

Diagnostic de la fertilité chimique des principaux sols rizicoles de la Vallée du Sourou au Burkina Faso

[Diagnosis of the chemical fertility of the main rice-growing soils of the Sourou Valley in Burkina Faso]

Jean Ouedraogo¹, Constantin Kpoda Kpieroouhib¹, Mathias Bouinzwendé Pouya², Sansan Youf¹, and Idriss Serme²

¹International Fertilizer Development Center, 11 BP 82 Ouaga 11, Burkina Faso

²Department, Gestion des Ressources Naturelles, Systèmes de Production, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, 01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso

Copyright © 2022 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: The diagnosis of fertility is a prerequisite for the formulation of balanced and site-specific fertilizer recommendations. To do this, omission trials were set up on 60 plots in the Sourou Valley. The trials were divided into Hydromorphic tropical eutrophic ferruginous brown soils and Vertic tropical eutrophic ferruginous brown soils. Each trial included 06 treatments: 0N-0P-0K, 0N-30P-40K, 120N-0P-40K, 120N-30P-0K, 120N-30P-40K and 120N-30P-40K + 2.5 t.ha⁻¹ of organic matter. Grain and straw yields, soil chemical characteristics and plant nitrogen, phosphorus and potassium exports were determined. The results showed that Vertic tropical eutrophic ferruginous brown soils are slightly richer in carbon, nitrogen and phosphorus than into Hydromorphic tropical eutrophic ferruginous brown soils. Indeed, the initial nitrogen, phosphorus and potassium contents calculated from the exports were respectively 71.20 kg.ha⁻¹, 30.02 kg.ha⁻¹ and 187.19 kg.ha⁻¹ for the Vertic tropical eutrophic ferruginous brown soils, against 52.47 kg.ha⁻¹, 19.10 kg.ha⁻¹ and 159.62 kg.ha⁻¹ for the into Hydromorphic tropical eutrophic ferruginous brown soils. Furthermore, the results showed that nitrogen and phosphorus are the two limiting nutrients for rice production on these two soil types. The internal N use efficiency was 80.59 kg grain.kg⁻¹ N on into Hydromorphic tropical eutrophic ferruginous brown soils and 60.09 kg grain.kg⁻¹ N for Vertic tropical eutrophic ferruginous brown soils. The results of this diagnostic will be used as a basis for the formulation of balanced and site-specific fertilizer recommendations.

KEYWORDS: Omissions trials, initial fertility, internal efficiency, irrigated rice, nutrient uptake, limiting nutrients.

RESUME: Le diagnostic de la fertilité est un préalable pour la formulation de recommandation d'engrais équilibrée et spécifique au site. Pour ce faire, des essais soustractifs ont été mis en place sur 60 parcelles à la Vallée du Sourou. Les essais ont été répartis sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes (BEFH) et les sols b sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques (BEHV). Chaque essai comportait 06 traitements: 0N-0P-0K, 0N-30P-40K, 120N-0P-40K, 120N-30P-0K, 120N-30P-40K et 120N-30P-40K + 2,5 t.ha⁻¹ de matière organique. Les rendements grains et pailles, les caractéristiques chimiques des sols et les exportations en azote, phosphore et potassium des plantes ont été déterminés. Les résultats ont montré que les sols BEHV sont légèrement plus riches en carbone, en azote et en phosphore que les sols BEFH. En effet, les teneurs initiales en azote, en phosphore et en potassium calculées à partir des exportations ont été respectivement de 71,20 kg.ha⁻¹, 30,02 kg.ha⁻¹ et 187,19 kg.ha⁻¹ pour le sol BEHV, contre 52,47 kg.ha⁻¹, 19,10 kg.ha⁻¹ et 159,62 kg.ha⁻¹ pour le sol BEFH. Par ailleurs, les résultats ont montré que l'azote et le phosphore constituent les deux éléments nutritifs limitant la production du riz sur ces deux types de sols. L'efficacité interne de l'utilisation de l'azote a été de 80,59 kg grain.kg⁻¹ N sur le sol BEFH et 60,09 kg grain.kg⁻¹ N pour le sol BEHV. Les résultats de ce diagnostic serviront de base pour la formulation de recommandations d'engrais équilibrées et spécifiques au site.

MOTS-CLEFS: Essais soustractifs, fertilité initiale, efficacité interne, riziculture irriguée.

1 INTRODUCTION

Le riz est une culture importante qui joue un rôle économique majeur et nourrit environ la moitié de la population mondiale. En Afrique subsaharienne, le riz est fondamental pour la sécurité alimentaire et la stabilité sociale [2]. La consommation de riz s'est accrue progressivement sous les effets conjugués de l'urbanisation, de la croissance démographique et du changement des habitudes alimentaires. Pourtant, la production de riz est restée faible et est principalement liée à l'augmentation des superficies [3]. En effet, [4] ont montré que dans huit pays de l'Afrique Subsaharienne, le rapport production: consommation variait de 0,16 à 1,18 en 2012. Aussi, le taux de croissance de la production rizicole reste inférieur à celui de la croissance démographique pour la plupart de ces pays [5]. La plupart des pays africains dépendent alors des importations pour satisfaire leur besoin en riz. En effet, l'Afrique subsaharienne représentait en 2007, 25 % des importations mondiales de riz, pour un coût de plus de 1,5 milliard de dollars par an. Ces importations pourraient atteindre 15,4 millions de tonnes d'ici 2026 [6]. L'épidémie de Covid-19 qui a entraîné la fermeture des frontières et la perturbation temporaire des échanges dans les principaux pays exportateurs de riz d'Asie ont induit une hausse des prix du riz sur le marché international [7].

Pour réduire sa dépendance vis-à-vis des importations, les pays d'Afrique de l'Ouest devront alors mettre l'accent sur les mesures visant à améliorer la productivité du riz [7]. La promotion du riz national est même devenue une priorité vis-à-vis d'autres céréales pour répondre à ce besoin [8]. Par conséquent, de nombreux gouvernements africains accordent une grande priorité au développement de leur secteur rizicole local en tant que composante importante de la sécurité alimentaire nationale, de la croissance économique et de la réduction de la pauvreté.

