

Réponse du sorgho aux placements profonds de différentes doses d'urée dans le système de culture de décrue à Yélimané, Mali

B. Traore^{1*}, K. Traore², A.B. Jens³, A. Coulibaly² & M. Famanta⁴

Keywords: Sorghum- Flood recession culture- Placement mode- Urea- Yélimané district- Mali

Résumé

Afin d'identifier les meilleures modalités de levée de la carence en azote enregistrée dans le système de culture de décrue du sorgho au niveau du cercle de Yélimané, un essai factoriel comparant l'effet de deux modes de placement (15 et 20 cm de profondeur) et de cinq doses d'urée (0, 10, 20, 30 et 40 kg.ha⁻¹) a été implanté en blocs dispersés en 2014 et 2015. Les résultats ont montré que les rendements des modes de placement étaient statistiquement équivalents tandis qu'il y avait une différence significative entre les rendements des années et entre les rendements des doses d'urée. Ces rendements ont augmenté linéairement en fonction de la dose d'urée appliquée. Avec la dose d'urée la plus élevée (40 kg/ha), le sorgho a produit 1.792 kg de grain.ha⁻¹ et 4.552 kg de paille.ha⁻¹. Les rendements du témoin étaient de 959 kg de grain et 3069 kg de paille/ha. La dose de 10 kg d'urée.ha⁻¹ a donné le meilleur bénéfice brut de 3.492 CFA.kg⁻¹ d'engrais, la meilleure utilisation efficiente de l'engrais de 31,6 et le plus grand rapport valeur sur coût de 12,6.

Summary

Sorghum Response to Deep Placement of Different Urea Doses in the Flood Recession Cropping System in Yélimané, Mali

In order to identify the best ways of lifting nitrogen deficiency recorded in the flood recession sorghum cropping system in the district of Yélimané in Mali, a factorial experiment comparing the effect of two modes of placement (15 and 20 cm depth) and five doses of urea (0, 10, 20, 30 and 40 kg.ha⁻¹) was carried out in a dispersed blocks design during the years 2014 and 2015. Results showed that the yields of placement mode were statistically, while equivalent there was a significant difference between yields of years and yields of doses of urea. These yields have linearly increased according to the applied urea doses. With the highest urea dose (40 kg/ha) sorghum produced 1,792 kg of grain/ha and 4,552 kg of straw/ha. Control yields were 959 kg of grain and 3,069 kg of straw/ha. The dose of 10 kg of urea/ha produced the best gross benefit of 3,492 CFA.kg⁻¹ of fertilizer, the best fertilizer efficiency use of 31,6 and the highest ratio value/cost of 12,6.

¹Institut d'Economie Rural, Centre Régional de Recherche Agronomique de Gao, Gao, Mali.

²Centre Régional de Recherche Agronomique de Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Bamako, Mali.

³Université des Sciences et de la vie, Aas, Norvège.

⁴Institut Polytechnique Rurale de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Katibougou, Mali.

*Auteur correspondant: Email: bouyatr1@gmail.com

Reçu le 27.07.17 et accepté pour publication le 31.01.18

Introduction

La dégradation des sols entraîne une baisse de productivité des cultures, spécialement dans des zones où les engrais ou les légumineuses ne sont pas utilisés (14). Dans les systèmes de culture de décrue, les sédiments déposés peuvent apporter des éléments nutritifs, cependant les rendements des cultures sont faibles (9). Les principales pertes en nutriments sont dues aux exportations des récoltes, à la lixiviation dans les horizons profonds des éléments mobiles et à l'érosion hydrique et éolienne. Les pertes par érosion et lixiviation affectent surtout les réserves en azote du sol (21).

Les études réalisées sur les sols de décrue à Yélimané ont montré que ces sols sont déficients en azote (18). Ce déficit constitue à moyen et à long terme un frein à la mise en œuvre d'une agriculture durable et à une production soutenue. L'azote est un des éléments nutritifs les plus importants pour le développement des plantes et de nombreuses études mettent en évidence un lien entre un apport adéquat de fertilisants azotés et un bon rendement chez les céréales (4, 15, 20).

