

Amélioration de l'efficacité agronomique des engrais minéraux en riziculture irriguée: Cas du périmètre irrigué de Sindou à l'Ouest du Burkina Faso

[Improving mineral fertilizers agronomic efficiency in paddy rice field: Case of Sindou's irrigated perimeter, western's Burkina Faso]

Jacques O. Kissou¹, Poulouma Louis Yameogo², Élie S. G. Sauret³, Idriss Serme⁴, and Kalifa Coulibaly⁵

¹Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du sol, Université Nazi BONI, 01 BP: 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

²Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Farako-Bâ (INERA, Farako-Bâ), 01 BP: 910, Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

³Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Farako-Bâ (INERA, GRN, Farako-Bâ), 01 BP: 910, Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

⁴Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Kamboisin (INERA, Kamboisin), Burkina Faso

⁵Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du sol, Université Nazi BONI, 01 BP: 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

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

ABSTRACT: This study examined agronomic efficiencies chemical fertilizer NPK (14-23-14) pearled urea (46% N), super granulated urea (USG) and their splitting period on FKR84 rice variety agronomy parameters in Sindou's irrigated perimeter. The experimental design was a split-plot with three replications using two studied factors. NPK applied as bottom fertilizer and urea as top fertilizer. Each replication was divided into three main plots corresponding to the three doses of NPK (NPK1, NPK2 NPK3). Each one subdivided into four secondary plots represented by (U1, U2, U3, U4). The combined doses of NPK and urea gave twelve treatments where NPK2*U1 is the control. The three doses of NPK, 150 kg.ha⁻¹, 200 kg.ha⁻¹ and 200 kg.ha⁻¹ were applied at transplanting. The U1 and U3 plots received 50 kg.ha⁻¹ of pearled urea 15 days after transplanting (DAT) and 100 kg.ha⁻¹ at panicle initiation as the control received over 200 kg.ha⁻¹ of NPK at transplanting. The U2 and U4, 72 kg.ha⁻¹ of upper granulated urea 10 DAT. At panicle initiation, only the plots U1 and U2 got 100 kg.ha⁻¹ of pearled urea. At heading, the second and fourth secondary plots received 50 kg.ha⁻¹ of pearled urea against 50 kg.ha⁻¹ of NPK applied on the first and thirteenth main plots. The results shown that the application of 50 kg.ha⁻¹ of NPK at heading stage over the control dose, allowed to harvest 5484 kg.ha⁻¹ of paddy rice, yield with a recovery rate of 3,45 kg.kg⁻¹ in year 2020 against 4976.6 kg.ha⁻¹.ha⁻¹ like paddy yield, corresponding at recovery rate of 4,71 kg.kg⁻¹ in year 2021. This practice could be a strategy for chemical fertilizer management for rice yield increasing.

KEYWORDS: recovery, chemical fertilizer, splitting period, paddy rice field.

RESUME: L'étude a examiné l'efficacité agronomique de l'engrais NPK (14-23-14), de l'urée perlée (46% N), de l'urée super granulée (USG) ainsi que leur période d'application sur les paramètres agronomiques du riz FKR 84, dans le périmètre irrigué de Sindou, Le dispositif expérimental était de type split plot en trois répétitions avec deux facteurs étudiés dont la gestion de la fumure de fond à base de NPK et la fumure de couverture à base d'urée. Les parcelles principales étaient représentées par

les trois doses de NPK (NPK1, NPK2, NPK3). Chaque parcelle principale subdivisée en quatre parcelles secondaires représentées par les doses d'urée (U1, U2, U3, U4). Douze traitements sont obtenus de la combinaison des doses de NPK et d'urée dont NPK2*U1, le témoin actuellement vulgarisé. Les doses de NPK, 150 kg.ha⁻¹, 200 kg.ha⁻¹ et 200 kg.ha⁻¹ ont été appliquées au repiquage. Les deux premières parcelles élémentaires ont reçu 50 kg.ha⁻¹ d'urée perlée 15 jours après le repiquage (JAR) et 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire, tout comme le témoin, en plus des 200 kg.ha⁻¹ de NPK reçu. Les deux autres, 72 kg.ha⁻¹ d'urée super granulée 10JAR. A l'épiaison, la parcelle élémentaire U2 et U4 ont reçu 50 kg.ha⁻¹ d'urée perlée contre 50 kg.ha⁻¹ de NPK pour la première et troisième parcelle principale. Les résultats ont montré qu'un supplément de 50 kg.ha⁻¹ de NPK à l'épiaison en plus de la dose vulgarisée est la meilleure combinaison avec un rendement en paddy de 5484 kg.ha⁻¹ un taux de valorisation 3,45 kg.kg⁻¹ en année 2020 contre 4976 kg.ha⁻¹, un taux de valorisation de 4,71 kg.kg⁻¹ en année 2021. L'apport d'un supplément de 50 kg.ha⁻¹ de NPK à l'épiaison à la dose vulgarisée pourrait constituer une stratégie de gestion des fertilisants pour une amélioration des rendements du riz.

MOTS-CLEFS: valorisation, engrais minéral, période d'application, riziculture irriguée.

1 INTRODUCTION

La gestion de la fertilité des sols est un élément déterminant dans la production rizicole. Face à la baisse croissante de la fertilité des sols suite à la faible utilisation de la matière organique, les apports en engrais minéraux sont devenus une alternative pour soutenir la production. C'est ainsi que pour améliorer la productivité des sols en riziculture, diverses doses d'engrais ont été proposées. Au Burkina Faso, les doses actuellement vulgarisées sont de 200 kg.ha⁻¹ de NPK (14-23-14) au repiquage et 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée dont le tiers (1/3) 15 jours après le repiquage et les deux tiers (2/3) à l'initiation paniculaire [1,2]. Malgré, le coût élevé des engrais minéraux, la fertilisation minérale reste le mode de fertilisation dominant dans tous les écosystèmes rizicoles du Burkina Faso. En effet, une bonne alimentation minérale du riz assure une bonne croissance végétative des plantes, un bon remplissage des grains et permet d'obtenir un bon rendement. Cependant, les sols du Burkina Faso sont dans leur ensemble jugés pauvres en azote et en phosphore (Lompo *et al.*, 2009; Soma, 2010)). L'apport en fertilisant contenant ces éléments majeurs contribuerait inéluctablement à rendre disponible ces éléments nutritifs et à améliorer significativement les rendements d'une part; d'autre part, à rehausser le niveau de fertilité chimique des sols. Malheureusement, moins de la moitié de l'azote contenue dans l'urée perlée apporté à la volée est utilisé par le riz (Segda, 2006). Par contre, l'urée super granulée pourrait rester 65 jours dans le sol et progressivement mis à la disposition de la plante. Selon certains auteurs [3,4,5] son application induit beaucoup plus une augmentation des rendements en paddy et en paille comparativement à l'utilisation de l'engrais perlés. Toutefois, les rendements en riz paddy demeurent relativement faibles (3 à 5 T.ha⁻¹) par rapport au potentiel estimé à (8-10 T.ha⁻¹) des variétés améliorées introduites [1,2] en dépit de toutes les dispositions prises pour soutenir la riziculture Burkinabè. Un accroissement des rendements du riz à l'hectare est cependant nécessaire pour réduire les coûts liés à l'importation en riz du pays et pour faire face aux besoins croissants d'une population en croissance exponentielle. L'accroissement de la production du riz va de pair avec l'utilisation des engrais inorganique [6, 7]. A cet effet Roy *et al.* [8], ont prouvé que la production d'une tonne de paddy exige environ 20 kg N, 11 kg P₂O₅, 30 kg K₂O. Sur la consommation totale de la plante de riz, 50% d'azote, 50% de potassium et 65% de phosphore sont pris dès le début de l'initiation paniculaire. [4], Au total, environ 80% d'azote, 60% de potassium et 95% de phosphore sont absorbés pendant la phase reproductive Segda, [1]. Ainsi, le maximum de besoin de la plante se situe à la phase reproductive. Dès lors, l'apport de supplément de NPK et/ou d'urée perlée à l'épiaison est perçu comme une possibilité pour une bonne couverture en éléments minéraux du riz. Au regard des besoins élevés en nutriments du riz durant la période reproductive, ne faut-il pas revoir les recommandations actuelles de fertilisation ? Les études antérieures ne font pas cas de l'amélioration de l'efficacité agronomique des engrais minéraux suite à l'application d'un supplément de NPK et/ou d'urée à la période d'épiaison. Le présent article vise à explorer les voies pour une gestion efficace et une valorisation des doses d'engrais minéraux utilisés afin d'améliorer l'efficacité de l'utilisation l'azote qui limite la production du riz malgré les quantités importantes d'urée apportées.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE DE L'ÉTUDE

Le périmètre irrigué de Sindou (10°39'31" Nord et 5°9'57" Ouest) est une partie de la large plaine inondable de Niofila-Doua dans la partie Est du bassin versant de la Léraba, un sous-bassin versant de la Comoé. Quatre types de sols sont

rencontrés sur le site dont le sol peu évolué d'apport alluvial hydro morphes à texture fine en surface (PAH/F) sur lequel a été conduit notre étude. Le périmètre d'environ 308,8 ha est destiné à la riziculture durant la saison pluvieuse et sèche. et exploité par les villages de Sindou, Douna et Niofila. Pendant la saison sèche, il y est principalement pratiqué la riziculture et le maraichage. Une partie est non exploitée due à l'insuffisance de la ressource eau. Les besoins en eau d'irrigation en saison sèche proviennent des prélèvements des sources d'eau présentes sur le site à travers les canaux en terre battue réalisés par les producteurs pour l'irrigation en saison sèche et du drainage des eaux des phénomènes d'inondation en saison pluvieuse.

