

Effet d'une rotation blé-riz de courte durée sur les propriétés physique et chimiques du sol et les rendements à l'Office du Niger au Mali

Sékou Sala Guindo*¹, Sekou Sacko², Souleymane Dambe², Oumarou Goita¹, Bandiougou Diawara¹, Hamara Dabo¹, Cheick Dembele²

¹ Institut d'Economie Rurale (IER), BP : 258.Rue Mohamed V, Tel : (+223) 20222606 / (+223) 20231905, Email : direction@ier.gouv.ml, Site web : www.ier.gouv.ml

² Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB) Hamdallaye ACI 2000, Rue 405, porte 359, tel (223) 20290407, Fax : 20290418, www.fst-usttb-edu.ml

* Adresse email du correspondant : sekousguindo@yahoo.fr, Tel : 76171119/65691698

RESUME : L'intensification de la riziculture à l'ON a entraîné la dégradation des sols par sodisation /salinisation. La rotation culturale blé-riz a été proposée comme une alternative à cette contrainte. Cependant l'effet de la rotation riz-blé sur les propriétés du sol, les rendements et la durabilité du système est mal connu au Mali. C'est dans ce cadre que des essais ont été conduits à la Station de Recherche de Kogoni pendant 03 ans. Les résultats des essais de monoculture du riz et du blé et de rotation blé-riz ont montré que les propriétés du sol ont évolué en fonction des systèmes de cultures et des types de fertilisation. Les parcelles avec et sans fertilisation minérale ont subi un changement de la structure du sol par l'augmentation du taux en sable et de limon de 1,4 à 52 %. Le taux de carbone dans le sol a diminué avec la monoculture du riz sauf dans les traitements avec la fertilisation organo-minérale. Il a par contre augmenté avec le blé et les parcelles de rotation blé-riz. La fertilisation organo-minérale a donné les meilleurs rendements de blé et de riz dans les parcelles de rotation.

Mots clés : rotation, monoculture, riz, blé, fertilisation

1. Introduction

Le blé (*Triticum sp*) et le riz (*Oryza sativa*) sont actuellement cultivés en rotation sur près de 26 000 000 ha en Asie du Sud et de l'Est sous diverses conditions climatiques et de sols (Verma et Pandey, 2013). Selon Bai et al.(2016), cette pratique permet de maintenir la fertilité, la structure du sol, lutter contre les mauvaises herbes et les maladies. Elle permet aussi des retours importants de résidus organiques pouvant maintenir des niveaux optimaux de matières organiques et améliorer les propriétés des sols (Shrestha et al. 2015). En Afrique, ce système de culture est surtout pratiqué dans la vallée du Nil en Egypte (Saied et al. 2017; Salama et al. 2017). Par contre au Mali, le blé et le riz sont cultivés sur des périmètres irrigués différents. Le blé est surtout cultivé dans les régions Nord du Mali sur environ 10 000 ha et de plus en plus dans la zone ON où 110 000 ha sont cultivés en riz irrigué avec maîtrise totale de l'eau (CPS, 2015).

A l'ON, l'intensification de la riziculture a entraîné la dégradation des sols par sodisation /salinisation avec comme conséquence la baisse de rendement (N'Diaye et Guindo, 1998). A cela s'ajoute les crises d'eaux pour irriguer les parcelles aussi bien en saison sèche que pendant la saison des pluies (Tangara, 2011) entraînant l'abandon de plusieurs

parcelles. A cause de ces contraintes, l'ON encourage les producteurs à pratiquer la rotation du riz avec des cultures moins consommatrices d'eau telle que les cultures maraîchères et le blé.

Cependant, peu d'études ont été menées sur cette pratique culturale au Mali, notamment son effet sur les propriétés du sol et la durabilité du système. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet de la rotation blé-riz sur les propriétés physiques et chimiques du sol et le rendement à l'ON au Mali.

2. Matériel et méthodes

Les variétés de blé Tétra (la plus cultivée au Mali) et de riz Saku (Was 49) en diffusion au Mali ont été utilisées comme matériel végétal dont les cycles sont respectivement de 90 et 100 jours. Le fumier des parcs de bovin, la paille de riz et de blé furent utilisés comme sources de matières organiques. Le GPS a été utilisé pour l'identification des points de prélèvements de sol dans les périmètres pour la géolocalisation.

Le site d'étude était la Station de Recherche Agronomique (SRA) de Kogoni, situé dans la partie septentrionale de la zone ON (14 43'20,2" de latitude nord et de 6 01'45,8" de longitude ouest). Le climat est de type sahélien caractérisé par une alternance de saison sèche et de saison pluvieuse

avec une forte variation de la température et de la pluviométrie. La moyenne des paramètres climatiques durant la période des essais (2014-2016) sont illustrés par les Figure 1a et b. La Figure 1a est la période culturale du riz de saison d'hivernage et la Figure 1b correspond à celle du blé.

