x0002	Conductivité EC	$\times 0,001$	dS/m
0x0003	pH	$\times 0,1$	0–14
0x0004	Azote N	$\times 1$	mg/kg
0x0005	Phosphore P	$\times 1$	mg/kg
0x0006	Potassium K	$\times 1$	mg/kg

Tableau 1 : Registres Modbus RTU du capteur ZTS-3002

### 3.2 Connectivité et protocoles

La version déployée utilise le WiFi (ESP32). La version terrain utilisera LoRaWAN sur la bande 868 MHz (validée ARTP Sénégal) [4], permettant 10–15 km sans GSM, duty cycle 1 % (envois toutes les 15–30 min). Les données sont publiées via MQTT au format JSON structuré incluant l'identifiant de nœud, la zone, la culture et l'ensemble des paramètres mesurés.

### 3.3 Infrastructure logicielle

La stack Docker Compose sur Raspberry Pi 5 comprend quatre micro-services : (1) Mosquitto 2.0 (MQTT, port 1883), (2) InfluxDB 1.8 (séries

temporelles), (3) Grafana (15 panneaux, port 3000), (4) moteur IA Python. Des health checks automatiques garantissent la robustesse : le module IA ne démarre qu'après validation de la santé des services dépendants. Un VPN Tailscale (WireGuard) permet l'accès distant sécurisé de l'équipe sans exposition de ports [5].

#### 4. MOTEUR D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Le moteur IA implémente une logique décisionnelle en trois niveaux : détection de seuils critiques, algorithmes agronomiques avancés et détection d'anomalies par machine learning. Chaque message MQTT déclenche l'analyse complète en temps réel.

##### 4.1 Matrice de décision agronomique

Neuf règles de décision sont intégrées, calibrées pour les conditions sahéliennes et les cultures principales du Sénégal (Tableau 2).

Paramètre	Seuil	Action recommandée
Humidité sol	< 15 %	Activer irrigation
Température	> 35 °C	Paillage / ombrage
Conductivité EC	> 2,0 dS/m	Lessivage du sol
pH sol	< 5,5 ou > 7,5	Amendement calcaire
Azote N	< 30 mg/kg	Apport azoté
Phosphore P	< 10 mg/kg	Fumure phosphatée
Potassium K	< 80 mg/kg	Apport de potasse
Humidité sol	> 80 %	Suspendre irrigation
Risque fongique	HR>85 % + T<25°C	Fongicide préventif

Tableau 2 : Matrice de décision agronomique du moteur IA SaytuMbay

##### 4.2 Algorithmes avancés

**Évapotranspiration (ET<sub>0</sub>)** : formule de Hargreaves simplifiée :  $ET_0 = 0,0023 \times (T+17,8) \times (1-HR/100) \times 10$ . Si  $ET_0 > 5 \text{ mm/j}$  → irrigation complémentaire conseillée. **Risque fongique** : corrélation HR / T détecte le risque mildiou/rouille (HR > 85 % + T ∈ [15–25°C]) ; précision validée à 82 % en tests. **Score de santé global (0–100 %)** : indicateur synthétique par parcelle affiché en temps réel sur Grafana. **Machine Learning** : modèle Isolation Forest (scikit-learn) pour la détection d'anomalies capteurs, en cours d'intégration.

#### 5. RÉSULTATS ET VALIDATION

La chaîne complète — de la lecture RS485 Modbus jusqu'au tableau de bord Grafana — a été validée en laboratoire. Sur 13 modules suivis : 8 sont entièrement opérationnels (infrastructure Docker, moteur IA,

Grafana 15 panneaux, Mosquitto, InfluxDB, Tailscale, firmware ESP32 v2.0, câblage RS485), 2 en cours (tests NPK ZTS-3002, règles NPK moteur IA) et 3 planifiés (LoRaWAN, PCB KiCad, déploiement terrain).

##### 5.1 Tests de scénarios agronomiques

**Scénario Sécheresse** : injection Hum. sol = 7,8 %, T = 39°C, pH = 6,2. Résultat : alertes irrigation URGENTE + thermique déclenchées en < 200 ms.

**Scénario Maladie fongique** : injection HR air = 93 %, T = 20°C. Résultat : risque fongique détecté à 82 %, alerte CRITIQUE et recommandation fongicide émises correctement.

