

L'agriculture de précision : une révolution silencieuse pour la gestion responsable des sols et l'alerte précoce à Gasma et à Koala au Burkina Faso

Sompinnoma Gisèle NONGANA¹, Abdoul Karim DAMOUE², Sayouba ILBOUDO^{1*},
Christophe OUEDRAOGO³, Mathias POUYA⁴ et Jean-Marie DIPAMA¹

¹ *Université Joseph KI-ZERBO, Laboratoire d'Études et de Recherches sur les Milieux et Territoires, Ouagadougou, Burkina Faso*

² *Afrique Géosciences*

³ *Hope Teng-Noogo International, 01 BP 3655 Ouagadougou*

⁴ *Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso*

(Reçu le 16 Février 2024 ; Accepté le 19 Mars 2024)

* Correspondance, courriel : sayoubailboudo@gmail.com

Résumé

Au Burkina Faso, les enjeux de l'agriculture se rapportent à l'optimisation des rendements agricoles tout en préservant le potentiel agroécologique. Ainsi, les nouvelles technologies de l'information et de la communication permettent d'améliorer les rendements agricoles. Cette étude a pour objectif d'analyser l'apport des drones dans la gestion responsable des sols et l'alerte précoce. Pour ce faire, deux parcelles de maïs, dont l'une à Gasma et l'autre à Koala, ont été suivies. Deux drones ont servi à la collecte des données de terrain. Il s'agit du drone Phantom 4 multispectral (P4 multispectral) utilisé pour la prospection des cultures et du drone DJI Mavic 2 Pro pour la collecte des données cartographiques et topographiques. Les résultats montrent que sur plus de 70 % de la superficie de l'exploitation agricole de Koala, située dans un terrain relativement plat, les valeurs de l'indice SAVI sont négatives ou proches de zéro. Les raisons sont les précipitations abondantes survenues en un laps de temps, le manque d'entretien des cultures et la production sur un sol inapte à la culture du maïs. Par contre, dans le champ de Gasma, dont la production a été réalisée sur un champ à pente modérée (3,34 %) et aménagé en cordons pierreux, la combinaison de facteurs tels que l'infestation du champ par la chenille légionnaire d'automne, les poches de sécheresse, la mauvaise application de l'engrais chimique, etc., ont engendré de faibles rendements agricoles. La prise en compte de ces résultats pourrait permettre d'améliorer la productivité agricole.

Mots-clés : *Burkina Faso, agriculture de précision, gestion responsable des sols, drone, indices SAVI et NDVI.*

Abstract

Precision farming : a silent revolution for responsible soil management and early warning at Gasma and Koala in Burkina Faso

In Burkina Faso, agricultural challenges relate to optimizing agricultural yields while preserving agroecological potential. Thus, new information and communication technologies make it possible to improve agricultural yields. This study aims to analyze the contribution of drones to responsible land management and

early warning. To do this, two corn plots, one in Gasma and the other in Koala, were monitored. Two drones were used to collect field data. These are the Phantom 4 multispectral drone (P4 multispectral) used for crop prospecting and the DJI Mavic 2 Pro drone for collecting cartographic and topographical data. The results show that over 70 % of the Koala farm area, located in relatively flat terrain, SAVI index values are negative or close to zero. The reasons are the abundant rainfall that occurred in a short period of time, the lack of crop maintenance and production on soil unsuitable for growing corn. On the other hand, in the Gasma field, whose production was carried out on a field with a moderate slope (3.34 %) and laid out in stone bunds, the combination of factors such as the infestation of the field by the armyworm of Autumn, pockets of drought, poor application of chemical fertilizer, etc., led to low agricultural yields. Taking these results into account could help improve agricultural productivity.

Keywords : *Burkina Faso, precision agriculture, responsible soil management, drone, SAVI and NDVI indices.*

1. Introduction

Le phénomène de dégradation continue et de la baisse de la fertilité des terres ces dernières années a contraint l'Etat burkinabè et ses partenaires au développement à formuler la Stratégie Nationale de Restauration, de Conservation et de Récupération des sols (SNRCRS). Cette stratégie se fixe comme objectif à l'horizon 2024 l'accroissement des capacités productives des sols et la pratique d'une agriculture moderne, plus compétitive, durable et résiliente afin d'assurer aux populations un accès aux aliments nécessaires pour mener une vie saine et active [1]. Selon [2], dans le « Plateau mossi », situé entre 10° et 14° de latitude nord et 0° et 3° de longitude ouest, la dégradation des terres a pris des proportions inquiétantes. En témoigne les résultats de ses travaux qui indiquent que les pertes de sol subies annuellement dans la zone du « plateau » mossi sont évaluées entre 5 et 8 tonnes par hectare sur les parcelles de culture traditionnelle et entre 10 et 50 tonnes par hectare sur les terres nues ou dégradées. Pour [3], les pressions agricoles et pastorales, conjuguées à l'action du vent et des pluies, ont contribué à une forte dégradation de cette partie du pays. Dans un tel contexte, relever les défis liés à la gestion durable des terres implique nécessairement des approches novatrices. C'est ainsi que les drones, des engins aériens autonomes, se sont hissés au premier plan de cette révolution agricole, offrant des perspectives inédites dans la conservation et la gestion durable des terres [4]. Grâce à l'émergence de nouveaux capteurs et cameras multispectrales, il est possible d'effectuer la cartographie de précision des sols et de surveiller les cultures. Ces informations agricoles constituent un potentiel significatif pour l'alerte précoce, permettant aux agriculteurs de prendre des décisions éclairées et de réagir rapidement aux défis potentiels [5, 6]. De la cartographie précise à la surveillance environnementale, les drones permettent de relever les défis pressants de l'agriculture [4]. La présente étude a pour objectif d'analyser l'utilité des drones dans la surveillance, la protection et la reconstruction de la topographie des exploitations agricoles.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

L'étude s'est déroulée dans les localités de Gasma (12°42'11" de latitude nord et 1°47'00" de longitude ouest) et de Koala (12°23'12" de latitude nord et 1°13'21" de longitude ouest). Ces deux villages sont situés respectivement dans les communes de Boussé, province du Kourwéogo et de Saaba, province du Kadiogo (*Figure 1*). Le premier site s'étend sur 1,7 ha et le second sur 3,8 ha. Les deux localités sont situées dans la

zone agro-climatique soudano-sahélienne du Burkina Faso [7]. La température moyenne annuelle y est de 28,62°C. Quant à la pluviométrie moyenne annuelle, elle est comprise entre 600 mm et 900 mm [8]. Selon la base de données de l'étude morpho pédologique au 1/50000^{ème} de 1997, les sols dominants du champ de Gasma sont de type hydromorphe peu humifères à pseudogley de surface, tandis qu'à Koala, ce sont des Vertisols [9].