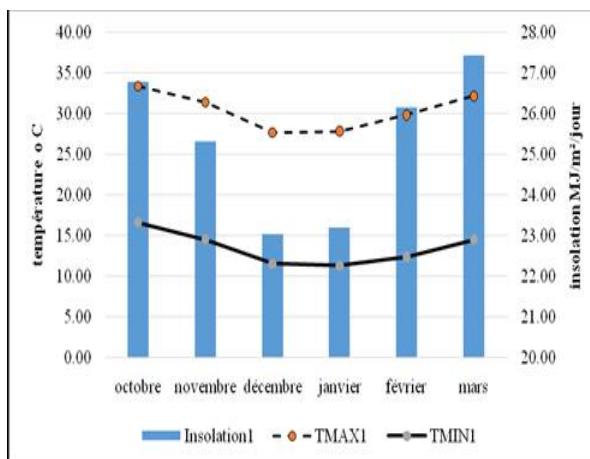
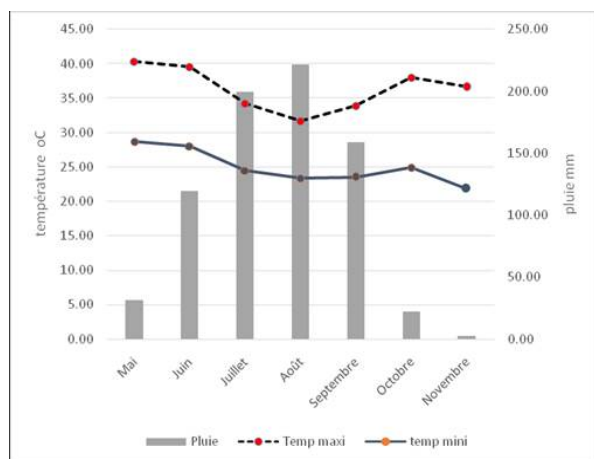


Figure 1. Evolution des paramètres pendant la saison d'hivernage et sèche à Kogoni (source : NASA, (« *Climatology Resource for Agroclimatology* » s. d.), moyenne 2014-2016)

Avant la mise en place et après la récolte des essais, un échantillonnage de sol a été effectué. Un échantillon composite de sol a été aussi constitué à partir de 05 points de prélèvements à la profondeur 0-20 cm dans chaque parcelle élémentaire pour analyse.

L'indice de dégradation des sols ou la sensibilité d'une terre (S_t) à la déstructuration a été estimé en utilisant la formule : $S_t = \frac{(M.O)\%}{(A+Lf)} \times 100$ (Pieri, 1989)

M.O = est la teneur du sol en matière organique
A et Lf = taux d'argile et de limons fins.

Les échantillons de tiges et grains ont été prélevés à la récolte pour analyse au laboratoire.

Trois types d'essais (systèmes de culture) séparés ont été installés (monoculture du riz, monoculture du blé et rotation blé-riz). Le dispositif expérimental était le Bloc de Fischer en 04 répétitions pour chaque essai. Trois types de fertilisations avec des doses différentes ont été comparés en fonction des cultures. Les essais sur le riz ont été installés au mois de juin de chaque année par contre pour le blé ils ont été installés en novembre. Les essais ont duré 03 ans. Le semis a été effectué en ligne continue à la dose de 120 kg/ha pour le blé. Le riz a été repiqué en ligne à 21 jours après semis en pépinière. La superficie des parcelles élémentaires était de 25 m² (5x5) séparées les unes des autres par des allées de 50 cm. La

Le sol sur lequel les essais ont été implantés est de type «Danga», qui était en jachère pendant 03 ans. Ce sont des sols beiges, de texture sablo-limoneuse, peu évolués d'apport alluvial assimilés à des sols ferrugineux tropicaux appauvris et tronqués jusqu'à l'horizon B. Ces types de sols peuvent présenter des caractéristiques variables à l'intérieur de la même unité.

fertilisation utilisée pour les différentes cultures était :

Essai de fertilisation blé :

- T0 : sans apport d'engrais + incorporation dans le sol de la paille produite
- T1 : 70 N+44P + 52K + incorporation dans le sol de la paille produite
- T2 : 47 N+44P + 10 tonne de fumier de parc de bovin + incorporation dans le sol de la paille produite

Essai de fertilisation riz :

- T0 : sans apport d'engrais + incorporation dans le sol de la paille produite
- T1 : 103N+44 P+52K + incorporation dans le sol de la paille produite
- T2 : 70 N+ 44 P+5 t de fumier de parc de bovin + incorporation dans le sol de la paille produite.

Le fumier et le DAP ont été apportés après le labour dans les parcelles comme engrais de fonds. L'urée a été apportée en 02 fractions. Le premier apport a été effectué au tallage et le second à l'initiation paniculaire. La paille produite par culture et par parcelle élémentaire a été incorporée dans le sol lors des travaux de labour de chaque parcelle élémentaire.

Les échantillons de sols ont été séchés à la température ambiante, avant d'être broyés et tamisés avec une sasse de 2 mm de diamètre avant

analyse. Les principaux paramètres déterminés ont été : la granulométrie, le pH (par la méthode potentiométrique dans une suspension de terre), le carbone organique (selon la méthode Anne modifiée), l'azote (N) total (selon Kjeldahl), le phosphore assimilable (selon Bray II), la capacité d'échange cationique (CEC) et les bases échangeables.

