

Effets de la Dose et Fractionnement de l'Azote sur l'Acidite d'Un Histosol et le Rendement en Riziculture

*Soro Nahoua Christophe,
Brahima Koné,
Yeo Soumaila,*

Département de Pédologie, UFR-STRM, Université Felix Houphouët-Boigny

[Doi: 10.19044/esipreprint.2.2023.pl](https://doi.org/10.19044/esipreprint.2.2023.pl)

Approved: 04 February 2023
Posted: 8 February 2023

Copyright 2023 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Nahoua Christophe S., Koné B. & Soumaila Y. (2023). *Effets de la Dose et Fractionnement de l'Azote sur l'Acidite d'Un Histosol et le Rendement en Riziculture*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.2.2023.pl>

Résumé

L'azote est indispensable en riziculture alors que la fertilisation azotée est soumise à des pertes en milieu inondé. Elle peut modifier l'acidité du sol tendant à une dégradation des sols et une faible efficacité agronomique. C'est pourquoi, la gestion de la fertilisation azotée doit être rationnelle spécialement sur Histosol (tourbe) qui mérite préservation. C'est dans un tel contexte que cette étude a été réalisée pour identifier l'interaction optimale de la dose (0, 80, 100, 120 kg ha⁻¹) et du fractionnement (0, 1, 2, 3 et 4) de l'azote dans un dispositif split-plot utilisant la variété de riz WITA9. La dose d'azote a eu des effets significatifs ($P < 0,05$) sur le rendement en grain (RDG) du riz et le pH du sol. Un parallélisme a été noté pour les courbes de tendance du pH_{eau} et du RDG permettant d'identifier la dose optimale à 80 kg N ha⁻¹ pour le RDG (5,1 t ha⁻¹) et le pH (4,6). Aussi, 4 fractions de la dose ont été meilleures selon l'efficacité agronomique. Une régression du pH selon le nombre de fraction de l'azote a permis de prédire 5 fractions comme l'optimale pour le pH (4,8) du sol. La dose 80 kg N ha⁻¹ appliquée en cinq fractions a été recommandée pour une riziculture durable, spécialement sur Histosol.

Mots-clés : Histosol, azote, nombre de fractionnement, riziculture, acidité du sol

Nitrogen Rate and Splitting Effects on Rice Cropping and Yield

*Soro Nahoua Christophe,
Brahima Koné,
Yeo Soumaila,*

Département de Pédologie, UFR-STRM, Université Felix Houphouët-Boigny

Abstract

Nitrogen is essential in rice cultivation while nitrogen fertilization is subjected to losses in a flooded environment. It can modify the acidity of the soil toward soil degradation and low agronomic efficiency. Hence, the management of nitrogen fertilization must be rational, especially on Histosol (peat) which deserves preservation. Therefore, this study was carried out to identify the optimal interaction of the dose (0, 80, 100, 120 kg ha⁻¹) and the fractionation (0, 1, 2, 3 and 4) of nitrogen in a split-plot design using the rice variety WITA9. Nitrogen dose had significant effects ($P < 0.05$) on grain yield (RDG) of rice and soil pH. A parallelism was noticed for the trend curves of pH_{water} and RDG allowing to identify the optimal dose at 80 kg N ha⁻¹ for RDG (5.1 t ha⁻¹) and pH (4.6). Also, 4 fractions of the dose were better according to the agronomic efficiency. A regression of the pH according to the number of fractions of nitrogen made it possible to predict 5 fractions as the optimum for the pH (4.8) of the soil. The dose of 80 kg N ha⁻¹ applied in five fractions was recommended for sustainable rice cultivation, especially on Histosol.

Keywords: Histosol, Nitrogen, fractionation number, rice cultivation, soil acidity

Introduction

Après le maïs, le riz (*Oryza sativa* L.) est la deuxième céréale la plus cultivée et consommée dans le monde (AGOSSOUKPE, 2018). Il représente la base de l'alimentation de plus de 2,5 milliards de personnes dans les pays en voie de développement avec des consommations annuelles très importantes dépassant dans certains pays les 100 kg/habitant (Courtois,