Cependant, de nombreuses contraintes abiotiques, biotiques et techniques limitent la production de riz sur le continent [9]. Parmi ceux-ci figurent les sécheresses, les inondations, l'irrégularité et la baisse de la pluviométrie, les maladies et ravageurs, les mauvaises pratiques agricoles, mais surtout la faible fertilité des sols ([8], [9]; [10], [11], [12]). En effet, la déficience du sol en nutriments majeurs a été identifiée comme l'un des facteurs les plus limitants de la production rizicole ([13], [14], [15]). Aussi, la plupart des riziculteurs en Afrique dépendent-ils de recommandations d'engrais générales [16]. Elles sont donc inadaptées au regard de l'évolution des caractéristiques des sols et de la variabilité climatique ([17], [18]). Or, les besoins de la culture dépendent de nombreux facteurs, tels que la fertilité initiale du sol en éléments nutritifs, le choix de la variété et le rendement visé [14]. Ainsi, il y a un besoin urgent de développer des recommandations de fertilisation spécifiques au site pour optimiser l'efficacité de l'utilisation des nutriments et améliorer la production à l'échelle pour atteindre l'autosuffisance en riz en Afrique subsaharienne [19]. Cette mise à jour des recommandations d'engrais passe d'abord par un diagnostic du statut de la fertilité des sols. Cette étude avait pour objectif global de déterminer le statut nutritionnel des sols rizicoles ainsi que les efficacités internes et les taux de recouvrement des éléments nutritifs majeurs pour la formulation de fertilisation spécifique à la Vallée du Sourou.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été conduite à la vallée du Sourou qui est située au Nord-Ouest du Burkina Faso dans la province du Sourou à environ 270 km de Ouagadougou (03 ° 20 ' W et 13 ° 00 ' N). Le climat de la zone est de type nord soudanien. Le découpage phytogéographique fait par [20] place la Vallée du Sourou entre deux grands secteurs à savoir le secteur subsahélien caractérisé par une pluviométrie comprise entre 550 et 750 mm par an et le secteur nord soudanien, dont la pluviométrie est comprise entre 700 et 900 mm par an. Les températures basses sont observées en décembre (16,31°C) et janvier (13,8°C). Selon [21], les sols de la zone d'étude peuvent être regroupés en 15 sous-groupes de sols se rassemblant en six classes qui sont: les sols minéraux bruts, les sols peu évolués d'apport, les vertisols, les sols hydromorphes, les sols ferrugineux tropicaux et les sols brunifiés. La présente étude a été conduite sur les sols bruns eutrophes tropicaux vertiques et les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes. Ces deux types de sols répondent aux exigences de la culture du riz irrigué. Ils sont profonds (>100cm), leur drainage interne est très pauvre à pauvre avec une texture est très fine et une charge graveleuse inférieure à 10%. La végétation est soumise aux actions anthropiques et à la dégradation climatique. Compte tenu du contexte pluviométrique (<800mm/an) de la zone, la végétation est celle de la savane arbustive claire à dense. La formation observée sur le terrain est la prairie marécageuse à graminée. Elle se situe dans les zones soumises à une inondation prolongée, les dépressions et cuvette du lit majeur où dominent les graminées *Echinochloa stagnina* (L.) Link. et *Sesbania* sp (L.) Merrill. Les producteurs sont organisés en coopératives pour une meilleure gestion des intrants et de l'eau d'irrigation.

2.2 FERTILISANTS UTILISÉS

Des engrais simples ont été utilisés pour la conduite de l'étude. Il s'agit du Triple Super Phosphate (46% de P2O5), du Chlorure de potassium qui contient 60% de K2O % et de l'urée perlée contenant 46% de N.

Quant à la matière organique, du compost dont la composition varie selon les producteurs a été utilisé. Certains producteurs produisent leur compost avec de la paille de riz associé au fumier de bétail et à l'urée comme activateur, plus un sac de 50 kg du Burkina phosphate, mais aussi de la cendre. D'autres en revanche rassemblent la paille du riz, les tiges de maïs, du sorgho, du fumier comme activateur, plus les 50kg du Burkina phosphate. Le tableau 1 indique les caractéristiques chimiques moyennes des composts utilisés.

Tableau 1. Valeurs moyennes des caractéristiques chimiques du compost

Paramètres	Valeurs moyennes
Matière organique (%)	19,37± 4,69
Carbone total (%)	11,23±2,72
Azote total (%)	0,66±0,27
C/N	18±5
Phosphore total (ppm)	0,39±0,06
Phosphore assimilable (ppm)	37,72±38,74
Potassium total (ppm)	0,87±0,27
Potassium disponible (ppm)	0,08± 0,02

2.3 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les variétés améliorées de riz FKR19, FKR62N et TS2 ont été utilisées. Ces variétés ont été réparties de façon équitable sur chaque type de sol. Le tableau 2 suivant fait la synthèse des caractéristiques des matériels végétaux.

Tableau 2. Variétés et leurs caractéristiques

Variétés	Origine	Cycle semis-épiaison (Jour)	Cycle semis maturité (Jour)	Caractères du grain (poids 1000 Grains (g))	Potentiel de rendement (T/ha)
FKR 19	NIGERIA	85	120	25,3	5-6
NERICA (FKR 62 N)	ADRAO ST Louis	88	118	28,98	5-7
TS2	Taiwanais	-	120	-	9-10

Source: Programme riz de l'INERA (Station de Farako-bâ)

2.4 CHOIX DES PRODUCTEURS

Pour la conduite de l'étude, 60 producteurs ont été sélectionnés de façon participative selon les critères de disponibilité en terre, d'ouverture d'esprit, d'innovateur et ceux acceptant s'engager dans le respect du protocole expérimental. Le choix a également tenu du type de sol. En effet, 30 producteurs ont conduit les essais sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques et les 30 autres sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes.