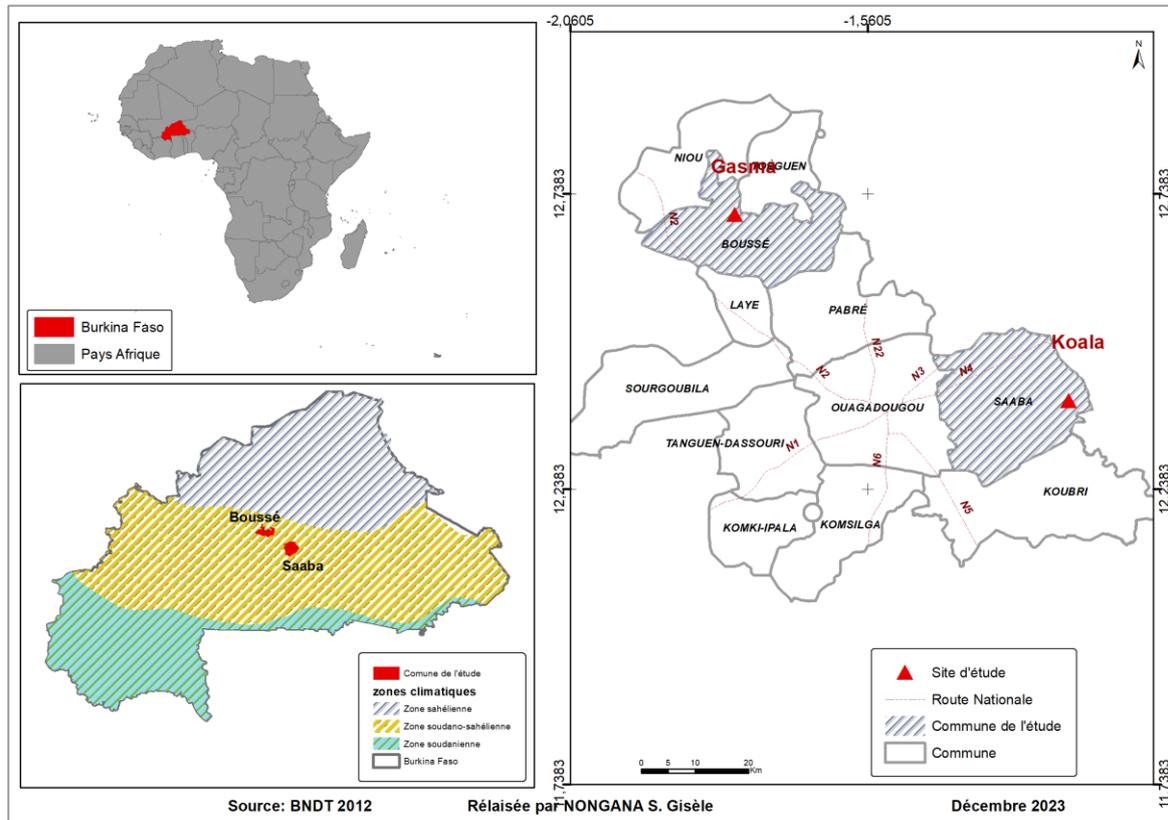


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2-2. Matériel végétal

La spéculiation utilisée pour l'étude est le maïs (*Zea mays*), de la variété Baraka. C'est une variété semi-précoce de couleur blanche qui a un cycle de maturité moyenne de 84 jours. Selon [10], elle est relativement plus résistante à la sécheresse avec un rendement potentiel de 5,5 t/ha.

2-3. Collecte et traitement des données

Deux drones ont servi à la collecte des données de terrain. Il s'agit du drone Phantom 4 multispectral (P4 multispectral) utilisé pour la prospection des cultures et du drone DJI Mavic 2 Pro pour la collecte des données cartographiques et topographiques. Les vols du drone P4 Multispectral ont été effectués à 50 mètres de hauteur du sol. Les missions de survol ont été planifiées avec les paramètres suivants : 70 % de recouvrement latéral et 75 % de recouvrement longitudinal entre les photos. Les vols du drone Mavic 2 Pro ont été effectués à 60 mètres de hauteur du sol avec les mêmes paramètres que les missions du P4 Multispectral. En plus de ces outils, l'application « Field Area Mesure » a servi à la navigation sur le terrain, à la délimitation et à l'estimation des superficies des champs ainsi qu'à l'implantation des courbes de niveau sur les sites. Des enquêtes ont été effectuées auprès des producteurs des deux parcelles d'étude.

Divers outils ont permis de faire le traitement des données cartographiques. Ainsi, QGIS 3.28 a permis de faire l'importation et la conversion des formats de données cartographiques. Le logiciel PIX4D Field a servi à générer les indices de végétation. Le logiciel PIX4D Mapper a permis de reconstituer les orthophotos, les courbes de niveau et les pentes, grâce aux Modèles Numériques de Surface et de Terrain (MNS, MNT) des champs. *L'Équation (1)* permet l'estimation des pentes.

$$\text{Pente (\%)} = (\Delta h / \Delta d) \times 100 \quad (1)$$

où, Δh est la différence de hauteur (changement vertical ou élévation) et Δd , la distance horizontale entre deux points sur le terrain.

2-4. Analyse des données

Les données de terrain ont été collectées pendant les périodes d'application des engrais qui correspondent aux stades critiques du développement des cultures. Les images capturées ont été traitées sur les sites pour générer des cartes de stress basées sur les indices de végétation. Deux indices ont été générés, il s'agit du *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) et du *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). Les valeurs de ces indices ont été seuillées automatiquement en cinq classes affectées par une palette de couleurs qui va du vert au rouge, en passant par le jaune et l'orange. Le vert décrit les classes des indices où les cultures sont en bon état végétatif. Les couleurs qui tendent vers l'orange ou le rouge décrivent les classes du NDVI où les cultures sont en état végétatif moyen à mauvais. Les rendements ont été estimés sur la base de cinq parcelles de rendement de 25 mètres carrés posées dans les quatre extrémités et au milieu du champ.

