

Effets des pratiques agroécologiques sur les propriétés chimiques du sol et les rendements du coton biologique en zone Nord-soudanienne du Burkina Faso

[Effects of agroecological practices on soil chemical properties and yields of organic cotton in the North-Sudanese zone of Burkina Faso]

Ibrahim Ouedraogo^{1,2}, Bazoumana Koulibaly¹, Nongma Zongo¹, Ouango Maurice Savadogo¹, Adama Traore¹, and Hassan Bismarck Nacro²

¹Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Département Gestion des Ressources Naturelles et Systèmes de Production, INERA-Farako-Bâ, Laboratoire Sol-Eau-Plante (SEP), 01 BP 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

²Université Nazi BONI, Laboratoire d'étude et de recherche sur la fertilité du sol et les systèmes de production, 01 BP: 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The decline in soil fertility and the rainfall deficit strongly limit the cultivation of organic cotton in Burkina Faso. Zaï, a water and soil fertility management technique, can be explored to improve soil and organic cotton productivity. The objective is to determine the effects of zaï on the evolution of the chemical properties of the soil and on the productivity of organic cotton. A trial was implemented in the North Sudanese zone of Burkina Faso in an experimental design in completely randomized Fisher blocks with three (3) treatments including L1 (plowing + 1 t/ha of compost), L5 (plowing + 5 t/ha of compost), Z1 (zaï+1 t/ha of compost). The parameters measured focused on carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, exchangeable bases, cation exchange capacity and soil pH and seed cotton yields. The study shows that plowing combined with 5 t/ha compost and zaï combined with 1 t/ha compost significantly improve the chemical properties of the soil. Plowing combined with 5 t/ha of compost (L5) presented the highest average yield (1114±65 kg/ha). Zaï and plowing combined with 1 t/ha of compost recorded identical average yields (782±81 kg/ha and 752±23 kg/ha). Zaï combined with 1 t/ha of compost can be vulgarized in the North Sudanese zone of Burkina Faso and can be a means of adapting to increasingly difficult rainfall conditions marked by pockets of drought.

KEYWORDS: organic cotton, plouwing, zaï, yield, Burkina Faso.

RESUME: La baisse de la fertilité des sols et le déficit pluviométrique limitent fortement la culture du coton biologique au Burkina Faso. Le zaï, une technique de gestion de l'eau et de la fertilité du sol, peut être exploré pour améliorer le sol et la productivité du coton biologique. L'objectif est de déterminer les effets du zaï sur l'évolution des propriétés chimiques du sol et sur la productivité du coton biologique. Un essai a été implanté dans la zone Nord-soudanienne du Burkina Faso dans un dispositif expérimental en blocs de Fisher complètement randomisés avec trois (3) traitements dont L1 (labour+1 t/ha de compost), L5 (labour+5 t/ha de compost), Z1 (zaï+1 t/ha de compost). Les paramètres mesurés ont porté sur le carbone, l'azote, le phosphore, le potassium, les bases échangeables, la capacité d'échange cationique et le pH du sol et les rendements en coton graine. Il ressort de l'étude que le labour combiné à 5 t/ha compost et le zaï combiné à 1 t/ha compost améliorent significativement les propriétés chimiques du sol. Le labour combiné à 5 t/ha de compost (L5) a présenté le rendement moyen le plus élevé (1114±65 kg/ha). Le zaï et le labour combiné à 1 t/ha de compost ont enregistré des rendements moyens identiques (782±81 kg/ha et 752±23 kg/ha). Le zaï associée 1 t/ha de compost peut être vulgarisé dans la zone Nord-

soudanienne du Burkina Faso et peut être un moyen de d'adaptation aux conditions pluviométriques de plus en plus difficiles marquées par des poches de sécheresse.

MOTS-CLEFS: coton biologique, labour, rendement, zaï, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

La production de coton conventionnel est la principale culture de rente et contribuait à 47% des recettes totales d'exportations en 2020 au Burkina Faso [1]. Sa production est pratiquée par plus de 350 000 producteurs et représente en moyenne 65% des revenus monétaires des ménages du Burkina Faso [2]. Elle est basée sur un système de production exigeant l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques qui est susceptible d'induire des effets négatifs sur la santé humaine et l'environnement [3]. Au regard de ses effets néfastes, la production biologique apparaît comme une alternative à la réduction de l'utilisation des pesticides chimiques pour une production agricole soucieuse de la protection de l'environnement et de la santé humaine et animale. En effet, la culture du coton biologique est basée sur l'utilisation de la fumure organique et les cultures intercalaires ou de rotation avec des légumineuses fixatrices d'azote [3]. La protection phytosanitaire est basée sur l'utilisation des pesticides biologiques tels que les extraits de plantes [3]. Au Burkina Faso, depuis les années 2004 la production du coton biologique a connu une forte adhésion des producteurs, passant de 72 producteurs en 2004 à 8382 producteurs en 2015 [4]. Cependant, la culture du coton biologique, comme toutes les autres cultures au Burkina Faso est confrontée à la baisse de la fertilité des sols, à la pression anthropique sur les terres cultivables et à un déficit pluviométrique de plus en plus marqué par le changement climatique [5]. Majoritairement produite par les femmes sur des sols relativement moins fertiles, la culture du coton biologique arrive très peu à pouvoir mobiliser la dose de 5 t/ha de fumure organique recommandée par an, et ne se contentant que d'environ 1 t/ha [6]. En plus, l'irrégularité des pluies en début de saison retarde la réalisation du labour et des semis, entraînant ainsi des pertes importantes de rendement du coton due à la pression des nuisibles [7].