Les paramètres agronomiques (cycle et rendement en kg) de chaque culture en fonction des différents

traitements ont été évalués. Le taux de recouvrement des engrais a été calculé selon la formule :

$$\frac{\text{rendement parcelle avec engrais} - \text{rendement parcelle sans engrais}}{\text{quantité engrais apporté}}$$

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) pour la séparation des moyennes avec le logiciel d'analyse Gentstat 18 th. Le seuil de probabilité a été défini à $P < 0,05$.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques physiques et chimiques des sols

Les résultats d'analyse des sols après 03 années de culture en fonction des différents systèmes culturaux sont consignés dans le tableau 1. Les sols étaient de nature limono-sableuse avec des teneurs faibles en argile. L'indice de dégradation des sols calculé est en général inférieur à 9. La qualité physique des sols a changé en fonction des traitements. Le taux d'argile a varié de 41,85 à 81,81 % et pour le sable de 3 à 17 %. Les parcelles avec la fertilisation minérale et sans fertilisation ont eu une variation du taux en sable et en limon de 1,4 à 52 % (Tableau 1). Le pH avant et après la mise en place des essais était bon dans l'ensemble pour la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes ($6,3 < \text{pH} < 7,1$). Il a cependant légèrement diminué en monoculture riz et blé et a par contre légèrement augmenté dans le système de rotation culturale (Tableau 1). La teneur en carbone (C) a

évolué en fonction des systèmes de culture et des types de fertilisation. En monoculture riz, la teneur en C a diminué avec les traitements sans fertilisation et la fertilisation minérale. Par contre avec les traitements sous fertilisation organo-minérale, la teneur en C a augmenté (Tableau 1). La monoculture du blé et la rotation blé-riz ont entraîné une augmentation de la teneur en C dans le sol sauf pour le traitement sans apport de fertilisants. Au cours des 03 années de culture la teneur en N du sol a légèrement augmenté dans le traitement avec fertilisation organo-minérale (T2) pour la monoculture riz (Tableau 1), et diminué au niveau des parcelles de rotation blé-riz (tableau 1) et variable d'un traitement à un autre dans le cadre de la monoculture blé (Tableau 1). Quant au phosphore (P) assimilable, les teneurs ont été évaluées par rapport au seuil critique de 7 mg / kg. Ils ont été en général faible.

Tableau 1. Caractéristiques des sols avant et après la mise en place des essais de monoculture riz, blé et rotation blé - riz en fonction des types de fertilisation (2013 et 2016)

Paramètres	monoculture riz				monoculture blé				rotation blé-riz			
	Sol (2013)	Sol SF (2016)	Sol FM (2016)	Sol FOM (2016)	Sol (2013)	Sol SF (2016)	Sol FM (2016)	Sol FOM (2016)	Sol (2013)	Sol SF (2016)	Sol FM (2016)	Sol FOM (2016)
pH eau	7,0	6,8	6,6	7,0	7,1	6,7	6,6	6,5	6,3	6,8	6,8	6,7
C %	0,95	0,81	0,92	1,05	0,75	0,92	1,11	1,21	0,66	0,55	0,76	0,79
N %	0,04	0,04	0,03	0,06	0,04	0,04	0,05	0,02	0,05	0,02	0,04	0,04
P.assi.	10,84	4,74	4,74	15,27	8,41	3,07	4,94	10,13	8,46	6,4	4,74	10,42
CEC	20,06	18,24	18,23	17,88	21,65	16,71	17,14	17,94	23,4	19,38	18,44	19,87
Ca	11,86	10,78	10,68	10,98	12,77	9,8	10,00	10,29	14,06	11,47	11,77	11,76
Mg	5,90	5,38	5,33	5,47	6,28	4,88	4,93	5,14	7,02	5,73	5,58	5,86
K	0,48	0,34	0,40	0,67	0,52	0,37	0,45	0,69	0,65	0,36	0,43	0,59
Na	0,32	0,24	0,32	0,32	0,48	0,16	0,24	0,32	0,24	0,32	0,16	0,16
Sable %	60,00	44,00	70,00	55,00	70,00	40,00	71,00	53,00	70,00	71,00	42,00	67,00
Limon %	30,00	43,00	26,00	37,00	23,00	48,00	20,00	34,00	28,00	27,00	50,00	22,00
Argile %	10,00	13,00	4,00	8,00	7,00	12,00	9,00	13,00	2,00	2,00	8,00	11,00

SF: sans fertilisation, FM : fertilisation minérale, FOM : fertilisation organo-minérale

La CEC est au-dessus du seuil critique (12 meq / 100g). Cependant la CEC et les bases échangées ont en général diminué en fonction des systèmes de cultures à l'exception du potassium (K) assimilable

en monoculture riz et blé. Le Seuil de saturation en Na pour les sols sodiques a montré que les sols sont faiblement sodique (15-30%) à modérément sodique (30-50 %).