3. Résultats

3-1. Analyse de la topographie des champs

La représentation des éléments de la topographie tels que l'orthophoto, les courbes de niveau et les pentes offre une perspective plus complète du terrain en combinant des informations visuelles détaillées avec des données altimétriques précises. Le recours aux applications menu de GPS telle que *Fields area measure* représente une avancée significative dans cette démarche. Elle utilise la technologie GPS des smartphones ou des tablettes pour permettre aux producteurs d'effectuer des mesures ou de positionner des éléments dans leurs champs. Elle permet également de visualiser les informations topographiques directement depuis leur téléphone portable, offrant ainsi une plus grande accessibilité et une facilité d'utilisation. L'implantation des courbes de niveau à l'aide de ces applications constitue une manière très pratique de gestion des sols. La *Figure 2* montre une superposition des courbes de niveau et des orthophotos dans les parcelles d'enquête. L'analyse de cette figure montre que la zone d'étude est peu boisée. En effet, la localité de Koala est traversée par des courbes de niveau espacées régulièrement de 0,5 m, contrairement à Gasma, où la disposition des courbes de niveau indique la présence d'une colline. Elles sont agencées en cercles concentriques, avec des lignes serrées près du sommet représentant des pentes plus abruptes, et des lignes plus espacées vers le bas de la colline indiquant des pentes plus douces. Le village de Gasma bénéficie d'un aménagement en cordons pierreux réalisé depuis 1985 et perceptible sur l'image.

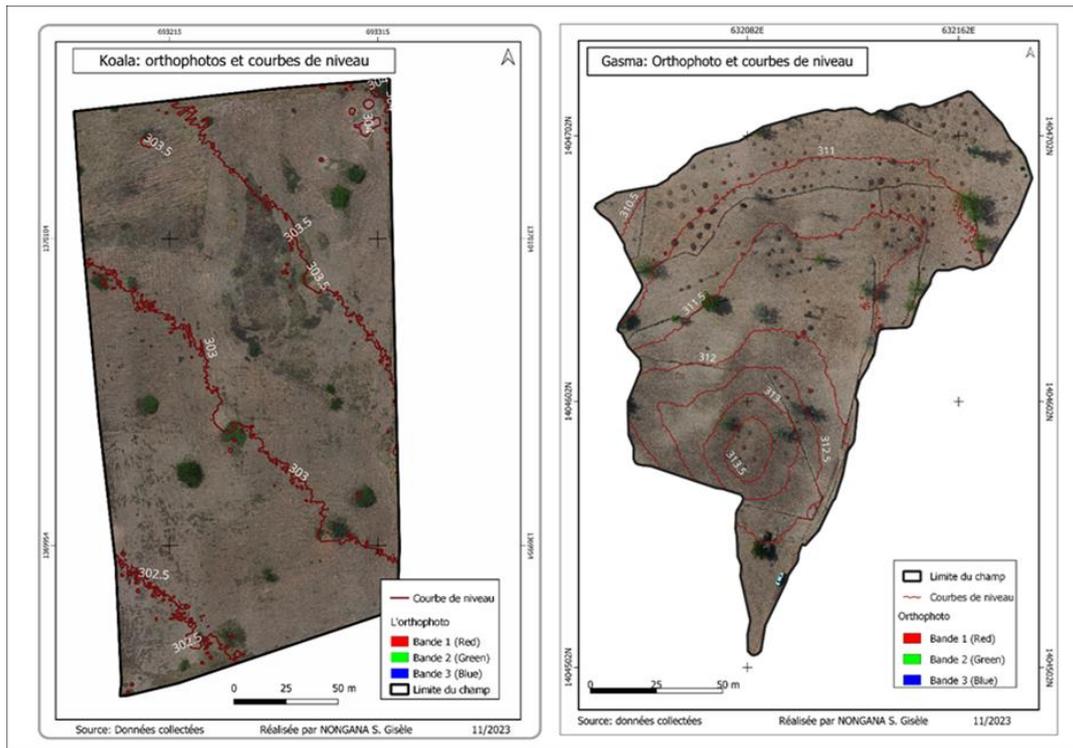


Figure 2 : *Superposition des courbes de niveau et des orthophotos à Gasma et à Koala*

La **Figure 3** présente l'inclinaison des deux champs. De l'analyse de cette figure, il ressort que le champ de Koala est incliné de 0,53 %, ce qui indique une pente relativement douce. Cette topographie pourrait être favorable à certaines opérations culturales comme le labour et le sarclage. Par contre, le champ de Gasma a une inclinaison de 3,34 %, ce qui indique un terrain modéré à raide qui pourrait faciliter le drainage de l'eau et accélérer l'érosion du sol si des mesures de protection ne sont pas prises.

