

Des drones et des algorithmes pour nourrir l'Afrique

Agriculture de précision : drones, SIG, capteurs IoT et analyse spatiale

Pinel Baudelaire T. DAHOUI

Data Scientist & IA | Ingénieur en Travaux Statistiques
tpinelDAHOUi@gmail.com | github.com/Baudelaire12

14 Avril 2026

Série LinkedIn STEM au Quotidien — Jour 21/40

Plan de la présentation

- 1 Mise en contexte
- 2 Concepts clés
- 3 Développement mathématique
- 4 Cas pratique
- 5 Conclusion
- 6 Références

Nourrir 10 milliards d'humains en 2050 : le défi agricole

Chiffre clé

La FAO estime qu'il faudra augmenter la production alimentaire mondiale de **70%** d'ici 2050 sans étendre significativement les surfaces cultivées (FAO, 2017). En Afrique subsaharienne, **60%** des terres arables mondiales inexploitées s'y trouvent, mais les rendements céréaliers restent 3 à 5 fois inférieurs à la moyenne mondiale.

- L'agriculture de précision réduit l'usage d'engrais et pesticides de **15 à 30%** tout en augmentant les rendements de **10 à 20%** (McKinsey Global Institute, 2020).
- Au Bénin, l'agriculture emploie **70%** de la population active et représente **32%** du PIB (INSAE, 2022) mais la mécanisation et la numérisation restent embryonnaires.
- Le marché mondial de l'agriculture de précision devrait atteindre **43 milliards \$** en 2025 (MarketsandMarkets, 2020).

Question centrale

Comment les drones, les capteurs IoT et l'analyse spatiale permettent-ils d'optimiser chaque mètre carré d'une parcelle agricole ?

Les trois piliers de l'agriculture de précision

1. Observation (Sens) :

Drones multispectraux, satellites (Sentinel-2, Landsat), capteurs sol IoT, stations météo connectées.

2. Analyse (Think) :

Indices de végétation (NDVI, NDRE), krigeage spatial, classification non-supervisée (k-means), modèles prédictifs de rendement.

3. Action (Act) :

Épandage variable (fertilisants, pesticides), irrigation localisée, alertes agronomiques, recommandations personnalisées via SMS ou app.

Résolution spatiale comparée

Source	Résolution
Drone agricole	1–5 cm
Sentinel-2	10 m
Landsat 8	30 m
MODIS	250–500 m

NDVI — Normalized Difference Vegetation Index (Rouse et al., 1974) :

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{Rouge}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{Rouge}}} \in [-1, 1]$$

Interprétation : < 0.2 (sol nu / stress sévère), $0.2-0.5$ (végétation modérée), > 0.5 (végétation dense saine).

NDRE — Red Edge (sensible au stress azoté) :

$$\text{NDRE} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RedEdge}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{RedEdge}}}$$

NDWI — Stress hydrique :

$$\text{NDWI} = \frac{\rho_{\text{Vert}} - \rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{Vert}} + \rho_{\text{NIR}}}$$

Krigeage ordinaire — Interpolation spatiale des mesures sol (Matheron, 1963) :

$$\hat{Z}(\mathbf{x}_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\mathbf{x}_i), \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \quad \min \text{Var}[\hat{Z}(\mathbf{x}_0) - Z(\mathbf{x}_0)]$$

Zones de gestion et prescription variable

Délimitation des zones par k-moyennes spatiales :

$$\arg \min_{\mathcal{C}} \sum_{k=1}^K \sum_{\mathbf{x}_i \in C_k} \left\| \begin{pmatrix} \text{NDVI}_i \\ \text{pH}_i \\ \text{MO}_i \\ \text{CEa}_i \end{pmatrix} - \boldsymbol{\mu}_k \right\|^2$$

(CEa = conductivité électrique apparente du sol — proxy de texture)

Dose optimale d'azote par zone (loi de réponse de Mitscherlich) :

$$Y(N) = Y_{\max} \left(1 - e^{-b(N+N_0)} \right)$$
$$N^* = \arg \max_N [P_Y \cdot Y(N) - P_N \cdot N]$$

où P_Y = prix du grain et P_N = prix de l'urée.

Gain potentiel

La prescription variable par zones réduit les apports d'azote de **15–25%** et les coûts d'intrants de **10–18%** selon Robert (2002).

Pipeline drone-to-decision au Bénin

Contexte

La variabilité spatiale des rendements de maïs au sein d'une même parcelle dans le Borgou (nord-Bénin) peut atteindre **30 à 50%** — liée à l'hétérogénéité des sols ferrugineux tropicaux.

Pipeline opérationnel :

- ① **Vol drone** à 80 m → orthomosaïque 3 cm/pixel, 5 bandes spectrales
- ② **Calcul NDVI/NDRE** pixel par pixel → carte de vitalité
- ③ **K-means** ($K = 3$) → zones haute / moyenne / faible vitalité
- ④ **Mesures sol** sur 15 points GPS → krigeage pH, N, P, K
- ⑤ **Prescription** → carte d'épandage variable transmise à l'opérateur
- ⑥ **Évaluation** → vol de contrôle J+45, comparaison rendements

Startups africaines pionnières : **Hello Tractor** (Nigeria : mécanisation à la demande), **Apollo Agriculture** (Kenya : crédit + agronomie IA), **Farmerline** (Ghana : conseil en langue locale).

Synthèse

L'agriculture de précision n'est plus réservée aux grandes exploitations américaines ou européennes. Des solutions légères drones à 2 000 \$, capteurs LoRa à 50 \$, algorithmes open-source (QGIS, Python) rendent cette approche accessible aux petits agriculteurs africains, avec un potentiel de transformation des rendements considérable.

Perspectives pour le Bénin :

- Réseau de capteurs sol LoRa dans les zones cotonnières du Borgou et de l'Alibori
- Application mobile NDVI pour les agents de vulgarisation (CARDER)
- Couplage avec prévisions météo locales GPM/CHIRPS pour l'irrigation raisonnée
- Formation de techniciens drones et data scientists agricoles (INRAB, FAIA Parakou)

« L'Afrique a les terres, le soleil et la main-d'œuvre. Il lui manque les données pour transformer ces atouts en rendements. »

Adapté de Kanayo F. Nwanze, ex-Président FIDA, 2015

Références bibliographiques

-  FAO. (2017). *The future of food and agriculture : Trends and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
-  Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA GSFC*, 351, 309–317.
-  Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(8), 1246–1266.
-  Robert, P. C. (2002). Precision agriculture : A challenge for crop nutrition management. *Plant and Soil*, 247, 143–149.
-  McKinsey Global Institute. (2020). *Agriculture's connected future : How technology can yield new growth*. McKinsey & Company.
-  Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique. (2022). *Annuaire Statistique du Bénin 2022*. INSAE.

Merci pour votre attention

Pinel Baudelaire T. DAHOUI

Data Scientist & IA | Ingénieur en Travaux Statistiques

`tpineldahoui@gmail.com | github.com/Baudelaire12`

LinkedIn : @Pinel Baudelaire DAHOUI

Série STEM au Quotidien — 40 jours