Le présent article présente les résultats des expérimentations conduites durant les deux campagnes humides 2020 et 2021. La figure 1 présente la pluviométrie de 2020 et 2021, les températures maximale et minimale de la zone de Sindou durant les deux campagnes d'expérimentations

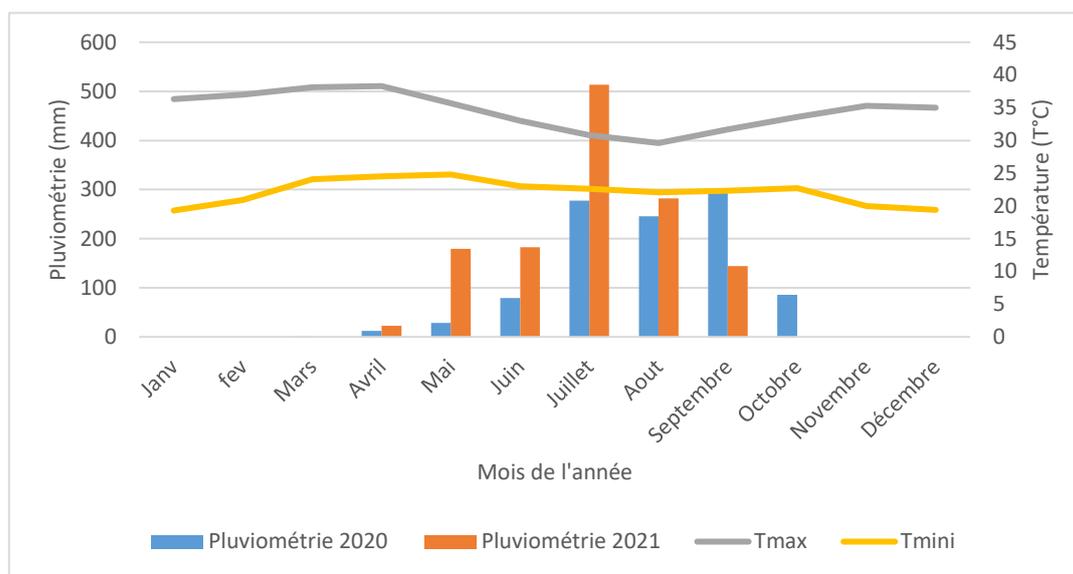


Fig. 1. Variation des pluies moyennes mensuelles des deux (02) dernières années et la température maximale annuelle, 2021 sur le périmètre de Sindou

Tmax =Température maximale; *Tmini*= Température minimale

La pluviométrie de Sindou (figure1) au cours des deux dernières années d'expérimentation montre queles pluies s'installent d'avril à octobre. Elles couvrent bien la période de mise en place de nos essais qui s'étale du 1er juillet au 15 octobre. Les mois les plus pluvieux sont août et septembre et juillet respectivement (375, 250 et 225mm). La température atteint sa moyenne maximale aux mois d'avril et mars ou elle est de 38,8°C contre la plus basse, 29,6 °C enregistrée au mois d'août. La pluviométrie moyenne annuelle est de 80 mm

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

La variété de riz améliorée FKR84 a été utilisée dans cette étude. Elle a un potentiel de rendement de 7 tonnes/ha et un cycle de 105 jours.

2.3 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'expérimentation a été conduite sur deux campagnes pluvieuses successives 2020 et 2021, en utilisant un dispositif en split-plot à trois (03) répétitions complètement randomisées. Chaque répétition a été divisée en trois parcelles principales correspondantes aux trois doses d'engrais NPK dénommées NPK1, NPK2 et NPK3. Chacune d'elle subdivisée en quatre parcelles secondaires représentées par les doses d'urées U1, U2, U3 et U4. Le NPK a été utilisé comme engrais de fond et l'urée, engrais de couverture. La combinaison de ces deux facteurs a donné douze (12) traitements nommés T1 à T12 avec T1: NPK1*U1; T2: NPK1*U2; T3: NPK1*U3; T4: NPK1*U4; T5: NPK2*U1; T6: NPK2*U2; T7: NPK2*U3; T8: NPK2*U4; T9: NPK3*U1; T10: NPK3*U2; T11: NPK3*U3; T12: NPK3*U4.

Chaque parcelle élémentaire d'une superficie de 6 m² (3 m x 2 m), comptait 8 lignes sur la largeur et 12 sur la longueur. Des allées de 1 m ont séparé les parcelles secondaires. La distance entre les parcelles principales a été de 1,5 m et de 2 m entre les répétitions. La superficie de l'ensemble du dispositif a été de 456 m². Le repiquage a été réalisé le 15 août à un brin par poquet aux écartements de 25 cm x 25 cm [9] soit 96 plants par parcelle élémentaire. La parcelle utile constituée de 32 poquets a concerné les 4 lignes centrales épargnées des deux lignes de bordures de chaque parcelle élémentaire. Les doses de NPK1, NPK2 et NPK3 ont été appliquées sitôt après le repiquage. Les parcelles U1, U2 ont reçu de l'urée perlée appliquée à la volée 15 jours après le repiquage tandis que U3 et U4 de l'urée super granulée 10 jours après le repiquage. La parcelle U4 a reçu en plus de l'urée super granulée, 50 kg/ha d'urée perlée à l'épiaison. Le Placement profond de l'urée (PPU) a été réalisé à l'aide du doigt et a consisté à réaliser un trou de 7-10 cm de profondeur, y placer le granule d'urée (1,8 g) dix (10) jours après le repiquage et à le recouvrir. Le riz a été récolté en novembre de la campagne agricole humide 2020 et 2021.

Les doses d'engrais et leur période d'application ont été les suivantes: **NPK1**= 150 kg.ha⁻¹ au repiquage + 50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; **U1**= 50 kg.ha⁻¹ au 15^e jour après semis + 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire; **NPK2**= 200 kg.ha⁻¹ au repiquage; **U2**= 50 kg.ha⁻¹ au 15^e jour après semis + 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire +50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; **NPK3**= 200 kg.ha⁻¹ au repiquage + 50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; **U3**= 72 kg.ha⁻¹ d'Urée Super Granulée 10 jours après repiquage **U4** = 72 kg.ha⁻¹ d'Urée Super Granulée au 10^e jour après semis + urée perlée 50kg/ha au repiquage.

2.4 PARAMÈTRES MESURÉS ET CALCULÉS

Les paramètres mesurés ont concerné le nombre de talles à l'initiation paniculaire et à la récolte. Leur évaluation a consisté à compter manuellement auxdites périodes, le nombre de talles soit 32 poquets au total, contenu dans chaque parcelle utile de deux mètre carré (2 m²).

Le rendement paille et paddy ainsi que le taux de valorisation ont été les paramètres calculés.

La récolte a consisté à faucher, jusqu'à raz de sol, les 32 poquets de la parcelle utile. Les grains ont été ensuite séparés de la paille par battage après séchage au soleil. Le rendement en grains de la parcelle utile a été obtenu après séchage et ramené à 14% du taux d'humidité à l'aide d'un facteur de conversion. Ce facteur de conversion a été déterminé par lecture sur un tableau de valeurs conventionnelles, du taux d'humidité correspondant. Le taux d'humidité des grains par parcelle ayant été déterminé à l'aide d'un humidimètre. Le rendement de la paille a été déterminé après son séchage pendant quatorze (14) jours au champ. La biomasse a ensuite été pesée à l'aide d'un peson étalonné et le rendement (kg.ha⁻¹) par parcelle a été obtenu à partir du poids de la biomasse de sa parcelle utile qui a été ramené à l'hectare, connaissant la superficie de ladite parcelle.