2007). En Côte d'Ivoire, la production couvre à peine 50% (ONDR, 2016) des besoins de consommation nationale. Pourtant, il est possible d'atteindre l'autosuffisance en riz puisque le riz peut se cultiver dans toutes les écologies du pays telles que les plateaux et les bas-fonds (Konan, 2017). La riziculture de bas-fond à un rendement potentiel moyen de 6 - 8 t ha⁻¹ (Touré *et al.*, 2005). Par contre, en Côte d'Ivoire, ce rendement est estimé à environ 3,5 t ha⁻¹ (Ngaresseum, 2010). Plusieurs contraintes peuvent être à l'origine de ce faible rendement de riz (contraintes biotiques, des maladies, les aléas climatiques) (Cherif *et al.*, 2009). Il est connu que la fertilité du sol contribue à plus de 50% à la production agricole (Mukenza, 2021) or nos sols ont une faible fertilité notamment en azote (Akassimadou *et al.*, 2017). Dans la culture du riz, l'azote est un élément essentiel. Il favorise une croissance vigoureuse des plants de riz avec un rendement élevé (Lacharme, 2001). Il est aussi important pour le bon remplissage des grains à la maturation (Godin *et al.*, 2020). L'alimentation azotée des céréales se fait à partir des réserves en azote organique du sol et des apports (Wetselaar et Ganry, 1982 ; Ganry, 1990). Cependant, en Côte d'Ivoire, ces réserves sont faibles (Akassimadou *et al.*, 2017). L'application des engrais azotés est donc justifiée pour améliorer les rendements du riz (FAO, 1997). Plus la quantité d'azote apportée est importante plus le rendement escompté serait important (Mohamed, 2005). Ainsi, pour booster la production rizicole, Il faut se tourner vers l'utilisation des engrais (Agbo, 1994 ; Fairhurst, 2015).

Des études ont lieu en Côte d'Ivoire dans les bas-fonds secondaires de Fluvisol pour la courbe de réponse du riz aux interactions de P et K (Akassimadou *et al.*, 2017) alors que les travaux sur l'azote (N) sont limités. Dans un contexte de fertilisation spécifique de site, il est important d'évaluer l'effet de l'azote dans les différentes agroécologies en Côte d'Ivoire. Une bonne stratégie d'application de l'azote pourrait induire de meilleurs résultats agronomiques et économiques en phase avec les travaux de Gaudin *et al.* (1999). Cela est d'autant justifier que l'apport d'azote subit des pertes, ce qui réduit considérablement l'efficacité agronomique (Mohamed, 2005). Aussi, l'apport de grandes quantités d'azote peut provoquer une acidification des sols, un ralentissement des activités microbiennes et une baisse des rendements (Thierry, 1996 ; Gaudnik, 2011). De telles conditions seraient préjudiciables pour les sols tourbeux à fort potentiel écologique (Lavigne *et al.*, 1996) et très prisés par l'agriculture avec usage d'engrais. Des efforts doivent être consentis afin d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'azote apporté (Saidou *et al.*, 2014 ; Snoeck, 2010) en évitant les pertes et l'acidification du sol : il faut rationaliser l'utilisation de l'engrais. En occurrence, le fractionnement des doses pourrait significativement être une bonne alternative.

C'est cela qui justifie cette étude sur la nutrition azotée du riz dans un bas fond à Histosol. L'objectif étant la détermination (i) de la dose optimale de l'azote pour la nutrition du riz dans le contexte écologique de l'étude, (ii) de la fraction optimale de chaque dose pour le rendement du riz et l'acidité du sol, et (iii) de la meilleure pratique de l'apport d'azote en riziculture continue. A terme, cette étude devra recommander une pratique culturale d'azote pour un haut rendement du riz et un bon potentiel hydrogène de sol (pH) pour une riziculture durable sur Histosol.

Materiel et methodes

Zone d'étude

L'étude a été conduite dans un bas-fond dans la commune de Songon (latitudes 5°19'32"N et 5°19'33"N et longitudes 4°10'17" W et 4°10'18" W et d'altitude 30 m). Cette commune faisant partie du Grand Abidjan est sous l'influence d'un climat tropical humide. Les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 1540 et 3040 mm. Deux saisons sèches centrées sur août et janvier alternent avec deux saisons humides centrées sur octobre et juin. La moyenne annuelle de température est 26,4°C (MCLAU-JICA, 2015).

Description du sol

Ce bas-fond est un Histosol caractérisé par des tourbes. Les horizons de surface (0-20cm) renferment une couche à matière organique épaisse et mal décomposée sans éléments grossiers ni fractions fines. L'analyse de la composition chimique du sol du bas-fond (tableau I), montre que ce sol est très riche en matière organique (78,2 g/kg) avec un rapport C/N très élevé (21,62), un pH-eau de 4,7 et une Capacité d'Echange Cationique CEC (3,42) très faible.