Au regard de ce qui précède, le maintien de la fertilité des sols et des semis précoces s'imposent dans la culture du coton biologique au Burkina Faso. Cette étude qui opte pour des solutions agroécologiques s'est focalisée sur la gestion efficiente de la fumure organique et de l'eau à l'échelle de la parcelle. La technique du « zaï », pratique endogène développée dans le Nord du Burkina Faso, pourrait être une solution efficiente. En effet, le zaï consiste à faire très tôt des trous dans lesquels sont déposés du fumier ou du compost et les semis sont réalisés après les premières pluies [8]. Des études antérieures ont montré l'efficacité du zaï à concentrer les faibles quantités d'eau de pluie en eau disponible après les premières pluies permettant de réaliser les semis précoces [9]. Elles ont aussi montré l'efficacité du zaï à améliorer les propriétés bio-physico-chimiques du sol, et à accroître la productivité agricole [10], [11], [8]. Cependant, peu d'études ont examiné les effets du zaï sur la fertilité des sols sous culture du coton biologique.

La présente étude s'inscrit dans une perspective de recherche afin de contribuer à l'intensification de la production du coton biologique par la technique du zaï au Burkina Faso. A cet effet, nous formulons l'hypothèse que le zaï améliore les propriétés chimiques du sol et les rendements en coton graine comparativement au labour. L'étude s'est fixée comme objectif de déterminer les effets de la pratique du zaï sur l'évolution des propriétés chimiques du sol et sur les rendements du coton biologique.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL

2.1.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

La présente étude a été conduite en milieu paysan en 2021 et 2022, sur un Lixisol dans le village de Tanvousse (12°20'26" de la latitude Nord et 1°12'35" de la longitude Ouest) situé dans la commune rurale de Nagréongo, région du Plateau Central au Burkina Faso. La pluviométrie moyenne annuelle de cette zone varie entre 800 et 900 mm. Les pluviométries sont soumises à une grande variabilité spatio-temporelle [12], avec une fréquence élevée des épisodes sèches. Les années 2021 et 2022 ont été excédentaires avec des cumuls pluviométriques respectives de 927 mm en 52 jours et de 874 mm en 49 jours.

2.1.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé au cours de cette étude a été la variété de cotonnier FK64. Cette variété a un cycle semis-maturité de 150 jours avec un rendement potentiel en coton graine de 2 600 kg/ha [13]. Elle est adaptée aux zones sèches du Burkina Faso [13].

2.1.3 FUMURE ORGANIQUE

Le compost utilisé est issu d'un procédé de compostage en tas en utilisant des tiges de cotonnier comme matière à composter et du fumier comme activateur. Les teneurs en matière organique (MO), N-total et P-total sont élevées par rapport à la norme FAO (Tableau 1). Pour les traitements sous labour (L1, L5), le compost a été enfoui au moment de l'hersage. Quant aux traitements sous pratique de zaï (Z1), le compost a été apporté au poquet avant le semis.

Tableau 1. Composition chimique du compost utilisé dans l'expérimentation

Paramètres chimiques du compost utilisé	pH_eau	C-total (%)	MO (%)	N-total (%)	C/N	P-total (mg/kg)	K-total (mg/kg)
Valeurs	6,96	23	39	1,22	19	3362	10831
Norme FAO	-	-	10-30	0,4-0,5	15-20	-	4000-2300

MO: matière organique; C-total: carbone total; N-total: azote total; P-total: phosphore total; K-total: potassium total.

2.2 METHODES

2.2.1 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental est un bloc de Fisher randomisé comportant trois (03) traitements répétés quatre (04) fois. Il a été mis en place en 2021. Chaque parcelle élémentaire mesurait 10 m de longueur sur 5 m de largeur soit une superficie de 50 m². Elle comportait sept (07) lignes avec vingt-cinq (25) poquets de semis par ligne. Les parcelles élémentaires étaient séparées de 2 m et les blocs d'une allée de 2 m. Le zaï a été comparé au labour conventionnel qui est la pratique des producteurs de la zone. La dose de 5 t/ha de compost représente la dose de compost vulgarisée en production de coton biologique. Quant à la dose de 1 t/ha de compost, elle correspond à la dose moyenne de fumure organique appliquée par les producteurs de coton biologique au Burkina Faso. Les traitements étudiés sont dans le tableau 2.

Tableau 2. Traitements appliqués

Traitement	Nature du traitement	Travail du sol	Dose de compost (t/ha)
L1	Labour combiné à la dose de fumure organique en pratique paysanne dans la culture du coton biologique	Labour	1
L5	Labour combiné à la dose de fumure organique vulgarisée dans la culture du coton biologique	Labour	5
Z1	Zaï combiné à la dose de fumure organique en pratique paysanne dans la culture du coton biologique	Zaï	1

2.2.2 CONDUITE DE L'ÉTUDE

Pour cette étude, des trous de zaï de 15 cm de diamètre sur 10-15 cm de profondeur ont été utilisés afin de réduire les problèmes d'engorgement en eau des trous de zaï. Les trouaisons ont été faites à la main à l'aide une pioche selon un rayonnage croisé avant l'installation effective des pluies. Les écartements entre les trous de zaï ont été de 80 cm entre les lignes et 40 cm sur les lignes. La densité des trous a été de 31250 trous/ha. La technique a consisté à ouvrir des trous et à déposer la terre de déblai en aval des trous suivant le sens de la pente du terrain. Le labour à plat a été réalisé à la traction animale après l'installation des pluies. La profondeur de labour était de 20 cm.

Le compost a été apporté aux poquets dans le traitement avec zaï (Z1) et par épandage uniforme suivi d'enfouissement par hersage dans les traitements sous labour (L1; L5). Ces traitements sont concernés par la présente étude.

Un démariage à deux plantes/poquet a été réalisé au 14^{ème} jour après levée (JAL) pour ramener la densité théorique à 62 500 plantes/ha. La gestion des mauvaises herbes a été effectuée par des sarclages à la demande, suivi de buttage dans les parcelles sous labour. Durant les deux années d'expérimentations, la protection phytosanitaire a été assurée par l'insecticide biologique E-CODAOLEO K du 30^{ème} au 70^{ème} JAL à la dose de 2 l/ha tandis que le H-N a été appliqué du 80^{ème} au 110^{ème} JAL à 5 l/ha pour 200 l/ha de bouillie.

