

## Culture d'une légumineuse et d'une céréale dans le système zaï avec différents amendements organo-minéraux - productivité et impact sur les propriétés biologiques d'un sol ferrugineux dégradé dénudé en Région nord soudanienne au Burkina Faso

D. Some<sup>1\*</sup>, E. Hien<sup>1, 2</sup>, K. Assigbetse<sup>3</sup>, J.J. Drevon<sup>4</sup> & D. Masse<sup>3</sup>

**Keywords:** Compost- Manure- Phosphate- Cowpea- Sorghum- Zaï- Soil biological activity- Burkina Faso

### Résumé

Le zaï est une pratique agricole qui permet la mise en culture de sols dégradés abandonnés. Une expérimentation a été conduite de 2006 à 2012 au Burkina Faso pour évaluer l'impact de cette pratique sur la production de sorgho et de niébé, ainsi que sur les propriétés biologiques des sols. L'essai a été installé selon un dispositif factoriel en blocs de Fisher. Les parcelles expérimentales ont été cultivées en continu, les cultures recevant différents types d'apport organique (fumier, compost) et minéral (phosphate naturel). Les résultats ont montré que l'apport de fumier et de compost simples augmente significativement la production des deux cultures. L'addition de phosphate naturel ( $2 \text{ t.ha}^{-1}$ ) au compost ( $3 \text{ t.ha}^{-1}$ ) et au fumier ( $3 \text{ t.ha}^{-1}$ ) accroît les rendements en grains du niébé de 70 et 80% et du sorgho de 88 et 160% par rapport à des apports de compost et fumier seuls. L'activité biologique du sol n'a pas été influencée par le type de culture mais plutôt par les apports organo-minéraux. La combinaison du phosphate naturel au fumier a eu un effet particulièrement positif sur l'activité biologique du sol. L'apport de phosphate naturel associé à des matières organiques apparaît donc essentiel pour maintenir la production végétale et les propriétés des sols.

### Résumé

#### Legume and Cereal Cropping in Zaï System with Different Organo-mineral Amendments - Productivity and Impact on Biological Properties of Degraded Bare Alfisol in North Sudanian Zone of Burkina Faso

Zaï is an agricultural practice that allows the cultivation of abandoned degraded soils. An experiment was conducted from 2006 to 2012 in Burkina Faso to assess the impact of this practice on the production of sorghum and cowpea, as well as on the biological properties of soils. The experiment was set up according to a factorial experimental design in Fischer blocks. The crops were grown in the trial, received different types of organic (manure, compost) and mineral (rock phosphate) input. The results showed that the intake of simple manure and compost significantly increased the yield of the two crops. The addition of phosphate ( $2 \text{ t.ha}^{-1}$ ) to compost ( $3 \text{ t.ha}^{-1}$ ) and to manure ( $3 \text{ t.ha}^{-1}$ ) increased the yields of cowpea and sorghum respectively by 70 to 80% and 88 to 160% compared to sole compost and manure applications. The biological activity of the soil was not influenced by the type of crop but rather by organo-mineral intakes. The combination of rock phosphate to manure had a particularly positive effect on soil biological activity. The natural phosphate intake associated with organic matter therefore appears essential to maintain crop production and soil properties.

<sup>1</sup>Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre, Ouagadougou 03, Burkina Faso.

<sup>2</sup>IRD, UMR Eco & Sols, Ouagadougou, Burkina Faso.

<sup>3</sup>IRD, UMR Eco & Sols, LEMSAT Bel-Air, Dakar, Sénégal.

<sup>4</sup>UMR Eco & Sols, Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agroécosystèmes, Montpellier, France.

\*Auteur correspondant: E mail: d.some@yahoo.fr

## Introduction

Depuis plusieurs décennies, la pression sur les terres cultivées s'est amplifiée pour faire face aux besoins alimentaires d'une population de plus en plus nombreuse. Des pratiques inappropriées permettant des productions élevées à court terme mais ne tenant pas compte du maintien des propriétés des sols ont malheureusement entamé le potentiel agronomique de nombreuses terres. Le Plateau Central du Burkina Faso, plus particulièrement la Région Nord, n'a pas échappé à ce phénomène. Il est marqué par une forte dégradation des sols se manifestant par l'apparition de vastes plages dénudées où rien ne pousse et appelées localement "zipellas". Ces glaciés dénudés occupent depuis des décennies une proportion importante de la zone (20, 27, 29). Ils sont caractérisés par une compaction et un encroûtement de l'horizon de surface limitant la circulation de l'eau dans le sol, une baisse de la fertilité chimique et biologique se traduisant par une diminution de la productivité végétale (29, 30).

La pression démographique élevée et continue dans ces régions a entraîné des besoins en terre supplémentaires (21). Les agriculteurs ont développé des pratiques agricoles permettant d'exploiter ces terres à faible productivité végétale (5, 25). Ancienne pratique traditionnelle, le "zaï" a été ainsi reconsidéré et relancé depuis les années quatre-vingt (5). Selon Botoni et Reij (8), il serait appliqué sur environ 200.000 à 300.000 ha de terres dans la région du Plateau Central au Burkina Faso. Le zaï consiste à creuser préalablement au semis de petites cuvettes d'une trentaine de centimètre de diamètre et de 5 à 10 cm de profondeur. La terre excavée est placée en aval de la cuvette. La matière organique est apportée dans la cuvette sous forme de fumier et la graine est semée plus tard. Le champ présente alors un ensemble de cuvettes disposées le long d'une ligne, et en quinconce d'une ligne à l'autre de façon à capter le maximum de ruissellement. Il est à noter que cette pratique est souvent associée à un contrôle du ruissellement par un dispositif de cordons pierreux selon les courbes de niveau à l'échelle du petit bassin versant dans lequel se situent les champs cultivés de cette façon.

Plusieurs auteurs ont décrit l'effet du zaï sur les rendements qui non seulement permet d'obtenir une production de céréale là où elle était totalement nulle sans aménagement, mais également d'améliorer les rendements obtenus par rapport à des productions plus conventionnelles (25, 28, 29, 31). Les matières organiques introduites dans la cuvette constituent un apport en éléments nutritifs direct pour la plante mais également une source d'éléments nécessaires à une relance de l'activité biologique. Cette dernière est une composante essentielle de la fertilité du sol en agissant d'une part, sur le stock d'éléments minéraux assimilables par la minéralisation de la matière organique et d'autre part, sur la structure du sol sous diverses formes. Les matières organiques offrent également une nourriture pour la mésofaune et la macrofaune du sol qui, attirées par ces produits créent une nouvelle porosité dans laquelle l'eau peut s'infiltrer (25) et sont susceptibles de produire des effets en cascade sur les propriétés de ces sols dégradés. Par ailleurs, les sols de cette région présentent de façon générale des carences en phosphore (14). C'est un élément majeur indispensable au développement des plantes, et il est souvent nécessaire de procéder à des apports de phosphore minéral. La fertilisation phosphatée influence en outre l'activité biologique du sol (6). Les phosphates naturels présents dans la région sont une source de phosphore mais difficilement soluble et donc offrant peu de disponibilité d'ions phosphatés. La combinaison de ces phosphates naturels à des matières organiques notamment à travers leur apport dans les composts est une technique souvent proposée par le développement agricole (3, 15, 23). La plupart des connaissances acquises sur la pratique du zaï sont issues d'observations ponctuelles sur des champs d'agriculteurs, ou d'expérimentations sur le court terme. Peu d'études sur le moyen terme ont été menées. On peut se poser la question de l'évolution dans le temps des effets bénéfiques de ces pratiques sur la production végétale. Une expérimentation a été conduite de 2006 à 2012 au Burkina Faso où différentes formes d'apports organiques associés ou non à des apports de phosphate naturel ont été testés. Le sorgho, principale céréale cultivée a été la plante test.