2.5 DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE DIAGNOSTIC DE LA FERTILITE DES SOLS

Un dispositif en bloc de Fisher avec six (06) traitements a été installé sur les parcelles de soixante (60) producteurs pour le diagnostic de la fertilité des sols soit 30 producteurs par types de sols. Chaque producteur représente une répétition. L'unité expérimentale est une parcelle de 5 m x 5 m soit 25 m² chacune. Les traitements sont par des allées de 0,5 m séparés de 0,5 m. Les parcelles sont séparées par des diguettes de délimitation et l'alimentation en eau a été conduite individuellement pour éviter le passage des nutriments d'une parcelle à l'autre. Les traitements sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Traitements pour la conduite des essais soustractifs

Traitements	Quantité (kg) par hectare			
	Urée	TSP	KCL	Matière organique
Témoin=0N 0P 0K	0	0	0	0
PK=0N 30P 40K	0	148	149	0
NK=120N 0P 40K	261	0	80	0
NP=120N 30P 0K	261	149	0	0
NPK=120N 30P 40K	261	149	80	0
NPK + MO =120N 30P 40K+2,5MO	261	149	80	2500

2.6 CONDUITE DE LA CULTURE

La préparation du sol a consisté à un labour suivi d'une mise en boue et d'un planage. Sur le traitement NPK + MO, la matière organique a été incorporée à la dose de 2,5 t/ha. Le repiquage a été réalisé à l'aide de plants âgés de 21 jours. Il a été repiqué deux brins par poquet avec un espacement de 20 cm x 20 cm. L'irrigation a été faite à la raie, le maintien de la lame d'eau dans la rizière ont été fonction des besoins en eau de la plante à ses différents stades phénologiques. Les parcelles élémentaires sont séparées par des diguettes de 30 cm et chacune des parcelles est irriguée individuellement. Deux opérations de désherbages manuels ont été effectuées, une avant l'apport de la première fraction d'engrais et la seconde un mois après. D'autres désherbages ont été réalisés à la demande. Les doses d'azote ont été fractionnées en deux apports contrairement au phosphore et au potassium apportés en une seule fois. L'apport des engrais minéraux a été fait à deux semaines après le repiquage. Ainsi, le PK a reçu 30P et 40K sous forme de TSP et du KCl, le traitement NK a reçu 60N et 40K sous forme d'urée et du KCl et le traitement NP a reçu 60N et 30P sous forme d'urée et du TSP. Les NPK et NPK + MO ont reçu les mêmes doses d'engrais minéraux de 60N, 30P, 40K. La deuxième fraction d'urée a été apportée à 40 JAR sur tous les traitements, excepté le témoin et PK. Tous les apports ont été effectués à la volée. L'évaluation des rendements grains et paille a été effectuée sur une parcelle utile de 4 m² (2 m x 2 m) délimitée au centre de chaque parcelle élémentaire.

2.7 ECHANTILLONNAGE ET DETERMINATION DES TENEURS EN N, P ET K DES GRAINS ET PAILLES

Des échantillons de grains et de paille ont été prélevés à la récolte. La détermination des teneurs des grains et paille en N, P et K ont été faites au laboratoire d'analyses de sol, eaux et plantes du BUNASOLS selon les méthodes standards.

2.8 CALCUL DE L'EFFICIENCE INTERNE

L'efficacité interne est la quantité de produit récolté (kg) par kg de nutriment absorbé. Elle est calculée en faisant le rapport du rendement grains à la quantité totale de nutriment absorbée.

$$\text{Efficacité Interne de } x = \frac{\text{Rendement grains (kg/ha)}}{\text{Exportation totale de } x \text{ (kg/ha)}}$$

Où x désigne l'élément considéré.

2.9 FERTILITÉ INITIALE

La fertilité initiale a été calculée à partir des quantités de nutriments absorbés par les grains et les pailles. Elle correspond à l'exportation totale de l'élément dans la parcelle où il a été omis.

2.10 ANALYSE STATISTIQUE

Les données ont été soumises à une analyse de variance à l'aide du logiciel Genstat 9.2. La séparation des moyennes a été faite grâce au test de Student-Newman Keuls lorsque les différences étaient significatives au seuil de 5%.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS BEFH ET BEHV

Les essais soustractifs en milieu réel ont été conduits sur les deux principaux sous-groupes de sols brunifiés (sols dominants à plus de 60%): sol brun eutrophe ferrugineux tropical hydromorphe (BEFH) et sol brun eutrophe ferrugineux tropical hydromorphe vertique (BEHV).

Le tableau 4 présente les caractéristiques chimiques des deux types de sols. Les résultats ont montré que les caractéristiques physico-chimiques de ces deux sols ne diffèrent pas significativement. Cependant, les sols BEHV sont plus riches carbone, en azote et en phosphore que les sols BEFH. Par contre, ces derniers sont plus en potassium. Ces deux types de sols ont un pH neutre.

Tableau 4. Caractéristiques chimiques des deux principaux types de sols

Paramètres	Sol brun eutrophe ferrugineux tropical hydromorphe (BEFH)	Sol brun eutrophe ferrugineux tropical hydromorphe vertique (BEHV)	Probabilité (5%)	Coefficient de variation (%)
Argile (%)	38,7	40,3	0,559	11,3
Limon (%)	22,55	23,38	0,453	8,1
Sables (%)	38,7	36,3	0,45	14,5
Matière organique (%)	1,46	1,85	0,14	24,7
Carbone total (%)	0,849	1,073	0,14	24,7
Azote total (%)	0,0635	0,0762	0,188	22,1
Phosphore total (ppm)	199	261	0,371	48,1
Phosphore assimilable (ppm)	1,49	2,33	0,239	56,3
Potassium total (ppm)	1627	2026	0,366	38,7
Potassium disponible (ppm)	211	190	0,71	50,8
pH-eau	7,968	7,732	0,302	5
pH-KCl	7,17	7	0,563	7,3