La technique pratiquée par les producteurs de décrue dans le cercle de Yélimané est l'association de céréales (maïs, sorgho) et du niébé dans le même poquet. Le complément d'azote apporté par la légumineuse grâce cette pratique est cependant insuffisante pour satisfaire les besoins en azote de la céréale (17). Par ailleurs, le Placement Profond de l'Urée (PPU) a donné des résultats probants. Ainsi, il a été démontré que l'enfouissement profond de l'engrais (8-15 cm) limite les pertes d'azote par volatilisation ammoniacale (l'urée étant très sensible à ce phénomène) améliorant du coup, l'efficacité de la fertilisation azotée (2, 19, 22).

Les travaux réalisés sur le riz inondé ont montré qu'il réduit de 50% les besoins en apport d'urée et entraîne une augmentation de 15 à 75% du rendement en paddy (13,14).

La présente étude vise à identifier les meilleures modalités de levée de la carence en azote enregistrée dans le système de culture de décrue du sorgho au niveau du cercle de Yélimané en comparant les effets de cinq doses et de deux modes de placement de l'urée.

Méthodologies

Présentation du site d'étude

Les villages d'étude (Dougoubara, Fougou, Yaguiné et Gory) sont localisés dans le cercle de Yélimané au Nord- Est de la région de Kayes entre le 14° et le 16° Latitude Nord et les 10° et 12° Longitude ouest et lequel couvre une superficie d'environ 5.805 km² (10). La pluviométrie est irrégulière d'une année à l'autre et au cours de la même saison. La moyenne interannuelle varie de moins de 400 mm pour la partie nord du cercle à plus de 500 mm dans la partie sud.

Les sols sont assez diversifiés mais à dominance ferrugineuse, sableuse et pauvre sur les hauteurs, argileuse ou sablo-argileuse dans les vallées et les bas-fonds. Ces toposéquences caractéristiques influencent la conservation des eaux de pluies ainsi que l'érosion et le ruissellement qui sont souvent marqués (5). Le réseau hydrographique constitué principalement par les rivières Kolimbiné et Térékolé se caractérise par la présence de chapelets de zones d'épandage de crues séparées par des resserrlements, qui favorisent en période de grandes crues les inondations et donc les cultures de décrue ainsi que les pâturages inondables et la pêche.

Matériel et méthodes

Le matériel végétal était constitué de la variété locale de sorgho «*Magalemen*» qui est la plus cultivée dans la zone. Un essai factoriel 2x5 (deux modes de placement x cinq doses d'urée) a été implanté en blocs dispersés. Le semis a été réalisé à raison de 20.000 poquets par ha (0,5 m entre les poquets et 1 m entre les lignes). Les modes de placement comportaient le placement de l'urée à la profondeur de semis (15 cm) et le placement de l'urée à 20 cm (5 cm en dessous de la profondeur de semis).

Les doses appliquées par poquet étaient: 0 g (0 kg.ha⁻¹), 0,5 g (10 kg.ha⁻¹), 1 g (20 kg.ha⁻¹), 1,5 g (30 kg.ha⁻¹) et 2 g (40 kg.ha⁻¹). Les trous de semis ont été faits à l'aide d'un bâton au bout pointu qu'on enfonçait dans le sol jusqu'à la profondeur de semis (15 cm). Les graines n'ont été ensuite mises dans le trou et recouvertes d'une fine couche de terre. Le démariage a été fait à raison de 2 plants.poquet⁻¹. Le premier sarclage et l'apport d'urée ont été effectués 10 jours après semis (au moment où les lignes de semis étaient visibles). Le second sarclage a été réalisé 15 jours après le premier sarclage.

Les grains issus des panicules récoltées après battage ont été pesés pour déterminer leur poids. Quant à la détermination du poids de la matière sèche, les plants ont été coupés au ras du sol, séchés au soleil durant 30 jours et pesés successivement jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La balance numérique de terrain (QC passed) de 25 kg a été utilisée pour les pesées.