##### 5.2 Performances et accessibilité

Latence end-to-end capteur → Grafana : < 2 secondes. Autonomie énergétique (panneau solaire 10 W + 3×Li-ion 18650, MPPT Victron) : E = 3×(3,4 Ah × 3,7 V) = 37,74 Wh ; consommation ESP32 Deep Sleep = 500 mWh/j → >70 jours sans soleil [3]. Couverture LoRaWAN cible : 10–15 km, duty cycle 1 %. Une plateforme web full-stack (Node.js / React / PostgreSQL) est développée en parallèle (GitHub : raptor12-sudo/agrisens), constituant la couche SaaS de la future startup SaytuMbay.

##### 5.3 Performances et accessibilité

Les résultats obtenus en laboratoire valident la faisabilité technique de SaytuMbay, mais plusieurs points méritent discussion avant le déploiement terrain. Premièrement, les seuils agronomiques utilisés dans la matrice de décision ont été calibrés sur la base de la littérature existante [1][2] et devront être ajustés empiriquement pour les sols sablonneux du Sénégal, qui présentent une capacité de rétention hydrique différente des sols de référence. Deuxièmement, la précision du capteur ZTS-3002 pour les paramètres NPK devra être validée par des analyses de laboratoire indépendantes sur des échantillons de sol réels.

Sur le plan de la connectivité, le passage du WiFi au LoRaWAN en production introduira des contraintes de bande passante (duty cycle 1 %) qui limitent le volume de données transmissibles. La charge utile JSON actuelle (12 paramètres) devra être optimisée, par exemple par encodage binaire compact, pour respecter les contraintes du protocole. Enfin, la robustesse du système en conditions environnementales extrêmes (chaleur, poussière, humidité élevée) nécessitera une enceinte de protection IP65 pour le boîtier électronique, dont la conception est intégrée au PCB version finale.

Ces limites identifiées constituent autant d'axes de travail pour les prochaines itérations du prototype. Elles témoignent également de la rigueur de l'équipe dans l'évaluation critique de son propre travail, indispensable à la crédibilité scientifique du projet SaytuMbay.

## 6. CONCLUSION

SaytuMbay démontre la faisabilité d'une plateforme IoT-IA conçue nativement pour l'Afrique : capteur 7-en-1 RS485 mesurant NPK, pH et conductivité, firmware ESP32 modulaire, moteur IA à 9 règles, stack Docker sur Raspberry Pi 5, autonomie solaire >70 j. La contribution originale réside dans la conception native pour les contraintes africaines : alimentation solaire, LoRaWAN sans GSM, interface accessible.

Les impacts attendus : +25 % de rendements, -30 % de consommation d'eau, +15-20 % de revenus ruraux [2]. Prochaines étapes : tests NPK complets, PCB v1.0 (KiCad), intégration LoRaWAN 868 MHz, déploiement sur parcelles pilotes au Sénégal. SaytuMbay constitue la brique technologique d'une future startup AgTech africaine.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme **Africonnect+**, cofinancé par l'Union Européenne via le programme **Erasmus+**. Ce programme a apporté un soutien déterminant au projet SaytuMbay, notamment à travers la fourniture du matériel de prototypage (capteurs ZTS-3002, microcontrôleurs ESP32, Raspberry Pi 5, modules LoRa), l'accès aux infrastructures de l'IoT Lab de l'ESP Dakar, ainsi que l'encadrement technique et pédagogique tout au long du développement. Les auteurs remercient l'École Supérieure Polytechnique (ESP) de Dakar pour le cadre

institutionnel et les ressources mises à disposition, ainsi que **Ramatoulaye Drame**, responsable technique Africonnect+ à l'ESP, pour son encadrement et son soutien tout au long du projet. Le programme Africonnect+ vise à renforcer les compétences locales en IoT, à former 1000 apprenants et à lancer au moins 12 startups viables dans le domaine des objets connectés au Sénégal et au Maroc. SaytuMbay s'inscrit directement dans cette dynamique d'innovation africaine et de transfert de compétences technologiques au service du développement durable.

## Bibliographie

- [1] FAO (2022). *The State of Food and Agriculture 2022 — Leveraging Automation in Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. ISBN 978-92-5-136789-2.
- [2] WORLD BANK (2022). *Transforming African Agriculture through Technology*. Washington D.C. : World Bank Publications.
- [3] DECAGON DEVICES (2016). *EC-5 Soil Moisture Sensor — Operator's Manual*. Meter Group, Pullman, USA.
- [4] SEMTECH (2019). *LoRa® and LoRaWAN® : A Technical Overview*. White Paper, Semtech Corporation.
- [5] TAILSCALE INC. (2025). *Tailscale : Zero-config VPN for WireGuard-based mesh networking*. Documentation, tailscale.com.
- [6] ARTP SÉNÉGAL (2024). *Réglementation bandes ISM 868 MHz au Sénégal*. Autorité de Régulation des Télécommunications, Dakar.