Tableau I. Teneurs en éléments chimiques du sol du bas-fond (0 – 20 cm)

Eléments chimiques	Bas-fond
pH-eau	4,7
pH _{KCl}	3,6
C _{ORG} (g/kg)	45,4
Nt (g/kg)	2,1
C/N	21,62
Ptotal (ppm)	650
Ca (cmol/kg)	0,03
Mg (cmol/kg)	1,48
K (cmol/kg)	0,42
Zn (cmol ⁺ /kg)	0,35
Al (cmol/kg)	0,06
Fe (ppm)	710

CEC (cmol⁺/kg)

3,42

Matériel végétal

Le matériel génétique utilisé pour cette étude est la variété populaire WITA 9 à cause de son haut potentiel de rendement qui produit 6 t ha⁻¹ en milieu paysans. Elle est préférée pour sa tolérance à la panachure jaune du riz, la qualité de ses grains (grains longs et fins) et son bon goût culinaire (Konan, 2017). La variété WITA 9 a un cycle de 120 jours, avec une hauteur moyenne de 92 cm.

Intrants

Les types d'engrais utilisés pour la fumure minérale, ont été constitués d'engrais simples minéraux dont le super triphosphate (TSP : Ca (H₂PO₄)₂) : 50 % de phosphore (P) et le sulfate de potassium (K₂SO₄) : 50 % de potassium (K), pour la fumure de fond et de l'urée (CO (NH₂)₂): 46 % d'azote (N), pour la fumure de couverture.

L'herbicide total à base de glyphosate (herbicide total systémique) et l'herbicide systémique sélectif de type WEEDKILL 720 SL à action foliaire ont été utilisés pour le désherbage et l'insecticide DECIS contre les insectes ravageurs du riz.

Mise en place de l'essai

Une parcelle d'une superficie 902 m² dans un bas-fond a été manuellement désherbée à la machette après l'utilisation de l'herbicide total à base de glyphosate. Cette parcelle a été délimitée en micro-parcelles de 15 m² (3m × 5 m) à l'aide d'un ruban mètre. Ensuite, des opérations de mise à boue et de drainage des différentes micro-parcelles ont été faites avec des houes et enfin, des diguettes ont été réalisées. Le dispositif est constitué de trois blocs séparés de 1 m contenant chacun 15 micro-parcelles distantes de 0,5 m à l'aide de piquets dans un dispositif split-plot. Nous avons donc dans ce dispositif split-plot, quarante-cinq (45) micro-parcelles dont quinze (15) traitements en trois (3) répétitions. Le dosage de l'urée constitue le facteur principal et le nombre de fractionnement constitue le facteur secondaire. Le potassium a été appliqué à la dose de 120 kg ha⁻¹ et le phosphore à la dose de 40 kg ha⁻¹. Ils ont été appliqués uniquement en fumure de base dans toutes les micro-parcelles avant le repiquage alors que l'urée a été fractionnée puis appliquée aux différents stades de développement selon que nous l'appliquons à la dose de 60, 80 ou 100 kg N ha⁻¹. Après une durée de 21 jours en pépinière, les jeunes plants de riz ont été repiqués en raison d'un plant par poquet, avec un espacement de 20 cm × 20 cm. Pour entretenir la parcelle, l'herbicide systémique sélectif à action foliaire a été effectué deux semaines et l'insecticide DECIS trois semaines après le repiquage pour

détruire respectivement les mauvaises herbes et des insectes ravageurs du riz. Trois désherbages manuels ont été réalisés avant l'application de l'urée : au tallage, à la montaison et à l'épiaison.

Description des traitements

Les doses d'azote ont été fractionnées puis apportées aux micro-parcelles de riz selon le tableau II ci-dessous.

Tableau II. Doses d'azote (kg N ha⁻¹) fractionnées aux stades d'application selon les traitements

DOSE-N (kg/ha)	TRAITEMENTS	NOMBRE FRACTIONNEMENTS	DE STADES D'APPLICATION DE L'AZOTE			
			BASE	TALLAGE	MONTAISON	FLORAISON
60	60 – N0	0	0	0	0	0
60	60 – N1	1	1	0	0	0
60	60 – N2	2	1	1	0	0
60	60 – N3	3	1	1	1	0
60	60 – N4	4	1	1	1	1
80	80 – N0	0	0	0	0	0
80	80 – N1	1	1	0	0	0
80	80 – N2	2	1	1	0	0
80	80 – N3	3	1	1	1	0
80	80 – N4	4	1	1	1	1
100	100 – N0	0	0	0	0	0
100	100 – N1	1	1	0	0	0
100	100 – N2	2	1	1	0	0
100	100 – N3	3	1	1	1	0
100	100 – N4	4	1	1	1	1

N0 : Aucune dose d'azote reçue (témoin) ; **N1** : azote apporté une fois en une seule dose ; **N2** : azote fractionné deux fois ; **N3** : azote fractionné trois fois et **N4** : azote fractionné quatre fois

Collecte des données de l'Étude

Détermination du pH-eau

Pour la détermination du pH-eau du sol, un échantillon de sol a été respectivement prélevé sur les quatre (4) angles de la parcelle d'expérimentation du bas-fond avec la tarière en 0 – 20 cm de profondeur pour constituer un échantillon composite pour le laboratoire avant la mise en place de l'essai. Également, un autre échantillon de sol a été prélevé dans chaque micro-parcelle à la fin des trois cycles.