2.2.3 PRELEVEMENT ET ANALYSES CHIMIQUES DES ÉCHANTILLONS DE SOLS

Avant la mise en place de l'essai, des échantillons représentatifs de sol ont été constitués pour établir la situation de référence. Après les deux campagnes d'expérimentation, c'est-à-dire après les récoltes de 2022, un autre prélèvement de sols a été effectué pour évaluer les effets des traitements sur les variations des paramètres chimiques (pH, carbone total, azote total, phosphore, potassium, bases échangeables, capacité d'échange cationique) par rapport au sol de départ. Dans chaque parcelle élémentaire (PE), un échantillon composite a été constitué à partir de cinq (05) prélèvements à la tarière sur les diagonales dans la profondeur 0-20 cm des parcelles des traitements sous labour et dans les poquets des parcelles sous zaï.

Les analyses chimiques et granulométriques des échantillons ont été réalisées au Laboratoire Sol-Eau-Plante (SEP) de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de Farako-Bâ. Les échantillons collectés ont été préalablement séchés à l'ombre puis tamisés à 2 mm avant d'être analysés selon les méthodes standards. La granulométrie 3 fractions du sol a été déterminée par la méthode densimétrique élaborée par [14]. La détermination du carbone total a été faite selon la méthode de [15]. L'azote total a été dosé par la méthode Kjeldahl [16]. Après cette minéralisation, l'azote total a été dosé directement à l'auto-analyseur. De même, après la minéralisation, le phosphore total et le potassium total ont été dosés respectivement à l'auto-analyseur et au photomètre à flamme [14]. Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Bray I [17] en utilisant une solution mixte de fluorure d'ammonium (0,03M) et d'acide chlorhydrique (0,025M). Le dosage a été effectué par colorimétrie au spectrophotomètre. Le potassium disponible a été dosé selon la méthode décrite par [18] en utilisant une solution d'acide chlorhydrique (0,1N) et d'acide oxalique (0,4N). Le pHeau a été mesuré par électrométrie en utilisant un pH-mètre à électrode en verre dans une solution sol / eau (1: 2,5 m / v) selon la norme NF ISO 10390 [19]. La Capacité d'Echange Cationique (CEC) et les bases échangeables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ont été déterminées par la méthode extraction à l'acétate d'ammonium (NH_4Oac) 1N et à pH 7 [20].

2.2.4 DETERMINATION DE LA NUTRITION MINERALE DES COTONNIERS

Un prélèvement foliaire a été effectué sur les cotonniers au 70^{ème} jour après semis (JAS) pour un diagnostic foliaire selon la méthode du diagnostic foliaire (DF, IRCT) décrit par [21]. Les feuilles prélevées ont été celles situées à l'aisselle d'une fleur ouverte le même jour, appelée fleur du jour de couleur blanche et situées au niveau des premiers nœuds des branches fructifères. Sur chaque parcelle élémentaire, trente (30) feuilles ont été prélevées. Les échantillons prélevés ont été séchés à l'air libre et soumis aux analyses après broyage. Les limbes et les pétioles ont constitué deux sous-échantillons. Les teneurs en anions N et P ont été déterminées sur les limbes et les teneurs en cations K ont été déterminées sur les pétioles [21]. La nutrition en N et en K est bonne si les teneurs en N et K sont comprises entre 3-5%. La nutrition en P est bonne si les teneurs en P sont supérieures ou égales à 0,3% [21].

2.2.5 DETERMINATION DU RENDEMENT EN COTON GRAINE

Le rendement en coton graine a été déterminé à partir du poids de coton graine récolté dans les trois (3) lignes centrales de chaque parcelle élémentaire (PE); qui sont de 10 m longueur sur 5 m de largeur. Le rendement coton graine a été calculé par la méthode utilisée par [22]. La formule ci-après a été utilisée:

$$RCG \left(\frac{kg}{ha} \right) = y(kg) \times \frac{10000 (m^2)}{L (m) \times D (m)}$$

RCG: rendement coton graine à l'hectare;

y (kg): poids de coton graine récolté sur les trois (3) lignes centrales;

L (m): longueur de la ligne centrale égale à 10;

D (m): distance entre les lignes de chaque PE égale à 0,8.

2.2.6 DETERMINATION DES VARIATIONS DES PARAMETRES CHIMIQUES DU SOL

La variation des teneurs des paramètres chimiques du sol entre les teneurs avant la mise en place de l'essai et celles en année 2 a été calculée selon la méthode de [23].

$$\Delta X (\%) = 100 \times \left(\frac{X_2 - X_1}{X_1} \right)$$

ΔX correspondant à la variation du paramètre au cours de la campagne agricole;

X_1 correspondant à la valeur du paramètre considéré avant la mise en place de l'essai;

X_2 correspondant à la valeur du paramètre considéré en deuxième année de mise en culture.

Selon la formule, les variations négatives indiquent des pertes des teneurs en éléments minéraux du sol, et les variations positives traduisent une amélioration des teneurs en éléments minéraux du sol.

2.2.7 ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES

Les analyses statistiques des données collectées ont été effectuées avec le logiciel R version 3.6.2. Un test d'analyse de variance (ANOVA) a permis de déterminer les effets des traitements sur les propriétés chimiques du sol et le rendement en coton graine. La séparation des moyennes statistiquement significatives a été effectuée par le test de Student Newman et Keuls au seuil de 5 % de probabilité.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DU SOL AVANT LA MISE EN CULTURE

Les résultats des analyses granulométriques à trois fractions du sol avant la mise en place de l'essai (Tableau 3) ont montré que le sol a une texture sableux - limono-argileux. Sur le plan chimique, le sol du site avant la mise en place de l'essai a présenté un pH légèrement acide (6,08) et pauvre en matière organique (MO = 1%) et en éléments minéraux totaux et assimilables.

