



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Effets du travail du sol et de la fertilisation organo-minérale sur l'humidité du sol et l'assimilation chlorophyllienne du sorgho en culture associée avec le niébé

Mahamoudou KOUMBEM¹, Siébou PALE^{2*}, Edmond HIEN¹, Djibril YONLI², Hamidou TRAORE², Grégoire PALE², P. V. Vara PRASAD^{3,4} et B. Jan MIDDENDORF³

¹Laboratoire Sols, Matériaux et Environnement, UFR Sciences de la Vie et de la Terre, Université Joseph Ki-Zerbo, 03 B.P 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.

²Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, 04 B.P 8645 Ouagadougou 04, Burkina Faso.

³Feed the Future Innovation Lab for Collaborative Research on Sustainable Intensification, Kansas State University, Manhattan, Kansas, USA.

⁴Department of Agronomy, Kansas State University, Manhattan, Kansas, USA.

*Auteur correspondant ; E-mail : siebout.pale@yahoo.fr, Tel. : +226 70 33 11 64, Fax : (226) 50 34 02 71

Received: 01-06-2022

Accepted: 18-10-2022

Published: 31-10-2022

RESUME

La précarité des agroécosystèmes des pays sahéliens impose aux producteurs des options de gestion intégrée de la fertilité des sols. Cette étude avait pour objectif d'évaluer les effets du travail du sol et du système de culture avec fertilisation sur l'état hydrique du sol et le taux de chlorophylle des feuilles du sorgho associé avec le niébé. Le dispositif expérimental était un bloc complètement randomisé avec les traitements arrangés en split plot, quatre méthodes de travail du sol comme parcelles principales, seize systèmes de culture avec fertilisation comme parcelles secondaires et trois répétitions. Le zaï manuel a permis d'obtenir des humidités du sol à 90 jours Après Semis plus élevées avec des taux variant de 78,57 à 263,64% par rapport au labour, au travail minimum du sol et au billonnage cloisonné. Les taux de chlorophylle les plus élevés ont été enregistrés au stade montaison dans les parcelles labourées et de billonnage cloisonné, également avec le système de culture comprenant 1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé à port rampant recevant des engrais NPK et urée. Ces résultats montrent que le travail du sol combiné à la fertilisation organo-minérale est susceptible d'optimiser la productivité agricole.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Burkina Faso, chlorophylle, compost, gestion de l'eau, systèmes de culture.

Effects of tillage and organo-mineral fertilization on soil moisture and chlorophyll assimilation of sorghum intercropped with cowpea

ABSTRACT

The precariousness of the agro-ecosystems in the sahelian countries is forcing farmers to adopt diverse options of integrated soil fertility management. This study carried out at the Saria environmental and

agricultural research Station in 2020 and 2021 aimed to assess the effects of tillage and cropping system with fertilization on the water status of the soil and the chlorophyll level in the leaves of sorghum intercropped with cowpea. The experimental design was a completely randomized block with treatments arranged in a split plot, four tillage methods as main plots, sixteen cropping systems with fertilization subplots and three replications. The manual zaï made it possible to obtain higher soil humidity at 90 days after planting with rates varying from 78.57 to 263.64% compared to ploughing, minimum tillage and tied-ridging. The highest chlorophyll levels were recorded at boot stage in the ploughed and tied-ridging plots, also with the cropping system of 1 line of sorghum alternated with 1 line of cowpea cropping system and receiving NPK and urea fertilizers. These results show that tillage method combined with organo-mineral fertilization is likely to optimize agricultural productivity.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Burkina Faso, chlorophyll, compost, cropping systems, water management.

INTRODUCTION

Le sorgho [*Sorghum bicolor* (L) Moench)] est une des plus importantes céréales cultivées en Afrique de l'Ouest occupant le deuxième rang parmi les céréales cultivées au Burkina Faso en termes de quantité de production en 2020 et en 2021 (FAO, 2022). Il est généralement cultivé en culture pure ou en association avec le niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] qui constitue de plus en plus une culture de rente pour les femmes.

A l'instar des autres pays sahéliens, le Burkina Faso est confronté à la précarité des agroécosystèmes et de la crise sécuritaire ces dernières années. En effet, les sols du Burkina Faso sont naturellement pauvres en matières organiques et notamment en éléments nutritifs essentiels comme l'azote (N) et le phosphore (P) (Pallo et al., 2009 ; Bationo et al., 2011 ; CILSS, 2012). Cette pauvreté des sols en matières organiques et en éléments nutritifs associée à l'insuffisance et à l'irrégularité des pluies affecte la productivité des cultures avec pour conséquence la diminution de la production. La situation est accentuée par l'exploitation continue des ressources naturelles, les variations climatiques, et les mauvaises pratiques agricoles qui affectent négativement la fertilité des sols. D'autre part, la dégradation continue des terres cultivables liée à la faible résistance à l'érosion (Mason et al., 2015 ; Ouédraogo et al., 2020), à la rapide croissance démographique de la population (World Bank, 2021) et au changement climatique (Mason et al., 2015) affecte

négativement la productivité du secteur agricole et compromet les rendements des cultures de base des populations. Par conséquent, les populations n'arrivent pas à atteindre l'autosuffisance alimentaire (FAO, 2017). La zone climatique soudano-sahélienne du Burkina Faso, n'échappe pas à cette situation précaire liée à la baisse de la fertilité des sols, à la faiblesse de la pluviométrie ou à l'irrégularité des pluies, à la pression anthropique sur les terres cultivables (Kohio et al., 2017). Afin de permettre aux producteurs de faire face aux conditions pédoclimatiques difficiles et d'améliorer la productivité des cultures, plusieurs modes de gestion de la fertilité des sols ont été développés par les acteurs de la recherche environnementale et agricole (Hien et al., 2011 ; Zougmore et al., 2014 ; Somé et al., 2015, Palé et al., 2021). Ces modes de gestion incluent les techniques de Conservation des Eaux et des Sols (CES), les techniques de Défense et Restauration des Sols (DRS), les méthodes de travail du sol et la fertilisation organo-minérale. Par ailleurs, la détermination des doses optimales de fertilisation pour les cultures (IFDC, 2018) et les méthodes de fertilisation telles que l'application localisée de l'engrais ou microdose (Tabo et al., 2007 ; Palé et al., 2009) en vue de permettre un accroissement des rendements des cultures ont été développées. En outre, Bado (2002) et Halidou (2017) ont montré que l'association d'une céréale et d'une légumineuse constitue une source d'azote supplémentaire du fait de la fixation symbiotique permettant ainsi une

amélioration des performances agronomiques tant de la céréale que de la légumineuse. Plus récemment, en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso, Zongo et al. (2021) ont observé une amélioration de la productivité du sol et partant de celle du sorgho quand l'association mixte sorgho-niébé avait été utilisée comme système de culture. Cependant, force est de constater que, la productivité des cultures est toujours confrontée à la baisse de la fertilité des sols et aux perturbations des conditions climatiques. Par conséquent, des modes de gestion de la fertilité des sols et des systèmes de production qui intègrent plusieurs aspects notamment le travail du sol, la fertilisation organique et minérale, l'association de cultures pour freiner la dégradation des sols et surtout améliorer leur fertilité et la productivité des cultures doivent être développés. Ainsi, l'objectif de cette étude est d'évaluer les effets du travail du sol, du système de culture et de la fertilisation sur l'évolution de l'état hydrique du sol et le taux de chlorophylle des plants du sorgho en association avec le niébé et de proposer une combinaison qui améliorera la productivité des sols et des cultures.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude

L'étude a été réalisée à la Station de Recherches Environnementales et Agricoles de Saria (12° 16' latitude Nord ; 2° 09' longitude Ouest) dans la province du Boulkiemdé à 80 km à l'Ouest de Ouagadougou (Figure 1) en 2020 et 2021 sous conditions pluviales. Le site est localisé dans la zone climatique soudano-sahélienne et connaît une saison de pluie qui va de mai à octobre et une saison sèche qui va de novembre à avril. Le site a connu une variation intersaison des pluviométries annuelles des dix dernières années (2012 à 2021) avec une moyenne de 843,78 mm. Les hauteurs de pluies enregistrées étaient de 1003,9 mm au cours de la campagne agricole de 2020 et 716,7 mm en 2021 (Figure 2). Une grande variabilité pluviométrique mensuelle a été observée au cours des deux années

d'expérimentation. Durant la campagne agricole de l'année 2020, les plus fortes précipitations ont été enregistrées dans le mois de juillet (341,2 mm) et d'août (281,5 mm). Cependant, en 2021, les plus fortes précipitations ont été enregistrées au cours des mois de juin (139,5 mm) et d'août (272,9 mm). Les températures mensuelles en minima ont varié de 15,21 à 27,53°C en 2020 avec une moyenne annuelle de 21,58°C pendant que les maxima ont varié de 30,74 à 40,43°C en 2020 avec une moyenne annuelle de 35,42°C. En 2021, les températures mensuelles en minima allaient de 14,61 à 27,25°C avec une moyenne annuelle de 21,66°C et les maxima de 31,18 à 41,16°C, avec une moyenne annuelle de 36,21°C. L'essai a été conduit sur un sol du type ferrugineux tropical lessivé induré (CPCS, 1967) présentant une carapace à plus de 50 cm de profondeur, de texture sablo-limoneuse en surface (59,2% de sable, 31,4% de limon et 9,4% d'argile) avec une faible capacité de rétention en eau, un pH (eau) de 5,4.

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est composé d'une variété de sorgho qui est Sariaso 14 et deux variétés de niébé qui sont K VX 780-6 encore appelée Nerwaya et la seconde est Moussa local. La variété Sariaso 14 est une variété de sorgho à double objectif (grain et fourrage) avec un cycle de 110 jours et dont l'utilisation est recommandée dans la zone soudano-sahélienne. La variété Nerwaya du niébé est mise au point par l'INERA. C'est une variété à port semi-érigé avec un cycle de 70 jours et un taux de couverture du sol moins important que celui de Moussa local. La variété Moussa local du niébé est aussi mise au point par l'INERA à partir d'une variété traditionnellement utilisée par les paysans et qui a les mêmes aspects morphologiques que les variétés traditionnelles locales. C'est une variété à port rampant avec un cycle de 75 à 80 jours et un taux de couverture du sol très important d'où son utilisation dans la présente étude.

Fertilisants

Le compost produit au sein de la station de recherche de Saria a constitué le fertilisant organique. Il présente les caractéristiques suivantes : 15,27% de carbone total (Ctot), 1,40% d'azote total (Ntot), 2,98% de phosphore total (Ptot), 0,64% de potassium total (Ktot) et un pH de 8,1. Les fertilisants minéraux ont été le NPK 14-23-14-6S-1B et l'urée 46% N.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé était un bloc complètement randomisé où les traitements sont arrangés en split plot avec trois répétitions. Les parcelles principales étaient représentées par quatre niveaux de travail du sol (TS) et les parcelles secondaires par seize combinaisons du système de culture (SC) et de la fertilisation organique et/ou minérale (amendement du sol) (AS) (Tableau 1). Les parcelles élémentaires sont de six (06) m de long et quatre (04) m de large soit 24 m² séparées par des allées d'un (01) m.

Conduite de l'essai

Le compost a été épandu à la volée dans les parcelles devant recevoir du compost avant le travail minimum du sol, le labour et le billonnage. Pour les parcelles de zaï manuel, le compost a été appliqué dans les poquets de zaï. Pour toutes les méthodes de travail du sol, le compost a été appliqué dans les parcelles avant le semis. Les semis ont été effectués au cours de la deuxième semaine et de la dernière semaine du mois de juillet respectivement pour l'année 2020 et 2021, à la densité de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre les poquets sur la même ligne soit 31250 poquets ha⁻¹. Un démariage à deux plants par poquet a été fait après la levée. Le NPK a été appliqué 14 Jours Après le Semis (JAS) par la technique de l'application de l'engrais au poquet ou microdose. L'urée a été apportée aux plants de sorgho également par la technique de la microdose, entre 35 à 40 JAS suivant les années. Les doses d'engrais minéraux ont été de 100 kg ha⁻¹ de NPK + 50 kg ha⁻¹ d'urée à 46% N. La dose de compost

appliquée est de 2500 kg ha⁻¹ et par an. Des sarclages à la daba ont été réalisés en cas de besoin. Au total trois sarclages ont été réalisés chaque année. Pour lutter contre les aphides du niébé (*Aphis craccivora* Koch), des traitements du niébé ont été effectués à l'apparition des boutons floraux et à la formation des gousses avec du K-Optimal [Lambda-cyhalothrine (15 g/L) + Acétamipride (20 g/L)] à la dose d'un (1) L ha⁻¹ mélangé avec 300 litres d'eau.

Paramètres mesurés

Les paramètres mesurés ont porté sur la teneur en eau volumétrique des parcelles élémentaires, le taux de chlorophylle des feuilles des plants de sorgho. La teneur en eau volumétrique des parcelles élémentaires a été mesurée à intervalle de 30 jours à partir du semis à l'aide d'un humidimètre à sonde (HyroSense II) dans les 10 premiers centimètres du sol. Trois mesures ont été faites sur chaque parcelle utile en suivant la diagonale. La moyenne des trois mesures a ensuite été obtenue et considérée dans les analyses. Le taux de chlorophylle des feuilles de sorgho à la montaison et à la maturité a été obtenu par mesure directe sur cinq plants centraux de la parcelle utile en utilisant un chlorophylle-mètre (FieldScout CM 1000). Les mesures faites par les chlorophylle-mètres sont réputées être un moyen rapide et efficace pour raisonner la fertilisation azotée (Alessana et al., 2015 ; Akhter et al., 2016). La moyenne de ces mesures élémentaires a été considérée dans les analyses.

Analyse des données

Un tableur Microsoft Excel a été utilisé pour saisir les données collectées. Toutes ces données ont été soumises à une analyse des variances pour tester les hypothèses d'égalité des moyennes des différents traitements. L'analyse statistique des données collectées a été réalisée à l'aide du logiciel SAS/STAT®, version 9 (SAS Institute, 2010). Les effets ont été déclarés significatifs quand le seuil de probabilité critique était $\leq 0,05$.