L'évaluation du ratio valeur sur coût et de l'efficacité de l'utilisation agronomique de l'engrais a été faite en utilisant:

- Le rendement grain obtenu par traitement.
- La valeur de production qui est égale au surplus de rendement multiplié par le prix du kilogramme de sorgho au marché à la récolte.
- Le coût de l'engrais appliqué par traitement extrapolé à l'hectare.
- Le gain par rapport au témoin (0 g/poquet).

L'efficacité agronomique du fertilisant est le rapport du surplus (de rendement obtenu par l'application de la quantité d'engrais) sur la quantité d'engrais appliquée par hectare (Equation I).

$$\text{Efficience} = \frac{\text{Surplus rdt (kg)}}{\text{Quantité d'engrais * ha}^1 \text{ (kg)}} \quad (\text{I})$$

Le Ratio Valeur sur Coût est le rapport de la valeur du surplus de rendement obtenu sur le coût de l'engrais appliqué pour obtenir ce surplus (Equation II).

$$\text{RCV} = \frac{\text{Prix du kg grain x surplus (kg)}}{\text{Prix du kg x kg engrais utilisé}} \quad (\text{II})$$

Le logiciel stat box a été utilisé pour l'analyse des données. L'analyse de la variance a été utilisée pour évaluer la performance agronomique des traitements. Le test de Newman-keuls a été utilisé pour la comparaison des moyennes.

Résultats

Rendements en grain et en paille

Il ressort de l'analyse de la variance des rendements en grain et en paille (Tableau 1) que les seules différences significatives observées concernaient la dose d'urée appliquée ($p < 0,001$) et l'année de culture ($p < 0,001$). Les figures 1 et 2 reprennent respectivement les rendements moyens en grain et en paille pour la comparaison des quatre doses d'engrais.

L'année 2015 a été la plus favorable tant pour la production moyenne de grain ($1565 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en 2015

contre $1260 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ en 2014). En ce qui concerne l'effet de l'urée sur le rendement en grain, la comparaison des moyennes a permis de distinguer quatre groupes significativement différents.

Les traitements de $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ont donné le rendement le plus élevé ($1792 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) qui était de 87% supérieur à celui du témoin. Les rendements obtenus sur les parcelles ayant reçu 20 et $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ étaient statistiquement identiques avec respectivement $1.600 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ et $1.436 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ces parcelles ont réalisé un gain moyen de 58% par rapport au témoin. Le rendement obtenu par l'apport de $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($1.275 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) s'est statistiquement démarqué des traitements impliquant l'application des doses plus élevées d'azote et du témoin ($959 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

La comparaison des moyennes du rendement en paille a fait ressortir trois groupes significativement différents. L'apport de $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'urée avec un rendement de $4.556 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ et de $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ produisant un rendement de $4.308 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ étaient statistiquement identiques avec une augmentation moyenne de 44% par rapport au témoin.

Le deuxième groupe était composé des parcelles ayant reçu $20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($3.996 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) et le troisième groupe de celles ayant reçu $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($3.587 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) dépassant respectivement le témoin ($3.069 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de 30 et de 17%.

Ratio valeur sur coût et l'efficacité de l'engrais

Le prix moyen d'un kilogramme grain de sorgho durant les deux années d'étude était de 120 CFA. Quant à l'engrais, il était de $300 \text{ CFA} \cdot \text{kg}^{-1}$. Ces valeurs ont été utilisées dans le calcul des paramètres de rentabilité de différents traitements. Les résultats des deux années d'expérimentation ont montré que le gain de revenu brut par hectare réalisé