Quant au taux de valorisation des engrais appliqués, il a été calculé par application de la méthode de Jérémie *et al* [10]. Ainsi, pour chaque traitement, le gain de rendement en riz paddy (GR) a été calculé par rapport à la différence de rendement en grains entre (RT0) obtenu avec le traitement témoin (dose vulgarisée) et le rendement en grains (RTi) de la dose d'engrais (Di) d'un traitement donné. $GR = RTi - RT0$ (équation 1). Le taux de valorisation de l'engrais (VE) apporté a été calculé en faisant le rapport gain de rendement paddy (GR) par la quantité d'engrais utilisée pour le traitement. Le taux de valorisation de l'engrais (VE) s'exprime en kilogramme de rendement paddy additionnel par unité de kilogramme d'engrais utilisée (Di) (kg.kg⁻¹) $VE = \frac{GR}{Di}$ (équation 2). Le rendement témoin étant celui obtenu avec le traitement témoin (NPK2*U1), correspondant à la dose d'engrais actuellement vulgarisée au Burkina Faso.

L'indice de récolte (IR) qui renseigne sur la répartition des produits de la photosynthèse entre le grain et la paille a été calculé à partir de la formule [11]:

$$IR = \frac{\text{Rendement grain}}{\text{Rendement grain} + \text{rendement paille}}$$

Pour connaître la capacité de la formation de la graine et l'importance du rendement en grains, Yoshida [12] a apporté l'interprétation suivante sur ces coefficients:

- IR ≥ 0,5, rendement grain/rendement paille (G/P) ≥ 1: il y a développement des grains et réduction des matières sèches
- IR ≤ 0,5, et G/P ≤ 1: il y a développement de la partie végétative par rapport à la formation des grains.

2.5 ANALYSES DES DONNÉES

Les données collectées ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) après un test de normalité, à l'aide du logiciel R version 3.0.2. Les moyennes ont été séparées au seuil de 5% par le test de Student Newman-Keuls.

3 RÉSULTATS

3.1 EFFET DES FERTILISATIONS MINÉRALES SUR LE TALLAGE DU RIZ

En 2020, les résultats de l'application des doses croissantes de NPK montrent qu'à l'initiation paniculaire, le nombre de talles a varié entre 69 talles.m⁻² (NPK3) et 89 talles.m⁻² (NPK1). Pour l'urée, le nombre de talles a varié entre 61 talles.m⁻² (U2) et 107 talles.m⁻² (U1), tandis que le nombre de talles fertiles a varié entre 89 talles.m⁻² (U3) et 116 talles.m⁻² (U1). Pour les doses de NPK, l'analyse de variance n'a pas montré de différence significative entre les traitements pour le nombre de talles à l'initiation paniculaire ($P < 0.11$). Or pour l'urée, la différence entre les différentes doses était statistiquement significative pour le nombre de talles ($P < 0.010$) (Tableau1). Les résultats de l'interaction des doses de NPK et d'urée a été statistiquement significative ($P < 0,014$) pour le nombre de talles à l'initiation paniculaire. La meilleure performance (131 talles.m⁻²) a été enregistrée avec le traitement NPK1*U1 (150 kg.ha⁻¹ de NPK au repiquage et 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée dont 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire plus un supplément de 50 kg.ha⁻¹ de NPK à l'épiaison) et la plus faible (59 talles.m⁻²) a été obtenu avec la combinaison NPK3*U3 (250 kg.ha⁻¹ de NPK plus 72 kg.ha⁻¹ d'urée super granulée dont les 50 kg.ha⁻¹ de NPK appliqués à l'épiaison (tableau 2)).

En 2021, les résultats des doses de NPK, révèlent qu'à l'initiation paniculaire, le nombre de talles a varié entre 88 talles.m⁻² (NPK2) et 92 talles.m⁻² (NPK1). Pour l'urée, le nombre de talles a varié de 82 talles.m⁻² (U1) à 103 talles.m⁻² (U4). Pour le NPK, l'analyse de variance a montré qu'il n'y a pas eu de différence significative pour le nombre de talles à ($P < 0,76$) pour les doses de NPK, par contre, pour les doses d'urée, l'analyse de variance a révélé qu'il ya eu une différence hautement significative ($P < 0,007$) en ce qui concerne le nombre de talles audit stade (tableau 1). Les résultats de l'interaction entre les doses de NPK et d'urée ont montré une différence très hautement significative ($P < 9,702e^{-08}$) entre les traitements pour le nombre de talles à l'initiation paniculaire. La meilleure performance, 121 talles.m⁻² a été enregistrée avec la combinaison de NPK1*U4 (150 kg.ha⁻¹ de NPK au repiquage plus 72 kg.ha⁻¹ d'urée super granulée 10 jours après repiquage plus un supplément de 50 kg.ha⁻¹ de NPK et 50 kg.ha⁻¹ d'urée perlée à l'épiaison), contre la plus faible, 68 talles.m⁻² obtenue avec la combinaison NPK3*U1 (200 kg.ha⁻¹ de NPK au repiquage plus 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée auxquelles dose a été apporté 50 kg.ha⁻¹ de NPK à l'épiaison) (tableau 2).

Par contre à la récolte en 2020, pour les doses de NPK, le nombre de talles fertiles a varié entre 95 talles.m⁻² (NPK3) et 105 talles.m⁻² (NPK1). L'analyse de variance n'a révélé aucune différence significative ($P < 0,12$) pour le nombre de talles fertiles. Pour l'urée, L'analyse de variance a montré une différence très hautement significative ($P < .229e^{-05}$) avec des nombres de talles variant entre 89 talles.m⁻² (pour le traitement U3) et 116 talles.m⁻² (pour le traitement U1). Les résultats de l'analyse de variance de l'interaction entre les doses de NPK et d'urée n'ont révélé aucune différence significative ($P = 0,87$) pour le nombre de talles fertiles (Tableau1).

En 2021, les doses NPK n'ont pas affectés statistiquement le nombre de talles fertiles qui a varié entre 110 talles.m⁻² (NPK2) et 115 talles.m⁻² (NPK3). Les doses croissantes d'urée, ont affectés significativement le nombre de talles fertiles ($P < .0,016$) qui a varié entre 108 talles.m⁻² (U1) et 119 talles.m⁻² (U2). L'interaction entre des doses de NPK et d'urées n'a pas montré de différence significative ($P = 0,07$) pour le nombre de talles fertiles comme indiqué dans le tableau 2.

Les résultats de variation du nombre de talles à l'initiation paniculaire et de talles fertiles (panicules) en fonction des doses (tableau 1).

Tableau 1. Nombre de talles à l'initiation paniculaire et de panicules en fonction des traitements en campagne humide 2020 et 2021

Traitements	An 2020 Talles ini	An 2021 Talles ini		An 2020 T fertiles	An 2021 T fertiles
NPK1	92 ^a ±6,22	89 ^b ±11.60	-	105 ^b ±3,77	111 ^a ±2,61
NPK2	88 ^a ±2,67	94 ^b ±8,55	-	103 ^b ±4,72	115 ^a ±8,16
NPK3	89 ^a ±4,01	69 ^a ±3,26	-	95 ^a ±3.66	110 ^a ±2,42
Pr > F	0,76	0,11	-	0,12	0,36
Significatif	NS	THS		NS	NS
U1	82 ^a ±4,27	107 ^c ±9.32		116 ^c ±3,52	108 ^a ±2,62
U2	92 ^b ±2,38	61 ^a ±3,27		95 ^{ab} ±2,65	119 ^b ±1,32
U3	87 ^a ±3,32	85 ^b ±8,73		89 ^a ±2,96	111 ^a ±1,52
U4	103 ^c ±4,96	82 ^b ±8,21		103 ^b ±2,75	109 ^a ±2,88
Pr > F	<0.007	<0.010		<.229e⁻⁰⁵	<0.016
Significatif	HS	S		THS	S
NPK*Urée					
Pr > F	<9,702e⁻⁰⁸	<0,014		0,87	0.07
Significatif	THS	S		NS	NS

NPK1= 150 kg.ha⁻¹ au repiquage + 50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; U1= 50 kg.ha⁻¹ au 15e jour après semis + 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire; NPK2= 200 kg.ha⁻¹ au repiquage; U2= 50 kg.ha⁻¹ au 15e jour après semis + 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire +50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; NPK3= 200 kg.ha⁻¹ au repiquage + 50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; U3= 72 kg.ha⁻¹ d'Urée Super Granulée 10 jours après repiquage U4 = 72 kg.ha⁻¹ d'Urée Super Granulée au 10e jour après semis + urée perlée 50kg/ha au repiquage. An= Année 2020 et An=Année 2021.

T Ini 2020 = talles initiales 2020 et T ini 2021= talles initiales 2021. T fertiles= talles fertiles.

S=significatif, NS=Non Significatif; HS=Hautement Significatif, THS=Très Hautement Significatif

NB: Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Student Newman- Keuls (SNK).