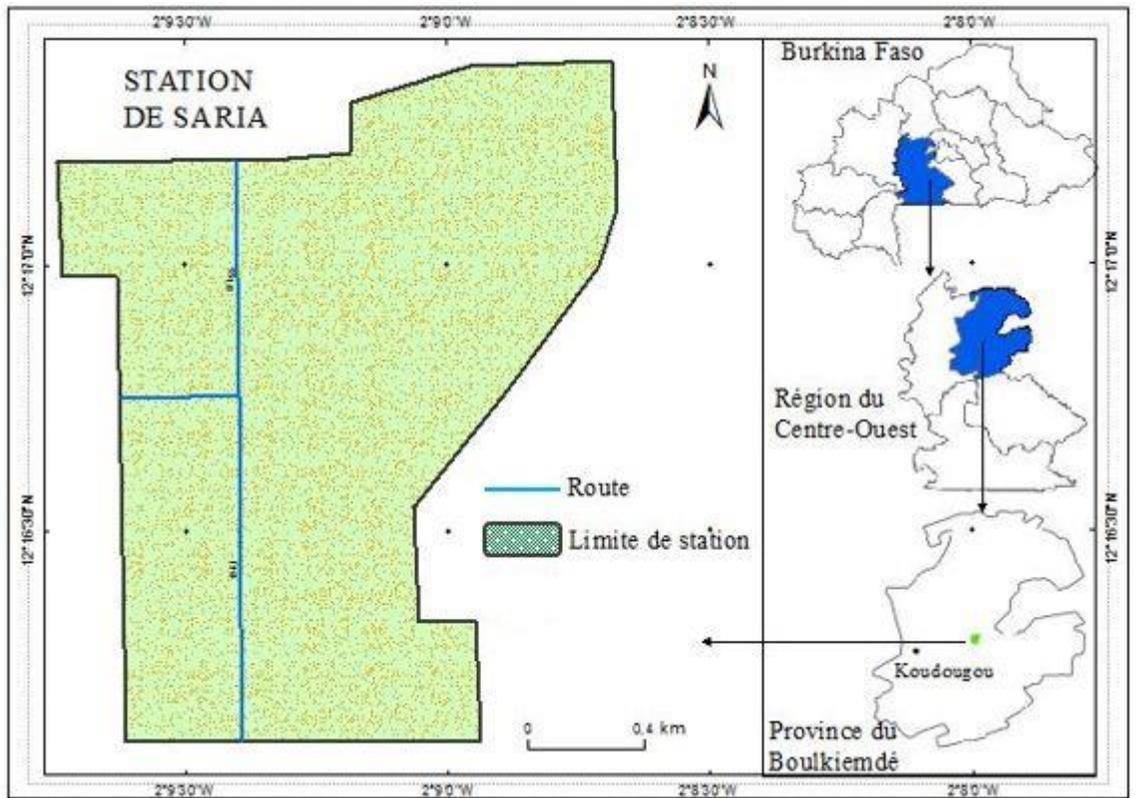


Figure 1 : Carte de localisation du site d'étude (Station de Recherches de Saria) dans la Région du Centre-Ouest (Carte réalisée par A. K. Drame, 2022).

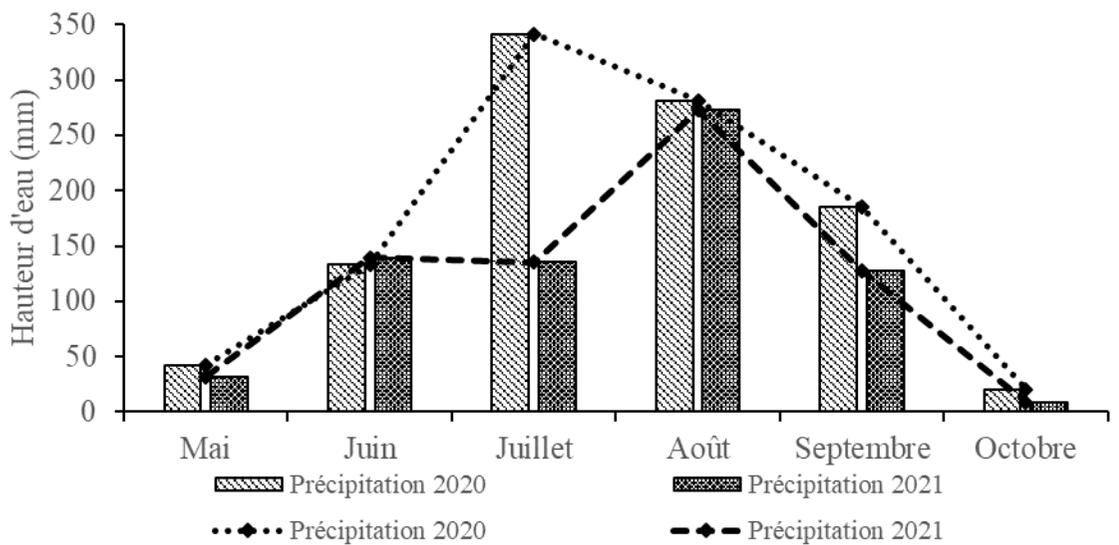


Figure 2 : Pluviométrie mensuelle des campagnes agricoles des années 2020 et 2021 à la station de recherches environnementales et agricoles de Saria, Burkina Faso.

Tableau 1 : Types de travail du sol, de système de culture et d'amendement du sol, 2020 et 2021 Saria, Burkina Faso.

Travail du sol (TS)						
TS1 = Travail minimum du sol avant le semis pour enfouir le compost						
TS2 = Labour superficiel à la charrue (CH9) par traction bovine avec les bœufs à une profondeur moyenne de 15 cm.						
TS3 = Billonnage cloisonné réalisé sur les lignes de semis à l'aide d'un corps butteur par traction bovine suivi d'un cloisonnement à un mois après semis du sorgho et du niébé.						
TS4 = Poquet du zaï manuel dont les trous sont faits sur les lignes de semis en quinconce avec une profondeur de 10 à 15 cm et une largeur de 20 à 40 cm. La terre excavée est disposée en croissant en aval du trou.						
Système de culture (SC)						
SC1 = Association de sorgho et de niébé à port semi-érigé en lignes alternées : 2 lignes de sorgho suivies de 2 lignes de niébé.						
SC2 = Association de sorgho et de niébé à port rampant en lignes alternées : 2 lignes de sorgho suivies de 2 lignes de niébé.						
SC3 = Association de sorgho et de niébé à port semi-érigé en lignes alternées : 1 ligne de sorgho suivie de 1 ligne de niébé.						
SC4 = Association de sorgho et de niébé à port rampant en lignes alternées : 1 ligne de sorgho suivie de 1 ligne de niébé.						
Amendement du sol (AS)	N	P₂O₅	K₂O	S	B	Compost
	-----kg ha ⁻¹ -----					
AS1 = Sans fumure	0	0	0	0	0	0
AS2 = 2500 kg de compost ha ⁻¹ an ⁻¹	0	0	0	0	0	2500
AS3 = 100 kg ha ⁻¹ de NPK 14-23-14-6S-1B + 50 kg ha ⁻¹ d'urée 46% N.	37	23	14	6	1	0
AS4 = 100 kg de NPK 14-23-14-6S-1B + 50 kg ha ⁻¹ d'urée 46% N + 2500 kg de compost ha ⁻¹ an ⁻¹	37	23	14	6	1	2500
Combinaisons du système de culture et amendement du sol (SC/AS)						
SC1/AS1 = 2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE sans fumure						
SC1/AS2 = 2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE + compost						
SC1/AS3 = 2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE + NPK +Urée						
SC1/AS4 = 2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE + compost + NPK + Urée						
SC2/AS1 = 2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR sans fumure						
SC2/AS2 = 2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR + compost						
SC2/AS3 = 2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR + NPK +Urée						
SC2/AS4 = 2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR + compost + NPK + Urée						
SC3/AS1 = 1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE sans fumure						
SC3/AS2 = 1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE + compost						
SC3/AS3 = 1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE + NPK +Urée						
SC3/AS4 = 1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE + compost + NPK + Urée						
SC4/AS1 = 1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR sans fumure						
SC4/AS2 = 1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR + compost						
SC4/AS3 = 1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR + NPK +Urée						
SC4/AS4 = 1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR + compost + NPK + Urée						

RESULTATS

Effets des facteurs testés sur les paramètres mesurés

L'analyse des variances des effets des facteurs testés sur les paramètres mesurés a montré que les humidités volumétriques du sol mesurées à 30 JAS ($P < 0,01$) et 90 JAS ($< 0,01$) ont été significativement affectées par l'effet interactif de l'année et du travail du sol (Tableau 2). Par contre, la variation de cette humidité du sol, à 60 JAS, fut liée à l'effet du travail du sol ($P = 0,03$) (Figure 3). Les résultats de l'ANOVA ont montré également une influence remarquable de l'effet interactif de l'année et de la combinaison du système de culture et des amendements de sol ($P = 0,01$) sur l'humidité mesurée à 90 JAS (Tableau 3). Le taux de chlorophylle des feuilles de sorgho a été affecté par la combinaison du système de culture et des amendements du sol ($P < 0,01$) (Figure 4) et par l'effet interactif de l'année et du travail du sol à la montaison (Tableau 4). A la maturité, le taux de chlorophylle des feuilles de sorgho a plutôt été affecté par l'effet interactif du travail du sol et de la combinaison du système de culture et des amendements de sol ($P = 0,05$) (Tableau 5).