A l'aide d'une tarière, nous avons creusé dans chaque micro-parcelle en 0 – 20 cm de profondeur puis prélevé un échantillon d'eau qui remontait dans le sol après chaque cycle pour la détermination du pH-eau de l'eau de la parcelle en laboratoire.

Paramètres du rendement

A la maturité, le riz a été récolté manuellement sur 8m² en laissant les deux (2) lignes de bordure avec des faucilles. Après battage, les grains de riz ont été vannés, séchés au soleil puis pesés par traitement. La paille également a été séchée au soleil et pesée par traitement. Ensuite, des échantillons de riz ont été prélevés pour la détermination du taux d'humidité (H) au laboratoire afin de déterminer les rendements en grains (RDG) et en paille (RDP) et la matière sèche totale (MST) respectifs pour chaque traitement selon les formules ci-dessous :

$$\text{RDG (t ha}^{-1}\text{)} = (\text{poids sec en grain (kg)} / 8(\text{m}^2)) \times (10000/1000) \times ((100-H)/86) ; \quad [1]$$

$$\text{RDP (t ha}^{-1}\text{)} = (\text{poids sec paille (kg)} / 8(\text{m}^2)) \times (10000/1000) \times ((100-H)/86) ; \quad [2]$$

$$\text{MST (t ha}^{-1}\text{)} = \text{RDG} + \text{RDP}; \quad [3]$$

De plus, l'efficacité agronomique a été déterminée selon la formule ci-dessous pour chaque dose d'azote apporté :

$$\text{EA}_N = \text{RDG} / \text{Dose d'engrais (N)} \quad [4]$$

Analyse du sol au laboratoire

Les échantillons composites du sol apportés au laboratoire ont été séchés à l'air ambiant sous abri, puis passés au tamis (2 mm) avant d'être broyé. Sur ces échantillons, le pH_{eau} du sol a été déterminé à l'aide de pH-mètre à l'électrode en verre dans un rapport sol/solution de 1 /2,5 selon Thomas (1982). La teneur du sol en C-organique a été déterminée par la méthode de Walkley et Black (Nelson et Summers, 1982). Le phosphore total a été dosé par la méthode décrite par Sommers et Miller (1996). Les bases échangeables (Ca, Mg et K) ont été déterminées par l'extraction à l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7,0 avant la lecture au spectromètre à

absorption atomique (Ca, Mg) et à flamme (K). L'azote total (Nt) a été déterminé par la méthode de Kjeldahl (Bremner et Mulvaney (1982)). Pour la détermination du pH_{eau} de l'eau de la parcelle, la sonde du pH-mètre a été plongée directement dans l'eau du sol des micro-parcelles respectives.

Analyse statistique

Une analyse de variance (ANOVA) des données collectées a été réalisée à l'aide du logiciel SAS (Statistical Analysis System). Les analyses de corrélation de Pearson ont été effectuées pour déterminer la relation entre le pH_{eau} et le rendement en grains par rapport à la dose et au nombre de fractionnement. Les analyses d'ANOVA ont été évaluées pour alpha (α)= 0,05 et l'effet du pH_{eau} a été évalué pour alpha (α)= 0,1 ainsi que pour les analyses de corrélation. Quant aux courbes de tendance, elles ont été réalisées à l'aide du logiciel excel 2016 avec l'appréciation du déterminant R^2 .

Results

Comparaison entre pH_{eau} du sol et pH_{eau} de la solution du sol

Le tableau III présente la comparaison entre le pH_{eau} de la solution du sol et le pH_{eau} du sol en fonction de la dose.

Tableau III. Valeurs moyennes du pH_{eau} de la solution du sol et du pH_{eau} du sol en fonction des doses

	Doses (kg N ha ⁻¹)				CV (p.c)	Moy	Pr > F
	0	60	80	100			
pH_{eau} de l'eau	4,5aA	4,5aA	4,7aA	4,5aA	5,72	4,6	0,31
pH_{eau} du sol	5,2aA	4,7aA	5,1aA	4,8aA	13,59	4,9	0,8
CV (p.c)	12,31	4,78	11,8	8,61	-	-	-
Moy	4,8	4,6	4,9	4,7	-	-	-
Pr > F	0,06	0,05	0,09	0,15	-	-	-

Les valeurs suivies par la même lettre en minuscule dans la même colonne ou en majuscule dans la même ligne, ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$. NB : CV = coefficient de variance ; Pr = probabilité ; Moy = moyenne

Il n'y a pas d'effet significatif ($P > 0,05$) des doses par rapport à la source du pH. Par contre, on observe un effet significatif à $\alpha = 0,05$ de la source du pH pour la dose 60 kg N ha⁻¹. Les doses 0 et 80 kg N ha⁻¹ ont des effets significatifs de la source du pH pour $\alpha = 0,1$. Aucun effet significatif de la source du pH n'est observé pour la dose 100 kg N ha⁻¹. Cependant, même si la probabilité est significative, il n'y a pas de différence significative également entre les valeurs du pH_{eau} de la solution du sol et du pH_{eau} du sol.