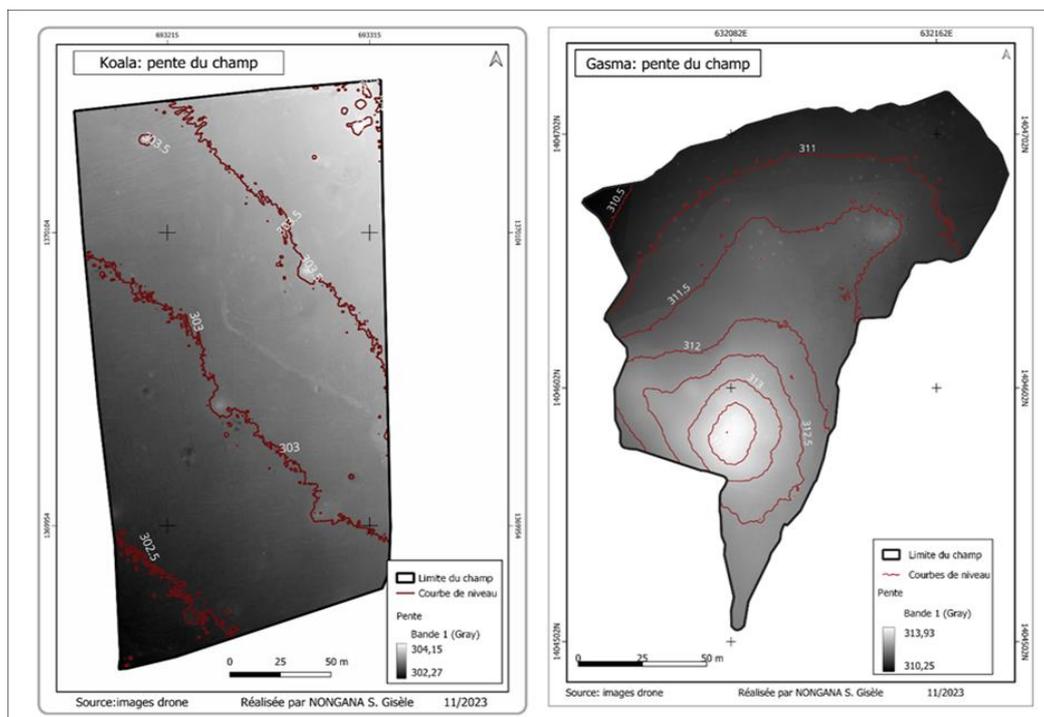


Figure 3 : *Les pentes des champs de Koala et de Gasma*

3-2. Le labour parallèle aux courbes de niveau : une pratique agricole durable

Les enquêtes menées auprès des deux producteurs agricoles des localités d'étude ont permis de savoir que celui de Koala ne maîtrise pas les notions de pente, ni de courbe de niveau. En plus de cela, il pratique le sarclage du champ de façon aléatoire, selon la facilité de déplacement de l'engin agricole (tracteur) pour gagner en temps. Cependant, à Gasma, le producteur appréhende les aspects liés à la pente et aux courbes de niveau. Il laboure son champ en tenant compte des courbes de niveau. La recherche documentaire a permis de savoir que les bonnes pratiques agricoles consistent à labourer les champs parallèlement aux courbes de niveau. Cette pratique permet de retenir l'eau dans des sillons ou des lignes de culture horizontales, réduisant ainsi la vitesse d'écoulement hydrique et limitant l'érosion. De plus, elle favorise une meilleure rétention des nutriments et de l'eau dans le sol en permettant une meilleure infiltration et une distribution plus uniforme de l'humidité. Cela peut contribuer à améliorer la qualité du sol, à réduire les besoins en irrigation et à favoriser la croissance des cultures. Au cours des échanges, le producteur de Gasma, qui pratiquait déjà cette méthode culturale, a reconnu qu'elle est très bénéfique car sa mise en œuvre lui permet d'exploiter le même champ depuis plus de 30 ans en dépit de la topographie. Pour s'assurer qu'après la phase de labour des champs, les sillons sont parallèles aux courbes de niveau, le drone DJI Mavic 2 Pro a survolé les parcelles d'étude des deux localités. La **Figure 4** montre la superposition des courbes de niveau avec les orthophotos du champ de Gasma après le labour. Il ressort de l'analyse de cette figure que les labours ont été réalisés parallèlement aux courbes de niveau tel que recommandé par les agents d'appui conseil du ministère de l'agriculture. En matière d'aménagement des terres en ouvrages de conservation des eaux et des sols (CES), le drone, grâce à sa précision (centimètre près), peut constituer un outil de contrôle de la qualité des aménagements. Une fois les aménagements ou le labour effectués, le drone offre la possibilité de contrôler et de vérifier la qualité du travail réalisé. Ainsi, en survolant le champ, il permet de s'assurer que les ouvrages ou les courbes de niveau ont été correctement implantés et que le sens du labour a été respecté. Par ailleurs, le survol du champ de Gasma a repéré des cordons pierreux réalisés grâce à l'appui technique du projet PATECORE. Ce dispositif en pierres, perceptibles sur le champ, épousent les courbes de niveau. Cela dénote d'une bonne maîtrise de la technologie d'aménagement des ouvrages de CES par le producteur de Gasma et un bon entretien. En effet, lors des enquêtes de terrain, ce producteur a affirmé qu'il a bénéficié d'une formation en technique d'aménagement des ouvrages de CES depuis 1985, lui permettant ainsi l'entretien périodique et le labour de son champ en tenant compte du dispositif en cordons pierreux existant.

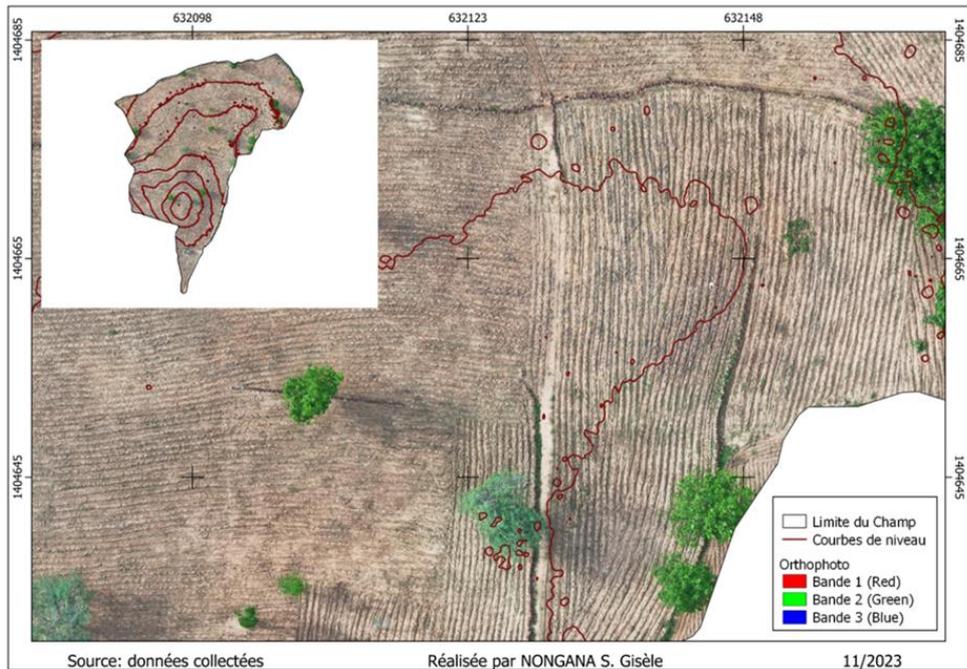


Figure 4 : *Vérification du labour du champ de Gasma après le labour*

3-3. Le champ de maïs de Koala : une production compromise

La production du maïs à Koala s’est faite dans un contexte de terrain relativement plat (pente de 0,53 %), une couverture végétale clairsemée, et des paramètres physiques et chimiques moyennement favorables à la production de cette culture. Le labour a été réalisé parallèlement aux courbes de niveau dans l’optique de conserver l’eau et de limiter l’érosion. Cependant, dès la deuxième décennie après les semis (stade de levé), les données climatiques de l’Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) indiquent que la zone d’étude a reçu des précipitations abondantes (303 mm en 20 jours, représentant une moyenne journalière de 15,15 millimètres d’eau). Lors d’une opération de collecte des données effectuée 35 jours après les semis avec le drone de prospection P4 Multispectral, il ressort que le champ a été abandonné par défaut de développement des cultures malgré les conseils reçus par le producteur grâce aux indices générés. L’analyse des images montre que le champ était dans un mauvais état végétatif. En effet, les valeurs de l’indice SAVI étaient négatives ou proches de zéro (plus de 70 % de la superficie du champ). Les **Figures 5 et 6** présentent les zonations de l’indice SAVI du champ respectivement à la date du 26 juillet et du 16 août 2023.