Les résultats de variation du nombre de talles à l'initiation paniculaire et de talles fertiles (panicules) en fonction des interactions des différentes doses traitements des campagne humide 2020 et 2021 sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Nombre de talles à l'initiation paniculaire et de panicules en fonction traitements en campagne humide 2020 et 2021

Traitements	An 2020	An 2021	An 2020	An 2021
NPK1*U1	99 ^a ±4,20	131 ^c ±6,92	-	-
NPK1*U2	100 ^{de} ±0,43	56 ^a ±1,87	-	-
NPK1*U3	69 ^a ±1,58	80 ^{ea} ±7,70	-	-
NPK1*U4	121 ^f ±0,144	88 ^{ab} ±16,16	-	-
NPK2*U1	97 ^{ded} ±0,86	122 ^{bc} ±3,26	-	-
NPK2*U2	81 ^b ±0,28	55 ^a ±1,01	-	-
NPK2*U3	89 ^{bcd} ±2,10	117 ^{bc} ±3,46	-	-
NPK2*U4	8 ^b ±3,98	81 ^a ±0,71	-	-
NPK3*U1	68 ^a ±0,14	69 ^a ±2,16	-	-
NPK3*U2	94 ^{cde} ±0,5	73 ^a ±3,60	-	-
NPK3*U3	90 ^{bcd} ±0,57	59 ^a ±4,33	-	-
NPK3*U4	103 ^e ±1,01	77 ^a ±0,28	-	-
Pr > F	<9,702e⁻⁰⁸	<0,014	0,87	0.07
Significatif	THS	S	NS	NS

NPK1= 150 kg.ha⁻¹ au repiquage + 50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; U1= 50 kg.ha⁻¹ au 15e jour après semis + 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire; NPK2= 200 kg.ha⁻¹ au repiquage; U2= 50 kg.ha⁻¹ au 15e jour après semis + 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire +50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; NPK3= 200 kg.ha⁻¹ au repiquage + 50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; U3= 72 kg.ha⁻¹ d'Urée Super Granulée 10 jours après repiquage U4 = 72 kg.ha⁻¹ d'Urée Super Granulée au 10e jour après semis + urée perlée 50kg/ha au repiquage. An 2020= Année 2020 et An 2021=Année 2021.

T Ini 2020 = talles initiales 2020 et T ini 2021= talles initiales 2021. T fertiles= talles fertiles.

S=significatif, NS=Non Significatif; HS=Hautement Significatif, THS=Très Hautement Significatif

NB: Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Student Newman- Keuls (SNK).

3.2 EFFET DES TRAITEMENTS SUR LE RENDEMENT PAILLE

En 2020, l'analyse de variance (tableau 3) a révélé qu'il existe une différence hautement significative ($P < 0,006$) entre les interactions des doses de NPK et d'urée en ce qui concerne le rendement paille. La meilleure performance ($2166,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a été enregistrée avec la dose combinée NPK2*U2 ($200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK au repiquage plus $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ d'urée perlée au 15^e jour après semis et $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ à l'initiation paniculaire plus $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ à l'épiaison) contre, la plus faible ($1333,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) observée avec la dose combinée de NPK1*U2 ($150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ au repiquage + $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de d'urée perlée auxquelles doses ont été apportées un supplément de $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK et $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ d'urée perlée à l'épiaison). Le rendement en paille moyen a été de $1600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Par contre en année 2021, l'interaction entre des doses de NPK et d'urée a été très hautement significative ($P < 9,58e^{-11}$) pour le rendement paille (tableau 3). La meilleure performance ($8393 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a été obtenue avec la combinaison de NPK1*U1 ($150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK au repiquage + $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ d'urée perlée 15 jours après le repiquage+ $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ à l'initiation paniculaire plus un supplément de $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK à l'épiaison). Cependant, le plus faible rendement en paille ($4700 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a été induit par la dose combinée de NPK3*U4 ($200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK au repiquage + $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ à l'épiaison plus $72 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ d'urée super granulée au 10 jour après semis + urée perlée $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ au repiquage) (tableau 3).

3.3 EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES RENDEMENTS EN PADDY

Les résultats de l'analyse de variance (tableau 3) indiquent qu'en 2020, les différentes doses de NPK n'ont pas eu d'effets significatifs ($P < 0,163$) sur le rendement en paddy qui ont varié entre $4164 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (NPK2) et $4666,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (NPK1). Par contre, l'apport des doses croissantes de d'urée a entraîné un effet très hautement significative ($P < 7,94e^{-05}$) entre les rendements grains qui ont varié de $3688 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (U3) à $4887 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (U1). L'interaction entre les doses croissantes de NPK et d'urée a induit une différence hautement significatives ($P < 0,0039$) entre les traitements concernant le rendement paddy. Le meilleur rendement, $5484 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de paddy a été obtenu avec la dose combinée NPK3*U1 ($200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK au repiquage plus $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ d'urée perlée à laquelle un supplément de $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK a été apporté à l'épiaison) contre le plus faible, $3342,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ enregistré avec le traitement NPK3*U3 ($200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK appliqué au repiquage plus $72 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ d'urée super granulée appliquée 10 JAR).

En 2021, l'analyse de variance (Tableau 3) a révélé que les différentes formes d'urée ont induit une différence significative ($P < 0,038$) pour le rendement en grain, par contre, pour le même paramètre étudié la différence était très hautement significative ($P < 0,0005$) suite à l'application des différentes doses de NPK. Pour l'urée, les rendements ont varié de $3935 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (U1) à $4638 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (U2). Pour les doses de NPK, les rendements ont varié entre $3802 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (NPK2) et $4632 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (NPK1). Les interactions des doses de NPK et d'urée ont engendré une différence très hautement significative ($P < 2,273e^{-06}$) (Tableau 4) entre les combinaisons en ce qui concerne le rendement paddy. Ainsi, le meilleur rendement ($4976,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a été obtenu avec la dose combinée NPK1*U1 ($150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK plus $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ d'urée perlée dont $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 15 jours après le repiquage $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ à l'initiation paniculaire auxquelles a été apporté un supplément de $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK à l'épiaison). Par contre les plus faibles ($3327,5$; $3329,2$ et $3501,6$) $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ont été enregistrés respectivement avec les traitements NPK2*U1 (témoin), NPK2*U3 ($200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK appliqué au repiquage plus $72 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ d'urée super granulée appliquée 10 jours après le repiquage) et NPK3*U1 ($200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK au repiquage plus $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ d'urée perlée à laquelle un supplément de $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK a été apporté à l'épiaison).

Tableau 3. Rendement paille et en grains (kg.ha⁻¹) en fonction des doses

Traitements	An 2020 Grain(kg.ha ⁻¹)	An 2021 Grain(kg.ha ⁻¹)	An 2020 Paille(kg.ha ⁻¹)	An 2021 Paille(kg.ha ⁻¹)	An2020 IR	An 2021 IR
NPK1	4666,2 ^b ±167,94	4632,6 ^c ±77,3	-	-	-	-
NPK2	4164,5 ^a ±121,69	3802,3 ^a ±157,7	-	-	-	-
NPK3	4397,4 ^{ab} ±236,37	4221,3 ^b ±153,5	-	-	-	-
Pr > F	<0,163	<0,0005	0.5	0.35	-	-
Significatif	NS	THS	NS	NS	-	-
U1	4887,6 ^c ±184,92	3935,3 ^a ±234,4	-	-	-	-
U2	4520,7 ^b ±77,93	4638,3 ^c ±53,25	-	-	-	-
U3	3683,8 ^a ±145,01	4049,3 ^{ab} ±168,56	-	-	-	-
U4	4545,3 ^b ±129,29	4252 ^b ±69,92	-	-	-	-
Pr > F	<7.946e-05	0,038	0.3	0.87	-	-
Significatif	THS	S	NS	NS	-	-
NPK*Urée						
Pr > F	<0.0039	<2.273e ⁻⁰⁶ .	<0.006	9,58 ^{e-11}		
Significatif	HS	THS	HS	THS		

NPK1= 150 kg.ha⁻¹ au repiquage + 50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; U1= 50 kg.ha⁻¹ au 15e jour après semis + 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire; NPK2= 200 kg.ha⁻¹ au repiquage; U2= 50 kg.ha⁻¹ au 15e jour après semis + 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire +50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; NPK3= 200 kg.ha⁻¹ au repiquage + 50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; U3= 72 kg.ha⁻¹ d'Urée Super Granulée 10 jours après repiquage U4 = 72 kg.ha⁻¹ d'Urée Super Granulée au 10e jour après semis + urée perlée 50kg/ha au repiquage. An2020 = Année 2020 et An 2021 =Année 2021

Quant aux indices de récolte (Tableau 4), l'analyse a montré qu'en 2020, il y a eu un remplissage des grains et une réduction de la production de biomasse (IR ≥ 0,60). Par contre en 2021, la production de biomasse était élevée au détriment de la production de grains (IR < 0,40)