Effet du cycle sur le pH_{eau}

La figure 1 présente une courbe de tendance polynomiale d'ordre 3 présentant la relation entre le pH_{eau} et la dose au cours des cycles d'essai.

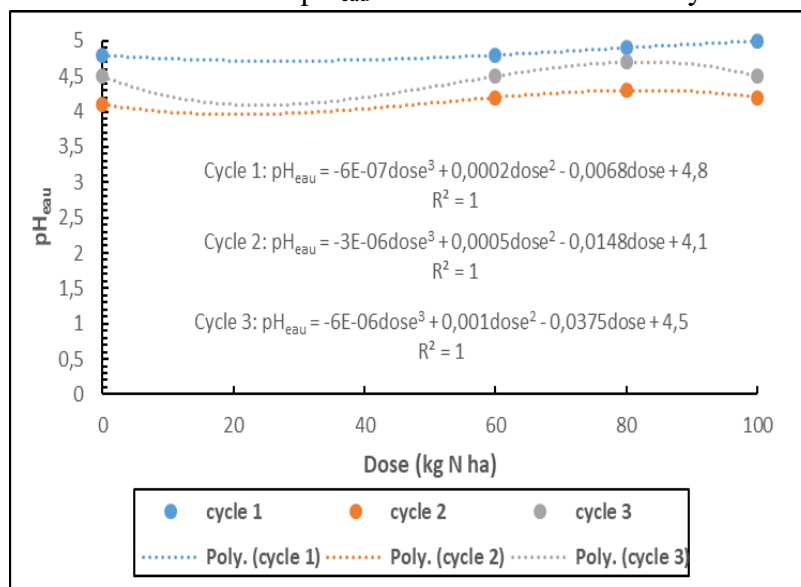


Figure 1. Courbe de tendance du pH_{eau} en fonction de la dose d'azote par cycle

Le coefficient de détermination R^2 est égal à 1 pour chacun des trois cycles. Les coefficients des degrés 3 et 2 des équations sont très faibles (10^{-7} – 10^{-3}). Le coefficient du degré 1 est de l'ordre de 10^{-2} et d'une valeur négative tendant à réduire les valeurs des constantes (4,8 – 4,1) ce qui diminue le pH_{eau} selon les doses croissantes d'azote. Les constantes sont variables de 4,8 pour le premier cycle et 4,1 pour le deuxième cycle. Celle du troisième cycle est égale à 4,5. Cela est d'autant plus explicite pour l'effet du cycle ($P < 0,0001$) dans le tableau IV qui montre que le cycle a un effet hautement significatif sur le pH_{eau} par dose.

Tableau IV. Valeurs moyennes du pH de la solution du sol par dose d'azote appliquée en fonction du cycle

Cycle	pH-eau			
	0 kg N ha ⁻¹	60 kg N ha ⁻¹	80 kg N ha ⁻¹	100 kg N ha ⁻¹
Cycle 1	4,8a	4,8a	4,9a	5,0a
Cycle 2	4,1b	4,2b	4,3b	4,2c
Cycle 3	4,5a	4,5b	4,7a	4,5b
CV(%)	5,9	5,76	7,12	7,05
Moy	4,5	4,5	4,6	4,6
Pr > F	<0,0001	<0,0001	0,0003	<0,0001

Les valeurs suivies par la même lettre, ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$. NB : CV = coefficient de variance ; Pr = probabilité ; Moy = moyenne.

On note que le pH_{eau} s'est stabilisé (cycle 1 et 3) pour les doses 0 et 80 kg N ha⁻¹ avec pourtant des réductions significatives au deuxième cycle. Les doses 60 et 100 kg N ha⁻¹ montrent des réductions du pH du cycle 1 au cycle 3. Globalement, il n'y a pas d'augmentation du pH selon les cycles de culture successives.

Le tableau V présente les valeurs moyennes du pH_{eau} par fractionnement de la Dose d'azote et par cycle.