Variation de l'humidité du sol

Effet du travail du sol sur l'humidité volumétrique des parcelles à 30 JAS

Les résultats ont montré que l'humidité volumétrique de l'horizon 0-10 cm du sol a été plus élevée dans les parcelles de zaï manuel que dans celles où les trois autres méthodes ont été appliquées (Figure 3). En outre, l'humidité engendrée par le labour est significativement plus élevée que celle engendrée par le travail minimum du sol et le billonnage cloisonné. Les plus faibles humidités dans cet horizon superficiel du sol ont été enregistrées dans les parcelles de travail minimum du sol et de billonnage cloisonné.

Effet interactif de l'année et du travail du sol sur l'humidité volumétrique du sol à 30 JAS

Les résultats ont montré qu'en 2020, l'humidité des parcelles mesurée à 30 JAS a été significativement plus élevée dans les parcelles où le zaï manuel a été réalisé comparativement aux autres méthodes de travail du sol (Tableau 2). Le zaï manuel a

engendré une humidité additionnelle de 21,39%, 47,36% et 53,95% respectivement par rapport au labour, au travail minimum du sol et au billonnage cloisonné. Comparativement aux deux autres méthodes de travail du sol, le labour qui vient immédiatement après le zaï manuel, a permis un gain additionnel d'humidité dans les horizons superficiels du sol de 21,39% par rapport au travail minimum du sol et de 26,82% par rapport au billonnage cloisonné.

En 2021, les mêmes tendances ont été observées. Le zaï manuel a favorisé l'augmentation significative de l'humidité du sol comparativement aux autres méthodes de travail du sol. Cependant, le labour et le billonnage cloisonné ont généré des humidités similaires en 2021. L'humidité additionnelle enregistrée dans les parcelles de zaï manuel est respectivement de 24,30%, 35,67% et 24,82% par rapport au labour, au travail minimum du sol et au billonnage cloisonné. Pour l'ensemble des deux années, le zaï manuel a permis une humidité du sol significativement plus élevée que les autres méthodes de travail du sol. En effet, le zaï manuel a favorisé une augmentation du taux d'humidité du sol de 22,67%, 41,86% et 39,36% comparativement au labour, au travail minimum et au billonnage cloisonné. Les résultats ont également montré une stabilité des taux d'humidité avec l'utilisation du billonnage cloisonné au cours de deux années d'expérimentation. En moyenne, l'humidité du sol à 30 JAS a été significativement plus élevée en 2020 qu'en 2021 où une réduction de l'humidité volumétrique de 16,12% a été observée. Les moyennes des taux d'humidité pour chacune des méthodes de travail du sol ont montré que le zaï est la principale méthode de travail du sol qui a permis une humidité du sol plus élevée à 30 JAS.

Effet interactif de l'année et du travail du sol sur l'humidité volumétrique du sol à 90 JAS

Sur l'ensemble des deux années (2020 et 2021), les résultats ont montré que le zaï manuel a permis d'obtenir une humidité du sol 90 JAS plus élevée que les parcelles dans lesquelles le labour, le travail minimum du sol et le billonnage cloisonné ont été appliqués (Tableau 2). Par ailleurs, le labour a amélioré significativement l'humidité du sol

comparativement au travail minimum et au billonnage cloisonné qui ont laissé observer des humidités statiquement similaires.

En 2020, seule l'humidité enregistrée dans les parcelles de zaï manuel a été significativement plus élevée que celle dans les parcelles où les trois autres méthodes de travail du sol ont été appliquées. Par ailleurs, en 2021, le zaï manuel a généré une humidité plus élevée par rapport au labour (+ 78,57%), au travail minimum (+ 263,64%) et au billonnage cloisonné (+ 250,88%). Le zaï a permis une augmentation de l'humidité du sol en 2021 (+ 23,84%) comparativement à l'année de 2020. Comme pour l'humidité à 30 JAS, les résultats ont également montré une stabilité des taux d'humidité avec l'utilisation du billonnage cloisonné au cours de deux années d'expérimentation. En moyenne, l'humidité volumétrique du sol à 90 JAS a été significativement plus élevée en 2021 qu'en 2020 où une augmentation de 12,77% a été observée. Les moyennes des taux d'humidité pour chacune des méthodes de travail du sol ont montré que le zaï est la principale méthode de travail du sol qui a permis que le sol ait une humidité plus élevée à 90 JAS.

Effet interactif de l'année et du système de culture avec amendement du sol sur l'humidité volumétrique des parcelles à 90 JAS

En 2020, les taux d'humidité volumétrique du sol à 90 JAS ont été plus élevés dans les parcelles abritant le système de culture du type 2 lignes de sorgho suivies de 2 lignes de niébé à port semi-érigé et recevant du compost (SC1/AS2) (Tableau 3). Les résultats ont également montré qu'en 2020, des faibles taux d'humidité ont été observés dans les parcelles abritant les associations du type 1 ligne de sorgho suivie de 1 ligne de niébé à port rampant avec du compost (SC4/AS2) ou sans fumure (SC4/AS1) et la combinaison 2 lignes de sorgho suivies de 2 lignes de niébé à port rampant sans fumure (SC2/AS1). Ainsi, l'application de SC1/AS2 a permis l'obtention de taux d'humidité additionnels de 61,44% comparativement à SC4/AS2 et SC2/AS1 et de 66,89% par rapport à SC4/AS1. Toutefois, en 2021, seule l'application du système de culture du type 1 ligne de sorgho suivie de 1 ligne de niébé à

port rampant et recevant du compost, du NPK et de l'urée (SC4/AS4) a engendré l'augmentation significative de l'humidité volumétrique du sol à 90 JAS.

Les résultats ont montré une stabilité des taux d'humidité au cours des deux années pour chacune des combinaisons, exception faite de SC1/AS2, SC2/AS1, SC2/AS3 (2 lignes de sorgho suivies de 2 lignes de niébé à port rampant recevant du NPK et de l'urée) et SC4/AS2.

Sur l'ensemble des deux années d'étude, le système de culture en combinaison avec les amendements du sol (SC/AS) a influencé les taux d'humidité volumétrique des parcelles en année de bonne pluviométrie (2020) et en année de faible pluviométrie (2021). Les moyennes des deux années ont indiqué que les combinaisons SC3/AS4 et SC4/AS4 ont permis d'obtenir les humidités du sol à 90 JAS significativement plus élevées.

Variation du taux de chlorophylle des plants de sorgho

Effet interactif de l'année et du travail du sol sur le taux de chlorophylle des feuilles de sorgho à la montaison

Les résultats ont montré que le taux de chlorophylle des feuilles des plants de sorgho à la montaison a été significativement affecté par l'interaction de l'année et du travail du sol. Sur les deux années (2020 et 2021), le labour et le billonnage cloisonné ont induit une augmentation du taux de chlorophylle (5,59 à 10,95%) comparativement au zaï manuel et au travail minimum du sol (Tableau 4). En 2020, le taux de chlorophylle des feuilles a été plus élevé avec l'application du travail minimum du sol et du billonnage cloisonné pendant que le plus faible taux de chlorophylle a été observé dans les parcelles de zaï manuel. En 2021, le taux de chlorophylle le plus élevé a été enregistré dans les parcelles en labour, pendant que les plus faibles taux ont été observés dans les autres méthodes de travail du sol. Des stabilités de taux de chlorophylle ont été remarquées au cours des deux années avec l'usage du labour et du zaï manuel. La moyenne des taux de chlorophylle enregistrés pour chaque année a

fait remarquer un taux significativement plus élevé en 2020 par rapport à 2021.