Tableau 4. Rendement paille et en grains (kg.ha⁻¹) en fonction des traitements

Traitements	An 2020 Grain(kg.ha ⁻¹)	An 2021 Grain(kg.ha ⁻¹)	An 2020 Paille(kg.ha ⁻¹)	An 2021 Paille(kg.ha ⁻¹)	An2020 IR	An 2021 IR
NPK1*U1	5075 ^{ef} ±275	4976,6 ^e ±246	2058,3 ^{cd} ±175	8393 ^h ±381	0.71	0.37
NPK1*U2	4600,7 ^{cde} ±379	4675,4 ^{cde} ±110	1333,3 ^a ±50	5141,6 ^{ab} ±725	0.78	0.48
NPK1*U3	4129 ^{bc} ±193,7	4427,5 ^{bcd} ±27,5	2038,9 ^{cd} ±569	5825 ^{cde} ±222	0.67	0.43
NPK1*U4	4860,2 ^{de} ±670 ^c	4451,2 ^{bcd} ±161,2	1866,7 ^{cd} ±671	7725.9 ^g ±500	0.72	0.37
NPK2*U1	4103,8 ^{bc} ±667	3327,5 ^a ±247,5	1691,7 ^{abcd} ±142	5900 ^{de} ±150	0.71	0.36
NPK2*U2	4425,9 ^{cd} ±211,2	4455 ^{bcd} ±165	2166,6 ^d ±250	6200 ^{efd} ±72	0.67	0.42
NPK2*U3	3580,1 ^{ab} ±262	3329,2 ^a ±304,2	1622,2 ^{abc} ±227	5078,2 ^{ab} ±32	0.69	0.4
NPK2*U4	4548,2 ^{cde} ±131	4097,5 ^b ±137,5	1958,3 ^{cd} ±58	5275 ^{bc} ±225	0.7	0.44
NPK3*U1	5484 ^f ±223	3501,6 ^a ±228,9	1983,3 ^{cd} ±50	5375 ^{bcd} ±300	0.73	0.39
NPK3*U2	4535,5 ^{cde} ±241	4785 ^{de} ± 110	1826,6 ^{bcd} ±167	5050 ^{qb} ±251	0.71	0.49
NPK3*U3	3342,2 ^a ±234	4391,3 ^{bc} ±121	1666,6 ^{abc} ±165	6548,3 ^f ±50 ^c	0.67	0.4
NPK3*U4	4227,6 ^c ±231	4207,5 ^b ±302,5	1358,3 ^{ab} ±208	4700 ^a ±144,3	0.76	0.47
Pr > F	<0.0039	<2.273e ⁻⁰⁶ .	<0.006	9,58 ^{e-11}		
Significatif	HS	THS	HS	THS		

NPK1= 150 kg.ha⁻¹ au repiquage + 50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; U1= 50 kg.ha⁻¹ au 15e jour après semis + 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire; NPK2= 200 kg.ha⁻¹ au repiquage; U2= 50 kg.ha⁻¹ au 15e jour après semis + 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire +50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; NPK3= 200 kg.ha⁻¹ au repiquage + 50 kg.ha⁻¹ à l'épiaison; U3= 72 kg.ha⁻¹ d'Urée Super Granulée 10 jours après repiquage U4 = 72 kg.ha⁻¹ d'Urée Super Granulée au 10e jour après semis + urée perlée 50kg/ha au repiquage. An= Année 2020 et An=Année 2021.

IR =indice de récolte

S=significatif, NS=Non Significatif; HS=Hautement Significatif, THS=Très Hautement Significatif.

NB: Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Student Newman- Keuls (SNK).

3.4 TAUX DE VALORISATION DES ENGRAIS (VE) APPLIQUES

L'évaluation du taux de valorisation des engrais (VE) a concerné onze (11) traitements hormis mis le témoin (200 kg.ha⁻¹ de NPK appliqué au repiquage plus 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée dont 50 kg.ha⁻¹ 15 jours après le repiquage et 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire).

En année 2020, les taux de valorisation des engrais (VE) ont varié de -2,37 kg.kg⁻¹ à 3,35 kg.kg⁻¹. Le meilleur taux de valorisation VE=3,45 kg/kg a été enregistré avec la combinaison NPK3*U1 (250 kg.ha⁻¹ de NPK plus 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée dont les 50 kg.ha⁻¹ de NPK ont été apportés à l'épiaison) contre le plus faible (VE -2,37 kg.kg⁻¹) obtenu avec le traitement NPK3*U3 (250 kg.ha⁻¹ de NPK plus 72 kg.ha⁻¹ d'urée super granulée dont les 50 kg.ha⁻¹ de NPK ont été apportés à l'épiaison).

En année 2021, ces taux ont varié de -3,9 kg.kg⁻¹ à 4,71 kg.kg⁻¹. Le meilleur taux de valorisation avec (VE= 4,71 kg.kg⁻¹) a été obtenu avec la combinaison NPK1*U1 (150 kg.ha⁻¹ de NPK au repiquage plus 50 kg.ha⁻¹ d'urée perlée 15 jours après repiquage plus 100 kg.ha⁻¹ d'urée perlée à l'initiation paniculaire auxquelles doses 50 kg.ha⁻¹ de NPK a été ajouté à l'épiaison) contre le plus faible taux (VE= -3,9 kg.kg⁻¹) obtenu avec les dose combinées NPK3*U2 (200 kg.ha⁻¹ de NPK plus 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée dont 50 kg.ha⁻¹ appliqués 15 jours après repiquage et 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire auxquelles doses un supplément de 50 kg.ha⁻¹ et 50 kg.ha⁻¹ d'urée perlée ont été apportées l'épiaison).

Les valeurs des taux de valorisation des engrais (VE) en fonction des interactions des doses de NPK et d'urée sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5. Taux de valorisation des engrais (VE) en année 2020 et 2021

Traitements	Année2020	Année2021	(Kg.ka ⁻¹)	Année2020	Année2021	VE Moyen
	RDT	RDT		VE	VE	
NPK1*U1	5075	4976.6	350.00	2.77	4.71	3.74
NPK1*U2	4600.7	4675.4	400.00	1.24	3.37	2.31
NPK1*U3	4129	4427.5	272.00	0.09	4.04	2.07
NPK1*U4	4860.2	4451.2	322.00	2.35	3.49	2.92
NPK2*U1	4103.8	3327.5	350.00	0.00	-0.50	-0.25
NPK2*U2	4425.9	4455	400.00	0.81	2.38	1.59
NPK2*U3	3580.1	3329.2	272.00	-1.93	-3.90	-2.92
NPK2*U4	4548.2	4097.5	322.00	1.38	-0.91	0.23
NPK3*U1	5484	3501.6	400.00	3.45	0.44	1.94
NPK3*U2	4535.5	4785	450.00	0.96	3.24	2.10
NPK3*U3	3342.2	4391.3	322.00	-2.37	3.30	0.47
NPK3*U4	4227.6	4207.5	372.00	0.33	2.37	1.35

VE (2020) = taux de valorisation de l'engrais en année2020 VE (20201) = taux de valorisation de l'engrais en année 2021. Di = dose d'engrais utilisée dans le traitement.

RDT2020 =rendement en grain en 2020 et RDT2021= rendement en grain en 2021

4 DISCUSSION

4.1 EFFET DES MODES DE FERTILISATION LES PARAMETRES AGRONOMIQUES DU RIZ DE VARIETE FKR84

L'analyse de variance a montré que les interactions entre les doses croissantes de NPK et Urée ont induit une différence très hautement significative sur le nombre de talles à l'initiation paniculaire aussi bien en campagne humide 2020 qu'en 2021. En effet, une augmentation de 7% et 2% du nombre de talles a été observée par rapport au traitement témoin, respectivement en 2020 et 2021. En 2020, la meilleure performance, (131 talles.m⁻²) a été obtenu avec l'application de la dose combinée de 150 kg.ha⁻¹ de NPK au repiquage et 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée dont 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire plus un supplément de 50 kg.ha⁻¹ de NPK à l'épiaison. Cette performance en nombre de talles audit stade végétatif pourrait être due à l'azote émanant aussi bien de l'urée contenue dans le NPK appliqué au repiquage que de l'urée perlée apporté 15 jours après semis et à l'initiation paniculaire. Il est bien connu que l'azote (N) est un élément essentiel à la croissance (source) et au bon développement de la plupart des plantes supérieures. En effet, il constitue l'élément majeur le plus limitatif pour la croissance de ces plantes. Ainsi, la dose d'azote reçu par ce traitement a été de 97 kg N ha⁻¹ tout comme celle du témoin (97 kg N ha⁻¹), et aurait favorisé le tallage et la formation de talles fertiles. Les quantités d'azote apportées aux ultimes phases de croissance que