3.2. Effet des types de fertilisation des systèmes de culture sur le cycle et le rendement

Les résultats ont montré des différences significatives à hautement significatives entre les types de fertilisation et les systèmes de cultures ($0,007 < P < 1$) pour le cycle et le rendement (Tableau 2). Les tableaux 3 et 4 illustrent l'interaction entre les systèmes de culture et les types de fertilisation sur le cycle semis maturité et le rendement grain. En fonction des cycles des

systèmes de cultures 02 groupes différents se sont distingués (Tableau 3). Les systèmes de culture à base de riz sont homogènes et les systèmes à base de blé le sont également. Les systèmes riz ont des cycles semis maturité supérieurs aux systèmes à base de blé. Les résultats montrent que le temps de repos du sol sans culture varie en fonction des systèmes de cultures. Cette période sans culture est de 184 jours en monoculture blé, 137 jours en monoculture riz, et 52 jours en rotation blé-riz ou riz-blé (Tableau 3).

Tableau 2. Résultats d'analyse du cycle semis maturité et du rendement en fonction des systèmes de cultures

Paramètres	Cycle semis-maturité	Rendement grain kg/ha
Systèmes de cultures		
Monoculture riz	128,00 b	6022 b
Monoculture blé	81,00 c	2501 c
Blé en rotation avec riz	82,00 c	2572 c
Riz en rotation avec blé	131,00 a	6467 a
Type de fertilisation		
Sans fertilisation (T0)	101,00 a	3151 c
Minérale (T1)	101,00 a	4135 b
Organo-minérale (T2)	101,00 a	4773 a
F. probabilité		
Systèmes de cultures	< 001	< 001
Type de fertilisation	0,99	< 001
Systèmes de cultures* type de fertilisation	1,00	0,007

Les chiffres suivis par les mêmes lettres et dans la même colonne sont statistiquement équivalents

Tableau 3. Cycle semis maturité des systèmes de culture en fonction des types de fertilisation (nombre de jours)

Systèmes de cultures	Types de fertilisation		
	Sans fertilisation (T0)	Minérale (T1)	Organominérale(T2)
Monoculture riz	128,00 a	128,00 a	128,00 a
Monoculture blé	81,00 b	81,00 b	81,00 b
Blé en rotation avec riz	82,00 b	82,00 b	82,00 b
Riz en rotation avec blé	130,00 a	131,00 a	131,00 a

Les chiffres suivis par les mêmes lettres sont statistiquement équivalents

Les rendements obtenus ont également varié en fonction des systèmes de cultures et des types de fertilisation (Tableau 4). Les rendements obtenus avec le riz en monoculture ou en rotation est nettement supérieur à ceux du blé. Les fertilisations organo-minérales ont donné des rendements supérieurs aux fertilisations minérales quel que soit le système de culture. Les rendements obtenus avec le riz en rotation avec le blé ou le blé en rotation avec le riz ont été supérieurs à la monoculture du riz ou du blé (Tableau 6). Le taux d'augmentation des rendements de la rotation du riz avec le blé

comparé à la monoculture du riz a été de 8,15 % pour le T0 ; 7,72 % pour le T1 et 5,23 % pour le T2. En ce qui concerne le blé en rotation avec le riz comparé à la monoculture du blé, ce taux était de 2,77 % pour le T0, 10,71 % pour le T1 et 4,15 % pour le T2. Ces résultats ont montré que les rotations augmentent le rendement.

En ce qui concerne l'efficacité d'utilisation des engrais, il ressort des résultats que la riziculture irriguée a mieux valorisé les engrais par rapport à la culture du blé. Cette efficacité a varié de 7,61 % à 12,68 % pour le riz et 2,71 % à 4,70 % pour le blé.

Tableau 4. Rendement grain kg/ha des systèmes de culture et des types de fertilisation

Systèmes de cultures	Types de fertilisation		
	Sans fertilisation (T0)	Minérale (T1)	Organo-minérale(T2)
Monoculture riz	4688 c	6243 b	7136 a
Monoculture blé	1960 f	2410 ef	3002 de
Blé en rotation avec riz	2016 f	2699 de	3132 d
Riz en rotation avec blé	5104 c	6766 ab	7530 a

Les chiffres suivis par les mêmes lettres sont statistiquement équivalents

L'évolution des rendements au cours des 03 ans de suivi des essais figurent dans les tableaux 5 et 6. Les rendements croient plus vite en rotation par rapport à la monoculture du blé avec la fertilisation organo-minérale (Tableau 5). Quant à la riziculture

(Tableau 6), on remarque que les rendements ont baissé à partir de la 2^{ème} année dans les parcelles sans fertilisation (T0) et au niveau des parcelles avec la fertilisation minérale en monoculture riz (T1).