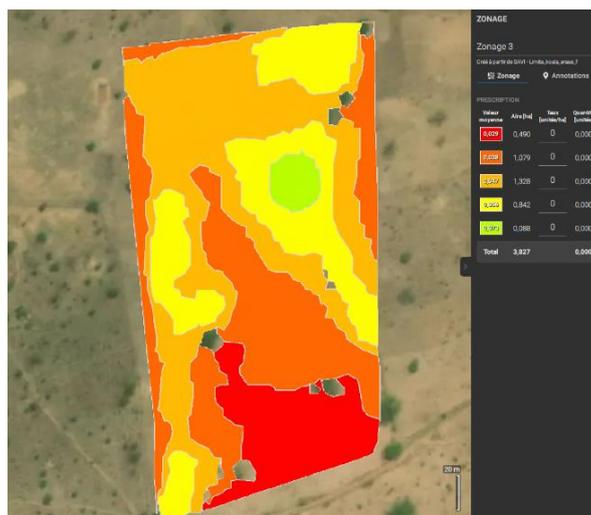


Figure 5 : Zonation de l'indice SAVI du 26 juillet 2023

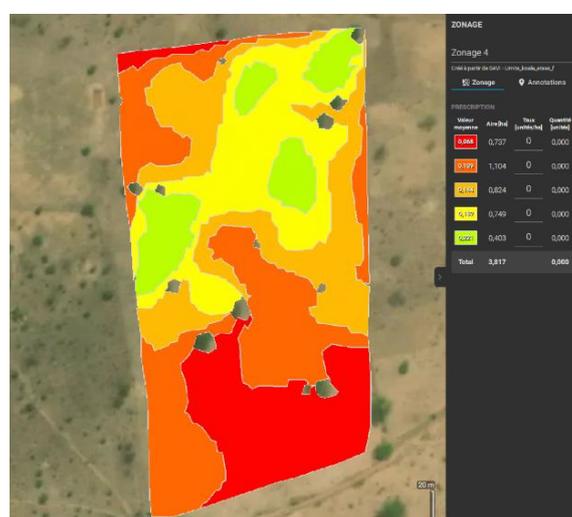


Figure 6 : Zonation de l'indice SAVI du 16 août 2023

Les observations effectuées sur le champ ont permis de savoir que les plantules n'avaient pas une bonne physiologie pendant le premier et le second survol. Le champ était inondé, et les plantules n'étaient pas verdoyantes et vigoureuses. La partie un peu verdâtre correspondait à des zones enherbées. Au regard de la physiologie du champ, et pour booster le développement des cultures, des recommandations portant sur l'usage de l'engrais chimique ont été faites au producteur après le premier survol (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Recommandation de l'application du NPK 14 jours après les semis

Valeur moyenne du SAVI	Superficie (ha)	Doses recommandées
0,029	0,49	98
0,038	1,079	215,8
0,047	1,328	265,6
0,066	0,842	168,4
0,076	0,088	17,6
Total	3,827	765,4

Source : Indice SAVI généré le 26 juillet 2023

Selon les agents d'appui conseil du ministère en charge de l'agriculture, la dose recommandée pour l'application de l'engrais chimique est de 200 kg par ha du mélange azote-phosphore-potassium (NPK) 14 jours après les semis, soit 765,4 kg de NPK à appliquer le 26 juillet sur la superficie totale de la parcelle qui est de 3,82 ha. Cette dose devait être partitionnée en tenant compte de la valeur moyenne du SAVI, en mettant l'accent sur les zones à faible valeur à moyenne. Mais au regard de la physionomie du champ, il a été suggéré au producteur d'appliquer les doses recommandées par classe, puis de procéder au sarclage immédiatement après l'application de l'engrais. Le 16 août, un autre survol a eu lieu en vue d'apprécier l'évolution du champ. La **Figure 7** présente l'état végétatif du champ à la date du 26 juillet et du 16 août 2023. Les observations faites dans le champ montrent que les cultures sont dans un mauvais état végétatif et n'ont pas bien évolué entre les deux périodes. A trente-quatre jours après les semis, le champ devrait être à un stade de croissance active. Les échanges avec le producteur ont permis de savoir qu'il n'a pas pris en compte les conseils qui lui ont été prodigués après le premier survol. Pour lui, c'est la succession de pluies après le passage de l'équipe technique qui en est responsable. Toutefois, il ressort des études que le mauvais développement des cultures pourrait s'expliquer par la combinaison de facteurs naturels et climatiques tels que la nature du sol, la topographie, les précipitations abondantes, associés au labour en courbe de niveau. En effet, une étude pédologique du site menée en novembre 2023 par [9] a montré que le sol prédominant est du sous-groupe des vertisols à drainage modéré, avec une aptitude marginale pour la production du maïs. Les contraintes s'expliquent par la disponibilité en oxygène en raison de l'évacuation lente des eaux de pluie, conséquence de la texture de sol avec une importante proportion d'argile gonflante de type montmorillonite sur une surface à pente quasi nulle [9].

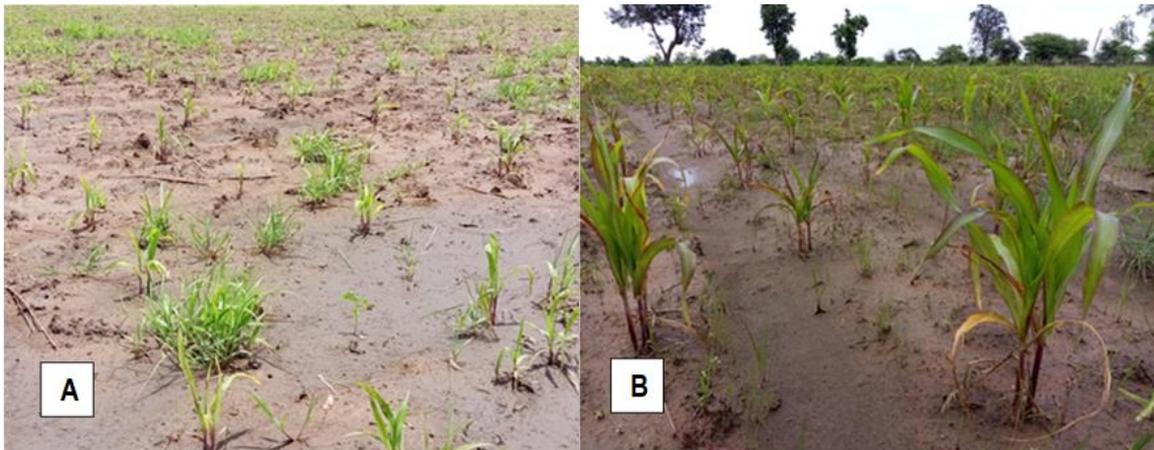


Figure 7 : État végétatif du champ de Koala du 26 juillet (A) et du 16 août 2023 (B)