sont le tallage et l'initiation paniculaire, seraient à l'origine de ce développement agro-morphologique car c'est pendant ces phases que les plantes emmagasinent plus de la moitié de leur besoin en éléments nutritifs majeurs [13]. Autrement, le déficit de ces éléments aux périodes sus-indiquées engendrerait des pertes de performances pouvant influencer le reste de leur cycle de développement. Cette dose combinée, bien qu'elle ne présente pas, sur le plan statistique, un nombre de talles fertiles significativement différent des autres combinaisons, elle comporte au delà du facteur secondaire qui est la dose d'urée perlée de 150 kg.ha⁻¹ appliquée en deux fractions dont le 1/3 au 15^e jours après le repiquage et les 2/3 à l'initiation paniculaire, du NPK appliqué à l'épiaison qui aurait induit un effet très hautement significatif sur le nombre de talles fertiles ou panicules (116 talles fertiles.m⁻²) à la récolte. Ce qui pourrait expliquer la différence de talles fertiles avec le témoin qui n'a pas reçu u NPK à l'épiaison, contrairement au plus faible nombre de talles, enregistré avec les doses de combinées de 200 kg.ha⁻¹ de NPK appliqué au repiquage plus 72 kg.ha⁻¹ d'urée super granulée auxquelles doses 50 kg.ha⁻¹ de NPK a été apporté à l'épiaison. En plus du fait que cette dose combinée n'a pas induit de différence significative avec les autres traitements pour le nombre de talles fertiles (panicules), ses facteurs principaux (NPK et urée) ont également présenté les plus faibles valeurs en nombre de talles fertiles, respectivement -10 talles fertiles.m⁻² et -27 talles fertiles.m⁻² par rapport au nombre de panicules le plus élevé produit par le facteur primaire (200 kg.ha⁻¹ de NPK) et engrais de couverture (150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée). L'azote contenu dans le NPK ainsi que celui de l'urée super granulée n'a pas favorisé le développement de talles fertiles. Nos résultats sont en contradiction avec ceux de Yaméogo *et al* [14] qui ont montré le rôle de l'USG dans le tallage du riz.

Contrairement en année 2020, le meilleur tallage, 121 talles.m⁻² en 2021, a été obtenu avec un traitement qui a reçu en plus de 150 kg.ha⁻¹ de NPK au repiquage, 72 kg.ha⁻¹ d'urée super granulée plus un supplément de 50 kg.ha⁻¹ de NPK et 50 kg.ha⁻¹ d'urée perlée apportée à l'épiaison, soit une teneur en azote de 84,12 kg N.ha⁻¹. L'azote, reconnu comme le fertilisant déterminant dans la formation des composantes de rendement, aurait favorisé la croissance et le développement des plantes du riz dont le nombre de talles fertiles. Cette performance serait surtout due à l'azote émanant de l'urée super granulée appliquée dix (10) jours après le repiquage. En effet, les granules d'urée enfouis à environ dix centimètre (10 cm) dans le sol, se désintègrent lentement et l'azote progressivement mise à la disposition de la plante est à mesure de couvrir ses besoins azotés de la phase tallage à l'initiation paniculaire. Nos résultats corroborent ceux des auteurs [4], [15] et [16] qui ont montré que l'USG peut rester dans le sol pendant 65 jours. Par contre, l'urée perlée, dont le processus d'ammonification et de nitrification ne dure que quelques jours, est perdue par volatilisation, dénitrification ou lixiviation et/ou lessivage [17,18]. Nos résultats, comme ceux de Gueye *et al* [5] montrent que l'application de N est nécessaire pour augmenter la production du riz de chaque saison. A cet effet, les travaux de Sanogo *et al.* [19] ont prouvé le rôle de l'azote dans l'amélioration des paramètres de croissance du riz et la relation existante entre le tallage, le nombre de talles fertiles (panicules) et le niveau d'azote dans le sol. Le supplément de NPK à la phase épiaison, observé en 2020, constitue à la fois un complément et un renfort en ces trois éléments nutritifs majeurs, permettant à la plante de riz de variété FKR84 de disposer, en plus de l'azote, du phosphore et du potassium indispensable pour la formation de talles fertiles et pour le remplissage des grains. Ce qui expliquerait le rendement en grain de 5484 kg.ha⁻¹ obtenu. A cet effet les travaux de Gueye *et al.* [5] ont montré que les meilleurs rendements sont obtenus lorsque l'azote (N) est combiné aux phosphore et du potassium. Le rendement de 4976 kg.ha⁻¹ de paddy enregistré au cours de la saison humide 2021, a été le résultat d'un traitement qui a consisté à apporter un supplément de 50 kg.ha⁻¹ de NPK à l'épiaison, en plus de 150 kg.ha⁻¹ de NPK reçu au repiquage et de 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée dont 50 kg.ha⁻¹ apporté 15 jours après le repiquage et 100 kg.ha⁻¹ à l'initiation paniculaire. Autrement, cette combinaison n'est autre que le traitement témoin dont la dose de 200 kg.ha⁻¹ d'engrais NPK a été fractionnée en deux dont les 2/3 sont apportés au repiquage et le 1/3 à l'épiaison. Tout comme en campagne humide 2020, ce supplément d'engrais ternaire aurait favorisé l'accroissement des talles fertiles et du remplissage des grains paddy. L'application du supplément d'engrais NPK à l'épiaison apparaît comme une stratégie de gestion des engrais minéraux, pour soutenir le besoin en fertilisants de la plante de riz à cette période, afin de parachever la maturation et par conséquent augmenter le rendement paddy. Nos résultats, comme de ceux de Haefele [20], prouvent que sans apport de phosphore et de potassium, l'efficacité de l'utilisation de l'azote baisse, pourtant avec un épandage de tous les éléments nutritifs, l'efficacité de l'utilisation du phosphore et du potassium augmente progressivement, preuve de l'interaction entre ces éléments nutritifs. Cela est d'autant plausible au regard du sol du site qui est du type peu évolué avec une texture fine, limono-argileux dans les premiers centimètres [21]. Ce type de sol a une faible aptitude, voire limitée, de fixation des éléments minéraux et dans ce cas, les fertilisants minéraux sont vite perdus. Le fractionnement des engrais, surtout un apport de NPK à la phase épiaison apparaît comme un moyen de mettre les fertilisants à la disposition de la plante à une importante phase de son développement et aussi une solution à la difficulté de fixation des éléments que connaît ce type de sol. Nos résultats sont similaires à ceux des auteurs [21, 22] qui ont prouvé que la demande des trois éléments majeurs est encore plus élevée durant la phase reproductive. En outre, ces éléments majeurs jouent un rôle déterminant dans le remplissage des graines et la formation du rendement paddy. Des travaux de Dobermann *et al.* [23] et Segda *et al.* [22] ont également prouvé leur rentabilité dans la production du riz. Comparé au rendement en grains obtenu en campagne humide 2021, celui de 2020 a connu une augmentation de 10% de paddy. Cette performance serait due à la gestion

de la nutrition minérale tout au long du cycle de la plante. En effet, ce traitement a bénéficié à l'épiaison d'un supplément de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK en plus de la dose vulgarisée ($200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK recommandée comme engrais de fond, $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'urée perlée comme engrais de couverture) contre 2/3 de la dose d'engrais de fond apporté en année 2021. Ce supplément de NPK apporté à l'épiaison constitue un complément de fertilisants, en plus de la base de nutriments majeurs recommandés dans la vulgarisation actuelle et il répondrait au besoin progressif en éléments minéraux dont éprouve la plante, surtout à la phase de maturation. La dose de NPK reçu sous forme d'engrais de couverture à l'épiaison aurait augmenté la teneur en azote, un important facteur pour l'absorption du phosphore et/ou du potassium, fertilisant (s) qui, activement participent à la formation des protéines, des acides aminés nécessaires au remplissage des grains. De ce fait, cette dose de NPK apporté à l'épiaison permet d'accroître substantiellement le rendement paddy à hauteur de $507 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ s'il vient en supplément à un traitement ayant reçu la dose d'engrais recommandée. Nos résultats corroborent ceux de Imrani *et al* [26] qui montrent que l'azote donne de bon rendement s'il est combiné avec le potassium et/ou le phosphore. Pour cet auteur, le potassium accroît la réponse de la plante au phosphore et favorise une très bonne résistance aux maladies, à la verse et l'azote combinée au potassium permet d'augmenter les rendements de 12%. Toutefois, l'apport de supplément de NPK permet l'interaction de ces trois fertilisants, indispensable pour donner un meilleur rendement.