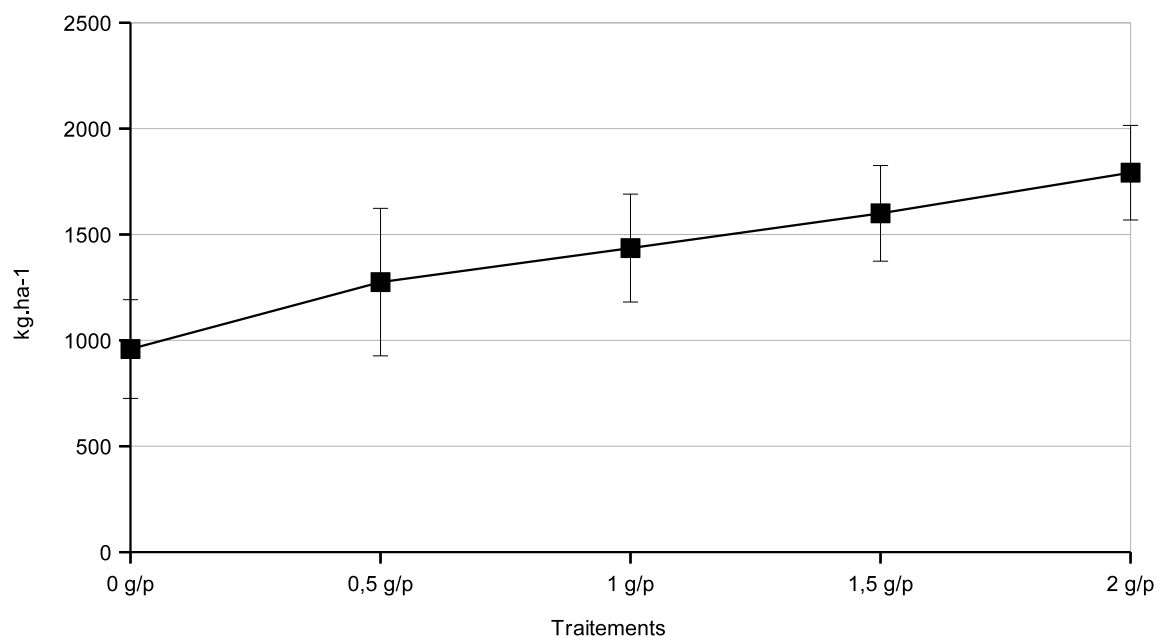


Figure 1: Evolution du rendement en grain en fonction des doses d'urée (Yélimané, valeurs moyennes pour les années 2014 et 2015).