Dans les mêmes conditions expérimentales une culture de niébé a été également testée. En effet, peu d'études sur le *zai* concernaient cette plante. L'effet positif des légumineuses, associées aux processus de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, est reconnu pour améliorer la productivité des milieux cultivés ou non cultivés (4). Il était nécessaire d'évaluer également cette production végétale dans une pratique de *zai*. L'étude a eu pour objectif d'une part, d'évaluer l'impact de l'association de phosphate naturel à la fumure organique dans le système *zai* sur les productions du niébé et du sorgho et de mesurer l'impact des deux systèmes de culture sur les propriétés biologiques du sol d'autre part.

## Matériel et Méthode

### Site expérimental

L'étude a été conduite à Pougyango (12°58' N; 2°09' W) dans la Région Nord du Burkina Faso. Le climat est de type Nord Soudanien (19) avec deux saisons bien marquées: une saison sèche allant d'Octobre à Mai et une saison pluvieuse qui s'étend de Juin à Septembre. La pluviosité moyenne annuelle est comprise entre 600 et 900 mm. La pluviosité relevée entre 2006 et 2012 varie entre 564 et 1029 mm. Elle présente une grande variabilité inter et intra annuelle. Elle est particulièrement marquée par des arrêts précoces des pluies en 2007 et 2011, années ayant du reste enregistré les plus faibles quantités de pluies (Figure 1). L'essai a été conduit sur un sol ferrugineux tropical lessivé [Lixisol ferrique (18)] induré, et souvent superficiel à peu profond de 18 à 26 cm (16), caractérisé par une structure massive et une texture de type limon argileux. Situé sur glacis pente moyenne, c'est un sol entièrement dénudé et encroûté (zipellé en langue mooré). L'état de surface général est de type ERO, présentant une croûte très compacte, imperméable à l'eau (11).

### Les facteurs testés

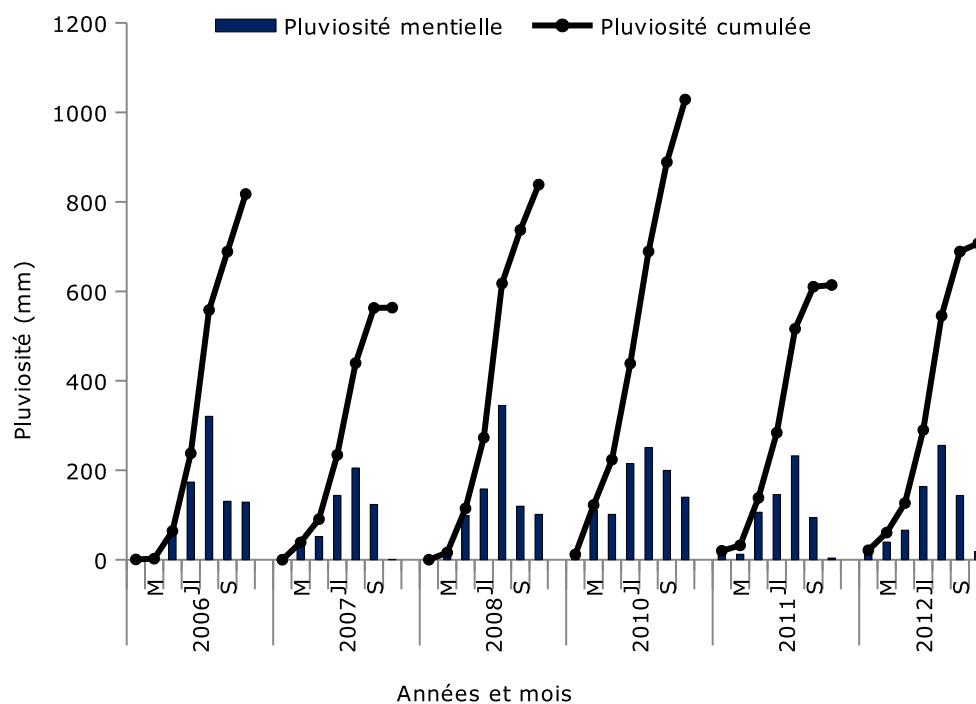
Deux plantes cultivées ont été testées: une légumineuse, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (variété K VX-61) appelée localement niébé avec un rendement grain potentiel estimé à 1500 kg.ha<sup>-1</sup> et un rendement grain moyen en milieu paysans à 800

kg.ha<sup>-1</sup>; la deuxième plante est une céréale, le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.)), variété ICSV 1049 dont le rendement grain potentiel est estimé à 4 t.ha<sup>-1</sup> et le rendement grain moyen en milieu paysans de 1 à 1,5 t.ha<sup>-1</sup>. Ces deux variétés améliorées sont produites par l'INERA (institution Nationale de l'Environnement et de la Recherche Agricole) au Burkina Faso.

Les amendements testés étaient le fumier, le compost et le phosphate naturel. Conformément à l'usage courant des producteurs de la zone, le fumier utilisé est un fumier de parcs de bovins. Ses caractéristiques chimiques moyennes sont: C: 147,3 g.kg<sup>-1</sup>; N: 16,7 g.kg<sup>-1</sup>; C/N: 9,3; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 2,3 g.kg<sup>-1</sup>; K<sub>2</sub>O: 16,2 g.kg<sup>-1</sup>; MgO: 6,7 g.kg<sup>-1</sup>; CaO: 7,6 g.kg<sup>-1</sup>.

Le compost est produit à base de mélange de substrats divers (déchets ménagers, restes des résidus de pailles ayant servi d'aliment de bétail, fèces d'animaux). Sa composition chimique moyenne est: C: 106,3 g.kg<sup>-1</sup>; N: 7,7 g.kg<sup>-1</sup>; C/N: 14,0; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 0,9 g.kg<sup>-1</sup>; K<sub>2</sub>O: 9,6 g.kg<sup>-1</sup>; MgO: 5,1 g.kg<sup>-1</sup>; CaO: 4,2 g.kg<sup>-1</sup>.