Tableau 5. Rendement du blé (kg/ha) en monoculture et en rotation avec le riz

Traitements	2014		2015		2016	
	Monoculture	Rotation	Monoculture	Rotation	Monoculture	Rotation
Sans-fertilisation (T0)	1908	1194	2273	1534	2603	1631
Fert.minérale (T1)	2041	1960	2418	2523	2698	3367
Fert-organo-minérale (T2)	3027	2913	3046	3149	3135	3740

Tableau 6. Rendement du riz (kg/ha) en monoculture et en rotation avec le blé

Traitements	2014		2015		2016	
	Monoculture	Rotation	Monoculture	Rotation	Monoculture	Rotation
Sans fertilisation (T0)	4499	5454	4877	5966	3132	4700
Fert. minérale (T1)	6727	6696	6060	6330	6060	7312
Fert.-organominérale (T2)	6746	6982	7525	7390	7523	8261

4. Discussion

4.1. Caractéristiques physiques et chimiques des sols

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que les sols sont de texture limono - sableuse avec des teneurs faibles en argile (Tableau 1). Ces types de sols sont sensibles à la dégradation car l'indice de dégradation calculé a été inférieur à 9 (Pieri, 1989). Selon Peltre et al.(2016) ; la monoculture du blé avec fertilisation minérale et l'exportation de la paille produite n'est pas conseillée pour ces types de sols dont la teneur en carbone est au-dessous de 0,9 %. Les résultats obtenus ont montré que les caractéristiques physiques et chimiques des sols ont évolué (Tableau1). Le travail du sol par le labour (mélange des horizons) effectué chaque année sur les parcelles avec la fertilisation organo-minérale ont eu un impact positif sur la qualité physique des sols en améliorant le taux d'argile qui a varié de 41,85 à 81,81 %.(Tableau 1). Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Pires et al. (2017).

Des résultats similaires sur des essais effectués en Ethiopie ont montré que les apports prolongés de la paille produite permet d'améliorer la qualité physique et la productivité des sols(Chen et al.2017; Mi et al.2016). Il a été observé aussi une augmentation du C. Des essais de rotation riz-blé 04 ans de différentes sources de matières organiques sur le C organique du sol ont révélé que la fertilisation NPK + le fumier a été le plus efficient pour améliorer la séquestration du C qui peut varier de 13-16 % (Chen et al. 2017).

Par contre la fertilisation minérale et sans fertilisation ont entraîné un changement de la structure par l'augmentation du taux en sable et limon de 3 à 17 % (Tableau 1). Cela confirment les essais de rotation blé-riz effectués par Chaudhary et al. (2015) au Punjab en Inde ; qui ont montré que la fertilisation minérale NPK ou associée à la fumure organique décroît la densité apparente de l'horizon de surface de 7,3 à 16,6 %, améliore la porosité de

11,7 à 26,2 %. Elle augmente aussi la fraction stable du C organique dans le sol (7-29 %) qui dépend de la nature de la fumure organique (Das et al. 2014a, 2014b).

Dans les parcelles de rotation, il y a eu une amélioration des caractéristiques du sol. Ce système de culture améliore la capacité de rétention de l'eau et le carbone organique du sol (Bationo et al. 2007; Yadav et al. 2016).

Le pH a généralement baissé en fonction des systèmes de cultures et des types de fertilisation. Avec l'inondation et les apports d'azote (organique ou minéral), le pH baisse. La fertilisation azotée augmente aussi la teneur en azote organique du sol. Cependant une fertilisation azotée prolongée diminue la teneur en C organique (Liu et al. 2016).

Dans le système de monoculture du riz, la teneur en C a diminué avec les traitements sans fertilisation et la fertilisation minérale, par contre dans les traitements sous fertilisation organo-minérale, la teneur en C a augmenté. Il a été noté une augmentation de la teneur en C dans la rotation blé-riz sauf pour le traitement sans apport de fertilisants. Debiase et al. (2016) ont montré que l'application de la fumure organique améliore la teneur en P assimilable, la teneur en C et la disponibilité en N par rapport à la fertilisation minérale.

Les teneurs en N total a peu varié au cours de la période des essais. Or l'azote est le facteur limitant la productivité des sols en Afrique (Naudin et al. 2016). Les résultats ont également montré qu'avec la monoculture du blé, on assiste à une augmentation de la teneur en C dans le sol pour l'ensemble des traitements. Ces résultats concordent également avec ceux obtenus par Zhang et al. (2016) qui ont trouvé qu'avec la monoculture du blé, la teneur en matière organique augmente dans le sol et il existe une corrélation hautement positive entre la teneur en matière organique du sol et l'azote total et une corrélation négative avec la densité du sol.

En ce qui concerne le P, les résultats d'analyses ont montré que les sols sont relativement riches en P assimilable et la teneur en P a surtout augmenté dans les parcelles avec fertilisation organo-minérale, par contre avec les parcelles sans ou avec fertilisation minérale, on a remarqué une diminution du P. assimilable. Selon Dobermann et al. (2000), les sols tropicaux sous irrigation sont en général riches en oxydes de fer ou d'aluminium. Ces oxydes forment un complexe avec le P, et fixent le P qui n'est plus disponible, ce qui explique en partie la diminution du P surtout pour les parcelles sous riziculture. L'augmentation du P assimilable dans les parcelles avec apport de fumier peut aussi s'expliquer par les apports de fumier dont la décomposition plus rapide contribue à l'augmentation de la teneur en P assimilable par

rapport à la paille produite seule sur les parcelles de fertilisation minérale ou sans fertilisation.