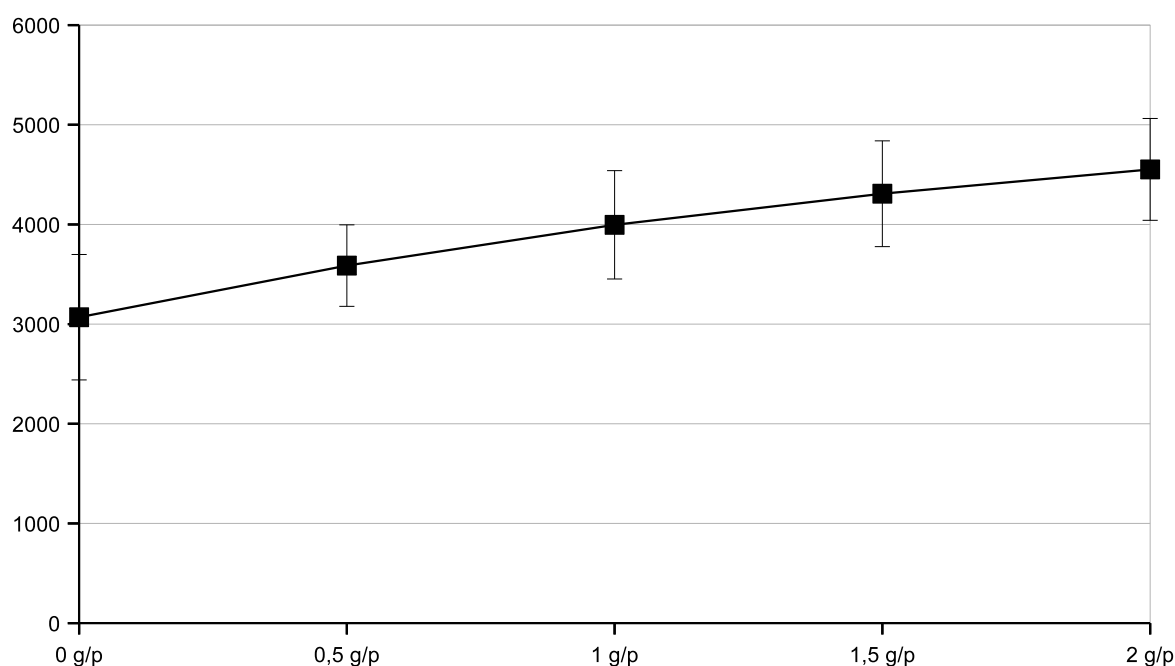


Figure 2: Evolution du rendement en paille en fonction des doses d'urée (Yélimané, valeurs moyennes pour les années 2014 et 2015).

Tableau 1

Analyse de la variance des résultats obtenus pour les rendements en grain et en paille au cours des deux années d'essai.

Variabes	ddl	Rendement en grain	Rendement en paille
Année	1	0,001	0,734
Placement	1	0,707	0,550
Doses d'urée	4	0,001	0,001
Année x Placement	1	0,620	0,782
Année x doses d'urée	4	0,218	0,691
Placement x doses d'urée	4	0,971	0,881
Année x Placement x Dose	4	0,888	0,964

ddl: degrés de liberté; Valeurs de P de l'Anova

Tableau 2

Ratio valeur sur cout et l'efficacité de l'application de doses croissantes d'urée sur le sorgho dans le système de décrue (Yélimané, valeur moyenne pour les années 2014-2015).

Trait	Rdt kg ha ⁻¹	Gain de rdt par rapport au témoin kg ha ⁻¹	Valeur du surplus de Rdt (FCFA)	Coût Intransant ha ⁻¹ (FCFA)	Gain ha ⁻¹ (FCFA)	Gain ha ⁻¹ (FCFA)	RVC	Eff
10 kg ha ⁻¹	1.275	316	37.920	3.000	34.920	3.492	12,6	31,6
20 kg ha ⁻¹	1.436	477	57.240	6.000	51.240	2.562	9,5	23,9
30 kg ha ⁻¹	1.600	641	76.920	9.000	67.920	2.265	8,5	21,3
40 kg ha ⁻¹	1.792	833	99.960	12.000	87.960	2.199	8,3	20,8

Trait= Traitement; Rdt=Rendement; Eff= Efficience, RVC: Ratio Valeur sur Coût.

par l'application de 40 kg.ha⁻¹ d'urée était le plus élevé (Tableau 2). Ce qui correspond par contre à un gain brut de 2.199 CFA par Kilogramme contre respectivement un gain de 2.265 CFA pour l'apport de 30 kg.ha⁻¹, 2.562 CFA pour l'application de 20 kg.ha⁻¹ et de 3.792 CFA pour les parcelles ayant reçu 10 kg.ha⁻¹ d'urée.

Cette supériorité de gain de revenu par hectare était de 150% comparée au témoin (sans engrais). L'efficacité agronomique du fertilisant variait entre 20,08 pour l'application de 40 kg.ha⁻¹ et 31,60 pour celle de 10 kg.ha⁻¹. Le Ratio valeur sur coût (RVC) obtenu était de 8,33 pour le traitement de 40 kg.ha⁻¹ et de 12,64 pour celui de 10 kg.ha⁻¹.