Effet du système de culture et avec amendement du sol sur le taux de chlorophylle du sorgho à la montaison

Les résultats ont montré que les parcelles ayant reçu le compost et/ou les engrais minéraux (NPK et urée) ont connu des taux de chlorophylle des feuilles plus élevés quel que soit le système comparativement aux plants n'ayant pas reçu de fumure (Figure 4).

Effet interactif du travail du sol et du système de culture avec amendement du sol sur le taux de chlorophylle des feuilles de sorgho à la maturité

Le travail minimum du sol a induit une grande variabilité des taux de chlorophylle des feuilles avec les taux les plus élevés rencontrés dans les parcelles où sont appliqués 2 lignes de sorgho suivies de 2 lignes de niébé à port rampant avec apport de NPK et d'urée (SC2/AS3) ; 1 ligne de sorgho suivie de 1 ligne de niébé à port rampant avec apport de NPK et d'urée (SC4/AS3) ; 1 ligne de sorgho suivie de 1 ligne de niébé à port semi-érigé avec apport de compost, de NPK et d'urée (SC3/AS4) et 1 ligne de sorgho suivie de 1 ligne de niébé à port rampant avec apport de compost, de NPK et d'urée (SC4/AS4) (Tableau 5). Dans les parcelles labourées, SC4/AS4 a induit des taux additionnels de chlorophylle des feuilles de 23,53% comparativement à SC2/AS2 (2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé à port rampant + compost) et 72,60% par rapport à SC2/AS1 (2

lignes de sorgho + 2 lignes de niébé à port rampant sans fumure). Avec l'utilisation du billonnage cloisonné, le taux de chlorophylle dans les feuilles de sorgho a été significativement plus élevé (36,58 à 31,71%) dans les parcelles SC1/AS2, SC2/AS4, SC1/AS3 et SC2/AS2 comparativement aux taux de chlorophylle obtenu dans les parcelles SC3/AS3. Dans les parcelles de zaï manuel, le taux de chlorophylle qui a été significativement plus élevé à la maturité du sorgho a été obtenu avec SC3/AS4. Cette combinaison a permis d'accroître le taux de chlorophylle de 25% par rapport à SC2/AS3 (2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé à port rampant + NPK +Urée) et 62,34% par rapport à SC1/AS2 (2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé à port semi-érigé + compost). Exception faite des parcelles avec application de SC1/AS1, SC1/AS2, SC2/AS1 et de SC3/AS4 où des variabilités ont été observées, les résultats ont montré une stabilité du taux de chlorophylle à travers toutes les méthodes de travail du sol. En moyenne sur tous les systèmes de culture avec amendement du sol, le labour et le billonnage cloisonné ont permis d'avoir des taux de chlorophylle plus élevés dans les feuilles de sorgho à leur maturité comparativement au travail minimum du sol et au zaï manuel. Par ailleurs, les moyennes des SC/AS ont montré des taux de chlorophylle plus élevés dans les parcelles SC4/AS4 et plus faibles dans les parcelles SC2/AS1.

Tableau 2 : Effet interactif de l'année (An) et du travail du sol (TS) sur H30JAS et H90JAS, 2020 et 2021, Saria, Burkina Faso.

Travail du sol	H30JAS (%)			H90JAS (%)		
	2020	2021	Moyenne	2020	2021	Moyenne
Travail Minimum	10,05 ^{cA}	8,86 ^{cB}	9,46 ^c	1,37 ^{bA}	1,10 ^{cA}	1,24 ^c
Labour	12,2 ^{bA}	9,67 ^{bB}	10,94 ^b	1,63 ^{bB}	2,24 ^{bA}	1,94 ^b
Billonnage cloisonné	9,62 ^{cA}	9,63 ^{bA}	9,63 ^c	1,28 ^{bA}	1,14 ^{cA}	1,21 ^c
Zaï Manuel	14,81 ^{aA}	12,02 ^{aB}	13,42 ^a	3,23 ^{aB}	4,00 ^{aA}	3,62 ^a
Moyenne	11,67 ^A	10,05 ^B		1,88 ^B	2,12 ^A	

Les valeurs suivies de la même lettre en minuscule dans une même colonne et en majuscule dans une même ligne ne sont pas significativement différentes à $P \leq 0,05$. [Probabilités (P) de l'analyse de variance : H30JASAn*TS < 0,01 ; H30JASAn = 0,04 ; H30JASTS < 0,01 ; H90JASAn*TS < 0,01 ; H90JASAn = 0,36 ; H90JASTS < 0,01]. **H30JAS** : Humidité volumétrique du sol à 30 jours après semis ; **H90JAS** : Humidité volumétrique du sol à 90 jours après semis.

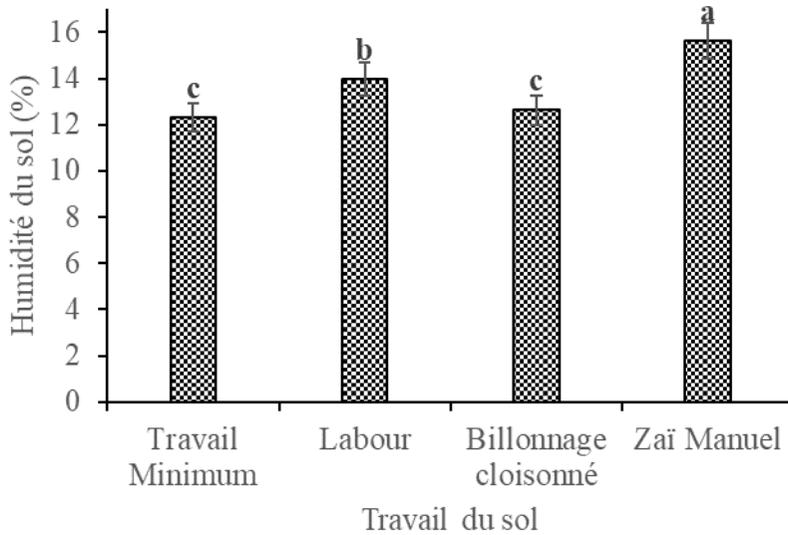


Figure 3 : Effet du travail du sol sur l’humidité volumétrique du sol à 60 JAS, 2020 et 2021, Saria, Burkina Faso. (Probabilités de l’analyse de variance : P = 0,03).

Tableau 3 : Effet interactif de l’année (An) et du système de culture avec amendement du sol (SC/AS) sur H90JAS, 2020 et 2021, Saria, Burkina Faso.

Système de culture avec amendement du sol	2020	2021	Moyenne
	-----%-----		
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE sans fumure	1,91 abA	1,79 bcA	1,85 b
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE + compost	2,47 aA	1,43 cB	1,95 b
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE + NPK +Urée	1,78 abA	1,67 bcA	1,72 b
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE + compost + NPK + Urée	1,79 abA	2,1 bcA	1,95 b
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR sans fumure	1,53 bB	2,48 abA	2,00 b
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR + compost	1,87 abA	1,89 bcA	1,88 b
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR + NPK +Urée	1,84 abA	1,60 bcB	1,72 b
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR + compost + NPK + Urée	2,04 abA	1,88 bcA	1,96 b
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE sans fumure	1,82 abA	2,35 abA	2,08 ab
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE + compost	2,17 abA	2,31 bA	2,24 ab

1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE + NPK + Urée	1,81 ^{abA}	1,85 ^{bcA}	1,83 ^b
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE + compost + NPK + Urée	2,23 ^{abA}	2,46 ^{abA}	2,35 ^a
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR sans fumure	1,48 ^{bA}	2,19 ^{bcA}	1,84 ^b
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR + compost	1,53 ^{bB}	2,83 ^{abA}	2,18 ^{ab}
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR + NPK + Urée	1,77 ^{abA}	2,03 ^{bcA}	1,90 ^b
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR + compost + NPK + Urée	2,05 ^{abB}	3,12 ^{aA}	2,58 ^a
Moyenne	1,82 ^B	2,12 ^A	

Les valeurs suivies de la même lettre en minuscule dans une même colonne et en majuscule dans une même ligne ne sont pas significativement différentes à $P \leq 0,05$. [Probabilités (P) de l'analyse de variance : $H90JASAn*SC/AS < 0,01$; $H90JASAn = 0,36$; $H90JAS SC/AS < 0,01$]. **H90JAS** : Humidité volumétrique du sol à 90 jours après semis ; **PSE** : Port semi-érigé ; **PR** : Port rampant.