Le phosphate naturel utilisé était celui des mines de Kodjari finement broyé, produit et vendu dans le commerce sous le nom de Burkinaphosphate. Ses caractéristiques chimiques sont: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 25,43%; K<sub>2</sub>O: 0,3 %; CaO: 34,61%; MgO: 0,18%; solubilité dans l'eau: 0,03% (Source: Projet Phosphate). Six traitements au total ont été testés sous culture de sorgho d'une part et de niébé d'autre part. Ces traitements se distinguaient par la présence de *zai* ou non et par l'application ou non de différents amendements organiques ou minéraux dans les poquets de *zai*. Ce sont, TA: Témoin absolu (semis direct sans creusement de *zai* et sans amendements); ZS: *Zai* simple (creusement de poquets de *zai* sans apport de fumure); ZC: *Zai* + compost à 3 t.ha<sup>-1</sup> (67 g /poquet); ZF: *Zai* + fumier à 3 t.ha<sup>-1</sup> (67 g /poquet); ZCP: *Zai* + compost à 3 t.ha<sup>-1</sup> + phosphate naturel à 2 t.ha<sup>-1</sup> (40 g/poquet) et ZFP: *Zai* + fumier à 3 t.ha<sup>-1</sup> + phosphate naturel à 2 t.ha<sup>-1</sup> (40 g/poquet). Les quantités des amendements sont exprimées en tonne de matière sèche (MS) par hectare. Il n'y a pas de restitution des résidus de récoltes. La paille et les fanes sont entièrement exportées chaque année.



A= Avril; M= Mai; J= Juin; JI= Juille; At= Août; S= Septembre; O= Octobre.

(Source: Direction provinciale de l'Agriculture du Passoré).

**Figure 1:** Evolution de la pluviosité de Yako entre 2006 et 2012.

### Dispositif expérimental et traitements

L'essai a été mis en place de 2006 à 2012 avec une interruption en 2009. Les parcelles ont été cultivées en continu avec la même plante (niébé ou sorgho) et ont reçu les mêmes traitements pendant les six campagnes.

Le dispositif mis en place était un plan factoriel en blocs de Fisher à 2 facteurs et trois répétitions. Les facteurs testés étant le type de culture (niébé ou sorgho) et le type d'amendement. Les répétitions ont été matérialisées par trois blocs séparés par des allées de 5 m. Chaque bloc renfermait deux sous blocs: un sous bloc de culture pure de niébé en continu et un sous bloc de culture pure de sorgho en continu. Les parcelles élémentaires avaient une superficie de 20 m<sup>2</sup> (5 m x 4 m) et étaient séparées par des allées de 1 m. Les poquets ont été creusés suivant un rayonnement croisé de 0,5 m; soit une densité de semis de 50 cm entre les lignes et sur les lignes. Ils avaient une profondeur de 10 à 15 cm sur un diamètre de 20 à 25 cm. Les mêmes poquets sont rouverts chaque campagne. Les travaux d'entretien se limitent à un désherbage manuel ou à un sarclage en cas de nécessité. Un cordon pierreux a été aménagé en amont pour freiner la vitesse du

ruissellement.

### Mesure des rendements

Les rendements en grains ont été mesurés par pesée avec une balance de précision de portée maximale de 5,1 kg (METTLER PJ4000-F). Pour la paille et les fanes, une pesée a été réalisée au champ à l'aide d'un peson (SALTER) de portée maximale de 25 kg; des échantillons ont été prélevés, pesés à l'aide de la balance de précision et séchés à l'étuve à 70 °C pendant 48 h pour déterminer le taux d'humidité. Les rendements sont exprimés en quantité de MS par hectare.

### Echantillonnage du sol

Les prélèvements du sol ont été faits dans les poquets et sur toutes les parcelles à la récolte, en fin de campagne 2012. Les échantillons ont été prélevés dans la couche 0-15 cm au niveau de 3 poquets le long d'une diagonale de chaque parcelle élémentaire. Une aliquote de chaque échantillon a été conservé au froid (<4 °C) pour la mesure de la biomasse microbienne. Les aliquotes restantes des trois échantillons élémentaires par parcelle ont été mélangées pour former un échantillon composite. Les échantillons ont été ensuite séchés à l'air libre sous abris avant d'être tamisés à 2 mm puis conservés à température ambiante. Ces derniers

ont servi à la mesure de la respiration du sol.

### Mesures de l'activité microbienne du sol

Pour la respiration du sol, deux grammes de chaque échantillon de sol sont placés dans un tube en verre et humecté avec 700  $\mu$ l d'eau distillée. Les tubes fermés hermétiquement sont incubés à la température ambiante. Chaque échantillon est répété 3 fois. La première mesure du dégagement a été faite après quatre heures d'incubation. Les autres mesures ont été faites toutes les 96 heures pendant deux semaines. Les mesures de C-CO<sub>2</sub> ont été effectuées à l'aide d'un respiromètre IRGA. La biomasse microbienne a été déterminée par la méthode de fumigation-extraction (Amato et Ladd, 1988). Elle repose sur le dosage de l'azote  $\alpha$ -aminé libéré par les parois des microorganismes par colorimétrie à la ninhydrine. Les prises d'essai sont de 20 g de sol frais. Chaque échantillon est répété 3 fois. Les échantillons sont fumigés par des vapeurs de chlorophorme pendant 10 jours à 20 °C. L'extraction des échantillons fumigés et non fumigés s'est faite après agitation pendant une heure dans 75 ml de solution de KCl 2M. La biomasse exprimée en C biomasse est calculée en multipliant le gain d'azote (N  $\alpha$ -aminé dosé après 10 jours d'incubation sous atmosphère saturé en chlorophorme -Na-aminé avant la fumigation) par le facteur 21. Les résultats sont exprimés en mg C.kg<sup>-1</sup> sol sec.

### Analyse statistique

Une analyse de variance des données a été faite à l'aide du logiciel CoStat 6.4. La séparation des moyennes a été réalisée par le test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

## Résultats

### Rendements du niébé et du sorgho

Les rendements en grains ont fortement variés en fonction des années (Tableau 1). Les rendements en grains du sorgho étaient nuls en 2007 puis en 2011. Les meilleurs rendements en grains du sorgho ont été obtenus en 2012 avec une moyenne tout traitement confondu de 1.136 kg.ha<sup>-1</sup>. Au niveau de la culture du niébé, les mêmes observations ont été faites. Les rendements en grains ont été nuls en 2006. Les rendements en grains du niébé les plus élevés ont été observés en 2010 avec une moyenne

tout traitement confondu de 746 kg.ha<sup>-1</sup>. Quelle que soit la culture, en absence de *zaï* et sans apport organique ou minéral, les rendements étaient quasiment nuls. Dans les conditions du *zaï* sans amendement (ZS) la production du niébé était significativement supérieure au traitement sans *zaï* (TA) avec une accentuation de cet effet lors des bonnes années pluviométriques. Concernant le sorgho, la production en grains sous ZS a été très faible les premières années mais a eu tendance à augmenter au cours du temps pour atteindre une valeur moyenne de 588 kg.ha<sup>-1</sup> à la dernière campagne.