Par contre la faible performance en riz paddy observée en année 2020, a été le résultat de la combinaison de $250 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK plus $72 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ qui diffère du plus performant rendement de la même année, par sa dose d'urée super granulée (sans apport d'urée perlée à l'initiation paniculaire). En terme de fertilisants minéraux et surtout azotés, le meilleur traitement a compté $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, $46 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$, $48 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$, contre $61,12 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, $46 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$, $48 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le plus faible. Bien que ces traitements aient reçu les mêmes doses de phosphore ($46 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) et de potassium ($48 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), le plus performant a bénéficié du double ($120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de l'azote du plus faible ($61,12 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Aussi, son phosphore et potassium ont été répartis dans le temps (au repiquage et à l'épiaison) contre l'application en une seule dose pour le plus faible rendement. Apporté en une seule dose, les pertes d'engrais (sous diverses formes), surtout azotées ne peuvent être compensées. Pourtant il est unanimement reconnu le rôle déterminant que joue l'azote dans la production du riz. En outre, l'azote absorbé après l'épiaison contribue à une photosynthèse active pour la production de grains [24]. Ce qui pourrait expliquer la différence de rendement entre ces deux traitements en année 2020. Des résultats similaires ont été obtenus par Gustave [25], Segda *et al.* [1] qui ont prouvé que les écarts de rendements sont surtout liés à une mauvaise couverture des besoins des plantes du riz en éléments minéraux, particulièrement l'azote, le phosphore, et le potassium.

Les faibles rendements paddy enregistré en 2021 ont été avec les trois traitements à savoir le témoin, la combinaison de $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ plus $72 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ et le traitement témoin auquel un supplément de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a été apporté à l'épiaison. Si les deux premières n'ont pas bénéficié d'un supplément de NPK à l'épiaison, la dernière combinaison en a reçu. Ces écarts seraient imputables d'une part au type de sol (PEAH/F) du site qui ne favorise pas l'absorption des nutriments et conduit donc à une mauvaise gestion ou perte des engrais. C'est ainsi que des doses plus importantes que le témoin ont produit de faibles rendements. D'autre part, l'eau d'irrigation du périmètre émane des émergences souterraines et la remontée capillaire est alors intensifiée en saison pluvieuse car la recharge de la nappe devient importante. A ce phénomène s'ajoute l'eau des fortes pluies que connaît la localité. Ainsi, certaines parcelles sont constamment gorgées d'eau en saison pluvieuse en dépit les efforts de drainage. Cet excès d'eau pourrait entraîner la perte des doses d'engrais par lessivage et/ou ruissellement et conduire à des pertes de rendements de ces parcelles. Nos résultats comme ceux de Imrani *et al* [26] montrent que les écarts de rendement dans nos sites rizicoles seraient liés à une mauvaise gestion des besoins des plantes en ces trois fertilisants majeurs. Un constat en contradiction avec les résultats obtenu avec la dose combinée de $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK et $72 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'urée super granulée plus un supplément de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK à l'épiaison ainsi que celle de la combinaison de $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK et $72 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'urée super granulée plus un supplément de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK auquel a été ajouté $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'urée perlée à l'épiaison, qui ont reçu les plus faibles doses d'urée respectivement $28 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ et $78 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de moins que le traitement témoin) mais qui ont un taux de valorisation moyen ($VE = 2 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) de plus de paddy que le traitement vulgarisé. Ces traitements en plus de la dose de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK à l'épiaison, ont tous reçu de l'urée super granulée. Ainsi est mis en exergue, l'efficacité agronomique qu'engendre les engrais minéraux lorsque tous les trois éléments majeurs y sont apportés à l'épiaison. En outre, une valorisation des engrais qui trouverait son explication dans la bonne gestion de l'azote contenu dans l'urée super granulée [14] et de l'interaction de l'azote, du potassium et phosphore émanant de la fraction de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK appliquée à l'épiaison.

Pour le rendement en paille, en 2020, la meilleure performance, $2166,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a été obtenu avec la combinaison de $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK plus $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'urée auxquelles doses a été ajouté $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'urée perlée à l'épiaison. Par contre le plus faible rendement, $1358,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a été obtenu avec la dose combinée de $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK plus $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'urée perlée plus un supplément de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de NPK et $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'urée perlée apporté à l'épiaison. L'apport d'un supplément d'urée perlée à l'épiaison aurait favorisé la libération d'azote et induire le développement de la biomasse au détriment du rendement grain au regard de son indice de récolte ($IR > 0,67$). En effet, l'azote augmente les besoins de la plante en potassium (K) et par conséquent, la teneur en cet élément dans le végétal [27]. Pour le même paramètre, le meilleur rendement en 2021 a été de

8393 kg.ha⁻¹, obtenu avec la dose combinée de 200 kg.ha⁻¹ de NPK reçu au repiquage, 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée dont 50 kg.ha⁻¹ de NPK appliqué au repiquage. Ce traitement qui a mobilisé 120 kg N. ha⁻¹, 46 kg P.ha⁻¹ et 28 kg K.ha⁻¹ d'unités fertilisants contre le plus faible rendement paille 4700 kg.ha⁻¹, produit par la combinaison de 200 kg.ha⁻¹ de NPK plus 72 kg.ha⁻¹ d'urée super granulée plus un supplément de 50 kg.ha⁻¹ de NPK et 50 kg.ha⁻¹ d'urée perlée à l'épiaison. Ce dernier, malgré la teneur élevée en azote de (91,12 kg N.ha⁻¹) a produit un faible rendement aussi bien en paille qu'en grain (IR=0,47). Ce résultat serait dû à une mauvaise gestion des fertilisants liée à l'application des engrais et/ ou au lessivage, aux prélèvements dus aux mauvaises herbes qui ont subsistées etc. Nos résultats sont similaires à ceux de FAO [28] qui ont montré qu'il arrive aussi qu'une partie des éléments nutritifs appliqués reste inaccessible aux racines des plantes par suite de fixation et de lessivage ou autres pertes.

4.2 EVALUATION DU TAUX DE VALORISATION DES ENGRAIS

L'efficacité des interactions des doses d'engrais sur la variété de riz FKR84 a été appréciée à travers la détermination de leur taux de valorisation (VE). Cette efficacité d'utilisation des engrais a connu une variabilité en fonction des traitements et des années. En effet, en 2020, l'utilisation d'une unité de kilogramme d'engrais a permis de produire 3,5 kg.kg⁻¹ de plus de riz paddy que la quantité d'engrais utilisée et 4,7 kg.kg⁻¹ de plus de riz paddy en 2021. Ces meilleures performances ont été obtenues avec respectivement la combinaison de 250 kg.ha⁻¹ de NPK plus 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée dont les 50 kg.ha⁻¹ ont été apportés à l'épiaison et la dose combinée de 150 kg.ha⁻¹ de NPK plus 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée plus un supplément de 50 kg.ha⁻¹ de NPK appliqués à l'épiaison qui ont enregistré les meilleurs rendements en grains en 2020 et 2021. Nos résultats sont en partie en contraction avec ceux de Gueye *et al* [5] qui ont trouvé que les meilleures valeurs, de valorisation des engrais se situent entre 10 kg.kg⁻¹. Néanmoins, les taux positifs traduisent une bonne efficacité d'utilisation des engrais à travers ces interactions. Cependant, les contre-performances en terme de taux de valorisation des engrais en 2020 (VE= -2,37) kg.kg⁻¹ et en 2021 (VE=-3,90) kg.kg⁻¹ sont obtenues avec les traitements ayant engendrés les plus faibles rendements grains. Autrement ces taux traduisent une perte en rendement paddy par rapport à l'engrais minéral utilisé pour leur production.

5 CONCLUSIONS

Cette étude a permis de montrer que la combinaison de 250 kg/ha de NPK plus 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée dont les 50 kg.ha⁻¹ de NPK ont été apportés à l'épiaison ainsi que la dose combinée de 150 kg.ha⁻¹ de NPK plus 150 kg.ha⁻¹ d'urée perlée plus un supplément de 50 kg.ha⁻¹ de NPK apportés à l'épiaison ont été les meilleurs traitements respectivement en année 2020 et en 2021 de par leurs performances agronomiques (production de talles, de talles fertiles rendement paddy et paille) comparativement aux autres traitements. La première combinaison a induit un rendement en grain de 5484 kg.ha⁻¹ en année 2020 contre 4976,6 kg.ha⁻¹ pour la deuxième avec également les meilleurs taux de valorisation des engrais. Il ressort que la dose actuellement vulgarisée à laquelle un supplément de 50 kg.ha⁻¹ de NPK a été apporté à l'épiaison, c'est-à-dire un fractionnement de 200 kg.ha⁻¹ de NPK en deux dont les 2/3 apportés au repiquage et le 1/3 à l'épiaison, a enregistré le meilleur rendement paddy avec un surplus de paddy de 508 kg.ha⁻¹ que le témoin. Il est à noter de notre étude que si l'apport d'un supplément d'engrais NPK à l'épiaison permet d'améliorer le rendement en grain, l'efficacité de ce supplément est d'autant plus plausible que la plante a reçu une bonne base de nutrition minérale et l'utilisation de 200 kg.ha⁻¹ de NPK dont les 2/3 comme engrais de fond paraît judicieuse. L'apport d'un supplément d'urée perlée uniquement à l'épiaison, augmente la teneur en azote du milieu mais favorise le développement de la biomasse au détriment du rendement en grain. Ces résultats pourront servir de stratégie pour une gestion efficace des engrais minéraux sur les périmètres rizicoles et contribuer à augmenter significativement les rendements paddy et des revenus des producteurs. La conduite d'une étude de performances économiques et financières sur le rapport coût lié à ce supplément de 50kg.ha⁻¹ de NPK et son rendement produit reste nécessaire pour finaliser cette proposition.