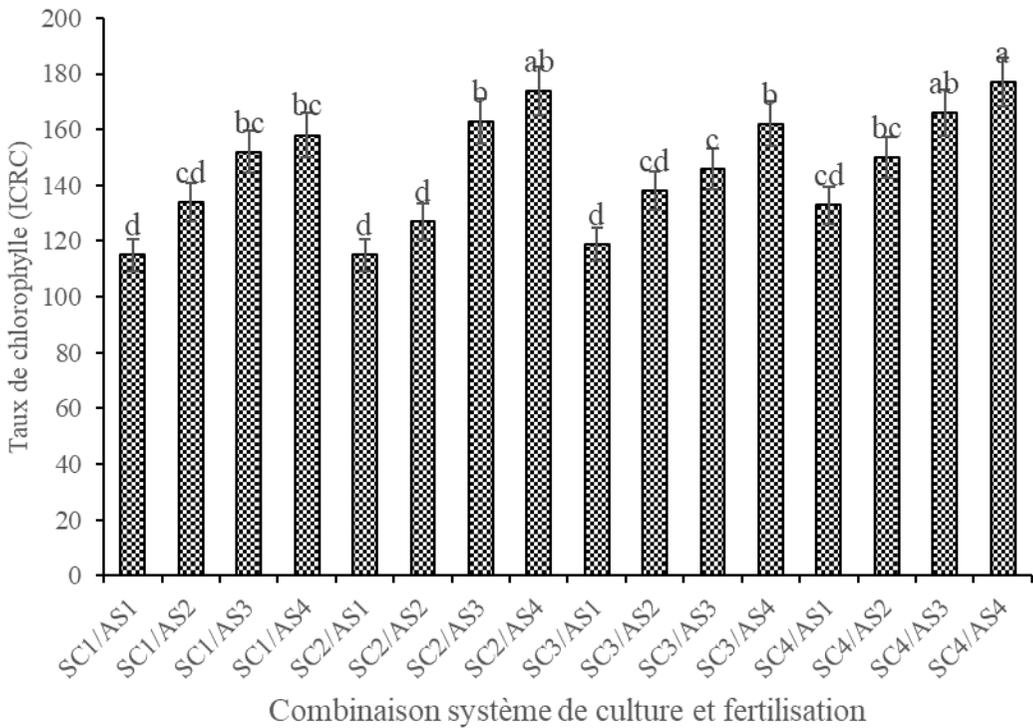


Figure 4 : Effet de la combinaison du système de culture et de l'amendement du sol sur le taux de chlorophylle au stade de montaison de la plante du sorgho, 2020 et 2021, Saria, Burkina Faso. (Probabilités de l'analyse de variance : $P < 0,01$).

Tableau 4 : Effet interactif de l'année (An) et du travail du sol (TS) sur le taux de chlorophylle des feuilles de sorgho à la montaison, 2020 et 2021, Saria, Burkina Faso.

Travail du sol	Année 2020	Année 2021	Moyenne
Travail Minimum	152 ^{aA}	134 ^{bB}	143 ^b
Labour	150 ^{abA}	154 ^{aA}	152 ^a
Billonnage cloisonné	158 ^{aA}	143 ^{bB}	151 ^a
Zai Manuel	138 ^{bA}	135 ^{bA}	137 ^b
Moyenne	150 ^A	141 ^B	

Les valeurs suivies de la même lettre en minuscule dans une même colonne et en majuscule dans une même ligne ne sont pas significativement différentes à $P \leq 0,05$. [Probabilités (P) de l'analyse de variance : $P_{An*TS} < 0,01$; $P_{An} = 0,65$; $P_{TS} = 0,01$].

Tableau 5 : Effet interactif du travail du sol (TS) et du système de culture avec amendement du sol (CS/SA) sur le taux de chlorophylle des feuilles de sorgho à la maturité, 2020 et 2021, Saria, Burkina Faso.

Système de culture avec amendement du sol	Travail	Labour	Billonnage	Zai manuel	Moyenne
	minimum		cloisonné		
Indice de concentration relative de chlorophylle : 0 – 999					
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE sans fumure	69 ^{bB}	116 ^{abA}	105 ^{abAB}	85 ^{bB}	94 ^{bc}
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE + compost	102 ^{abA}	91 ^{bcAB}	112 ^{aA}	77 ^{bB}	96 ^{bc}
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE + NPK + Urée	106 ^{abA}	113 ^{abA}	108 ^{aA}	91 ^{bA}	104 ^{ab}
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PSE + compost + NPK + Urée	104 ^{abA}	106 ^{abA}	97 ^{abA}	92 ^{bA}	100 ^{ab}
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR sans fumure	73 ^{bB}	73 ^{cB}	103 ^{abA}	96 ^{bAB}	86 ^c
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR + compost	100 ^{abA}	102 ^{bA}	108 ^{aA}	87 ^{bA}	99 ^b
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR + NPK + Urée	120 ^{aA}	110 ^{abA}	105 ^{abA}	100 ^{bA}	109 ^{ab}
2 lignes de sorgho + 2 lignes de niébé PR + compost + NPK + Urée	103 ^{abA}	113 ^{abA}	109 ^{aA}	105 ^{abA}	107 ^{ab}
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE sans fumure	98 ^{bA}	105 ^{abA}	93 ^{abA}	83 ^{bA}	95 ^{bc}
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE + compost	91 ^{bA}	93 ^{bA}	101 ^{abA}	86 ^{bA}	93 ^{bc}
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE + NPK + Urée	99 ^{abA}	104 ^{abA}	82 ^{bA}	92 ^{bA}	94 ^{bc}
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PSE + compost + NPK + Urée	109 ^{aAB}	106 ^{abAB}	101 ^{abB}	125 ^{aA}	110 ^{ab}
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR sans fumure	91 ^{bA}	91 ^{bcA}	97 ^{abA}	94 ^{bA}	93 ^{bc}
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR + compost	104 ^{abA}	91 ^{bcA}	99 ^{abA}	114 ^{abA}	102 ^{ab}
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR + NPK + Urée	115 ^{aA}	123 ^{abA}	106 ^{abA}	101 ^{abA}	111 ^a
1 ligne de sorgho + 1 ligne de niébé PR + compost + NPK + Urée	107 ^{aA}	126 ^{aA}	101 ^{abA}	104 ^{abA}	109 ^{ab}
Moyenne	99 ^{AB}	104 ^A	102 ^A	96 ^B	

Les valeurs suivies de la même lettre en minuscule dans une même colonne et en majuscule dans une même ligne ne sont pas significativement différentes à $P \leq 0,05$. **PSE** : Port semi-érigé ; **PR** : Port rampant. [Probabilités (P) de l'analyse de variance : $P_{TS*CS/AS} = 0,05$; $P_{TS} = 0,52$; $P_{CS/AS} < 0,01$].