Par rapport au K, la même tendance est observée comme pour le P en fonction des systèmes de cultures et des types de fertilisation. Il a été noté une baisse de K assimilable dans les parcelles sans fertilisation ou avec fertilisation minérale et une augmentation du K dans les systèmes avec fertilisation organo-minérale.

4.2. Variation du cycle semis épiaison et du rendement en fonction des systèmes de cultures et des types de fertilisation

Les cycles semis maturité ont été identiques en fonction des systèmes de cultures (Tableau 3). Les systèmes riz (monoculture et rotation) ont des cycles identiques (128-131) ainsi que les systèmes à base de blé (monoculture et rotation) dont le cycle étaient en moyenne de 80 jours. Cette différence de cycle semis-maturité entre le blé et le riz est liée aux caractéristiques des variétés de riz et de blé dont les cycles sont différents.

Les rendements obtenus sont bons dans l'ensemble avec les différents systèmes et les types de fertilisation (Tableau 5 et 6). Les rendements obtenus sont liés aux caractéristiques climatiques du milieu notamment la température (Guoju et al. 2016) favorable au développement de la culture du riz (saison des pluies) et du blé (saison sèche froide). Selon Macauley et Ramadjita (2015) ; les données de rendements obtenus dans les stations expérimentales en Afrique et les modèles de culture indiquent un potentiel de rendement très élevé, parmi les plus élevés dans le monde. Des simulations effectuées sur les rendements du blé de 2011-2013 par Mann et Warner (2017) en Ethiopie ont montré aussi que ces rendements sont liés aux climats et aux pratiques culturales. La paille produite dans les parcelles a été incorporée dans le sol, or l'incorporation des résidus de récolte restaure et améliore la productivité surtout pour les sols dégradés (Araya et al. 2016) et il existe une corrélation entre l'azote organique et le rendement (Liu et al., 2016).

Les parcelles avec la fertilisation organo-minérale ont donné les rendements supérieurs aux parcelles avec la fertilisation minérale quel que soit le système de culture. L'efficacité d'utilisation des engrais a été très faible. Les éléments nutritifs sont susceptibles d'exercer les uns sur les autres des actions qui aboutissent soit à stimuler soit à inhiber leur absorption par les plantes (Diallo, 2007). Ces interactions peuvent être de synergie ou d'antagonisme et sont responsables de l'efficacité d'utilisation des éléments minéraux par les plantes (Malvi, 2011). Les rendements obtenus avec le riz en rotation avec le blé ou le blé en rotation avec le riz ont donné des rendements supérieurs à ceux de la monoculture du riz ou du blé. Les taux d'augmentation des rendements varient de 5,23 à

8,15 % pour le riz et de 2,77 à 10,71 % pour le blé. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par Ghimire *et al.*(2016) qui ont trouvé que l'effet de la fertilisation NPK ou NPK + fumure sur le rendement est plus élevé sur la rotation riz-riz que sur le riz-blé. Aussi, différents systèmes de rotation effectués par Benaragama *et al.*(2016) à Saskatchewan au Canada et par Linh *et al.*(2015) dans le delta du Mekong au Vietnam ont montré aussi que la rotation affecte significativement le rendement. Les stratégies de fertilisation sont donc importantes pour augmenter la production et la productivité. Cela confirme les simulations effectuées sur les données des rotations riz-blé en utilisant «Production System Simulator (APSIM) par Bai *et al.* (2016); Singh *et al.* (2014) qui ont montré que les stratégies de fertilisation contribuent de 2,3 à 22,2 % au changement des rendements.

5. Conclusion

La rotation blé-riz a montré que le labour et les travaux d'entretiens qui font mélanger les horizons,

associés à la fertilisation organo-minérale améliorent la qualité physique et chimique des sols par rapport à la monoculture du riz ou du blé. Les systèmes à base de blé améliorent le statut organique du sol par rapport aux systèmes à base de riz. Les meilleurs rendements avec le riz ou le blé sont obtenus dans les rotations avec la fertilisation organo-minérale. L'apport de fertilisants est indispensable pour améliorer la disponibilité des éléments minéraux pour les plantes même si la paille produite est incorporée dans le sol dans le cadre de la rotation riz-blé au Mali. L'introduction du blé en rotation avec le riz ou le riz en rotation avec le blé est une des stratégies pour l'augmentation de la production et de la productivité pour une meilleure valorisation des périmètres irrigués à base de riz ou de blé. Cependant, cette intégration doit tenir compte des caractéristiques des sols, du cycle des variétés qui se succèdent et surtout des types de fertilisation pour une gestion durable de la production du riz et du blé.