Quelle que soit la culture, l'apport du compost et du fumier simples (ZF et ZC) a entraîné une augmentation significative des rendements en grains au niveau des deux cultures par rapport au traitement ZS. Mais cet effet positif apparaissait beaucoup plus important avec le fumier qu'avec le compost. Dans le cas du sorgho, le rendement en grains moyen toutes années confondues du traitement ZC n'était pas significativement différent du traitement ZS. En revanche, la moyenne du rendement grain du traitement ZF augmentait de 104% à 113% selon les années par rapport au traitement ZS. Concernant la culture du niébé, l'augmentation des rendements en grains due à l'apport du fumier ou du compost par rapport au traitement ZS était encore plus prononcée. Elle variait respectivement de 49% à 181% selon les années pour le traitement ZC, et de 57% à 439% pour le traitement ZF.

L'apport du phosphate naturel dans le fumier (ZFP) et dans le compost (ZCP) a amélioré significativement les rendements en grains des deux cultures.

L'augmentation due au phosphate était plus importante en mauvaise campagne qu'en année de bonne campagne pluviométrique. Au niveau du niébé, l'augmentation des rendements en grains du traitement ZFP était de 65% en bonne campagne (2010) et de 98% en mauvaise campagne (2007) par rapport au traitement ZF. L'augmentation due au traitement ZCP par rapport à ZC était de 38% en bonne campagne (2010) et de 224% en mauvaise campagne (2007).

Des effets équivalents étaient observés avec la

culture de sorgho.

L'effet moyen du *zai* sans aucun amendement était de +254 kg.ha<sup>-1</sup> (SE±54 kg.ha<sup>-1</sup>) pour le niébé et +302 kg.ha<sup>-1</sup> (SE±29 kg.ha<sup>-1</sup>) pour le sorgho (Figure 2). Le fumier est apparu plus efficace que le compost sur l'augmentation du rendement obtenue avec les apports organiques seuls comparativement au *zai* sans apport: +73% pour le compost et +131% dans le cas de la culture du niébé. Cet effet

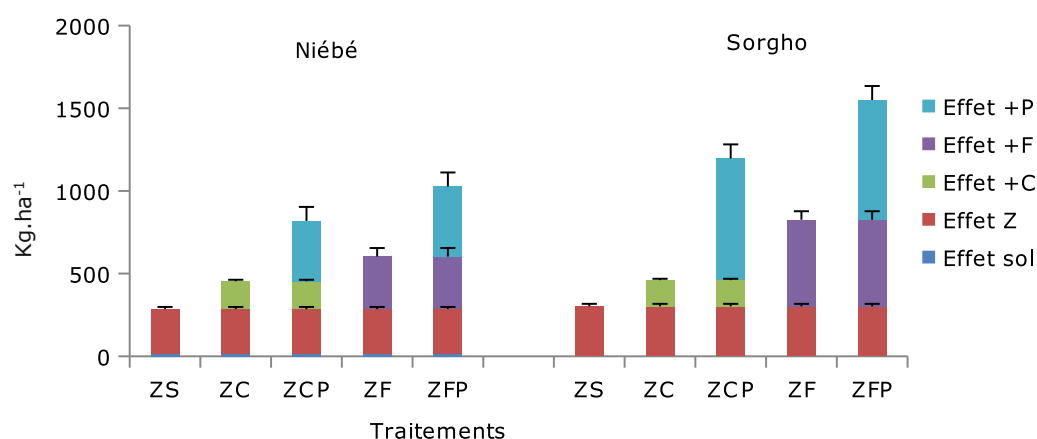
était plus élevé dans le cas de la culture de sorgho: +53% pour le compost et +173% pour le fumier. Concernant l'addition des phosphates naturels, alors que sous niébé il apportait pour le traitement compost un gain de +70% et pour le traitement fumier un gain de 80%; ce gain était amplifié sous culture du sorgho avec une augmentation moyenne de +160% dans les traitements compost additionné de phosphate naturel contre un gain moyen de

**Tableau 1**

Rendements en grains et en fanes/paille du niébé et du sorgho (kg.ha<sup>-1</sup>) et analyse de variance (ANOVA) des facteurs testés sur l'expérimentation de Pouyango au Burkina Faso entre 2006 et 2012.

Traitements	Rendement en grains (kg.ha <sup>-1</sup> de MS)						Rendement en fanes (kg.ha <sup>-1</sup> de MS)					
	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2006	2007	2008	2010	2011	2012
ZFP	ne	895a	895a	1318a	733a	1217a	2513a	2158a	2992a	3743a	2063a	3375a
ZCP	ne	657b	780a	1048b	602a	930b	1885b	1683b	2340b	3183ab	1863a	2690b
ZF	ne	453b	572b	800c	388b	725bc	1315c	1567b	1927bc	2652bc	1643a	2330b
ZC	ne	203c	425c	757c	240bc	568cd	837c	1017c	1373c	2193c	1112b	1483c
ZS	ne	72 c	248d	508 d	122cd	397d	655c	433d	690d	1478d	808b	1091c
TA	ne	0 c	5 e	42 e	0 d	30 <sup>e</sup>	0.2d	00 e	43 d	152 <sup>e</sup>	128c	168d
Moyenne	ne	380c	488bc	746a	348c	644ab	1201c	1143c	1561bc	2234a	1270c	1856ab
ANOVA												
F pr.	ne	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1
LSD	ne	221	127	231	168	225	563	433	648	692	479	521
CV	ne	32	14	17	27	19	26	21	23	17	21	15
Sorgho												
Traitements	Rendement en grains (en kg.ha <sup>-1</sup> de MS)						Rendement en paille (en kg.ha <sup>-1</sup> de MS)					
	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2006	2007	2008	2010	2011	2012
ZFP	992a	ne	967a	1860a	ne	2380a	7270a	5633a	6854a	6590a	6930a	7820a
ZCP	495 b	ne	708ab	1642a	ne	1943a	4213b	4133a	5897a	5908b	5270b	6218b
ZF	440 b	ne	525 bc	1135b	ne	1203b	4638b	4383a	5802a	5500b	4260bc	6268b
ZC	48 c	ne	435 bc	657c	ne	702bc	2298c	2700b	3375b	4563c	3572bc	5348c
ZS	0 c	ne	247 cd	372c	ne	588bc	1717c	1733b	2005c	4008c	2732c	4185d
TA	0 c	ne	0 d	0 d	ne	0 c	00 d	00 c	24 d	00 d	00 d	00 <sup>e</sup>
Moyenne	329c	ne	480c	944b	ne	1136a	3356b	3097b	3993ab	4428ab	3794ab	4973a
ANOVA												
F pr.	<000.1	ne	<000.1	<000.1	ne	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1	<000.1
LSD	236	ne	314	310	ne	678	1334	1233	1237	641	1603	682
CV	39	ne	36	18	ne	33	22	22	17	8	23	8

Les traitements affectés de la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% (Newman-Keuls). ZF: *zai* + fumier; ZFP: *zai* + fumier + phosphate naturel; ZC: *zai* + compost; ZCP: *zai* + compost + phosphate naturel; ZS: *zai* simple sans amendement; TA: témoin sans *zai* ni amendement; F pr: niveau de signification au seuil 5%; LSD: plus petite différence significative; CV: coefficient de variation. ne: non évalué; MS: matière sèche.