3-4. L'alerte précoce grâce au drone dans le champ de Gasma

Sur le site de Gasma, la production de maïs a été entravée par des séquences sèches. Une première pause pluviométrique a contraint le producteur à semer son champ tardivement le 21 juillet 2023. Une seconde séquence sèche lui a conduit à différer le calendrier d'application des engrais. Une troisième période de sécheresse de 13 jours, débutée le 3 septembre, a entraîné des dommages sur le maïs suite à une application d'engrais. Après le 17 septembre, le site n'a plus enregistré de pluie. Pourtant, selon [11], les cultures sont très sensibles aux séquences sèches quel que soit le stade phénologique. Le **Tableau 2** présente le calendrier d'application des fertilisants dans le champ.

Tableau 2 : Calendrier d'application des engrais

Fertilisants	Dates d'application	Périodes	Quantités appliquées (kg)	Quantités recommandées pour la superficie (kg)	Observations
Fumure organique	Mai	Avant semis	5500	9350	Dose insuffisante
NPK	5 août	15 jours après semis	100	340	Dose insuffisante
	26 août	16 jours après la 1 ^{ère} application	50	0	L'application devait se faire le 5 août
Urée	26 août	16 jours après la 1 ^{ère} application du NPK	50	170	Quantité insuffisante
	6 sept.	10 jours après la 1 ^{ère} fraction d'urée	50	85	Suivi de poches de sécheresse

Source : Travaux de terrain (juillet 2023)

L'analyse de ce tableau montre que ni les dates d'application, ni les quantités d'engrais recommandées n'ont été respectées. Si les raisons financières justifient le non-respect des quantités, les poches de sécheresse ont joué un rôle dans le non-respect des dates d'application. L'utilisation de l'indice de végétation NDVI a permis d'évaluer la santé et la vigueur des cultures aux stades critiques de leur développement et d'alerter le producteur à temps en cas de défis. La **Figure 8** présente les zonations du champ aux stades critiques de développement des plants.

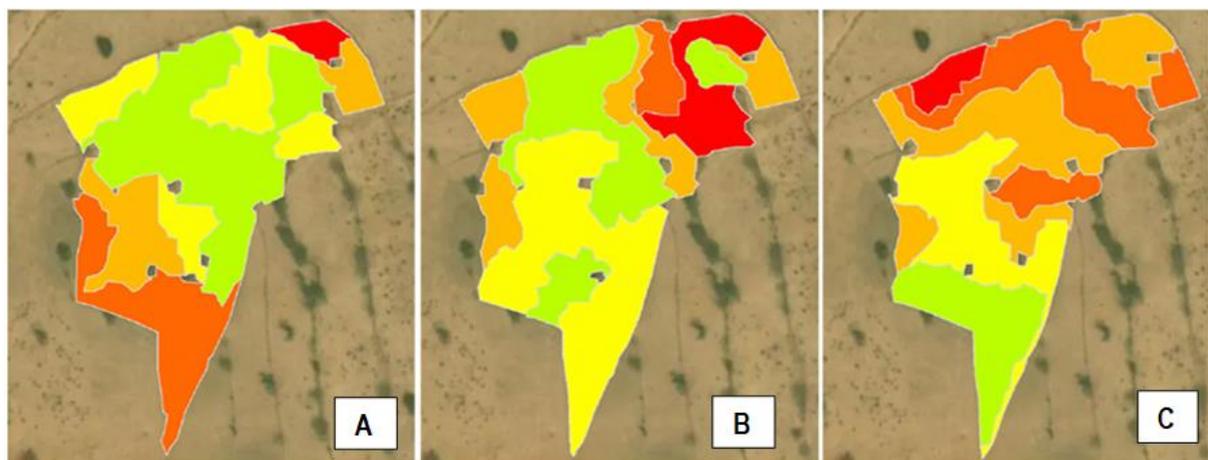


Figure 8 : Zonation de l'indice NDVI du champ de Gasma le 17 août (A), le 5 septembre (B) et le 22 septembre (C)

Les valeurs de NDVI du 17 août montrent qu'elles sont comprises entre 0,136 et 0,865, indiquant une densité de végétation modérée (1 ha) à relativement faible (0,7 ha). Le faible développement des cultures pourrait s'expliquer d'une part par l'attaque de la chenille légionnaire d'automne identifiée dans la partie sud du champ, et d'autre part, par le manque de nutriments dans cette partie du champ. En effet, d'après le producteur, cette partie de la parcelle culturale n'a pas bénéficié de la première fraction du NPK par insuffisance d'engrais. Le survol effectué le 5 septembre a montré une amélioration significative des valeurs de NDVI (0,306 à 0,951), malgré la persistance de l'attaque de la chenille légionnaire. Cette situation pourrait s'expliquer d'une part par l'appui conseil apporté au producteur après le survol du drone effectué à la date

du 17 août qui a été suivi, et d'autre part, par le traitement que celui-ci a effectué dans le champ à l'aide du Tamenga (1 litre) contre les ravageurs. Contrairement au survol du 5 septembre, celui du 22 septembre montre que le champ a régressé car 60 % de sa végétation était dans un mauvais état. Cela pourrait s'expliquer par la poche de sécheresse survenue du 3 au 16 septembre. Cette période a coïncidé avec l'application de la dernière fraction de l'urée. Cet apport d'engrais chimique, intervenu dans un contexte de poche de sécheresse, aurait entraîné des effets néfastes sur les cultures. L'engrais a été inefficace car l'urée a besoin d'eau pour se dissoudre et être absorbée par les plantes. Selon [12], dans un tel contexte, l'irrigation de complément serait la solution alternative pour maintenir la croissance des plantes. Le producteur perçoit les effets des changements climatiques, leurs impacts sur les cultures et les stratégies d'adaptation grâce aux formations reçues et l'appui technique des agents agricoles. Cependant, l'absence de point ou de plan d'eau à proximité du champ ne permet pas de pallier cette situation. Les poches de sécheresse, survenues au cours de la maturité des plantes et l'absence d'irrigation ont entraîné un stress hydrique sévère pour le maïs qui a besoin d'eau pendant sa période de croissance. Malgré le traitement apporté à la parcelle, l'attaque de la chenille légionnaire d'automne, constatée dès la troisième décennie après le semis, n'a pas pu être contrôlée rapidement et efficacement. Cette situation a entraîné des dommages considérables aux cultures (50 % du champ infesté) comme l'indique la **Figure 9**. En effet, la chenille légionnaire d'automne a une capacité à se propager rapidement et à causer des dommages sur plusieurs cultures, avec une préférence pour le maïs, dont la perte de rendement peut atteindre 48,2 % [13, 14]. L'utilisation d'un drone pulvérisateur de traitement agricole dès l'identification de l'attaque aurait pu limiter les dégâts. L'avantage majeur de son utilisation est sa capacité à accéder rapidement et efficacement aux zones touchées et aider à contenir la propagation de la chenille légionnaire [15]. La combinaison de ces facteurs a créé des contraintes majeures pour la réussite de la culture du maïs sur le site de Gasma. D'où le faible rendement de 4,83 tonnes obtenu sur un rendement potentiel de 9,35 tonnes attendu sur la parcelle de 1,7 ha. Toutefois, ce rendement est meilleur par rapport au rendement moyen national du maïs qui est de 1,7 tonnes/ha [16].