REFERENCES

- [1] Araya T, Jan N, Bram G, Jozef D, Rolf S, Hans B, Kindeya G, et Wim M. C. 2016. Seven Years Resource-Conserving Agriculture Effect on Soil Quality and Crop Productivity in the Ethiopian Drylands. *Soil and Tillage Research* 163 (novembre): 99- 109.
- [2] Bai H, Fulu T, Dengpan X, Fengshan L, et He Z. 2016. Attribution of Yield Change for Rice-Wheat Rotation System in China to Climate Change, Cultivars and Agronomic Management in the Past Three Decades. *Climatic Change* 135 (3- 4): 539- 553.
- [3] Bationo A, Job K, Bernard V, Boaz W, et Joseph K. 2007. Soil Organic Carbon Dynamics, Functions and Management in West African Agro-Ecosystems. *Agricultural Systems* 94 (1): 13- 25.
- [4] Benaragama D, Steven J. S, Bruce D. G, Stu A. B, Reynold L, Eric N. J, Robert P. Chaudhary V. P., B. Gangwar, et Shikha G. 2015. Effect of Long-Term Conservation Tillage on Soil Physical Properties and Soil Health under Rice-Wheat Cropping System in Sub Tropical India. *Agricultural mechanization in Asia, Africa, and Latin America* 46 (2): 62.
- [5] Chen Z, Huoyan W, Xiaowei L, Xinlin Z, Dianjun Lu, Jianmin Z, et Changzhou Li. 2017. Changes in Soil Microbial Community and Organic Carbon Fractions under Short-Term Straw Return in a Rice-wheat Cropping System. *Soil and Tillage Research* 165 (janvier): 121- 127.
- [6] Climatology Resource for Agroclimatology ». s.d. Consulté le 2 décembre 2016. <https://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/agro.cgi?email=agroclim@larc.nasa.gov>.
- [7] CPS, SDR. 2015. Annuaire statistique /Secteur Développement Rural, Mali. Bamako-Mali.
- [8] Das B, Debashis C, Vinod K. S, Pramila A, Ravender S, et Brahm S. D. 2014. Effect of Organic Inputs on Strength and Stability of Soil Aggregates under Rice-Wheat Rotation. *International Agrophysics* 28 (2).
- [9] Das B, Debashis C, V.K. Singh, P. Aggarwal, R. Singh, B.S. Dwivedi, et R.P. Mishra. 2014. Effect of Integrated Nutrient Management Practice on Soil Aggregate Properties, Its Stability and Aggregate-Associated Carbon Content in an Intensive Rice-wheat System. *Soil and Tillage Research* 136 (mars): 9- 18.
- [10] Debiase G., F. Montemurro, A. Fiore, C. Rotolo, K. Farrag, A. Miccolis, et G. Brunetti. 2016. Organic Amendment and Minimum Tillage in Winter Wheat Grown in Mediterranean Conditions: Effects on Yield Performance, Soil Fertility and Environmental Impact. *European Journal of Agronomy* 75 (avril): 149- 157.

- [11] Diallo Adama. 2007. Etude de la teneur en zinc et en fer des sols agricoles de cinq zones de l'Office du Niger au Mali. USTTB-Bamako.
- [12] Dobermann, A., K. G. Cassman, PC Sta Cruz, M. A. Adviento, et M. F. Pampolino. 1996. Fertilizer inputs, nutrient balance, and soil nutrient-supplying power in intensive, irrigated rice systems. II: Effective soil K-supplying capacity. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46 (1): 11–21.
- [13] Dobermann A, Thomas F. 2000. *Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management*. Singapore; Makati City Philippines: Potash & Phosphate Institute, East & Southeast Asia Programs ; IRRI.
- [14] Ghimire R, Sushil L, Bharat S. A, Prakriti B, et Upendra M. S. 2016. Tillage, crop residue, and nutrient management effects on soil organic carbon sequestration in rice-based cropping systems: A review ». [https:// www. researchgate.net](https://www.researchgate.net)
- [15] Gómez-Rey, M. X., García-Marco S., et González-Prieto S. J. 2014. Soil P and Cation Availability and Crop Uptake in a Forage Rotation under Conventional and Reduced Tillage. *Soil Use and Management* 30 (4): 445- 453.
- [16] Guoju X, Zhang Q, Zhang F, Ma F, Wang J, Huang J, Luo C, He X, et Qiu Z. 2016. Warming Influences the Yield and Water Use Efficiency of Winter Wheat in the Semiarid Regions of Northwest China. *Field Crops Research* 199 (décembre): 129- 135.
- [17] Linh T. B., Sleutel S., Elsacker S. V., Guong V. T., L. V. Khoa, et Cornelis W. M. 2015. Inclusion of Upland Crops in Rice-Based Rotations Affects Chemical Properties of Clay Soil. Édité par Michael Goss. *Soil Use and Management* 31 (2): 313- 320.
- [18] Liu J, Jian D, Zhaohui W, et Bingnian Z. 2016. Effects of Fallow or Planting Wheat (*Triticum Aestivum* L.) and Fertilizing P or Fertilizing P and N Practices on Soil Carbon and Nitrogen in a Low-Organic-Matter Soil. *Soil Science and Plant Nutrition* 62 (3): 263- 270.
- [19] Macauley H, et Tabo R. 2015. *Feeding Africa : an action plan for african Agricultural Transformation*.
- [20] Malvi U.R. 2011. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 24 (1).
- [21] Mann M.L., et James M. W. 2017. Ethiopian Wheat Yield and Yield Gap Estimation: A Spatially Explicit Small Area Integrated Data Approach. *Field Crops Research* 201.
- [22] Mi W, Lianghuan W, Philip C. B , Yanling L, Xuan Z, et Xin Y. 2016. Changes in Soil Organic Carbon Fractions under Integrated Management Systems in a Low-Productivity Paddy Soil given Different Organic Amendments and Chemical Fertilizers. *Soil and Tillage Research* 163 (novembre): 64- 70.
- [23] Mishra G, et Kushwaha H. S. 2016. Winter wheat yield and soil physical properties responses to different tillage and irrigation. *European Journal of Biological Research* 6 (1): 56–63.
- [24] Naudin K., P. Y. Le Gal, Ranaivoson L., et Scopel E.s.d. *Accompagner l'innovation en agriculture de conservation: quels apports des agronomes du système de culture? » Consulté le 26 novembre 2016. <https://www.researchgate.net>*
- [25] N'Diaye M.K, et Guindo D. 1998. Evolution des sols irrigués de la vallée du Niger (Mali) : Sodisation et alcalinisation sous riziculture. 5,4. *Étude Gest. Sols. ADRAO*.
- [26] Peltre. C., M. Nielsen, B.T. Christensen, E.M. Hansen, I.K. Thomsen, et S. Bruun. 2016. Straw Export in Continuous Winter Wheat and the Ability of Oil Radish Catch Crops and Early Sowing of Wheat to Offset Soil C and N Losses: A Simulation Study. *Agricultural Systems* 143 (mars): 195- 202.
- [27] Pieri .C. 1989. *Fertilité des terres de savanes, bilan de trente de recherche et de développement agricoles au sud du sahara*.
- [28] Pires L.F., Jaqueline A.R. B, Jadir A. R, Miguel C, Richard J. H, Sabrina P, et Waldir L. R. 2017. Soil Structure Changes Induced by Tillage Systems. *Soil and Tillage Research* 165 (janvier): 66- 79.
- [29] Saied M, Gamal E, Nasser T, et Serry El B. 2017. *On- Farm Soil Management Practices for Improving Some Soil*