3.2 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES PROPRIETES CHIMIQUES DU SOL

Le tableau 4 présente les variations du pH_{eau}, des teneurs en C-total, N-total, P-total, K-total, P-assimilable et en K-disponible du sol. L'analyse de variance a montré que les traitements ont différemment affecté les variations des teneurs en N-total, P-total, K-total et K-disponible du sol. Cependant, l'analyse de variance a montré que les traitements n'ont pas différemment affecté les variations du pH_{eau}, des teneurs en C-total, P-assimilable, les concentrations en bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et en CEC du sol.

Pour le N-total du sol, la plus forte hausse (13±5,2%) a été enregistrée dans le traitement zaï combiné 1 t/ha. Cette hausse a été significativement supérieure aux variations obtenues dans les traitements labour combinés à 1 et 5 t/ha de compost (L1 et L5), qui ont été statistiquement identiques. Les traitements labour combinés à 1 et 5 t/ha de compost (L1 et L5) ont enregistré respectivement une augmentation de 6±4,6% et une baisse de 12±7,5%. Pour le P-total du sol, des variations à la hausse ont été observées dans les traitements. Le traitement labour combiné à 5 t/ha de compost (L5) a enregistré la variation significativement la plus élevée (157±7%). Cette variation a été suivi par celle du zaï combiné à 1 t/ha de compost (Z1), avec une augmentation de 140±15%. La plus faible variation a été obtenue avec le labour combiné à 1 t/ha compost (L1), avec une variation de 112±4%. Concernant le K-total, une hausse a été observée dans tous les traitements. Les traitements labour combinés à 5 t/ha et zaï combiné à 1 t/ha de compost ont enregistré des variations statistiquement similaires avec respectivement des augmentations de (108±4,6%) et (116±1,7%). La plus faible variation a été obtenue avec le labour combiné à 1 t/ha compost (L1), avec une variation de 75±2,2%. Pour le K-disponible du sol, le traitement labour combiné à 5 t/ha de compost (L5) a enregistré la variation significativement la plus élevée (306±14,3%). Cette variation a été suivi par celle zaï combiné à 1 t/ha de compost (Z1), avec une augmentation de 232±1,4%. La plus faible variation a été obtenue avec le labour combiné à 1 t/ha compost (L1), avec une variation de 189 ±0,9%.

Tableau 3. Paramètres chimiques du sol avant la mise en culture

Paramètres	Valeur moyenne sur la profondeur 0-20 cm
<i>Granulométrie 3 fractions</i>	
Argile (%)	33
Limons totaux (%)	31
Sables totaux (%)	36
Texture du sol	Sableux-limono-argileux
<i>Statut organique</i>	
Matière Organique (%)	1
C-total (g/kg)	0,603
N-total (g/kg)	0,550
C/N	10,9
<i>Statut minéral</i>	
P-total (mg/kg)	59
P-assimilable (mg/kg)	1,5
K-total (mg/kg)	617
K-disponible (mg/kg)	35
Ca ²⁺ (cmol/kg)	8,6
Mg ²⁺ (cmol/kg)	5,4
Na ⁺ (cmol/kg)	0,2
K ⁺ (cmol/kg)	0,1
CEC (cmol/kg)	19,3
<i>Acidité</i>	
pHeau	6,1
pHKCl	5,18

C-total: carbone total, N-total: azote total, P-total: phosphore total, K-total: Potassium total, P-assimilable: phosphore assimilable, K-disponible: potassium disponible, Ca²⁺: calcium échangeable, Mg²⁺: magnésium échangeable, Na⁺: sodium échangeable, K⁺: potassium échangeable, CEC: capacité d'échange cationique.

Tableau 4. Valeur moyenne (\pm erreur standard) des variations des propriétés chimiques du sol par rapport au sol de départ

Traitement	Δ pHeau	Δ C-total	Δ N-total	Δ P-total	Δ P-assimilable	Δ K-total	Δ K-disponible	Δ Ca ²⁺	Δ Mg ²⁺	Δ Na ⁺	Δ K ⁺	Δ CEC
	(%)											
L1	7 \pm 0,4	0,1 \pm 9,9	6 ^{ab} \pm 4,6	112 ^b \pm 4	39 \pm 7,6	75 ^b \pm 2,2	189 ^c \pm 0,9	-8 \pm 4,8	-11 \pm 0,5	-38,5 \pm 5,6	1 \pm 5	-9 \pm 0,05
L5	5,4 \pm 1,1	-14 \pm 5,3	-12 ^{ab} \pm 7,5	157 ^a \pm 7	51 \pm 7,2	108 ^a \pm 4,6	306 ^a \pm 14,3	-3,8 \pm 2,87	-2,9 \pm 9,4	-27,5 \pm 3,8	22 \pm 12	-10 \pm 0,04
Z1	4,6 \pm 1,4	6 \pm 5	13 ^a \pm 5,2	140 ^{ab} \pm 15	66 \pm 6,6	116 ^a \pm 1,7	232 ^b \pm 1,4	-14,1 \pm 4	-11,8 \pm 4,7	-31,8 \pm 7	46 \pm 17	-18 \pm 0,01
Probabilité	0,288	0,199	0,0395	0,0309	0,0672	<0,001	<0,001	0,233	0,548	0,413	0,0793	0,214
Signification	ns	ns	s	s	ns	s	s	ns	ns	ns	ns	ns

L1: labour+1 t/ha de compost; L5: labour+ 5 t/ha de compost; Z1: zai+1 t/ha de compost (32 g/poquet). ns = non significatif, s =significatif. Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey.

3.3 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA NUTRITION MINERALE DES COTONNIERS

Le tableau 5 montre les teneurs en azote, phosphore et potassium dans les feuilles de cotonniers à 70 JAS. Les résultats indiquent que les teneurs en azote dans les feuilles des cotonniers sont comprises entre 2,65 à 2,67% et 2,51 à 2,93% respectivement en 2021 et 2022. Pour le P, les teneurs sont comprises entre 0,17 à 0,18% et 0,18 à 0,24% respectivement en 2021 et 2022. En ce qui concerne le K, les teneurs sont comprises entre 2,93 à 3,47% et 2,38 à 2,46% respectivement en 2021 et 2022.