Discussion

La variabilité des rendements en grain entre les 2 années s'explique d'une part, par la différence pluviométrique annuelle et d'autre part, par l'ampleur des dégâts causés par les oiseaux. Dans la zone d'étude l'inondation des plaines (crue) est assurée par des eaux de pluie et de ruissellement provenant des collines. Le cumul pluviométrique de l'année 2015 (597 mm) était légèrement supérieur à celui de l'année 2014 (563 mm). Ce qui a pu favoriser l'occurrence d'un plus haut taux d'humidité résiduelle du sol lors de la croissance des plantes de sorgho. Selon la NEPAD (10) le déficit hydrique entre les plants a un effet négatif sur la taille des cellules épidermiques matures et influe aussi sur la longueur des épis qui joue un grand rôle dans la production grainière. En culture de décrue les dégâts d'oiseaux sont aussi importants et variables d'une année à l'autre. Ainsi, les dégâts occasionnés par les oiseaux ont été moindres en 2015 permettant un gain de 24% par rapport à l'année 2014. Ce qui corrobore les travaux de Noussourou *et al.* (11) qui rapportent que les oiseaux peuvent occasionner jusqu'à 86% de perte de rendement chez le sorgho. Les rendements en grain et en paille issus du placement de l'urée à 15 cm de profondeur ne différaient pas de ceux issus du placement à 20 cm (5 cm en dessous de la profondeur de semis). Cependant les résultats obtenus par Niane *et al.* (8) chez le maïs ont montré que le niveau de réponse des cultures est en étroite relation avec le mode d'apport de l'engrais. Sapin *et al.* (16) ont aussi mentionné que les rendements du sorgho de décrue peuvent atteindre 1.000 kg.ha⁻¹ si on apporte 8 g d'urée.poquet⁻¹ déposés dans un trou de 25 cm. Ces résultats diffèrent de ceux que nous avons obtenus sans doute à cause de la différence de profondeur d'enfouissement de l'engrais. Par contre L'application de l'urée a occasionné une augmentation linéaire des rendements en grain en fonction des différentes doses.

Un gain en grain de 32% par rapport au témoin a été obtenu pour les traitements ayant reçu 10 kg.ha⁻¹. Ceux des traitements de 20 kg.ha⁻¹ et de 30 kg.ha⁻¹ étaient respectivement de 49% et 66% et une augmentation de 86% a été obtenue pour les traitements de 40 kg.ha⁻¹. La même tendance a été observée sur le rendement en paille. Les gains en paille obtenus en comparaison avec le témoin étaient de 17% pour l'apport de 10 kg.ha⁻¹, 25% pour l'application de 20 kg.ha⁻¹, 31% pour l'application de 30 kg.ha⁻¹ et de 40% pour l'apport de 40 kg.ha⁻¹.

L'indice de récolte évoluait positivement en fonction de la dose d'urée. Il était de 20,4% pour les parcelles sans engrais; 22,5% et 23,1% respectivement pour les parcelles ayant reçu 10 et 20 kg.ha⁻¹ d'urée. Quant aux parcelles de 30 et 40 kg.ha⁻¹ d'urée, elles ont fourni un indice respectif de 23,8 et 24,4%.

Ces résultats montrent que l'application d'urée a eu des effets significatifs sur les rendements en grain et en paille. Ce qui est conforme aux résultats obtenus par Brassard (3) et Ziadi *et al.* (23). Le fait que le rendement augmente proportionnellement à la dose d'urée appliquée pour les plus hauts niveaux de celle-ci signifie qu'il existe encore une marge d'augmentation

de ce dernier si on appliquait des doses d'urée encore plus importantes.

Ce qui dénote la richesse des sols des sites d'expérimentation en certains éléments nutritifs tel que le phosphore (18) qui favorisent l'assimilation de l'azote par la plante (7). Il est à signaler que les surplus de production obtenus par l'application d'urée couvrent le coût brut de production et occasionnent des gains de revenus par hectare. Le RCV le plus élevé (21,24) a été observé avec l'application de 10 kg.ha⁻¹. Ce qui confirme les travaux de Aune *et al.* (1) qui rapporte qu'au Mali les RVC obtenus pour le sorgho en culture pluviale varient de 4% à 11,9% pour les traitements de 0,3 g de NPK.poquet⁻¹ et de 0,43% à 1,17% pour ceux de 0,6 g.poquet⁻¹ avec une moyenne égale à 9,0%.

Le RCV doit atteindre 4 au sahel pour limiter le risque financier d'application de l'engrais (6). Ainsi l'application de 10 kg.ha⁻¹ d'urée ayant un RVC de 21,06 est particulièrement avantageux pour les paysans démunis pratiquant la culture de décrue à cause du faible coût et du faible risque financier liés à l'application de cette dose d'urée.