Tableau V. Valeurs moyennes du pH_{eau} par fractionnement de la dose d'azote et par cycle
 pH_{eau} / nombre de fractionnement

Doses	Cycles	1	2	3	4	CV (p.c)	Moy	Pr> F
60 kg N ha ⁻¹	1er cycle	4,7a	5,0a	4,6a	4,8a	4,34	4,8	0,19
	2e cycle	4,1a	4,4a	4,1a	4,8a	7,01	4,2	0,57
	3e cycle	4,4a	4,6a	4,6a	4,4a	6,24	4,5	0,74
80 kg N ha ⁻¹	1er cycle	5,0a	4,8a	4,8a	5,2a	10,03	4,9	0,72
	2e cycle	4,3a	4,4a	4,2a	4,3a	3,49	4,3	0,51
	3e cycle	4,7a	4,9a	4,5a	4,8a	7,06	4,7	0,53
100 kg N ha ⁻¹	1er cycle	4,6a	5,4a	5,1a	5,0a	7,58	5,0	0,15
	2e cycle	4,3a	4,2a	4,0a	4,3a	6,12	4,2	0,36
	3e cycle	4,8a	4,4a	4,4a	4,6a	3,73	4,5	0,06

Les valeurs suivies par la même lettre en minuscule la même ligne, ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

NB : CV = coefficient de variance ; Pr = probabilité ; Moy = moyenne

Il n'existe pas d'effet significatif du nombre fractionnement quelle que soit la dose pour chaque cycle ($P > 0,05$). Néanmoins, si nous considérons la probabilité ($\alpha = 0,1$), on constate que le nombre de fractionnement a eu un effet significatif au troisième cycle pour la dose 100 kg N ha⁻¹. Mais aucune différence n'est observée entre les valeurs moyennes du pH induites par les différentes fractions. Cependant, si nous observons le cycle 3 de la dose 100 kg N ha⁻¹ (Fig 2), on constate qu'il y a une tendance du pH à la baisse avec le nombre croissant des fractions (1, 2 et 3) alors qu'il tend à augmenter après la fraction 3.

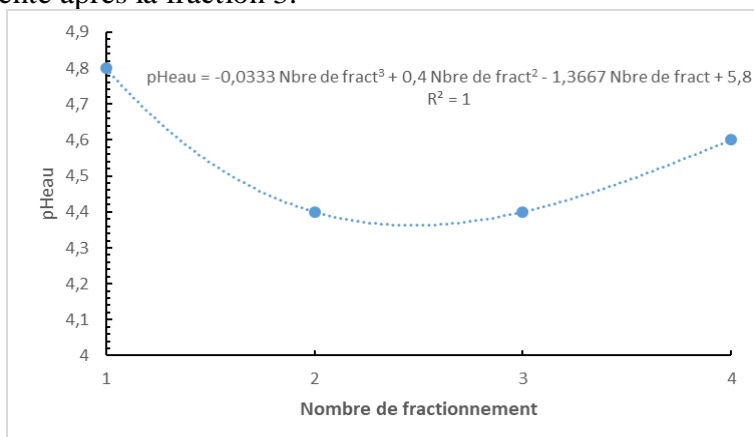


Figure 2. Tendance du pH_{eau} par rapport au nombre de fractionnement de la dose 100 kg N ha⁻¹ au cours du cycle 3

Effet du traitement sur le rendement en grain (RDG) et l'efficacité agronomique (EA)

La figure 2 présente les courbes de tendance du RDG en fonction du cycle (a), du RDG et du pH_{eau} en fonction de la dose (b) et les valeurs moyennes du RDG par dose et par cycle (c) et en fonction du nombre de fractionnement (d)

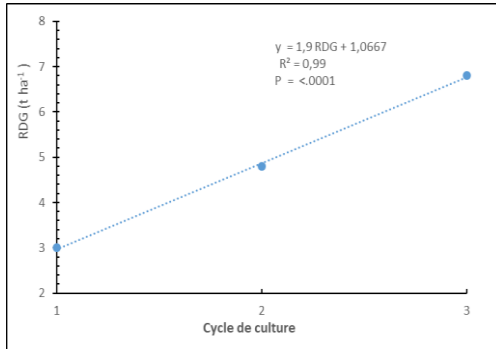


Fig a)

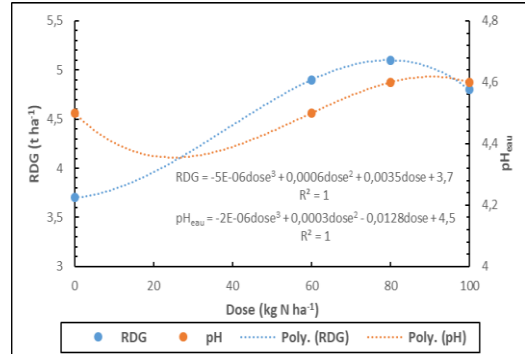


Fig b)