Les teneurs en azote et en potassium inférieures à 3% et celles en phosphore inférieures à 0,3% sont celles qui montrent une déficience en nutrition azotée et phosphatée des cotonniers en 2021 et 2022. Cependant, les teneurs en potassium ont

été supérieures à 3% dans les traitements en 2021, ce qui indique que la nutrition potassique a été bonne. L'analyse de variance montre que les traitements n'ont pas différemment affecté les teneurs en azote, phosphore et potassium dans les feuilles des cotonniers en 2021 comme en 2022.

Tableau 5. Valeurs moyennes (\pm erreur standard) des teneurs en N, P et K dans les feuilles de cotonniers

Traitement	N (%)		P (%)		K (%)	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
L1	2,65 \pm 0,11	2,51 \pm 0,25	0,18 \pm 0,006	0,18 ^b \pm 0,011	3,47 \pm 0,26	2,44 \pm 0,71
L5	2,68 \pm 0,09	2,93 \pm 0,02	0,17 \pm 0,002	0,24 ^a \pm 0,005	3,13 \pm 0,42	2,38 \pm 0,64
Z1	2,67 \pm 0,06	2,81 \pm 0,05	0,18 \pm 0,011	0,22 ^a \pm 0,007	3,18 \pm 0,55	2,46 \pm 0,58
Probabilité	0,977	0,176	0,722	< 0,001	0,682	0,957
Signification	ns	ns	ns	s	ns	ns

L1: labour+1 t/ha de compost; L5: labour+ 5 t/ha de compost; Z1: zaï+1 t/ha de compost (32 g/poquet). ns = non significatif, s =significatif. Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey.

3.4 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES RENDEMENTS EN COTON GRAINE

Le tableau 6 présente les rendements en coton graine obtenus en 2021, 2022 et rendement moyen des deux années. Le traitement sous labour combiné à 5 t/ha de compost (L5) a enregistré les rendements les plus élevés en coton graine, avec 1088 \pm 12 kg/ha et 1141 \pm 135 kg/ha respectivement en 2021 et 2022. Ce traitement a enregistré également le rendement moyen en coton graine le plus élevé (1114 \pm 65 kg/ha) pendant ces deux années de culture. Par ailleurs, les rendements obtenus avec les traitements zaï combiné à 1 t/ha de compost (Z1) et labour combiné à 1 t/ha de compost (L1) ont enregistré des rendements en coton graine statistiquement identiques en 2021 et 2022. Quant aux rendements moyens, le traitement labour combiné à la dose vulgarisée de compost (L5) a permis d'obtenir un gain supplémentaire moyen de 332 kg/ha et de 362 kg/ha comparativement aux traitement L1 et Z1.

Tableau 6. Rendements en coton graine en fonction des traitements

Traitement	Rendement coton graine (kg/ha)		
	2021	2022	Moyenne
L1	691 ^b \pm 92	873 ^b \pm 86	782 ^b \pm 81
L5	1088 ^a \pm 12	1141 ^a \pm 135	1114 ^a \pm 65
Z1	735 ^b \pm 30	769 ^b \pm 15	752 ^b \pm 23
Probabilité	0,001	0,0496	0,004
Signification	S	S	S

L1: labour+1 t/ha de compost; L5: labour+ 5 t/ha de compost; Z1: zaï+1 t/ha de compost (32 g/poquet). ns = non significatif, s =significatif. Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey.

4 DISCUSSION

4.1 CARACTERISTIQUES INITIALES DU SOL AVANT LA MISE EN CULTURE

La caractérisation du sol avant la mise en culture montre que le sol est pauvre en matière organique avec de faibles teneurs en éléments minéraux totaux et assimilables (azote total, potassium total, phosphore total, phosphore assimilable et potassium disponible) et légèrement acide [24]. Cette pauvreté du sol en matière organique, en azote, en phosphore et en potassium et le caractère légèrement acide du sol est liée à la pauvreté originelle qui caractérise les sols de type ferrugineux tropicaux lessivés indurés du Burkina Fasso [25]. Cette pauvreté du sol en matière organique et en éléments minéraux le rend peu propice à la culture du coton biologique et, montre la nécessité d'assurer des restitutions organiques pour améliorer sa fertilité [24].

4.2 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR L'ÉVOLUTION DES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DU SOL

Au terme de notre analyse, il ressort que les traitements affectent significativement les variations des teneurs en nutriments totaux (N-total, P-total et K-total) et en K-disponible du sol. Pour les variations de la teneur en azote totaux du sol, il ressort que des variations similaires ont été enregistrées dans le labour combiné à 5 t/ha de compost (L5) et zaï combiné à 1 t/ha compost. Cette forte variation dans le zaï combiné avec la faible dose (1 t/ha) de compost est liée au mode d'apport localisé du compost dans les poquets de zaï [12], [29]. Ce qui aurait favorisé une meilleure séquestration du carbone entraînant un relèvement des taux de carbone et d'azote totaux du sol [12] et une diminution des pertes de la matière organique par l'érosion hydrique. Des résultats similaires ont été trouvés aussi par [26] et [29], qui ont observé une amélioration des teneurs en carbone et en azote totaux dans la pratique du zaï associé à la fumure organique. Concernant le phosphore et le potassium totaux du sol, les variations dans les traitements labour combinés à 5 t/ha de compost (L5) et zaï combiné à 1 t/ha compost sont aussi similaires. Ces résultats s'expliqueraient par le fait que le compost constitue une source importante de nutriment [28], [29], [30]. Ainsi, Le phosphore et le potassium dans le sol proviennent du compost apporté [28], [29], [30]. L'apport localisé du compost dans le poquet du zaï aurait permis sa concentration en ces éléments dans le poquet de zaï [12], [29]. En plus, la faible mobilité du phosphore dans les sols entraînerait aussi une diminution de sa perte par lixiviation dans le poquet de zaï [31]. Pour les concentrations en bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et en CEC du sol, la tendance générale montre une baisse des concentrations en bases échangeables (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) et en CEC du sol dans les traitements. Ces baisses sont plus élevées avec la faible dose de compost (1 t/ha) sous culture de zaï et sous labour. Selon [32], les concentrations en bases échangeables et en CEC du sol sont dépendantes de la quantité de la matière organique du sol. [39] explique que les baisses des concentrations en bases échangeables et en CEC du sol sous culture sont imputables à la désaturation du complexe en bases échangeables du sol d'une part, et d'autre part, aux prélèvements des bases échangeables par les plants pour assurer leurs besoins nutritionnels et aussi aux pertes des ions nutritifs par lixiviation. La baisse de la matière organique du sol entraîne une baisse des bases échangeables et de la CEC du sol et par conséquent une diminution de la disponibilité des nutriments pour la plante.