Conclusion

Les résultats obtenus ont montré qu'il n'existe aucune différence entre l'urée placée à 15 cm de profondeur à côté des plants et celle placée à 20 cm c'est-à-dire 5 cm dessous de la profondeur normale de semis dans le système de décrue.

Cependant, les rendements en grain et en paille différent selon la dose d'azote apportée. Les parcelles de 10 kg.ha⁻¹ d'urée ont été les plus performantes en termes de gain de rendement par kg d'engrais appliqué et de RCV. L'augmentation du rendement par rapport au témoin (sans engrais) est de l'ordre de 316 kg.ha⁻¹ soit 33% avec un gain de 3792 CFA par kilogramme d'engrais.

Les différentes doses d'urée expérimentées dans cette étude sont toutes applicables avec un très faible risque financier. Toutefois, le placement de 10 kg.ha⁻¹ d'urée à 15 ou 20 cm de profondeur avec un RVC de 21,06 est une technologie éprouvée, à la fois peu coûteuse et facilement applicable.

A ce titre elle pourrait être recommandée pour les agriculteurs de sorgho de décrue de Yélimané à faible revenu et ceux des zones similaires à celle de Yelimane. Il serait intéressant par ailleurs de poursuivre l'expérimentation avec des niveaux plus élevés en vue de déterminer la dose d'urée économiquement la plus rentable pour les agriculteurs du système de décrue.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de cette étude. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à la Direction Générale de l'Institut d'Economie Rurale (IER) du Mali qui n'a ménagé aucun effort pour la réussite de cette étude. Nos remerciements vont à l'endroit du gouvernement de la Norvège qui a mis à notre disposition les moyens nécessaires à la conduite des activités.

Références bibliographiques

1. Aune J, Doumbia, M. & Berthe, A., 2007, Microfertilizing sorghum and pearl millet in Mali Agronomic, economic and social feasibility. *Outlook Agr.*, **36**, 3,199-203
2. Bowen W.T., 2005. *Urea deep placement as an option for increasing nitrogen use efficiency*. Prepared for the Rice-Wheat Consortium Meeting. Dhaka, Bangladesh. 06 -08/02/05. 15p. Mémoire de maîtrise. Université Laval. 105 p.
3. Brassard M., 2007, *Développement d'outils diagnostiques de la nutrition azotée du maïs-grain pour une gestion optimale de l'engrais azoté*. Mémoire de maîtrise. Université Laval. 105p.
4. Cambouris A.N., Belec G., Tremblay N. & Nolin M.C., 2004, *Gestion environnementale de l'application d'azote dans les champs de maïs- grain et de blé panifiable à partir des caractéristiques des sols et des couverts végétaux*. Rapport d'étape. 44 p.
5. Couture L.J., 1996, Bilan et potentialités des aménagements hydro-agricoles en région septentrionale de Kayes (Mali): quelles leçons pour le développement rural régional? www.beep.ird.fr/collect/bre/index/assoc/HASHb236.../118-152-173.pdf
6. Koning, N., Heerink, N. and Kauffman, S. (1998). Integrated soil improvement and agricultural development in West Africa: why current policy approaches fail. Wageningen Economic Papers, <http://www.mansholt.wur.nl/NR/rdonlyres/3F889325-3926-446B-8057-B9DE946B84CD/66416/wep9.pdf>.
7. Leikam F.f., Murphy L.S., Kissel D.E., Whitney D.A., Mserh H.C., 1983, Effect of nitrogen and phosphorus chorus application and nitrogen source in winter wheat grand yield and leaf tissue phosphorus. *Soil. Sci. Amg.*, 530-535.
8. Niane B.A. & Anry G. F., 1987, Etude comparative de l'efficacité des différents modes d'application d'une fumure azotée sur maïs (*Zea mays* L.), *Rev. Sénégalaise Rech. Agri. Halio.*, **2**, 1 77-83.
9. Niangaly O 2002: *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'ouest et du centre. Situation actuelle et définition d'un Plan d'Action Régional*. Eds J. Comas et H. Gómez MacPherson, 145 p.
10. NEPAD, 2005, *Appui à la mise en œuvre du NEPAD-PDDAA TCP/MLI/2909 (I) (NEPAD Ref. 05/22 F); Programme National d'Investissement à Moyen Terme (PNIMT)*, Volume I de **VII**, 60 p.
11. Noussourou M., Traoré. K. & Traoré. B., 2014, *Rapport du comité de programme de la composante 03 du projet d'Adaptation de l'Agriculture et de l'Elevage au Changement Climatique (ACC)*, 60 p.
12. Onillon B. & Durand J.L., 1993, *Effets d'une contrainte hydrique ddaphique sur la croissance de la fétuque élevée soumise à différents niveaux de nutrition azotée. Etude à l'échelle foliaire et à celle du couvert végétal*. Travaux Universitaires, Thèse, 123 p.