DISCUSSION

Effets des facteurs testés sur l'humidité du sol

Le travail du sol a significativement affecté l'humidité du sol durant toutes les périodes de mesures. Il a contribué à influencer sur les propriétés hydriques du sol corroborant ainsi les résultats antérieurement obtenus par Zougmoré et al. (2014). Le zaï manuel qui permet une collecte des eaux pluviales dans les poquets et une source d'apport d'éléments fertilisants a significativement favorisé l'augmentation de l'humidité du sol. Cette méthode de travail du sol qui favorise donc la conservation des eaux et des sols ainsi que la restauration des sols dégradés démontre son efficacité comme l'avaient rapporté Hien et al. (2012), Zougmoré et al. (2014) et Somé et al. (2015). Les résultats ont également montré que le labour a amélioré l'humidité du sol qui aurait permis une bonne alimentation hydrique du sorgho. Bouchenafa et al. (2014) ont établi que le labour augmente la porosité du sol et favorise l'infiltration de l'eau. L'humidité du sol a en outre été significativement affectée par le système de culture avec amendement du sol. Les systèmes de culture associant le sorgho et le niébé dans les rapports d'une ligne de la céréale alternée d'une ligne de la légumineuse avec apport d'engrais minéraux plus du compost ont permis d'avoir les humidités du sol à 90 JAS significativement plus élevées. En effet, l'association du sorgho avec le niébé recevant du compost a eu un rôle essentiel sur la capacité de rétention en eau du sol favorisant ainsi un maintien de l'eau dans les parcelles. Ceci est en accord avec les résultats de recherches antérieures (Grosbellet, 2008 ; Hien et al., 2011 ; Hamouche et Zentar, 2020) qui avaient montré que les matières organiques de façon générale jouent un rôle essentiel sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. De plus, la faible proportion des argiles dans le sol du site (Palé et al., 2021) impose des amendements organiques qui protègent les argiles (Drouin, 2007) et de ce fait favorisent la rétention de

l'eau. Aussi, le niébé aurait joué un rôle de plante de couverture contribuant ainsi à lutter contre les pertes d'eau par ruissellement et en conservant l'humidité du sol (Zougmoré et al., 2000 ; CILSS, 2012).

Effets des facteurs testés sur le taux de chlorophylle des plants de sorgho

Les résultats ont montré que la teneur relative de la chlorophylle des plants de sorgho a significativement varié en fonction du travail du sol, du système de culture avec amendement du sol. Cela s'expliquerait par l'effet interactif des modes de gestion de la fertilité des sols (travail du sol, association de culture et fertilisation organo-minérale) sur les réactions métaboliques et physiologiques qui ont lieu chez la plante. En effet, la chlorophylle des plantes est un élément essentiel de la biochimie des feuilles par son rôle important dans la photosynthèse et partant dans l'élaboration des substances organiques nécessaires à la plante (Masclaux-Daubresse et al., 2010 ; Habiba et al., 2012). Kaboré et al. (2018) ont montré que la présence de l'eau dans le sol conditionne la teneur en chlorophylle dans les feuilles des plantes et qu'un déficit hydrique provoque alors une baisse significative de la teneur en chlorophylle des plantes. De ce fait, les méthodes de travail du sol qui contribuent à une gestion judicieuse de l'eau jouent un rôle important dans l'élaboration de la chlorophylle des plantes. Le labour et le billonnage cloisonné ont permis d'avoir les taux de chlorophylle des plants du sorgho les plus élevés durant tous les stades de mesures quel que soit le système de culture avec amendement du sol. Cela traduirait que le labour et le billonnage cloisonné ont permis des améliorations remarquables des propriétés du sol, favorisant ainsi l'assimilation des éléments nutritifs nécessaires au développement de la plante. Les résultats ont montré des stabilités d'humidité dans les parcelles labourées. Le billonnage cloisonné et le travail minimum ont engendré les plus

bas taux d'humidité durant les deux années d'expérimentation. Cependant, durant les périodes de fortes pluies et avant le cloisonnement des billons, la présence de sillon entre deux billons consécutifs a favorisé l'évacuation des excès d'eau (CILSS, 2012) permettant ainsi le bon développement des plants. Par ailleurs, avec la raréfaction des pluies en fin de saison (octobre-novembre) dans la zone soudano-sahélienne, le cloisonnement des billons permet la conservation d'un minimum d'humidité jusqu'à la maturité des plants (CILSS, 2012). Ce qui justifierait les taux de chlorophylle plus élevés dans les parcelles ayant bénéficié du labour et du billonnage cloisonné comparativement au zaï manuel et au travail minimum du sol. Song et al. (2013) ont démontré que l'assimilation chlorophyllienne des plants de maïs était améliorée avec l'utilisation des billons cloisonnés en conditions de courte saison de pluie contrairement aux années de forte pluviométrie avec des excès d'humidité.

D'autres auteurs ont montré que la teneur en chlorophylle des plantes est corrélée à la quantité d'azote présente dans les organes de la plante (Alessena et al., 2015 ; Akhter et al., 2016 ; Ben Abdallah et al., 2016). Par ailleurs, la teneur en chlorophylle reflète la santé des plantes et est utilisée à cet effet comme un indicateur pour la détermination des quantités optimales des engrais et les périodes judicieuses de leur application tout en contribuant à minimiser les impacts négatifs sur l'environnement (Lafarge et Hammer, 2002). En outre, le système de culture (association du sorgho et du niébé) avec amendement du sol a contribué à favoriser le développement du sorgho (bonne santé des plants), cela se traduit par les teneurs relatives en chlorophylle qui varient en fonction des niveaux des systèmes de cultures avec amendement du sol. Les résultats ont montré que l'association du sorgho et du niébé avec des apports d'engrais minéraux et du compost en libérant beaucoup plus d'azote

pour la plante comme l'ont rapporté Bado (2002) et Halidou (2017), ce qui a permis une assimilation chlorophyllienne optimale.

Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que le zaï manuel suivi du labour ont permis d'avoir des humidités du sol significativement plus élevées que le travail minimum et le billonnage cloisonné. Par ailleurs, sur l'ensemble des deux années d'étude, les systèmes de culture associant le sorgho et le niébé dans les rapports d'une ligne de la céréale alternée d'une ligne de la légumineuse avec apport d'engrais minéraux plus du compost ont permis d'avoir des humidités du sol plus élevées. En outre, les taux de chlorophylle les plus élevés dans les feuilles de sorgho ont été enregistrés au stade montaison et au stade maturité dans les parcelles labourées et de billonnage cloisonné, quel que soit le système de culture avec amendement du sol appliqué. Au regard des résultats obtenus, le zaï manuel peut être recommandé pour l'amélioration du potentiel hydrique du sol en contexte de déficit pluviométrique. Par ailleurs, l'association de culture en combinaison avec le labour et la fertilisation organo-minérale pourrait optimiser les systèmes de production à base du sorgho et du niébé.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Tous les auteurs ont contribué à la réalisation de ce travail ; de la conception du protocole de l'essai à la rédaction du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Nous sommes reconnaissants à l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) du Burkina Faso et le Programme de Laboratoire d'Innovation et

d'Intensification Durable (accord de coopération n° AID-OAA-L-14-00006) (SIIL-Burkina) pour leur contribution financière à la réalisation de cette étude et leur soutien matériel et administratif dans la conduite de l'étude.