Au terme de l'analyse, il ressort des résultats que la dose de compost en pratique paysanne (1 t/ha) appliqué en apport localisé dans la pratique du zaï (L1) améliore les propriétés du sol au titre que la dose vulgarisée (5 t/ha) de compost (L5) dans le labour.

4.3 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA NUTRITION MINÉRALE EN AZOTE, PHOSPHORE ET POTASSIUM DES COTONNIERS

Les teneurs en azote et potassium ont été inférieures à 3% ainsi que les teneurs en phosphore ont été inférieures à 0,3%. Cela montre que la nutrition des cotonniers en azote, phosphore et potassium dans les traitements a été dans l'ensemble déficiente selon les seuils d'écrits par [21]. Ces résultats seraient liés selon [21] aux quantités d'éléments minéraux mobilisés par le cotonnier, qui ont augmenté constamment durant sa phase de croissance végétative. Bien que le traitement labour associé à 5 t/ha a induit une amélioration significative des propriétés chimiques du sol comparativement aux traitements zaï et labour combiné à 1 t/ha (Z1 et L1), les nutriments présents dans le sol ont été insuffisants pour compenser les besoins nutritionnels en azote, phosphore et potassium des cotonniers. Cela s'explique par le fait que la décomposition du compost n'a pas fourni pendant cette période critique des cotonniers, les éléments minéraux en quantité suffisante pour leurs besoins nutritionnels. C'est pour cela que dans la production du coton biologique, il est indispensable d'apporter de la fertilisation organique améliorée aux périodes indiquées pour assurer une nutrition adéquate des plantes. Ces résultats sont en accord avec les travaux de [34], qui a montré que même en ce qui concerne les exploitations riches, les apports de fumure organique sont insuffisants pour compenser les besoins nutritionnels des cotonniers en culture biologique. Les travaux de [35] sur le recyclage des résidus de récolte en compost ont montré que le compost obtenu n'affecte pas significativement la nutrition minérale des cotonniers. Bien que le labour associé à 5 t/ha et le zaï associé à 1 t/ha améliorent significativement les teneurs en nutriments du sol, ces traitements restent en dessous du traitement optimal de satisfaction des besoins nutritionnels en azote, phosphore et potassium des cotonniers dans la production du coton biologique.

4.4 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES RENDEMENTS MOYENS EN COTON GRAINE

Les rendements obtenus en 2021 sont inférieurs à ceux de 2022. Cela s'expliquerait par les dates de semis. En effet, le semis a été tardif en 2021 et précoce en 2022. Selon les explications de [36], la fructification dans les semis tardifs coïncide avec la deuxième génération de *H. armigera*, entraînant des pertes importantes de rendement du coton.

Nos résultats montrent que le traitement labour combiné à la dose vulgarisée (5 t/ha) de compost (L5) a permis d'obtenir un gain supplémentaire de 332 kg/ha et 362 kg/ha comparativement aux traitement labour et zaï associé à la dose en pratique

paysanne (1 t/ha) de compost (L1 et Z1). En effet, l'application de la quantité de 5 t/ha de compost a fourni les éléments nutritifs nécessaires aux plants, ce qui aurait favorisé un bon développement des cotonniers et une augmentation des rendements en coton graine dans ce traitement. Les auteurs tel que [37] et [38] expliquent que la minéralisation de la matière organique contribue à la nutrition des cultures par l'apport aussi bien en éléments majeurs (N, P et K), en bases échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺) et en oligo-éléments (bore, cuivre, zinc, manganèse). Ces résultats sont en accords avec ceux de [39] au Paskistan sur l'effet de différents niveaux de matière organique sur le rendement du coton biologique. Ces auteurs ont montré qu'en augmentant la quantité de matière organique apportée, il y avait aussi augmentation significative de 40% à 100% du rendement en fonction du niveau d'amendement organique.

Bien que les rendements enregistrés dans les traitements labour et zaï combiné à 1 t/ha (L1 et Z1) soient statistiquement similaires, le rendement enregistré dans le traitement labour combiné à 1 t/ha (L1) est plus élevé que celui du zaï combiné à 1 t/ha (Z1). Ce résultat s'expliquerait par le fait que les pluies ont été excessives au cours des expérimentations (2021 et 2022). Cela a provoqué des inondations des poquets de zaï. Ces excès d'eau dans les poquets de zaï au moment de la floraison auraient causé la chute des fleurs et partant la baisse des rendements. [40] rapporte que le cotonnier est plus sensible au stade de floraison au cours duquel un stress hydrique provoque des désordres physiologiques aboutissant à la chute des fleurs et à la baisse de rendement. Selon [41], l'efficacité de la technique du zaï reste tributaire à la bonne répartition des précipitations dans le temps et dans l'espace au cours de la saison des pluies. En cas d'excès d'eau, les cultures semées dans les poquets de zaï souffrent d'engorgement [41].