3.2 MISE EN ÉVIDENCE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS LIMITANT LA PRODUCTION RIZICOLE

Les résultats des essais soustractifs ont montré que les traitements ont induit une différence très hautement significative sur les rendements de paddy sur les deux types de sols (Tableau 5). Pour le sol BEFH, le meilleur rendement paddy a été observé avec le traitement NPK + MO (5700 kg.ha⁻¹). Ce traitement ne diffère pas significativement des traitements NPK et NP, mais diffère des autres traitements. L'omission de l'azote (N) et du phosphore (P) ont alors donné des rendements paddy significativement inférieurs à celui obtenu avec le NPK. Pour le sol BEHV, la formule de fumure NPK+MO a donné le rendement le plus élevé avec 5449 kg.ha⁻¹. Il est suivi des traitements NPK (4833 kg.ha⁻¹) et NP (4663 kg.ha⁻¹). Ces trois traitements ne diffèrent pas significativement entre eux. Le témoin absolu a enregistré le plus faible rendement avec 3085 kg.ha⁻¹. Sur ce type de sol, l'omission de l'azote (N) et du phosphore (P) a entraîné une réduction significative du rendement par rapport au NPK. Par contre, l'omission du potassium n'entraîne pas une baisse significative du rendement paddy.

Concernant les rendements paille, il ressort de l'analyse de variance que les traitements sont significativement différents (Tableau 5). Sur le sol BEFH, les résultats ont montré que l'apport l'omission de l'azote et du phosphore ont induit une baisse significative du rendement paille de 39,52% et 27,02% respectivement par rapport au NPK. Concernant le sol BEHV, le traitement de fumure NPK+MO a donné le rendement paille le plus élevé avec (6 234 kg.ha⁻¹); il ne diffère pas significativement des traitements NPK (5 666 kg.ha⁻¹). Aucune différence significative n'a été révélée entre le traitement NP et le traitement NPK. Par contre, l'omission de l'azote et du phosphore ont entraîné une baisse significative du rendement.

Bien que les rendements varient selon le type de sol, les résultats ont montré que sur la Vallée du Sourou, les éléments nutritifs Azote (N) et Phosphore (P) constituent les deux éléments les plus limitant pour la production du riz. En revanche le potassium (K) n'est pas limitant pour la production rizicole.

Tableau 5. Effets de la fertilisation sur les rendements paddy et paille

Traitement	Sol BEFH		Sol BEHV	
	Rendement paddy (kg.ha ⁻¹)	Rendement paille (kg.ha ⁻¹)	Rendement paddy (kg.ha ⁻¹)	Rendement paille (kg.ha ⁻¹)
Témoin	2 230 ^a	2 425 ^a	3 085 ^a	3 388 ^a
PK	3 580 ^b	3 435 ^{ab}	3 840 ^b	4 108 ^b
NK	3 265 ^b	4 145 ^{abc}	4 226 ^{bc}	4 800 ^c
NP	4 840 ^c	4 930 ^{bc}	4 663 ^{cd}	5 105 ^{cd}
NPK	5 335 ^c	5 680 ^c	4 833 ^d	5 666 ^{de}
NPK+MO	5 700 ^c	6 310 ^c	5 049 ^d	6 234 ^e
CV (%)	16,1	24,1	14,1	16
Probabilité (5%)	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
Signification	THS	HS	THS	THS

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Student-Newman Keuls; N: Azote; P: Phosphore; K: Potassium; MO: Matière Organique; HS: Hautement Significatif; THS: Très Hautement Significatif, CV: Coefficient de Variation; BEFH: Sol Brun Eutrophe Ferrugineux tropical Hydromorphe; BEHV: Sol Brun Eutrophe Ferrugineux tropical hydromorphe Vertique.

3.3 EFFET DU TYPE DE SOL, DE LA FERTILISATION ET DE LEUR INTERACTION SUR LES EXPORTATIONS DES MACRONUTRIMENTS

Les résultats ont montré que les exportations de l'azote ont été significativement affectées par le type de sol (Tableau 6). En effet, sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques (BEHV), 88,1 kg.ha⁻¹ d'azote ont été exporté contre 65,6 kg.ha⁻¹ sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes (BEFH). Les exportations du phosphore et du potassium n'ont pas significativement varié en fonction du type de sol. Toutefois, elles ont été supérieures sur les sols BEHV.

Concernant la fertilisation, les résultats ont montré que les exportations ont été plus élevées sur les parcelles NPK + MO quel que soit le nutriment alors que les plus faibles exportations ont été enregistrées sur le témoin (Tableau 6). L'omission de l'azote et du phosphore ont entraîné une réduction significative de leurs exportations par rapport aux autres fertilisations. Quant à l'omission du potassium, elle n'a pas impacté significativement son exportation. Par ailleurs, l'interaction entre le type de sol et la fertilisation n'ont pas eu d'effet significatif sur les exportations de macronutriments.

L'analyse de corrélation entre les exportations des nutriments a montré qu'il existe une très forte corrélation positive entre les exportations de l'azote et du phosphore sur les deux types de sols avec un respectivement un coefficient de corrélation de 0,929 pour le sol BEFH (Tableau 7) et de 0,795 pour le sol BEHV (Tableau 8). Par contre, l'exportation du potassium n'est pas corrélée à celle des autres nutriments quel que soit le type de sol.

Tableau 6. Effet du type de sol, de la fertilisation et de leur interaction sur les exportations des macronutriments

Facteurs	Traitements	Exportation de l'azote (kg.ha ⁻¹)	Exportation du phosphore (kg.ha ⁻¹)	Exportation du potassium (kg.ha ⁻¹)
Type de sol	Sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes	65,6 ^a	29,57	150,1
	Sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques	88,1 ^b	39,74	174,3
	Probabilité (5%)	0,045	0,282	0,198
	Signification	S	NS	NS
	Coefficient de variation	30,3	22,3	28,7
Fertilisation	Témoin	51,9 ^a	21,68 ^a	103 ^a
	PK	66,8 ^b	33,22 ^c	132,8 ^b
	NK	76,6 ^c	27,45 ^b	151,7 ^b
	NP	87,6 ^c	37,09 ^c	180,7 ^{bc}
	NPK	103,3 ^c	41,85 ^c	215,4 ^c
	NPK+MO	110,8 ^c	44,41 ^c	227,7 ^c
	Probabilité (5%)	<0,001	<0,001	<0,001
	Signification	THS	THS	THS
	Coefficient de variation	30,3	22,3	28,7
Interaction	Type de sol * Fertilisation	NS (p=0,417)	NS (p=0,26)	NS (p=0,109)

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Student-Newman Keuls; N: Azote; P: Phosphore; K: Potassium; MO: Matière Organique; NS: Non Significatif; THS: Très Hautement Significatif, CV: Coefficient de Variation.