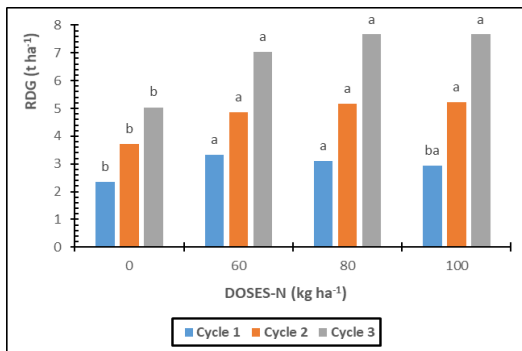


Fig c)

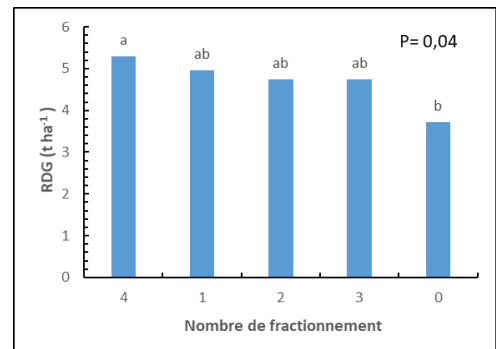


Fig d)

Figure 2. Courbes de tendance du RDG en fonction du cycle (a), du RDG et du pH_{eau} en fonction de la dose (b) et les valeurs moyennes du RDG par dose et par cycle (c) et en fonction du nombre de fractionnement (d).

On constate que les deux courbes de tendances ont des coefficients de détermination R^2 égaux à 1. La figure 2a montre une équation de degré 1 qui a un coefficient positif et une constante de 1,067 tendant à augmenter le rendement en fonction du cycle. Au niveau de la figure 2b, les équations du RDG et du pH_{eau} montrent respectivement que les coefficients des degrés 3 et 2 sont très faibles ($10^{-6} - 10^{-4}$). Le coefficient du degré 1 pour le RDG est de l'ordre de 10^{-3} et d'une valeur positive avec une constante de (3,7) tendant à augmenter faiblement la valeur du RDG selon les doses croissantes d'azote. Le parallélisme des courbes de tendance du pH et du RDG montre que les deux évoluent ensemble quand la dose augmente jusqu'à la dose 80 kg N ha^{-1} au-delà de laquelle nous observons une baisse du pH et du RDG. Les figures 2c et 2d montrent des effets significatifs ($P < 0,05$) du cycle, de la dose et du nombre de fractionnement sur le rendement en grains. On constate que, les valeurs moyennes du RDG par dose sont statiquement identiques pour les doses 60, 80 et $100 \text{ (kg N ha}^{-1}\text{)}$ quel que soit le cycle (Fig c). Ces valeurs

sont supérieures aux valeurs de la dose 0 kg N ha⁻¹ (le témoin) et dépendent du nombre de fractionnement.

La figure 3 ci-dessus nous présente l'efficacité agronomique de l'azote en fonction de la dose (a) et du nombre de fractionnement (b).

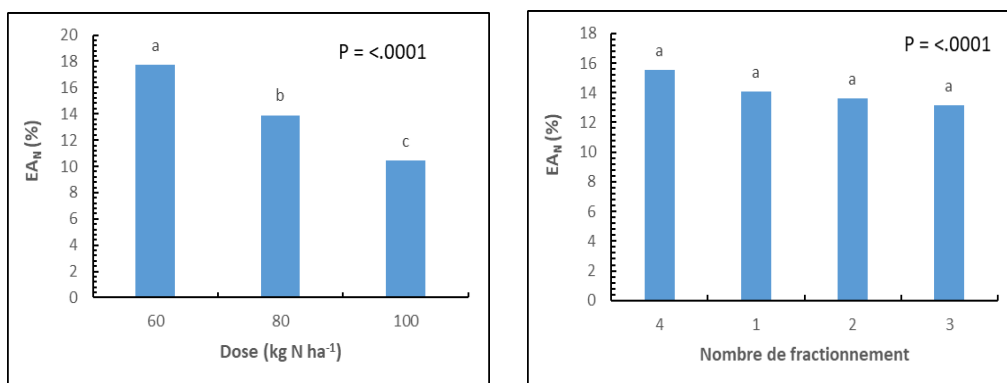


Figure 3. Efficacité agronomique de l'azote en fonction de la dose (a) et du nombre de fractionnement (b)

On remarque que l'efficacité agronomique de l'azote diminue avec les doses d'azote croissantes. Mais, elle est globalement croissante avec le nombre croissant de fractions.