5 CONCLUSION

L'étude a été conduite en milieu paysan en zone nord soudanienne du Burkina Faso. En vue de déterminer les effets de la pratique du zaï sur l'évolution des propriétés chimiques du sol et sur les rendements en coton graine comparativement au labour. Le zaï combiné avec la dose en pratique paysanne (1 t/ha) de compost (Z1) et la pratique vulgarisée (L5) améliorent significativement les propriétés chimiques du sol. Cependant, ces doses de compost restent en dessous de la dose optimale pour la satisfaction des besoins nutritionnels en N, P et K des cotonniers dans la pratique du labour et du zaï. Il ressort des résultats que le labour combiné avec la dose vulgarisée (5 t/ha) de compost (L5) a enregistré le rendement moyen en coton graine le plus élevé. Cependant, sa pratique accélère la baisse des teneurs en carbone et en azote totaux du sol. Dans un contexte de faible disponibilité de la fumure organique et dans ce contexte de changement climatique ponctués par une mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies le zaï combiné à la dose 1 t/ha compost (Z1) serait un moyen d'adaptation pour assurer la production durable du coton biologique. Il est donc nécessaire que des recherches plus approfondies soient menées pour mieux apprécier les rendements du coton biologique sous la technique du zaï mécanique et dans un système de rotation culturale.

REFERENCES

- [1] FAO, «Les pays du Coton-4 (C-4) dans le cadre du marché mondial du coton: Situation et perspectives à court et moyen termes,» 2022.
- [2] MECV, «Analyse Economique du Secteur du Coton. Liens Pauvreté et Environnement. Rapport Final,» 2011.
- [3] O. Institute, «La production de coton biologique en Afrique de l'Ouest,» 2000.
- [4] UNPCB, «Etude de la caractérisation des sols sous culture de coton biologique au Burkina Faso,» 2015.
- [5] E. N. Kohio, A. G. Toure, M. P. Sedogo, and K. J. M. Ambouta, «Contraintes à l'adoption des bonnes pratiques de Gestion Durable des Terres dans les zones soudanienues et soudano-sahéliennes du Burkina Faso,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 11, no. 6, p. 2982, 2017, doi: 10.4314/ijbcs.v11i6.34.
- [6] N. Ouédougua, «Caractérisation des modes de gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de production à base de coton biologique dans les provinces du loba et de la Bougouriba au Burkina Faso. Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural. Option : Agronomie,» Université Polytechnique de Bobo (UPB), Burkina Faso, 2016.
- [7] B. Djibril, M. T. Gueye, E. Victor, and O. Faye, «Gestion intégrée des principaux ravageurs du cotonnier au Sénégal et en Afrique occidentale,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 9, no. 5, pp. 2654–2667, 2015. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.36>.
- [8] S. W. K. Muchai, F. K. Ngetich, M. Baaru, and M. W. Mucheru-Muna, «Adoption and utilisation of Zai pits for improved farm productivity in drier upper eastern Kenya,» *J. Agric. Rural Dev. Trop. Subtrop.*, vol. 121, no. 1, pp. 13–22, 2020, doi: 10.17170/kobra-202002281030.
- [9] O. C. Zoure, «Etude des performances hydrologiques des techniques culturales dans un contexte de changement climatique en zone sahéenne du Burkina Faso,» Institut 2iE, Burkina Faso, 2019.