Figure 9 : Des plants de maïs infestés par la chenille légionnaire d'automne

4. Discussion

4-1. Contribution du drone à la durabilité des sols et à l'amélioration des rendements

La collecte de données a permis une représentation tridimensionnelle à haute résolution des champs étudiés. Les informations générées offrent une vue d'ensemble des parcelles culturales. Il s'agit des orthophotos, des pentes, des courbes de niveau, dont la maîtrise par les producteurs ainsi que les agents d'appui conseil

constitue une stratégie clé pour la conservation de l'eau et des nutriments dans les champs. Selon [17, 18], labourer les parcelles agricoles parallèlement aux courbes de niveau constitue une bonne pratique agricole. D'après [17], cette méthode est particulièrement adaptée aux terrains en pente légère à modérée et peut aider à prévenir l'érosion en retenant l'eau et en réduisant le ruissellement. Pour ces auteurs, plutôt que de laisser l'eau s'écouler directement sur la pente, le labour suivant les courbes de niveau permet de retenir la ressource hydrique dans des sillons ou des lignes de culture horizontales, réduisant ainsi la vitesse d'écoulement et limitant l'érosion. L'utilisation des drones ouvre de nouvelles perspectives aux producteurs pour une agriculture moderne, innovante et plus durable. Elle leur offre un outil précieux pour optimiser les pratiques et améliorer les rendements agricoles tout en préservant l'environnement. La technologie des drones a été décrite dans de nombreuses études par des auteurs tels que [19] au Nord du Burkina Faso, [17] au Sud du Mali, [20] dans un bassin versant en Wallonie, en Belgique, [21] à Iniesta en Espagne et [18] dans les hauts plateaux de l'ouest du Cameroun.

4-2. Facteurs explicatifs des mauvais rendements agricoles

L'observation directe et la recherche documentaire ont permis de déduire que l'abandon du champ de Koala suite aux inondations s'expliquerait par la combinaison de plusieurs facteurs dont la culture du maïs sur un sol inadapté (vertisol) et la succession de pluies dès la dernière décade du mois de juillet (303 millimètres d'eau en 20 jours). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [22] au nord du Cameroun. En effet, d'après cet auteur, certaines cultures comme le maïs, pratiquées sur les vertisols, peuvent en souffrir. Pour lui, c'est plutôt le riz qui est adapté à ce type de sol. Par ailleurs, le champ n'a pas été bien entretenu car le sarclage et le buttage n'ont pas été effectués à temps. Pourtant, ces deux opérations agricoles sont essentielles car elles peuvent jouer un rôle crucial dans le succès de la culture du maïs. Leur mise en application tardive pourrait avoir compromis le développement initial et la croissance des plantes. En effet, le buttage tardif peut avoir mis les plants sous stress, compromettant ainsi leur capacité à absorber l'eau et les nutriments nécessaires à leur croissance. Des auteurs tels que [23, 24] ont estimé que le manque de sarclage peut entraîner une baisse des rendements de certaines cultures jusqu'à 93,2 %. En somme, outre les défis liés à la topographie, au sol et aux conditions météorologiques, le manque d'entretien a contribué à l'abandon du champ de maïs. Sur un rendement potentiel attendu de 9,35 tonnes dans le champ de Gasma (1,7 ha), le producteur n'a récolté que 4,83 tonnes, soit environ 50 % du rendement attendu, malgré les efforts de l'alerte précoce dont il a bénéficié grâce aux données générées par le drone. Cet état de fait pourrait s'expliquer par la combinaison de facteurs tels que le semi tardif, l'attaque de la chenille légionnaire (50 % du champ infesté), l'apparition de poches de sécheresse, le manque de système d'irrigation d'appoint, l'application de l'engrais à une période sèche, etc. Selon les études menées par [11] dans le bassin versant du Massili à l'exutoire de Loumbila, de nos jours, l'impact des risques climatiques extrêmes sur les cultures pluviales se manifeste par la perturbation du calendrier des semis dû au faux départs de saisons. Quant aux pertes de rendements dues à la chenille légionnaire d'automne, elles ont été documentées par des auteurs comme [13, 25] au Bénin, au Ghana, au Rwanda, au Zimbabwe, etc. D'après ces auteurs, lorsque le semis est tardif, l'infestation à la chenille légionnaire est très sévère (96 %).

5. Conclusion

Cette étude a permis d'appréhender la contribution significative des drones à la durabilité des sols et à l'alerte précoce dans la gestion agricole. La capacité des drones à reconstituer la topographie du sol, à identifier les courbes de niveau et à aider les producteurs avec l'application GPS sur le téléphone à labourer suivant ces courbes de niveau, représente une avancée majeure dans la préservation des sols. La surveillance des cultures en temps réel grâce aux drones permet également d'anticiper les problèmes potentiels et d'alerter les producteurs à temps, favorisant ainsi une réaction proactive. Cependant, une intervention efficace du

drone de prospection dans la surveillance agricole nécessite la disponibilité d'intrants agricoles tels que l'eau d'irrigation, les engrais et les produits de traitement des ravageurs. De plus, la réalisation des opérations culturales à temps est essentielle pour maximiser les avantages de cette technologie. Pour maximiser l'apport du drone dans la gestion durable des sols, une connaissance approfondie de la pédologie s'avère nécessaire. Ainsi, une gestion plus attentive et planifiée des tâches agricoles peut être essentielle pour une exploitation réussie. En somme, une bonne analyse et une prise en compte des éléments de la topographie pourraient contribuer à améliorer la durabilité et la rentabilité des exploitations agricoles.