REMERCIEMENT

Ce travail a pu être réalisé grâce à l'appui financier du projet WAGRINOVA, l'appui technique de l'INERA, de l'UPB, partenaires auxquels nous exprimons toute notre reconnaissance.

CONFLICT D'INTÉRÊT

L'auteur déclare qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt.

REFERENCES

- [1] Segda, Z. (2006). Gestion de la fertilité du sol pour une production améliorée et durable du riz (*Oryza sativa* L.) au Burkina Faso. Cas de la plaine irriguée de Bagré (*Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat*, Université de Ouagadougou, Burkina Faso).
- [2] Siri, A. (2012). Détermination de la capacité nutritive des sols en riziculture irriguée dans les périmètres de la vallée du Sourou: approche par les essais soustractifs, et utilisation du modèle QUEFTS-WS pour la formulation des options de fertilisations, mémoire ingénieur agronome UPB, 56p. Mémoire d'Ingéniorat, Insitut du Développement Rural, Université Polytechnique de BoboDioulasso, Burkina Faso.
- [3] Segda, Z., Yaméogo, L.P., Gnankambary, Z., Papaoba, S.M. (2013). Effets induits du type de fumure sur les paramètres chimiques du sol et sur le rendement paddy dans la plaine rizicole de Bagré au Burkina Faso. *J Soc Ouest-Afr Chim* 36, 35–46.
- [4] Saidou A., Gnakpenou.K.D., Balogoun I., Hounahin S.R., Kindomihou M.V. (2014). «Effet de l'urée et du NPK 15-15-15 perlés et super granulés sur la productivité des variétés de riz IR841 et NERICA-L14 en zone de bas-fond au Sud-Bénin.» *Journal of Applied Biosciences* 77 (July): 6575–89p. <https://doi.org/10.4314/jab.v77i1.13>.
- [5] Gueye, H., Sall, A. T., Kéita, B. G., N'Diaye, S., Dieng, H., & Gueye, T. (2019). Effet de la fertilisation minérale sur la culture du riz (*Oryza sativa* L.) et du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans la vallée du fleuve Sénégal. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 41 (1), 6840-6846. <https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v41-1.10>.
- [6] Baligar, V. C., Fageria, N. K., & He, Z. L. (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Environmental Science. Comunity in Soil and Science And Plant Analysis*. 10010498 14P.DOI 10.1081/CSS-.
- [7] De Vries, M. E., Rodenburg, J., Bado, B. V., Sow, A., Leffelaar, P. A., & Giller, K. E. (2010). Rice production with less irrigation water is possible in a Sahelian environment. *Field Crops Research*, 116 (1-2), 154-164. www.elsevier.com/locate/fcr.
- [8] Roy R., Finck N A., Blair G. J., Tandon H.L.S. (2006). «Plant nutrition for food security.» A Guide for Integrated Nutrient Management. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 16: 368p. <https://www.researchgate.net/publication/287003597>.
- [9] Majumder, S.H., Gogoi, P.B., Deka, N. (2019). System of rice intensification (SRI): An innovative and remunerative method of rice cultivation in Tripura, India. *Indian J. Agric. Res.* 53, 504–507.
- [10] Jérémie, G. B. T., Camara, M., Yao-KOUAME, A., & KELI, Z. J. (2011). Rentabilité des engrais minéraux en riziculture pluviale de plateau: Cas de la zone de Gagnoa dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 463153-3162.
- [11] Bouzerzour, H., Djekoune, A., & Benmahammed, A. (1996). Analyse du déterminisme génétique de la biomasse et de l'indice de récolte dans un croisement diallèle en orge (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomiques Annales Agronomiques de l'I.N.A.*, Vol. 17, Iv 7 & 2, 1996.
- [12] Yoshida S., (1981). *Fundamentals of rice crop science*. IRRI, Los Baños, Philippines. 269 p.
- [13] Roy R., Singh S.K, Singh. A., 2013. «Integrated nutrient management in rice (*Oryza Sativa*).» *Indian. Journal of Agronomy* 58 (2): 203__207p.
- [14] Yameogo, P. L., Segde, Z., Dakouo, D., & Sedogo, M. P. (2013). Placement profond de l'urée (PPU) et amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote en riziculture irriguée dans le périmètre rizicole de Karfiguela au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 70, 5523-5530.
- [15] Gaihre, Y.K., Singh, U., Islam, S.M.M., Huda, A., Islam, M. R., Satter, M.A., Sanabria, J., Islam, Md. R., Shah, A.L. (2015). Impacts of urea deep placement on nitrous oxide and nitric oxide emissions from rice fields in Bangladesh. *Geoderma* 259–260, 370–379. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.001>.
- [16] Mazid Miah, Md.A., Gaihre, Y.K., Hunter, G., Singh, U., Hossain, S.A. (2016). Fertilizer Deep Placement Increases Rice Production: Evidence from Farmers' Fields in Southern Bangladesh. *Agron. J.* 108, 805–812. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0170>.
- [17] Koné, B., Diatta, S., Saïdou, A., Akintayo, I., & Cissé, B. (2009). Réponses des variétés interspécifiques du riz de plateau aux applications de phosphate en zone de forêt au Nigeria. *Canadian. Journal of Soil Science*, 89 (5), 555-565.
- [18] Segda, Z., Yameogo, L. P., Sie, M., Bado, V. B., & Mando, A. (2014). Nitrogen use efficiency by selected NERICA varieties in Burkina Faso. *African Journal of Agricultural Research*, 8, 1-8. DOI: 10.5897/AJAR20.
- [19] Sanogo, S. (2020). Evaluation de l'effet de doses d'azote et de phosphore sur des paramètres agromorphologiques et du rendement du riz: cas de la variété Djoukèmin dans un bas-fond de la région de Gagnoa. *Journal Interdisciplinaire de la Recherche Scientifique*, 1 (1). 8-16.
- [20] Haefele, S. M., Wopereis, M. C. S., Ndiaye, M. K., Barro, S. E., & Isselmou, M. O. (2003). Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa. *Field Crops Research*, 80 (1), 19-32.
- [21] MARAH. (2022). Rapport pédologique d'avant-projet détaillé APD du Site de Sindou.40p.

- [22] Segda, Z., Yameogo, P. L., Mando, A., Kazuki, S., Wopereis, M. C., & Sedogo, M. P. (2014). Le phosphore limite-t-il la production intensive du riz dans la plaine de Bagré au Burkina Faso?. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (6), 2866-2878. SSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631.
- [23] Dobermann, A., Ping, J. L., Adamchuk, V. I., Simbahan, G. C., & Ferguson, R. B. (2003). Classification of crop yield variability in irrigated production fields. *Agronomy Journal*, 95 (5), 1105-1120. 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711 USA.
- [24] Peng, S., Buresh, R. J., Huang, J., Zhong, X., Zou, Y., Yang, J.,... & Dobermann, A. (2010). Improving nitrogen fertilization in rice by site specific N management. *A review. Agronomy for sustainable development*, 30, 649-656.
- [25] Gustave, S. A. (2010). Effets de la fertilisation minérale sur des variétés améliorées de riz en condition irriguée à Gagnoa, Côte d'Ivoire. *Journal of applied biosciences*, 35, 2235-2243.
- [26] Imrani N., Ouazzani A., Chahdi M C., Touati J., Ouazzani A., Ouhami T., Benkirane R., Douira A. (2014). Effet de la fertilisation par différents niveaux de N P K sur le développement des maladies foliaires du riz. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 23, Issue 1: 3601-3625 Publication date 31/10/2014, <http://www.m.elewa.org/JAPS>; ISSN 2071-7024p.
- [27] Halilat, M. (1993). Etude de la fertilisation azoté et potassique sur blé dure (variété Aldura) en zone Saharienne (R. Ouargla) (Doctoral dissertation, *Thèse Mag. L'INES d'agronomie de Batna*, 114p).
- [28] FAO, (2003). Les engrais et leurs applications. Précis à l'usage des agents de la vulgarisation agricole, Association internationale de l'industrie des engrais, Institut mondial du phosphate 4 e édition, Rabat (Maroc). 77p.