Modèle établi à partir d'une expérimentation au champ, réalisée entre 2006 et 2012 au Burkina Faso, avec deux facteurs testés: type de culture (niébé ou sorgho), *zaï* avec différents amendements organique ou minéral.

Les barres d'erreur représentent la «standard error». ZS: *zaï* simple sans amendement; ZC: *zaï* + compost; ZCP: *zaï* + compost + phosphate naturel; ZF: *zaï* + fumier; ZFP: *zaï* + fumier + phosphate naturel.

**Figure 2:** Rendement moyen d'une culture de niébé ou de sorgho et effets moyens relatif au sol seul, à la technique de *zaï* seul, à l'application de compost, de fumier associé ou non à du phosphate naturel.

+88% dans le cas des *zaï* avec fumier. Les rendements en fanes et en paille ont suivi la même tendance que les rendements en grains. Comme les rendements en grains, ils ont fortement variés en fonction des années. Les meilleurs rendements en paille du sorgho ont été obtenus en 2012 avec une moyenne tout traitement confondu de 4973 kg.ha<sup>-1</sup>. Au niveau de la culture du niébé, les rendements en fanes les plus élevés ont été observés en 2010 avec une moyenne tout traitement confondu de 2234 kg.ha<sup>-1</sup>.

Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec les traitements ZFP (3743 kg.ha<sup>-1</sup> pour le niébé et 7820 kg.ha<sup>-1</sup> avec le sorgho) et ZCP (3183 kg.ha<sup>-1</sup> avec le niébé et 6218 kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho).

Mais quelque soit la culture et l'année, il n'y a pas de différence significative entre les traitements au fumier simple (ZF) et au compost additionné au phosphate (ZCP).

Les rendements au niveau de TA étaient nuls au niveau de la culture du sorgho sur la quasi-totalité

des années. Par contre, avec le niébé, ils ont été nuls à quasi nuls seulement les deux premières campagnes.

### Respiration du sol

Au terme de douze jours d'incubation, les valeurs moyennes cumulées de CO<sub>2</sub> dégagé étaient de 1059 mg de C-CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> de sol dans les parcelles sous culture de niébé et de 1088 mg de C-CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> de sol dans celles cultivées en sorgho. Ces valeurs sont statistiquement homogènes (Tableau 2).

Dans les conditions expérimentales, les sols du traitement ZS ont dégagé des quantités de CO<sub>2</sub> significativement supérieures (+54% pour la culture de niébé, et +86% sous culture de sorgho) par rapport à ceux du traitement TA.

L'apport de compost et de fumier dans le *zaï* (ZC, ZF) a entraîné également une augmentation des quantités de CO<sub>2</sub> dégagé par rapport au sol du traitement ZS: de 16 à 31% sous niébé et de 50 à 56% sous culture de sorgho. Entre ZC et ZF il n'y a pas de différence significative.

**Tableau 2**

Dégagement cumulé de CO<sub>2</sub> après 12 jours d'incubation en conditions contrôlées et biomasse microbienne sur les sols après 6 années d'expérimentation de technique zaï sous des cultures de sorgho et niébé et analyse de variance (ANOVA) des facteurs testés.

Traitements	Respiration	Biomasse microbienne	
	mg C <sub>CO2</sub> .kg <sup>-1</sup> de sol	mg C <sub>mic</sub> .kg <sup>-1</sup> sol	g C <sub>mic</sub> .kg <sup>-1</sup> C <sub>sol</sub>
<b>Niébé</b>			
ZFP	1571a	61,1a	4,5
ZF	1126 bc	48,6 b	3,5
ZCP	1247 b	46,1 b	3,8
ZC	998 bc	35,5 b	3
ZS	859 c	8,2 c	0,8
TA	556 d	4,9 c	0,4
<b>Sorgho</b>			
ZFP	1850a	76,6a	5,6
ZF	1196 b	49,1 b	3,5
ZCP	1158 b	44,8 b	3,9
ZC	1148 b	38,7 b	3,3
ZS	765 c	15,9 c	1,7
TA	412 d	2,7 c	0,3
<b>Moyenne</b>			
Niébé	1059 a	34 a	
Sorgho	1088 a	38 a	
<b>ANOVA</b>			
<b>Niébé</b>			
F pr.	<000,1	<000,1	
LSD	2583	10,8	
CV	13,4	17,4	
<b>Sorgho</b>			
F pr.	<000,1	<000,1	
LSD	298,6	20,9	
CV	15,1	30,3	
<b>Niébé-Sorgho</b>			
F pr.	<000,1	<000,1	
LSD	132	13,2	
CV	14,3	25,4	

Les traitements affectés de la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% (Newman-Keuls). ZF: zaï + fumier ; ZFP: zaï + fumier + phosphate naturel; ZC: zaï + compost; ZCP: zaï + compost + phosphate naturel; ZS: zaï simple sans amendement; TA: témoin sans zaï ni amendement; F pr: niveau de signification au seuil 5%; LSD: plus petite différence significative; CV: coefficient de variation.



L'addition du phosphate naturel au compost (ZCP) n'a pas eu d'effet significatif par rapport à l'apport de compost uniquement (ZC). En revanche, l'addition du phosphate au fumier (ZFP) a entraîné une augmentation des quantités de CO<sub>2</sub> dégagé. Quelle que soit la culture, le dégagement cumulé de CO<sub>2</sub> était significativement plus intense dans le traitement ZFP par rapport à l'ensemble des autres traitements.

### **Biomasse microbienne**

La biomasse microbienne variait de 0,03 à 0,56% du carbone total du sol sur l'ensemble des traitements (Tableau 2). Les moyennes de la biomasse microbienne du sol n'étaient pas significativement différentes entre les deux types de culture: 34 mg C.kg<sup>-1</sup> de sol sous cultures de niébé et 38 mg C.kg<sup>-1</sup> de sol en culture de sorgho. Le traitement ZS n'a pas eu d'effet significatif sur la biomasse microbienne par rapport au témoin TA que ce soit sous culture de niébé ou de sorgho. L'apport des matières organiques (ZC, ZF) a entraîné une augmentation significative de la biomasse microbienne du sol par rapport au traitement ZS: sous culture de niébé, l'augmentation par rapport à ZS est d'environ 6 fois avec ZF et 4 fois avec ZC; sous sorgho, elle est d'environ 3 fois pour ZF et 2 fois avec ZC. La différence entre les types de matière organique, compost et fumier n'était pas significative quelle que soit la culture. L'addition du phosphate naturel au compost (ZCP) n'a pas eu d'effet significatif par rapport au compost seul (ZC). Par contre, l'addition du phosphate au fumier (ZFP) a entraîné une augmentation significative de la biomasse microbienne du sol par rapport au traitement avec fumier seul: +26% sous niébé et +56% sous le sorgho. Sous les deux cultures, la biomasse microbienne du sol du traitement ZFP était significativement plus élevée par rapport à l'ensemble des autres traitements.