Tableau 7. Corrélation exportation des macronutriments sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes

Exportation	Azote	Phosphore	Potassium
Azote	-		
Phosphore	0,929	-	
Potassium	0,3406	0,3767	-

Tableau 8. Corrélation exportation des macronutriments sur les sols bruns eutrophe hydromorphe vertique

Exportation	Azote	Phosphore	Potassium
Azote	-		
Phosphore	0,795	-	
Potassium	0,1219	0,2967	-

3.4 CAPACITÉ NUTRITIVE DES SOLS

La capacité nutritive des sols calculée à partir des exportations correspondant à l'exportation de l'élément nutritif lorsqu'il est mois. Les résultats ont montré que le sol BEHV est plus fertile que le BEFH en azote, en phosphore et en potassium (Tableau 9). En effet, les teneurs en azote et en phosphore ont été respectivement de 71,20 kg.ha⁻¹ et 30,02 kg.ha⁻¹ pour le sol BEHV contre une teneur en azote de 52,47 kg.ha⁻¹ et une teneur en phosphore de 19,10 kg.ha⁻¹ pour le sol BEFH. Pour le potassium, une teneur de 187,19 kg.ha⁻¹ a été observée sur le sol BEHV contre 159,62 kg.ha⁻¹ pour le sol BEFH.

Tableau 9. Capacité nutritive moyenne calculée à partir des exportations sur les parcelles d'omissions pour chaque type de sols

Type de sol	Azote (kg.ha ⁻¹)	Phosphore (kg.ha ⁻¹)	Potassium (kg.ha ⁻¹)
sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes	52,47a	19,10	159,62
sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques	71,20b	30,02	187,19
Probabilité (5%)	0,031	0,11	0,666
Coefficient de variation (%)	54,1	40,9	38,8

3.5 EFFICIENCE INTERNE DES NUTRIMENTS

Les résultats ont montré que l'efficacité interne est plus élevée pour les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes (BEFH) par rapport aux sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques (BEHV) pour les trois nutriments majeurs (Fig. 1). Toutefois, l'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les deux types de sol. Pour l'azote l'efficacité interne a été de 80,59 kg grain.kg⁻¹ N sur le sol BEFH et 60,09 kg grain.kg⁻¹ N pour le sol BEHV. Concernant le phosphore, les efficacités internes ont été respectivement de 154,7 kg grain.kg⁻¹ P et de 130,20 kg grain.kg⁻¹ P pour les sols BEFH et BEHV. Quant au potassium, les efficacités internes ont été de 33 kg grain.kg⁻¹ K et 27,2 kg grain.kg⁻¹ K respectivement pour les sols BEFH et BEHV.

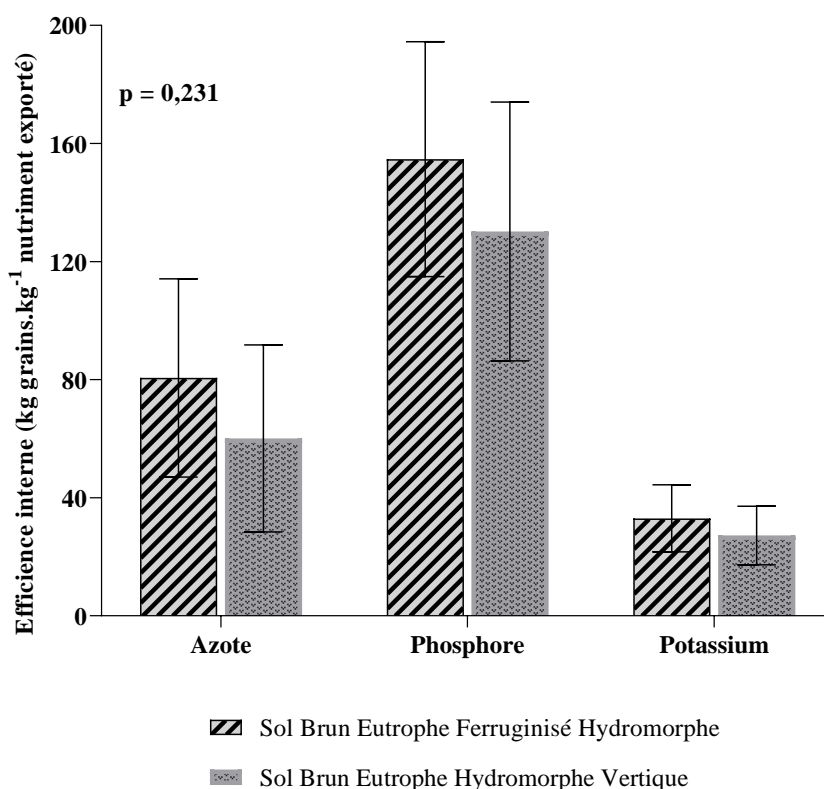


Fig. 1. Efficacité interne des nutriments sur les deux principaux types de sols

4 DISCUSSION

L'approvisionnement potentiel en azote a été de 71,20 kg.ha⁻¹ pour les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques et 52,47 kg.ha⁻¹ pour les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes. Ces valeurs sont proches des approvisionnements potentiels observés sur les sols moyennement fertiles à très fertiles de l'Office du Niger par [22] et les sols de la vallée du Kou par [23]. Quant aux approvisionnements en phosphore, ils ont été supérieurs à ceux observés par les mêmes auteurs. Les résultats sur les approvisionnements en potassium corroborent les valeurs maxima observées sur les sols moyennement fertiles à très fertiles de l'Office du Niger par [22]. La fertilité initiale a varié selon le type de sol. En effet, les résultats ont montré que les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques sont plus fertiles que les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux

hydromorphes. Ces résultats confirment les analyses de sols faites sur l'horizon 0-20 cm. Ils confirment également ceux de [24] qui ont montré que bien que les sols de BEHV et BEFH soient de la même classe de fertilité, les sols BEHV ont les teneurs les plus élevées en azote, phosphore et en potassium.