Références

- [1] - Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques, Stratégie Nationale de Restauration, Conservation et Recupération des Sols au Burkina Faso 2020–2024, Ouagadougou, Burkina Faso, (2019) 82 p.
- [2] - O. NEBIÉ, Expérience de peuplement et stratégies de développement dans la vallée du Nakambé Burkina Faso, Thèse de Doctorat de l'Université de Neuchâtel, Suisse, (2005) 353 p.
- [3] - Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques, Situation de référence des terres dégradées et de la CES au Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso, (2018) 154 p.
- [4] - FAO, Le travail de la FAO avec les peuples autochtones dans le secteur forestier, Rome, Italie, (2021) 8 p.
- [5] - P. RADOGLU-GRAMMATIKIS, P. SARIGIANNIDIS, T. LAGKAS et I. MOSCHOLIOS, « Une compilation d'applications de drones pour l'agriculture de précision », *Reseaux informatiques*, Vol. 172, (2020) 107 - 148 p.
- [6] - A. H. ISSAD, Déploiement intelligent de drones pour une agriculture du futur, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, République Algérienne Démocratique et Populaire, (2020) 133 p.
- [7] - J. FONTÈS et S. GUINKO, Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso, Ministère de la coopération Française, projet campus, (1995) 71 p.
- [8] - M. P. BAGRÉ, O. KABORÉ, A. YAMÉOGO, W. OUÉDRAOGO et Y. S. C. SOMÉ, « Modélisation prospective de l'occupation du sol d'un espace à forte pression anthropique : cas du bassin versant du Massili à Gonsé (Burkina Faso) », *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 42 (1) (2023) 476 - 493 p.
- [9] - C. OUÉDRAOGO, Rapport d'étude pédologique du site de Monsieur ZANGRE, Ouagadougou, Burkina Faso, (2023) 21 p.
- [10] - A. TRAORÉ, P. L. YAMÉOGO, N. A. I. DA, K. TRAORÉ, P. BAZONGO et O. TRAORÉ, « Effet de la formule unique d'engrais 23-10-05 + 3,6S + 2,6Mg + 0,3Zn sur le rendement du maïs Barka dans la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso », *Afrique SCIENCE*, 16 (1) (2020) 260 - 270 p.
- [11] - S. ILBOUDO, L. OUEDRAOGO, T. H. OUEDRAOGO et M. P. BAGRÉ, « Perceptions paysannes des risques climatiques extrêmes et des impacts sur les cultures pluviales dans le bassin versant du Massili à l'exutoire de Loumbila (Burkina Faso) », *Revue Djiboul*, 2 (005) (2023) 390 - 405 p.
- [12] - S. FOSSI, D. OUEDRAOGO, B. ZONGO, Y. M. TRAORÉ et D. K. S. SILVEIRA, « Acceptation et vulgarisation de l'irrigation de complément dans la province du Bam, Burkina Faso », *Journal de l'Eau et de l'Environnement LJEE*, numéros 21 et 22, Spécial colloque CIREDD 2013, (2013) 29 - 36 p.
- [13] - J. A. TAMBO, M. K. KANSIIME, I. MUGAMBI, I. RWOMUSHANA, M. KENIS, R. K. DAY et J. LAMONTAGNE-GODWIN, Understanding smallholders' responses to fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) invasion : Evidence from five African countries, *Science of the Total Environment*, (2022) 11 p.

- [14] - S. LAMINO, O. Z. MOUSSA, L. AMADOU et I. BAOUA, « Revue des principaux résultats des travaux de recherche sur la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* JE Smith en Afrique », *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 38 (2) (2022) 243 - 261 p.
- [15] - E. BONTA, M. BUNESCU et Z. NISTREAN, « IT dans l'agriculture », *Technical Scientific Conference of Undergraduate*, Vol. 1, (2022) 455 - 459 p.
- [16] - Ministère de l'Agriculture des Ressources Animales et Halieutiques, Tableau de bord statistique de l'agriculture, des ressources animales et Halieutiques, Ouagadougou, Burkina Faso, (2022) 202 p.
- [17] - J. GIGOU et F. L. COULIBALY, « Aménagement des champs pour la culture en courbes de niveau au sud du Mali », *Agriculture et développement*, N°14 (1997) 47 - 55 p.
- [18] - A. BOUKONG, « Influence des pratiques culturales sur la perte en terre, le ruissellement et le rendement de maïs sur un oxisol des hauts plateaux de l'Ouest Cameroun », *Bulletin Réseau Erosion*, N°20 (2000) 388 - 398 p.
- [19] - J. Y. MARCHAL, « Vingt ans de luttes anti-érosives au Burkina Faso », *Cahier de l'ORSTOM*, 22 (1) (1983) 173 - 180 p.
- [20] - M. M. OUEÛDRAOGO, A. DEGRÉ, C. DEBOUCHE et J. LISEIN, « L'évaluation de la photogrammétrie basée sur un système aérien sans pilote et du balayage laser terrestre pour générer des MNT des bassins versants agricoles », *Géomorphologie*, Vol. 214, (2014) 339 - 355 p.
- [21] - K. RIBEIRO-GOMES, D. HERNÁNDEZ-LÓPEZ et F. J. ORTEGA, « Calibrage de caméras thermiques non refroidies et optimisation du processus de photogrammétrie pour les applications de drones dans l'agriculture », *Sensors*, 17 (10) (2017) 21 - 43 p.
- [22] - M. RAUNET, « Quelques clés morphopédologiques pour le Nord Cameroun à l'usage des agronomes », CIRAD, (2003) 21 p.
- [23] - C. CARÊME et T. SGHAIER, « Conséquences de la nuisibilité des mauvaises herbes sur la production », *Tropicultura*, 9 (2) (1991) 53 - 57 p.
- [24] - A. AHANCHÉDÉ, « Compétition entre mauvaises herbes et culture cotonnière : influence du nombre de sarclages sur la biomasse et le rendement », *Tropicultura*, 18 (3) (2000) 148 - 151 p.
- [25] - M. H. BATAMOSSI, S. B. J. T. O. MERE, M. YAYA et J. D. F. AKOUNNOU, « Performances agronomiques de la variété QPM/FAABA du maïs (*Zea mays* L.) suivant les périodes de semis en condition de perturbations climatiques », *Série Sciences Naturelles et Agronomie*, 11 (1) (2021) 25 - 32 p.