- [10] A. Dabre, E. Hien, D. Some, and J. J. Drevon, «Effets d' amendements organiques et phosphatés sous zaï sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et la qualité de la matière organique en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso Effects of organic and phosphate amendments in zaï system on soil,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 473–487, 2017, doi: 10.4314/ijbcs.v11i1.38.
- [11] A. Barro, S. Sankara, and C. P. Kondombo, «Effect of zaï and micro dose on root biomass and the grain and straw yield so sorghum at Tangaye in the North region in Burkina Faso,» *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol.*, vol. 3, no. 5, pp. 1913–1921, 2018, doi: 10.22161/ijeab/3.5.44.
- [12] F. Saba, S. Jean, B. Taonda, I. Serme, A. A. Bandaogo, and A. P. Sourwema, «Effets de la microdose sur la production du niébé, du mil et du sorgho en fonction la toposéquence,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11 (5), vol. 11, no. 5, pp. 2082–2092, 2017, doi: 10.4314/ijbcs.v11i5.12.
- [13] CNS, Catalogue National des Espèces et Variétés Agricoles du Burkina Faso. 81p. 2014.
- [14] BUNASOLS, Méthodes d'analyse physique et chimique des sols, eaux et plantes, Bureau National des Sols du Burkina Faso, Documentations techniques, N°3. 1987.
- [15] A. Walkley and R. N. Black, «An examination of the method Dedjareff for determining soil organic matter and to propose modification of the chromic acid titration method,» *Soil Sci.*, vol. 37, pp. 29–38, 1934.
- [16] W.F. Hillebrand, G.E. Lundell, H.A. Bright. and J.I. Hoffman, *Applied inorganic analysis*, 2nd editio. 1953.
- [17] L.T. Kurtz and R.H. Bray, «Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils,» *Soil Sci.*, vol. 59, pp. 39 – 45, 1945.
- [18] A. Gray, S. T. Parthey, «Plant analysis procedures,» *Wageningen Agric. Univ.*, pp. 197–200, 1989.
- [19] AFNOR, Détermination du pH. In AFNOR ISO 10390, Qualité des sols. 1981.
- [20] B. Koulibaly, T. Ouola, Z. Prosper N, and D. Dakuo, «Effet des amendements sur l'enracinement et la production du cotonnier sur un sol ferrugineux tropical de l'Ouest du Burkina Faso,» *Sci. Tech. Sci. Nat. Agron.*, vol. 29, no. 1 et 2, pp. 131–142, 2007.
- [21] M. Braud, «La fertilisation d'un système de culture dans les zones cotonnières soudano-sahéliennes,» *Supplément à Cot. Fib. Trop., série Doc., Etudes synthèse*, no. 8, p. 35, 1987.
- [22] L. Bourgou, W. V. Tarpaga, S. K. Diane, and D. Sanfo, «Assessment and selection of a cultivar of cotton (FK64, *Gossypium hirsutum* L.) in Burkina Faso,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 14, no. 3, pp. 869–882, 2020, doi: 10.4314/ijbcs.v14i3.18.
- [23] F. Kaho, M. Yemefack, P. Feujio-Teguefouet, and J. C. Tchantchaouang, «Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun,» *Tropicultura*, vol. 29, no. 1, pp. 39–45, 2011.
- [24] BUNASOLS, Manuel technique pour l'évaluation des terres, documentations techniques n°6. Ouagadougou, Burkina Faso, 1990.
- [25] F. J. P. Pallo and L. Thiombiano, «Les sols ferrugineux tropicaux lessives à concrétions du Burkina Faso : caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole,» *BUNASOLS. SOLTROP* 89, pp. 307–327, 1989.
- [26] D. Some, «Contribution des légumineuses dans le système zaï céréalier à la réhabilitation des sols dégradés (Zipella) et à la production : Cas du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) sur sol ferrugineux tropical dans la Région Nord du Burkina Faso. Thèse de d,» Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 2015.
- [27] M. Gnissien, K. Coulibaly, M. Traore, M. Hien, and B. Mathieu, «Effets des pratiques agro-écologiques sur les caractéristiques chimiques majeures et le stock de carbone du sol à l' Est du Burkina Faso,» vol. 39, no. 39, pp. 1–14, 2021, doi: 10.25518/2295-8010.1862.
- [28] F. Kaho, M. Yemefack, P. Feujio-Teguefouet, and J. C. Tchantchaouang, «Effet des téguments de fèves de cacao sur la fertilité chimique d'un ferralsol et quelques paramètres de croissance du manioc, à Ahoué, Sud-Est Côte d'Ivoire,» *J. Appl. Biosci.*, vol. 121, no. 1, pp. 12144–12156, 2018, doi: 10.4314/jab.v121i1.5.
- [29] A. Ouedraogo, L. Yombi, S. Dombia, F. Eyhorm, and R. Dischl, Guide de production du coton biologique et équitable. Un manuel de référence pour l'Afrique de l'Ouest. Zurich, Suisse : Helvetas. 2008.
- [30] P. Bazongo, K. Traore, B. Kiemtore, I. A. N. Da, A. Coulibaly, and O. Traore, «Effets du compost de *Jatropha curcas* L. et de la fumure minérale vulgarisée sur les propriétés chimiques du sol et des rendements du maïs (*Zea mays*) à l'ouest du Burkina Faso,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 17, no. 5, pp. 2025–2036, 2023, doi: 10.4314/ijbcs.v17i5.20.
- [31] D. M. Soma, D.I. Kiba, Z. Gnankambary, N. Ewusi-Mensah, M. Sanou, H. B. Nacro, F. Lompo, M. P. Sedogo, and R. C. Abaidoo, «Effectiveness of combined application of Kodjari phosphate rock, water soluble phosphorus fertilizer and manure in a Ferric Lixisol in the centre west of Burkina Faso,» *Arch. Agron. Soil Sci.*, vol. 64, no. 3, pp. 384–397, 2018, doi: 10.1080/03650340.2017.1353216.
- [32] S. P. Mze, «Influence d'apports en matières organiques sur l'activité biologique et la disponibilité du phosphore dans deux sols de la région des grands lacs d'Afrique. Thèse de doctorat. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Gembloux,» Gembloux, 2008.

- [33] S. Der, «en Géoresources Contribution des légumineuses dans le système zaï céréalier à la réhabilitation des sols dégradés (Zipella) et à la production : Cas du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) sur sol ferrugineux tropical dans la Région Nord du Burkina,» Thèse unique de doctorat en Géoresources. Option: Pédologie. Université de Ouagadougou, p.156.
- [34] C. Assogba, T. R. Cocou, and L. Philippe, «Diversité des pratiques paysannes de gestion de la matière organique dans les exploitations productrices de coton biologique à Kandi,» *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron*, vol. 8 No., pp. 85–93, 2018.
- [35] B. Koulibaly, O. Traoré, D. Dakuo, P. N. Zombré, and D. Bondé, «Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d ' une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso,» *TROPICULTURA*, vol. 28, no. 3, pp. 184–189, 2010.
- [36] O. Traore, «Les succès de la lutte intégrée contre les ravageurs du cotonnier en Afrique de l'Ouest, 67ème réunion plénière de l'ICAC,» (Ouagadougou) Burkina Faso, 2008.
- [37] B. Koulibaly, D. Dakuo, A. Ouattara, O. Traoré, F. Lompo, P. N. Zombré and A. Yao-Kouamé, «Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d ' un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso,» *TROPICULTUR*, vol. 33, no. 2, pp. 125–134, 2015.
- [38] B. M. Pouya, I. Serme, Z. Gnankambary, G. Zoumboudre, B.B. Somda, D. I. Kiba, M.P. Sedogo and F. Lompo, «Perceptions paysannes d ' options technologiques de gestion intégrée de la fertilité des sols sous cultures de sorgho et de niébé dans la région Est du Burkina Faso,» *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, vol. 32, no. 1, pp. 113–122, 2021, [Online]. Available: <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- [39] S. Ahmad, M. Iqbal, M. Akram, M. R. Shahid, M. Shahid, T. Muhammad, M. I. Ullah, Z. Saeed, M. Ali «Effect of Different Levels of Organic Matter and Genotypes on Seed Yield and Fiber Quality in Cotton (*Gossypium hirsutum* L),» *Sarhad J. Agric.*, vol. 39, no. 3, pp. 665–671, 2023, doi: 10.17582/JOURNAL.SJA/2023/39.3.665.671.
- [40] FAO, Gestion intégrée de la production et des déprédateurs du coton. Guide du facilitateur pour les champs-écoles des producteurs. 2014.
- [41] D. Fatondji, «Organic amendment decomposition, nutrient release and nutrient uptake by millet (*Pennisetum glaucom* L. R. Br) in a traditional land rehabilitation technique (zaï) in the Sahel. PhD thesis, University of Bonn, Germany.,» 2002.