Les résultats des essais soustractifs ont montré que l'azote et le phosphore sont les deux éléments limitants de la production du riz dans la vallée du Sourou. En effet, nos résultats ont montré que leur omission entraîne une réduction significative de leur exportation. Pour le cas de l'azote, ces résultats s'expliquent par une faible fertilité initiale en azote. Aussi, les pertes par lixiviation liée à la forte mobilité de l'azote ou par le phénomène de la dénitrification, de volatilisation ([25], [26], [27], [28]) contribueraient à aggraver ce déficit. Contrairement à l'azote, le phosphore est caractérisé par une faible mobilité dans les sols. Les carences en phosphore ne sont pas à la quantité de phosphore total dans le sol, mais à sa disponibilité. Sa faible disponibilité pour s'expliquer par une forte rétention des ions phosphates par les minéraux secondaires tels que les oxydes de fer et d'aluminium ou les argiles. En effet, [29], [30], [31], [32], [33], [34] et [35] ont montré l'impact des oxydes de fer et d'aluminium ainsi que l'argile de type kaolinite dans l'adsorption du phosphore. Par ailleurs, [36] ont montré que la forte humidité du sol augmentait l'adsorption du phosphore. Ces résultats corroborent ceux de [16], [37] et [38], qui ont montré que l'azote et le phosphore représentaient les éléments majeurs limitant la production au Burkina Faso. Les résultats ont montré que le potassium n'est pas limitant pour la production rizicole dans la vallée du Sourou. Ils s'expliquent principalement par les niveaux élevés de potassium dans les sols de plusieurs plaines inondées des savanes soudano-sahéliennes d'Afrique de l'Ouest [39] et les apports de potassium à travers d'autres sources que sont les eaux d'irrigation, l'eau de pluie, les dépôts atmosphériques [40] et la restitution de la paille riz qui contient près de 80% du potassium [41]. Ces résultats sont en accord avec ceux de [22] observés sur plusieurs périmètres irrigués en Afrique soudano-sahélienne.

Les résultats ont montré que les exportations ont été plus élevées sur les sols BEHV par rapport aux sols BEFH. Ces plus fortes exportations s'expliquent sans doute par la fertilité initiale du sol. En effet, nos résultats ont montré que les sols BEHV étaient plus riches que les sols BEFH. Ces résultats corroborent ceux de [42] qui ont montré que l'exportation de l'azote et du phosphore dépendait de leur disponibilité dans le sol. L'omission de l'azote et du phosphore ont entraîné une réduction significative de leurs exportations par rapport aux autres fertilisations. Ces résultats pourraient s'expliquer par la déficience de ces deux nutriments dans le sol. Ils corroborent ceux de [42]. L'efficacité interne des nutriments majeurs a été plus élevée sur les sols BEFH par rapport aux sols BEHV. Ces résultats montrent que la disponibilité d'un nutriment entraîne une consommation de luxe alors que sa faible disponibilité augmente l'efficacité de son utilisation. Ces résultats corroborent ceux de [43]. Par ailleurs, l'efficacité de l'utilisation du phosphore dépend de facteurs comme sa répartition entre les différents organes ainsi que son accumulation et la remobilisation du phosphore [44].

5 CONCLUSION

L'augmentation de la production rizicole pour satisfaire la demande en riz en Afrique Subsaharienne passe par une intensification de la production. Un des leviers de cette intensification est l'application de recommandation d'engrais équilibrée et spécifique au site. Les essais soustractifs constituent un outil performant. Les résultats de cette étude ont montré que l'azote et le phosphore constituent les éléments minéraux majeurs limitant la production rizicole sur les deux principaux sols rizicoles de la Vallée du Sourou. La capacité nutritive des sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes verticaux (BEHV) en azote, en phosphore et en potassium a été respectivement de 71,2 kg.ha⁻¹, 30,02 kg.ha⁻¹ et 187,19 kg.ha⁻¹. Pour les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes (BEFH), la capacité nutritive a été de 52,47 kg.ha⁻¹ N, 19,10 kg.ha⁻¹ P et 159,62 kg.ha⁻¹ K. Les exportations de l'azote et du phosphore sont très fortement corrélées avec un coefficient de corrélation de 0,929 pour le sol BEFH et de 0,795 pour le sol BEHV. Par ailleurs, l'omission de l'azote et du phosphore ont entraîné une réduction significative de leurs exportations par rapport aux autres fertilisations. Cette étude a contribué à une meilleure connaissance de la capacité nutritive des types de sols les plus représentatifs et à la détermination des éléments nutritifs limitant la productivité du riz. Ces résultats permettront d'une part de donner des conseils pratiques aux producteurs pour la gestion de la fertilité des sols et d'autre part, ils constituent des données de bases pour la formulation des recommandations d'engrais équilibrées et spécifiques à la Vallée du Sourou.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Centre International pour le Développement des Engrais (IFDC) pour son appui financier. Nous remercions également Monsieur Marc B. IDO, technicien à la DRREA du Nord-Ouest pour son appui pour la conduite des essais.