- Properties and Productivity of Some Field Crops under Salt Affected Soils at North Delta, Egypt. *Egyptian Journal of Soil Science*
- [30] Salama F.M., Monier M. Abd El-G, Noha A. El-T, Ahmed A, et Heba S. A. 2017. Correlations between Soil Variables and Weed Communities in Major Crops of the Desert Reclaimed Lands in Southern Egypt. *Rendiconti Lincei* 28 (2): 363- 378.
- [31] Shrestha B. M., B. R. Singh, C. Forte, et G. Certini. 2015. Long-Term Effects of Tillage, Nutrient Application and Crop Rotation on Soil Organic Matter Quality Assessed by NMR Spectroscopy. Édité par Amarilis de Varennes. *Soil Use and Management* 31 (3): 358- 366.
- [32] Singh V.K., Brahma S. Dwivedi, K.N. Tiwari, Kaushik M, Meenu R, Susheel K. S, et Jagadish T. 2014. Optimizing Nutrient Management Strategies for Rice–wheat System in the Indo-Gangetic Plains of India and Adjacent Region for Higher Productivity, Nutrient Use Efficiency and Profits. *Field Crops Research* 164 (août): 30- 44.
- [33] Tangara B. 2011. Conséquences du développement des cultures de contre-saison sur l'irrigation et la dynamique de la nappe phréatique à l'Office du Niger (Mali). Université de Bamako. Thèse de Doctorat. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00862014/>.
- [34] Verma N K, et Binod K P. 2013. Effect of varying rice residue management practices on growth and yield of wheat and soil organic carbon in rice-wheat sequence. *GJSFR-D: Agriculture and Veterinary* 13 (3).
- [35] Yadav P. K., Anand P. S, Raha P., et Singh I. S. 2016. Integrated nutrient management of wheat under reduced tillage in rice-wheat cropping system and soil properties. *African Journal of Agricultural Science and Technology (AJAST)* 4 (4): 677–682.
- [36] Yang H, Mingmin X, Roger T K, Qian L, Yajun D, Ling L, et Xinmin B. 2016. Effects of Ditch-Buried Straw Return on Water Percolation, Nitrogen Leaching and Crop Yields in a Rice-Wheat Rotation System: Ditch-Buried Straw
- Return Affects Nitrogen Leaching. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96 (4): 1141- 1149.
- [37] Zentner et al. 2016. Long-Term Weed Dynamics and Crop Yields under Diverse Crop Rotations in Organic and Conventional Cropping Systems in the Canadian Prairies. *Field Crops Research* 196 (septembre): 357- 367.
- [38] Zhang Z, Hongjun Q, Allen D. M, Jin H, Hongwen L, Qingjie W, et Zhanyuan L. 2016. Effect of Conservation Farming Practices on Soil Organic Matter and Stratification in a Mono-Cropping System of Northern China. *Soil and Tillage Research* 156 (mars): 173- 181.