## **Discussion**

### **Rendements des cultures**

La technique du *zai* est une pratique ancienne permettant de restaurer la capacité de production des sols dégradés et en condition climatique très aléatoire.

L'expérimentation conduite entre 2006 et 2012 a montré clairement qu'il était possible de produire une céréale ou une légumineuse sur des sols qui sans aménagement particulier n'étaient pas productifs. Cette situation pourrait s'expliquer par les effets conjugués de l'amélioration du profil hydrique engendrée par les trous de *zai* et les apports de fumures organiques et minérales. En effet, le simple fait de casser la croûte du sol à travers les poquets de *zai* sans aucun apport d'amendements permet déjà d'obtenir une production moyenne potentielle en graines de l'ordre de 254 kg.ha<sup>-1</sup> pour le niébé et de l'ordre de 402 kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho. Ces rendements minima obtenus indiquent le premier effet du *zai* qui consiste à maîtriser le ruissellement de l'eau et de permettre son infiltration au niveau de la rhizosphère. Il est à noter cependant qu'en année de mauvaise pluviosité (arrêt précoce des pluies notamment), la production de sorgho était pratiquement nulle même avec la pratique du *zai*. La pratique du *zai* comprend également un apport localisé au niveau du poquet de semis d'intrants organiques. Dans cette expérimentation deux produits organiques ont été testés. Les rendements obtenus avec les apports de composts étaient relativement plus faibles que ceux obtenus avec le fumier. Les composts utilisés sont produits à base de mélange de déchets ménagers, de restes des résidus de pailles ayant servi d'aliment de bétail et de fèces animaux. Leur qualité est liée à celle des substrats utilisés et des conditions de compostage. Ils sont en général moins riches que les fumiers de parc comme l'attestent les données d'analyse citées dans le paragraphe matériels et méthode. La qualité des composts mériterait d'être améliorée. Les rendements en grains les plus élevés mesurés pour le traitement ZC sont inférieurs aux rendements potentiels moyens des variétés en milieu paysan (757 kg.ha<sup>-1</sup> contre 800 kg.ha<sup>-1</sup> avec le niébé et 702 kg.ha<sup>-1</sup> contre 1000 à 1500 kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho). Par contre, avec l'apport du fumier simple les rendements en grains des deux cultures atteignent les rendements potentiels moyens des variétés en milieu paysan. D'autres études menées dans la zone ont abouti à des résultats similaires (28, 29, 31).

Les résultats montrent que les meilleurs rendements en grains comme en fanes et paille ont été obtenus avec les apports combinés de fumier et de phosphate naturel. Les productions en grains atteignent lors des campagnes les mieux arrosées 1217 kg.ha<sup>-1</sup> avec le niébé et 2380 kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho. Ces rendements étaient supérieurs aux rendements moyens enregistrés dans la région en 2012, considérée comme une année favorable avec des rendements de l'ordre 1038 kg.ha<sup>-1</sup> pour le niébé, 1287 kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho blanc et 1380 kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho rouge (24). De même, les apports en compost combiné au phosphate naturel ont donné pour le niébé des rendements supérieurs au rendement potentiel moyen de la variété en milieu paysan (930 kg.ha<sup>-1</sup> de rendement grains obtenu contre 800 kg.ha<sup>-1</sup> de rendement potentiel de la variété); avec le sorgho, les rendements obtenus dépassent la moyenne de la Province [1943 kg.ha<sup>-1</sup> de rendement grains obtenu contre 1287 kg.ha<sup>-1</sup> de rendement moyen provincial (24)]. Les meilleurs rendements obtenus avec l'application du phosphate naturel s'expliquent par la carence en phosphore des sols du Burkina en général et de la zone nord soudanienne en particulier (14) et le rôle du phosphore dans le développement des plantes et particulièrement dans la nodulation et le développement du niébé (26). Certains auteurs ont montré que les apports de phosphate naturel issu des mines de phosphate au Burkina Faso permettaient une augmentation des rendements des cultures (15, 23, 28, 31). Il est montré que les rendements peuvent être d'avantage améliorés en combinant le phosphate naturel au phosphate soluble (15). Toutefois, Compaoré *et al.* (13) ont remarqué que sur un sol ferrugineux faiblement acide (pH 6,2), le phosphate naturel n'a pas d'effet significatif sur la production du niébé et de maïs du fait de sa faible solubilité. A l'état finement broyé, la solubilité du burkinaphosphate dans l'eau est estimée 0,03% (13). Mais il est prouvé que dans les sols acides et en association avec les fumures organiques, la solubilité des phosphates naturels serait augmentée avec l'effet des acides organiques des fumures et de l'acidité du sol (7). De plus, les doses très élevées de phosphate appliquées dans

cette expérimentation, 2 t.ha<sup>-1</sup> contre 400 kg.ha<sup>-1</sup> recommandés par les services agricoles peuvent compenser l'effet de la faible solubilité.

Sur les six campagnes d'essai, la production en grains a été nulle pendant deux campagnes avec le sorgho en raison des aléas climatiques. Le niébé avec un cycle de développement plus court et avec un recouvrement du sol limitant l'évaporation et le ruissellement, semble plus adapté que le sorgho aux aléas de la pluviosité dans cette zone climatique. En plus, il répond de la même manière que le sorgho aux amendements appliqués dans le *zaï*.

### Activité biologique du sol

Dans l'ensemble, la biomasse microbienne du sol, était relativement faible au niveau des deux cultures et pour l'ensemble des traitements. Les valeurs du carbone microbien du sol les plus élevées (ZFP) représentaient environ 0,5% et 0,6% du carbone total du sol respectivement sous culture de niébé et de sorgho; et les plus faibles, correspondant au témoin sans *zaï* ni amendement (TA) ne représentaient que 0,04% et 0,03% du carbone total du sol cultivé en niébé et en sorgho. Elles sont très faibles comparées aux valeurs de 1,6% mesurées par Chaussod *et al.* (12) dans des parcelles de prairie naturelle de zone tropicale considérée en équilibre sur le plan de stock en carbone. De même, les valeurs de biomasse microbienne les plus élevées obtenues ici (61 et 77 mg C.kg<sup>-1</sup> de sol) sont largement inférieures à celles observées par Assimi (2009) dans des systèmes de monoculture de sorgho (109 à 138 mg C.kg<sup>-1</sup> de sol) et de rotation sorgho-niébé (66 à 118 mg C.kg<sup>-1</sup> de sol), qui avait toutefois mesuré ces valeurs sur des sols avec des apports largement plus importants (5 et 40 t.ha<sup>-1</sup>) que ceux qui ont été appliqués dans notre expérimentation (3 t.ha<sup>-1</sup>). A l'inverse, Diallo (17) indiquait, dans une formation pédologique similaire, des biomasses microbiennes plus faibles que celles mesurées ici. De nombreuses études ont montré que l'abondance, la diversité et l'activité microbienne baissent, en général, en fin de campagne (à la récolte) ou après un long temps d'incubation dans des expérimentations en condition contrôlée au laboratoire (9, 17, 22).