REFERENCES

- [1] Fahad S., Adnan, M., Noor M., Arif, M., Alam, M., Khan, I. A., Ullah, H., Wahid, F., Mian, I. A., Jamal, Y., Basir, A., Hassan, S., Saud, S., Amanullah, Riaz, M., Wu, C., Khan, M. A., et Wang D., *Major Constraints for Global Rice Production*, In: M. Hasanuzzaman, M. Fujita, J. et K. Biswas (Eds.), *Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance*: Elsevier, pp. 1-22, 2019.
- [2] A. Arouna, J. C. Lokossou, M. C. S. Wopereis, S. Bruce-Oliver et H. Roy-Macauley, «Contribution of improved rice varieties to poverty reduction and food security in sub-Saharan Africa,» *Global Food Security*, vol. 14, pp. 54–60, 2017.
- [3] S. Nasrin, J. B. Lodin, M. Jirstrom, B. Holmquist, A. A. Djurfeldt, et G. Djurfeldt, «Drivers of rice production: evidence from five Sub-Saharan African countries,» *Agriculture and Food Security*, vol. 4, article n°12, pp. 1-19, 2015.
- [4] P.A.J. van Oort, K. Saito, A. Tanaka, E. Amovin-Assagba, L.G.J. Van Bussel, J. van Wart, H. de Groot, M.K. van Ittersum, K.G. Cassman, et M.C.S. Wopereis, «Assessment of rice self-sufficiency in 2025 in eight African countries,» *Global Food Security* vol. 5, pp. 39-49, 2015.
- [5] A. Arouna, I. A. Fatognon, K. Saito, et K. Futakuchi, «Moving toward rice self-sufficiency in sub-Saharan Africa by 2030: Lessons learned from 10 years of the Coalition for African Rice Development,» *World Development Perspectives* vol. 21, 100291, 2021.
- [6] G. Nigatu, J. Hansen, N. Childs, et R. Seeley, *Sub-Saharan Africa Is Projected To Be the Leader in Global Rice Imports, 2017*. [Online] Available: <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2017/october/sub-saharan-africa-is-projected-to-be-the-leader-in-global-rice-imports/#:~:text=By%202026%2C%20the%20region%20is,surpassing%20number%20one%20importer%20China>. Consulté le 30 mars 2022.
- [7] C. F. Sers et M. Mughal, «Covid-19 outbreak and the need for rice self-sufficiency in West Africa,» *Letters on Urgent Issues/World Development* vol. 135, 105071, 2020.
- [8] G. Serpantié, A. Dorée, J.-L. Fusillier, P. Moity-Maizi, B. Lidon, M. Douanio, A. Sawadogo, A. Y. Bossa, et J. Hounkpè, «Nouveaux risques dans les bas-fonds des terroirs soudaniens. Une étude de cas au Burkina Faso,» *Cahiers Agricultures*, vol. 28, 19, 2019.
- [9] V. Balasubramanian, M. Sie, R. J. Hijmans, et K. Otsuka, «Increasing rice production in sub-saharan africa: challenges and opportunities,» *Advances in Agronomy*, Vol. 94, pp. 55-133, 2007.
- [10] P.A. J. van Oort et S.J. Zwart, «Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield changes,» *Global Change Biology*, vol. 00, pp. 1-17, 2017.
- [11] Bationo, A. et Fening, J. O., *Soil Organic Carbon and Proper Fertilizer Recommendation*, In: A. Bationo, D. Ngaradoum, S. Youl, F. Lompo, et J. O. Fening (Eds.), *Improving the Profitability, Sustainability and Efficiency of Nutrients Through Site Specific Fertilizers Recommendation in West Africa Agro-Ecosystems, Volume 1*: Springer, pp. 1-10, 2018.
- [12] M. N. Ndjiondjop, P. W. Wambugu, J.R. Sangare et K. Gninkoua, «The effects of drought on rice cultivation in sub-Saharan Africa and its mitigation: A review,» *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 13, n°25, pp. 1257-1271, 2018.
- [13] V. B. Bado, K. Djaman, et V. C. Mel, «Developing fertilizer recommendations for rice in Sub-Saharan Africa, achievements and opportunities,» *Paddy and Water Environment*, vol. 16, pp. 571–586, 2018.
- [14] K. Saito, E. Vandamme, J.M. Johnson, A. Tanaka, K. Senthilkumar, I. Dieng, C. Akakpo, F. Gbaguidi, Z. Segda, I. Bassoro, D. Lamare, H. Gbakatchetche, B. B. Abera, F. Jaiteh, R. K. Bam, W. Dogbe, K. Sékou, R. Rabeson, N. Kamissoko, I. M. Mossi, B. D. Tarfa, S. O. Bakare, A. Kalisa, I. Baggie, G. J. Kajiru, K. Ablede, T. Ayeva, D. Nanfumba, et M. C. S. Wopereis, «Yield-limiting macronutrients for rice in sub-Saharan Africa,» *Geoderma*, vol. 338, pp. 546-554, 2019.
- [15] A. Ibrahim, K. Saito, Vi. B. Bado, et M. C.S. Wopereis, «Thirty years of agronomy research for development in irrigated rice-based cropping systems in the West African Sahel: Achievements and perspectives,» *Field Crops Research*, vol. 266, 108149, 2021.
- [16] Ouedraogo, J., Youl, S., et Mando, A., *Combining the DSSAT model and the experiment to update the recommendations of doses of fertilizer for the cultivation of rice and maize in Burkina Faso*, In: A. Bationo, D. Ngaradoum, S. Youl, F. Lompo, et J. O. Fening (Eds.), *Improving the Profitability, Sustainability and Efficiency of Nutrients Through Site Specific Fertilizers Recommendation in West Africa Agro-Ecosystems, Volume 2*: Springer, pp. 1-22, 2018.
- [17] K. Traoré et A. M. Toé, *Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au Burkina Faso, version finale de la consultation*, Direction Générale des Productions Végétales, 2008.
- [18] G. Nziguheba, B. K. Tossah, J. Diels, A. C. Franke, K. Aihou, E. N. O. Iwuafor, C. Nwoke, et R. Merckx, «Assessment of nutrient deficiencies in maize in nutrient omission trials and long-term field experiments in the West African Savanna,» *Plant and Soil* vol. 314, pp. 143–157, 2009.
- [19] K. Saito, J. Six, S. Komatsu, S. Snapp, T. Rosenstock, A. Arouna, S. Colf, G. Taulya, et B. Vanlauwe, «Agronomic gain: Definition, approach, and application,» *Field Crops Research*, vol. 270, 108193, 2021.
- [20] J. Fontes et S. Guinko, *Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso: notice explicative*. Ministère de la coopération Française, 1995.
- [21] BUNASOLS, *Etude pédologique de la zone d'aménagement de la Vallée du Sourou. Echelle: 1/20 000è, Rapport technique N°58*, 1998.
- [22] S.M. Haefele, M. C. S. Wopereis, M. K. Ndiaye, et M. J. Kropff, «A framework to improve fertilizer recommendations for irrigated rice in West Africa,» *Agricultural Systems* vol. 76, pp. 313–335, 2003.