REFERENCES

- Akhter MM, Hossain A, Timsina J, Teixeira DSJA, Islam MS. 2016. Chlorophyll meter - a decision-making tool for nitrogen application in wheat under light soils. *Int. J. Plant Prod.*, **10**(3): 289-302. DOI: 10.22069/ijpp.2016.2898
- Alessana FS, Edna MBS, Matheus DCS, William PS, Tonny JADS, Lorraine DNF. 2015. Efficiency of portable chlorophyll meters in assessing the nutritional status of wheat plants. *Revi. Bras. de Eng. Agrícola Ambient*, **9**(12): 1148-1151. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1148-1151>
- Bado BV. 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université Laval, Québec, 166 p.
- Bationo A, Waswa BS. 2011. New Challenges and Opportunities for Integrated Soil Fertility Management in Africa. *Innovations as Key to the Green Revolution in Africa*, **3**(17). DOI: 10.1007/978-90-481-2543-2_1
- Ben Abdallah F, Philippe W, Goffart J-P. 2016. Utilisation de la fluorescence chlorophyllienne pour l'évaluation du statut azoté des cultures (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **20**(1): 83-93. DOI: 10.25518/1780 4507.12627
- 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* Moench) dans la région de tiaret Algérie. *Eur. Sci. J.*, **10**(3): 1857-7881. DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2014.v10n3p%25p>
- CILSS (Comité permanent Inter- États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel). 2012. Bonnes pratiques agro-sylvo-pastorales d'amélioration durable de la fertilité des sols au Burkina Faso. CILSS, Ouagadougou, 194 p.
- Commission de pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS). 1967. Classification des Sols. ENSA-GRIGNON, France, 87 p.
- Drouin S. 2007. Rôle des argiles dans la préservation et la fossilisation de la Matière Organique "pétrologène" Géochimie. Mémoire, Université d'Orléans, France. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00259467/>
- FAO. 2017. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2017. FAO, Suisse.
- FAO. 2022. Système mondial d'information et d'alerte rapide (SMIAR). Rapport de synthèse par pays de la FAO, Suisse. <https://www.fao.org/gIEWS/country-analysis/country>
- Grosbellet C. 2008. Evolution et effets sur la structuration du sol de la matière organique apportée en grande quantité. Rapport, Université d'Angers, France. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00487882/>
- Habiba K, Nasr Z, Khaldi A, Woo S-Y, Nouri M, Rejeb MN. 2012. Efficience d'utilisation de l'eau et de l'azote par les plants de chêne-liège (*Quercus suber* L.). *Integrated Protection in Oak Forests*, **76**: 35-42.
- Halidou Z. 2017. Contribution du niébé et des fumures organiques et minérales à la nutrition azotée et aux rendements du mil dans les systèmes de cultures en zone sahélo-soudanienne au Niger. Thèse de Doctorat en développement rural,

- Université Nazi BONI, Burkina Faso, 128 p.
- Hamouche F, Zentar R. 2018. Effects of Organic Matter on Physical Properties of Dredged Marine Sediments. *Wast. Biom. Valor.*, **11**: 389–401. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0387-6>
- Hien E, Masse D, Kaboré WT, Dugué P, Lepage M. 2011. Soil organic inputs and water conservation practices are the keys of the sustainable farming systems in the sub-sahelian zone of Burkina Faso. *Innovations as Key to the Green Revolution in Africa*, **121**. DOI 10.1007/978-90-481-2543-2_121
- Hien E, Kaboré WT, Masse D, Dugué P. 2012. *Apports Organiques et Pratiques de Conservation de l'Eau comme Clés de la Restauration de la Productivité des Sols Déggradés dans la Zone Semi-Aride du Burkina Faso*. IRD éditions : paris. DOI : <https://www.researchgate.net/profile/Patrick-Dugue>
- IFDC (International Fertilizer Development Center). 2018. Recommandations 2018 d'engrais pour l'Afrique de l'Ouest. IFDC, Burkina Faso, 42 p.
- Kabore Z, Kihindo AP, Bazie HR., Ouedraogo RF, Dianou D et Zombre G. 2018. Effet de l'inoculation de *Rhizobium vignae* sur la physiologie et l'agromorphologie de la variété NIIZWE de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) soumise à un stress hydrique aux stades végétatif et floraison. *Afr. Sci.*, **14**(1): 334 – 350.
- Kohio NE, Toure GA, Sedogo PM, Ambouta KJ-M. 2017. Contraintes à l'adoption des bonnes pratiques de gestion durable des terres dans les zones soudanaises et soudano-sahéliennes du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(6): 2982-2989. DOI: 10.4314/ijbcs.v11i6.34
- Lafarge TA. And Hammer GL. 2002. Predicting plant leaf area production. Shoot assimilate accumulation and partitioning, and leaf area ratio are stable for a widerange of sorghum population densities. *Field Crops Res.*, **77** : 137-151. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00085-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00085-0)
- Masclaux-Daubresse C, Daniel-Vedele FO, Dechorgnat J, Chardon F, Gaufichon L, Suzuki A. 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Ann. Bot.*, **105**(7): 1141–1157. DOI: 10.1093/aob/mcq028
- Mason SC, Ouattara K, Taonda SJB, Palé S, Sohero A, Kaboré D. 2015. Soil and cropping system research in semi-arid West Africa as related to the potential for conservation agriculture. *Int. J. Agri. Sustain.*, **13**, 120-134. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479703001261>
- Ouedraogo J, Serme I, Pouya MB, Sanon SB, Ouattara K, Lompo F. 2020. Amélioration de la productivité du sorgho par l'introduction d'options technologiques de gestion intégrée de la fertilité des sols en zone Nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **14**(9): 3262-3274. DOI: 10.4314/ijbcs.v14i9.23
- Palé S, Mason SC, Taonda SJB. 2009. Water and fertilizer influence on yield of grain sorghum varieties produced in Burkina Faso. *S. Afr. J. Plant Soil*, **26**: 91-97. DOI:10.1080/02571862.2009.10639939
- Pale S, Barro A, Koumbem M, Sere A, Traore H. 2021. Effets du travail du sol et de la fertilisation organo-minérale sur les rendements du mil en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **15**(2): 497-510. DOI: 10.4314/ijbcs.v15i2.10

- Pallo FJP, Sawadogo N, Zombre NP, Sedogo PM. 2009. Statut de la matière organique des sols de la zone nord soudanienne au Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **13**(1): 139-142.
- SAS Institute. 2010. SAS/STAT®, version 9.2. SAS Institute, Cary, North Carolina.
- Some D, Hien E, Assigbetse K, Drevon JJ, Masse D. 2015. Dynamique des compartiments du carbone et de l'azote dans le sol cultivé en niébé et sorgho dans le système zaï en zone Nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(2): 954-969 DOI: 10.4314/ijbcs.v9i2.32
- Song ZW, Guo JR, Ren J, Yan XG, Zheng CY, Deng AX, Zhang WJ. 2013. Effects of tillage patterns on photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of maize in rain fed area of Northeast China. *J. Appl. Ecol.*, **24**(7): 1900-1906.
- Tabo R, Bationo A, Gerard B, Ndjeunga J, Marchal D, Amadou B, Garba MA, Sogodogo D, Taonda JBS, Hassane O, Diallo MK, Koala S. 2007. Improving cereal productivity and farmers' income using a strategic application of fertilizers in West Africa. *J. Ecol.*, **42**(7): 190-196. DOI: 10.1007/978-1-4020-5760-1_18
- World Bank. 2021. Population growth (annual %) - sub-saharan Africa, Sub-Saharan Africa. World Bank, Suisse. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.OP.Growth?locations=AG-Z>.
- Zongo KF, Hien E, Mare BT, Guebre D. 2021. Performance de l'association mixte sorgho-niébé sur les productivités du sorgho et des sols en zone Soudano-Sahélienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **15**(3): 987-1005. DOI: 10.4314/ijbcs.v15i3.12
- Zougmore R, Kambou FN, Ouattara K, Guillobez S. 2000. Sorghum cowpea intercropping: an effective technique against runoff and soil erosion in the Sahel (Saria, Burkina Faso). *Arid Soil Res. Rehabil.*, **14**: 329-342. DOI: <https://doi.org/10.1080/08903060050136441>
- Zougmore R, Jalloh A, Tioro A. 2014. Climate smart soil water and nutrient management options in semiarid West Africa: a review of evidence and analysis of stone bunds and zaï techniques. *Agric. Food Secur.*, **3**(16): 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-16>