Ces études révèlent que la communauté microbienne du sol est autant influencée par la période de la saison à laquelle la mesure a été réalisée que par les systèmes de culture (6, 10). L'abondance et l'activité microbienne dépendent en effet de la matière organique facilement minéralisable et des nutriments disponibles ou libérés par la minéralisation des amendements organiques ou minéraux, mais également de l'humidité du sol.

Ces paramètres évoluent au cours de la saison et finissent par baisser fortement, en général, en fin de campagne (à la récolte) et la biomasse microbienne de s'établir à un niveau relativement faible. Comme la biomasse microbienne, la respiration du sol qui traduit l'activité microbienne potentielle du sol était sensiblement de même intensité sous les deux types de culture. Dans les mêmes conditions pédoclimatiques, la masse microbienne et l'intensité de l'activité biologique sont fonction de la disponibilité des substrats carbonés, notamment la fraction facilement biodégradable pour satisfaire les besoins énergétiques des micro-organismes. La similitude de l'abondance et de l'activité microbienne du sol au niveau des deux cultures pourrait s'expliquer par une similitude des caractéristiques chimiques des sols, notamment les contenus en matière organique labile. La variation de l'activité biologique s'est révélée beaucoup plus liée aux traitements effectués dans les différentes parcelles. Sans travail de sol ni amendement (TA), l'activité biologique dans les sols «zipella» se révèle extrêmement faible. Le simple creusement des poquets de *zaï*, malgré la modification de la structure et l'acidité et l'amélioration de l'humidité et l'aération du sol qu'il induit, n'a pas influencé significativement la biomasse microbienne du sol; il a toutefois entraîné un relèvement sensible de l'activité biologique potentielle par rapport au témoin. Il est donc permis de faire l'hypothèse que la matière organique dans ces parcelles est insuffisante pour soutenir une augmentation significative de la biomasse microbienne du sol, mais renferme plus de substrats carbonés biodégradables exogènes piégés dans les poquets et/ou provenant des corps microbiens morts à la dessiccation du sol et pouvant relever l'intensité de la respiration du sol.

Les apports de fumures et le travail du sol sont reconnus comme jouant un rôle déterminant dans la dynamique de l'activité biologique du sol (2, 9, 17). Ils déterminent l'abondance, la diversité et l'activité des communautés microbiennes du sol. L'apport du fumier et du compost simples dans les *zaï* (ZF et ZC) a redynamisé sensiblement l'activité biologique du sol.

Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Zombré (30) qui a observé avec des traitements de *zaï* au compost (3 t.ha<sup>-1</sup>) sur zippelé développé sur sol ferrugineux, des quantités cumulées de CO<sub>2</sub> dégagé de l'ordre de 120 mg de C-CO<sub>2</sub>/100g de sol contre 30 mg de C-CO<sub>2</sub>/100g de sol pour les témoins dans l'horizon de surface. La même observation a été faite sur un zippelé développé sur sol brunifié avec un effet plus prononcé (30). Le *zaï* permet, en effet, de casser la croûte de battance, d'améliorer l'humidité et l'aération du sol et les substrats organiques (fumier et compost) qui y sont apportés constituent une source d'énergie et de nutriments propices à la prolifération des communautés microbiennes.

L'addition du phosphate naturel finement broyé au fumier a amélioré d'avantage l'activité biologique du sol au niveau des deux cultures (biomasse microbienne et respiration du sol). En effet, il est montré que la fertilisation phosphatée influence l'abondance, l'activité et la structure des communautés microbienne (6). Le phosphore est un élément majeur, capital pour le développement et le fonctionnement des organismes végétaux et animaux. Il représente la source d'énergie dans le métabolisme cellulaire et est un constituant essentiel des acides nucléiques et des phospholipides. C'est un élément indispensable au développement des microorganismes.

## Conclusion

Les résultats de cette étude ont révélé que sur un sol dégradé encrouté, induré, peu profond, en améliorant les conditions hydriques et la fertilité chimique par du *zaï* avec un amendement approprié, il est possible d'optimiser la production aussi bien avec une culture de légumineuse (niébé) que celle d'une céréale (sorgho).

La combinaison du phosphate naturel au fumier et compost dans le *zaï* améliore l'efficacité de la pratique et la productivité des zippela.

Sur le plan de la fertilité du sol, après six années de culture continue de niébé et de sorgho, les caractéristiques biologiques mesurées dans les poquets de *zaï* sous les deux cultures ne présentent pas de différences sensibles.

Elles ont été plutôt influencées par les amendements. L'apport de la fumure organique a permis une redynamisation de l'activité biologique du sol. L'addition de phosphate naturel au fumier a permis surtout d'améliorer l'activité biologique du sol. L'apport combiné du phosphate naturel et de la fumure organique dans le système *zaï* apparaît comme une alternative pour une restauration efficace de la productivité des zipella. Par un apport répété d'amendements organiques et minéraux au niveau de la plante cultivée, il est possible de créer

des îlots de fertilité au sein de la parcelle. Le *zaï* est basé sur une gestion locale des ressources nécessaires à la production des plantes, eau et nutriments. Ce principe de technique culturale permet d'assurer une production en limitant la surface cultivée et les quantités d'apports nécessaires, que ce soit pour une culture de céréales ou de légumineuses. Il est toutefois nécessaire de prendre en compte l'intégration de cette technique à l'échelle du bassin versant (nécessité des aménagements en cordons pierreux).