- [23] S. M. Haefele, M. C. S. Wopereis, M. K. Ndiaye, S. E. Barro, et M. Ould Isselmou, «Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa,» *Field Crops Research*, vol. 80, n°1, pp. 19-32, 2003.
- [24] A. Epolyste, H. Yacouba, et P. N. Zombré, «Etat de fertilité des sols du périmètre irrigué gravitaire de Gouran dans la vallée du Sourou au Burkina Faso: Constats et perspectives,» *International Journal of Biological Chemical Sciences*, Vol. 8, n°5, pp. 2119-2131, 2014.
- [25] D. Suriya-arunroj, P. Chaiyawat, S. Fukai, et P. Blamey, «Identification of Nutrients Limiting Rice Growth in Soils of Northeast Thailand under Water-Limiting and Non-Limiting Conditions,» *Plant Production Science* vol. 3 n°4, pp. 417-421, 2000.
- [26] K.C. Cameron, H. J. Di, et J. L. Moir, «Nitrogen losses from the soil/plant system: a review,» *Annals of Applied Biology*, vol. 162, pp. 145-173, 2013.
- [27] P.Chen, T.Nie, S.Chen, Z.Zhang, Z. Qi, et W. Liu, «Recovery efficiency and loss of ¹⁵N-labelled urea in a rice-soil system under water saving irrigation in the Songnen Plain of Northeast China,» *Agricultural Water Management* vol. 222, pp. 139-153, 2019.
- [28] D. Qi, Q. Wu, et J. Zhu, «Nitrogen and phosphorus losses from paddy fields and the yield of rice with different water and nitrogen management practices,» *Scientific reports*, vol. 10, 9734, 2020.
- [29] E. L. Dossa, J. Baham, M. Kouma, M. Sene, F. Kizito et R.P. Dick, «Phosphorus sorption and desorption in semiarid soils of Senegal amended with native shrub residues,» *Soil Science*, vol. 73, n°10, pp. 669-682, 2008.
- [30] S. K. Pal, «Phosphorus sorption-desorption characteristics of soils under different land use patterns of eastern India,» *Archives of Agronomy and Soil Science* vol. 7, n°4, pp. 365-376, 2011.
- [31] F. Gérard, «Clay minerals, iron/aluminum oxides, and their contribution to phosphate sorption in soils - a myth revisited,» *Geoderma* vol. 262, pp. 213-226, 2016.
- [32] J. Bai, X. Ye, J. Jia, G. Zhang, Q. Zhao, B. Cui, et X. Liu, «Phosphorus sorption-desorption and effects of temperature, pH and salinity on phosphorus sorption in marsh soils from coastal wetlands with different flooding conditions,» *Chemosphere* vol. 188, pp. 677-688, 2017.
- [33] Hinsinger P., Ndour Y., Becquer T., Chapuis-Lardy L. et Masse D., Chapitre 26: Les enjeux liés au phosphore dans les sols tropicaux, In: E. Roose (Ed.), Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens: Contribution à l'agroécologie, IRD Éditions, 2017.
- [34] X. Yang, X. Chen, et X. Yang, «Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China,» *Soil & Tillage Research* vol. 187, pp. 85-91, 2019.
- [35] T. Rakotoson, Y. Tsujimoto, et T. Nishigaki, «Phosphorus management strategies to increase lowland rice yields in sub-Saharan Africa: A review,» *Field Crops Research* vol. 275, 108370, 2022.
- [36] Y. Han, B. Choi, et X. Chen, «Adsorption and Desorption of Phosphorus in Biochar-Amended Black Soil as Affected by Freeze-Thaw Cycles in Northeast China,» *Sustainability* vol. 10, 1574, 2018.
- [37] A. SIRI, 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 d'Ingénieur, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de BoboDioulasso, Burkina Faso, 2012.
- [38] Z. Segda, P. L. Yaméogo, A. Mando, S. Kazuki, M.C.S. Wopereis, et M. P. Sedogo, «Le phosphore limite-t-il la production intensive du riz dans la plaine de Bagré au Burkina Faso ?,» *International Journal of Biological Chemical Sciences*, vol. 8, n°6, pp. 2866-2878, 2014.
- [39] M. M. Buri, F. Ishida, D. Kubota, T. Masunaga, et T. Wakatsuki, «Soils of flood plains of West Africa: General fertility status,» *Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 45, n°1, pp. 37-50, 1999.
- [40] S. M. Haefele, Improved and sustainable nutrient management for irrigated rice-based cropping systems in West Africa. PhD Thesis, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 49, Hamburg, Germany, 2001.
- [41] C. Witt, A. Dobermann, S. Abdulrachman, H. C. Gines, G. Wang, R. Nagarajane, S. Satawatananont., T. T. Son, P. S. Tan, L. V. Tiem, G. C. Simbahan, et D. C. Olk, «Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia». *Field Crops Research* vol. 63, pp. 113-138, 1999.
- [42] T. Nishigaki, Y. Tsujimoto, S. Rinasoa, T. Rakotoson, A. Andriamananjara, T. Razafimbelo, «Phosphorus uptake of rice plants is affected by phosphorus forms and physicochemical properties of tropical weathered soils,» *Plant Soil* vol. 435, pp. 27-38, 2019.
- [43] H. Zhang, M. Xu, X. Shi, Z. Li, Q. Huang, et X. Wang, «Rice yield, potassium uptake and apparent balance under long-term fertilization in rice-based cropping systems in southern China,» *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 88, pp. 341-349, 2010.
- [44] M. Irfan, T. Aziz, M. A. Maqsood, H. M. Bilal, K. H. M. Siddique, et M. Xu, «Phosphorus (P) use efficiency in rice is linked to tissue-specific biomass and P allocation patterns,» *Scientific Reports* vol. 10, 4278, 2020.