13. Passandaran E., Gulton B., Adiringsih J., Aspari H. & Rochayati S., 1999, Government policy support for technology promotion and adoption: a case study of urea tablet technology in Indonesia. *Nutrient Cycling Agroeco.*, 53, 113-119.
14. Penning de Vries & Djitéye A.M, 1991, *La productivité des pâturages sahéliens: une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle* Éditeur: Wageningen: Centre for Agricultural Pub and Documentation, 1982. Base de données WorldC.
15. Sanogo L.J.Z., 1997, *Maitrise de l'azote dans un système cotonnier-sorgho: prévision de la fumure organique et azotée en zone Mali-Sud.* Montpellier, ENSAM, 117 p.
16. Sapin & Reynard, 1968, La culture de décrue du sorgho dans la vallée du fleuve Sénégal ; quelques techniques culturales simples pour son amélioration. *Agr. Trop.*, 23, 8, 864-871.
17. Sissoko M., Diarra Y., Maïga H. & Sanogo M., 2002, *Rapport final de la commission scientifique: Diagnostic des systèmes de production: caractérisation et fonctionnement des unités de production agricole (U P A) de la région de Kayes.* 40p.
18. Traoré K., Aune B.J. & Traoré B., 2016, Effect of organic manure to improve sorghum productivity in flood recession farming in Yélimané, Western Mali. *Am. Sci. Res. J. Eng., Techn., Sci.*, 223-251.
19. Traoré M., 2009: *Contribution de l'urée à solubilisation lente dans l'amélioration de l'efficacité azotée. Cas du périmètre irrigué de Bagré au Burkina Faso.* Mémoire d'ingénieur. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 40 p.
20. Trembley, 2006: *Azote et maïs-grain, quelle est la dose optimale?* Le coopérateur agricole, mai-juin, 50-53
21. Veldkamp J.W. & Traoré A., 1990, Fertilité des sols au Mali sud et dans l'office du Niger et l'intégration des données analytiques du sol et de la plante: Tome 1: N -P-K-Ca-Mg-S-Al. 138 p.
22. Yameogo P.L., 2009, *Contribution des granules d'urée dans l'amélioration des rendements. Cas de la Vallée du Kou au Burkina Faso.* Mémoire d'ingénieur agronome Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, 40p.
23. Ziadi N., Gagnon B, Cambouris A.N., Tremblay N., Nolin M. C. & Cleassens A., 2007, Relationship between P and N concentration in corn. *Agron. J.*, 99, 833-841.

B. Traoré, Malien, Doctorat, Institut d'Economie Rural, Centre Régional de Recherche Agronomique de Gao, Gao, Mali.

K. Traoré, Malien, PhD, Chercheur, Institut d'Economie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Mali .

A.B. Jens, Norvégien, Professeur Titulaire, Université des Sciences et de la vie, Département d'écologie, Aas, Norvège.

A. Coulibaly, PhD, Chercheur, Centre Régional de Recherche Agronomique de Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Mali.

M. Famanta, Malien, Doctorat, chercheur, Institut d'Economie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Mali.