### Remerciement

Les auteurs remercient le Projet FABATROPIMED de la Fondation Agropolis qui a soutenu financièrement les travaux. Ils sont reconnaissants à M. Barry, P. Sawadogo, techniciens au Laboratoire d'Agro-Ecologie, UMR Eco & Sols de l'IRD de Ouagadougou et à M. Ramde, technicien de laboratoire à l'INERA

### Références bibliographiques

- Amato M. & Ladd J.N., 1988, Assay for microbial biomass based on ninhydrin-reactive nitrogen in extracts of fumigated soils, *Soil Biol. Biochem.*, **20**, 107-114
- Assimi S., 2009, *Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité microbienne dans un système de cultures de longue durée au Burkina Faso*. Thèse de doctorat d'Etat ès-sciences naturelles. Université polytechnique de Bobo Dioulasso, 177.
- Bado V. & Hien V., 1998, Efficacité agronomique des phosphates naturels du Burkina Faso sur le riz pluvial en sol ferrallitique, *Cah. Agric.*, **7**, 236-238.
- Bado V., 2002, *Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso*. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation; Université Laval, Québec; 166.
- Bagré J.T., 1987, *Ranawa/Burkina Faso : diguettes en pierres et poches d'eau*. pp 221-238, Rochette R. M. (Edit), *In: Le sahel en lutte contre la désertification*. GTZ-CILSS-PAC, 573.
- Beauregard M.S., 2010, *Impacts de la fertilisation phosphatée sur la biodiversité microbienne de sols agricoles*. Thèse de doctorat. Université de Montréal, 168.
- Bolan & Hedley, 1990, Dissolution of phosphate rocks in soils. Effect of pH on the dissolution and plant availability of phosphate rock in soil with pH dependent charge, *Fert. Res.*, **24**, 125-134.
- Botoni & Reij, 2009, *La transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au Sahel : Impacts des investissements publics et privés dans la gestion des ressources naturelles*, CILSS, 61.
- Bouchenafa N., Oulbachir K. & Kouadria M., 2014, Effets du travail du sol sur le comportement physique et biologique d'un sol sous une culture de lentille (*Lens exculenta*) dans la région de Tيارت Algérie, *Eur. Sci. J.*, **10**, 3, 463-473.
- Calbrix R., Barry S., Chabrierie O., Fourrie L. & Laval K., 2007, Impact of organic amendments on the dynamics of soil microbial biomass and bacterial communities in cultivated land, *Appl. Soil Ecol.*, **35**, 511-522.
- Casenave A. & Valentin C., 1989, Les états de surface de la zone sahéenne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM. Paris, France, 229.
- Chaussod R., Zuvia M., Breuil M. C. & Hetier J.M., 1992, Biomasse microbienne et statut organique des sols tropicaux: exemple d'un sol vénézuélien des Lianos sous différents systèmes de culture, *Cah. Orstom, Sér. Pédol.*, **28**, 1, 59-67.
- Compaore E, Grimal J.Y., Morel J.L. & Fardeau J.C. 1997, Efficacité du phosphate naturel de Kodjari (Burkina Faso), *Cah. Agric.*, **6**, 251-255.

14. Compaoré E., Grimal J.Y., Morel J.L. & Fardeau J.C, 2001, Le phosphore biodisponible des sols: une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest, *Cah. Agric*, **10**, 75-142.
15. CORAF ACTION, 2011, *Les phosphates, une richesse pour l'agriculture Ouest africaine*. CORAF ACTION N° 59 Avril-Juin 2011.
16. CPCS, 1967, *Classification des sols. Travaux de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (1963-1967)*. ENSA-Grignon, Laboratoire de Pédologie- Géologie, Paris, 96.
17. Diallo N.H., 2011, *Sols cultivés et fonctions microbiennes: la gestion des résidus organiques permet-elle de manipuler ces fonctions? Cas de l'Afrique de l'ouest*. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop De Dakar, Sénégal, 149.
18. FAO, 2006, World reference base for soil resources, Rome. 126.
19. Fontes J. & Guinko S., 1995, *Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Notice explicative*. Ministère de la Coopération Française, projet Campus, 67.
20. Hien F., Compaoré J.A. & Coulibaly-Somé O., 1996. *La dynamique de la dégradation des sols dans le bassin du Nakambé : une étude diachronique dans le secteur des forêt classées de Bissiga-Nakabé au Burkina Faso*, pp 523-530. In: Escadafal R., Mulders M.A. & Thiombiano L. (Edit), *Surveillance des sols dans l'environnement par télédétection et systèmes d'information géographiques*. Colloque, 06-10/02/1995, Ouagadougou, Burkina Faso; 619.
21. INSD, 2008, Recensement général de la population et de l'habitation (RGPH) de 2006 du Burkina Faso – Résultats Définitifs. MEF/CNR/ BCR, 56.
22. Jedidi N., Hassen A., Cleemput O. V. & M'Hiri A., 2004, Microbial biomass in a soil amended with different types of organic wastes, *Waste Manage. Res.*, **22**, 2, 93-99.
23. Lompo F., Sedogo M. P. & Assa A., 1994, Effet à long terme des phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso) sur la production du sorgho. Bilans minéraux, *Rev. Res. Amélior. Prod. Agric. Milieu Aride*, **6**, 163-78.
24. MA/DNSA, 2013, Agristat, janvier 2013.
25. Roose E., Kaboré V. & Guenat C., 1993, Fonctionnement, limite et améliorations d'une pratique culturale africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano – sahélienne (Burkina Faso), *Cah. Orstom Sér. Pedol.*, **28**, 159-73.
26. Salam A.M., Osman A.Z. & Basiouny H., 1968, Interaction of the level and method of phosphorus fertilization on cowpea production in newly reclaimed soils. Isotope and radiation research, **1**, pp.33-39.
27. Sawadogo H., Zombré N. P., Bock L. & Lacroix D., 2008, Etude de l'évolution de l'occupation du sol de Ziga dans le Yatenga (Burkina Faso) à partir de photographies aériennes, *Rev. Télédétection*, **8**, 1, 59-73.
28. Sawadogo H., Bock L., Lacroix D. & Zombré N. P., 2008, Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **12**, 3, 279-290.
29. Zombré N.P., 2003, *Les sols très dégradés "zipella" du centre nord du Burkina Faso: dynamique, caractéristiques morpho-bio-pédologiques et impacts des techniques de restauration*. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Ouagadougou, 327.
30. Zombré N.P., 2006, Variation de l'activité biologique dans les zipella (sols nus) en zone subsahélienne du Burkina Faso et impact de la technique du zaï (techniques des poquets), *Biotechnol. Agron. Soc., Environ.*, **10**, 2, 139-148.
31. Zougmore R., Ouattara K., Mando A. & Ouattara B., 2004, Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso, *Sécheresse*, **15**, 1, 41-48.

D. Some, Burkinabè, DEA, Enseignant, Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre, Ouagadougou, Burkina Faso.

E. Hien, Burkinabè ,PhD, Enseignant chercheur, Université de Ouagadougou; Chercheur associé IRD, UMR Eco & Sols, Ouagadougou, Burkina Faso.

K. Assigbetse, Française, PhD, Ingénieur de recherche, IRD, UMR Eco & Sols, LEMSAT, Bel-Air, Dakar, Sénégal.

J.J. Drevon, Française, PhD, Chercheur, UMR Eco & Sols; Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agroécosystèmes, Montpellier, France.

D. Masse, Française, PhD, Chercheur, IRD, UMR Eco & Sols, LEMSAT, Bel-Air, Dakar, Sénégal.