Discussion

Gestion de l'azote et du pH_{eau} dans les agrosystèmes rizicoles

Au cours de l'étude, globalement, on a vu qu'il n'y avait pas d'augmentation du pH selon les cycles de culture successives. Les courbes de tendance obtenues ont été polynomiales d'ordre 3 avec des coefficients de détermination ($R^2=1$). Les équations de droites ainsi réalisées permettent de déterminer le pH_{eau} et le RDG quelle que soit la dose d'azote et le cycle. Le parallélisme des tendances du pH_{eau} et du RDG montre que les deux évoluent ensemble quand la dose augmente jusqu'à la dose 80 kg N ha⁻¹ au-delà de laquelle nous observons une baisse du pH et du RDG. Il y'a donc un optimum de dose d'azote autour de 80 kg N ha⁻¹ pour ces deux variables car pour des doses 100, 120 et 140 kg N ha⁻¹, les valeurs moyennes respectives du RDG calculées à partir de l'équation (Fig 2b) seraient de 5 ; 4,1 et 2,2 t ha⁻¹ avec des pH_{eau} correspondants de 4,6 ; 3,8 et 3,1. On en déduit que l'accroissement du pH permettrait d'augmenter le rendement mieux que celle de la dose d'engrais. Cela souligne un aspect économique de la stratégie explorée par nos résultats. En effet, au lieu d'investir en azote supplémentaire (>80 kg N ha⁻¹), on choisirait de faire un chaulage avec 80 kg

N ha⁻¹ tel que déjà révélé par Fabre et Kockmann (2002) et par Bertoni *et al.* (2013).

Durant l'étude courante, le fractionnement a induit le même effet en s'illustrant comme une alternative au chaulage. A l'aide des régressions obtenues, les fractions 5, 6, 7 induiraient des pHs respectifs de 4,8 ; 4,8 et 4,4 présumant que la riziculture exigerait la dose optimale de 80 kg N ha⁻¹ appliquée en cinq fractions. Cela se justifie par une faible concentration de NH₄⁺ dans le milieu suite à une compétition entre NO₃⁻ apporté en petites quantités (fractions) et les fortes concentrations d'anions (RCOO⁻ et HP₂O₃⁻) existant dans l'Histosol. Il y'a donc une prévalence d'ions NO₃⁻ dans le milieu que d'ions NH₄⁺ justifiant l'acidité (Landmann *et al.*, 2009). Cependant, avec une prédominance de NO₃⁻ sur NH₄⁺, l'efficacité agronomique en azote pourrait être entamé car le riz de bas-fond se nourri préférentiellement de NH₄⁺ (Gaudin, 2015). C'est ce qui explique la faible efficacité agronomique observée qui diminue avec la dose (Fig 3b). En effet si l'on observe nos résultats de l'efficacité agronomique, on note de telles valeurs moyennes nettement inférieures aux travaux qui ont été faits par Soro (2017). Le cycle a eu un effet significatif sur le pH_{eau}, la dose a eu un effet significatif sur le pH_{eau}, mais avec l'application du fractionnement, on constate que l'interaction des trois n'ont pas eu un effet significatif en générale notamment pour ($\alpha=0,1$). Cela vient démontrer que le fractionnement réduit l'effet néfaste des doses et des cycles sur le sol étant donné que l'augmentation du nombre de fractionnement jusqu'à cinq (5) nous permettra d'avoir des pH plus élevés allant jusqu'à 4,8 (+0,2 unité pH). L'étude démontre que le fractionnement est un moyen de gestion de l'acidité du sol et pour soutenir la production durable. Ainsi, cette étude vient pour confirmer la gestion de l'azote ou le fractionnement est un moyen efficace de gestion de l'azote pour maintenir l'acidité du sol.

Productivité dans les agrosystèmes rizicoles

L'étude a montré que les rendements ont évolué progressivement avec les cycles de culture. Cependant, plusieurs études sur Fluvisol ont montré une chute inévitable de rendement en monoculture continue (Ganry et Feller., 1977 ; Koné *et al.*, 2014).

Si l'on se refait d'une part à la forte concentration de la matière organique dans le sol étudié (Histosol) et d'autre part aux travaux de Ganry et Feller (1977), on comprend alors cette nouvelle tendance observée en monoculture de riz. Cela vient renforcer les arguments en faveur de l'amendement organique pour la durabilité de l'écosystème rizicole. En effet, Ganry et Feller (1977) ont montré qu'en absence d'azote et de fumure minérale, le compost fonctionne comme une réserve d'éléments nutritifs pour la microflore et secondairement la plante. Les résultats de nos travaux

ont montré que quel que soit le cycle, les valeurs moyennes des rendements obtenus avec les doses 60, 80 et 100 kg N ha⁻¹ sont statiquement identiques et supérieures à celles obtenues avec le témoin (0 kg N ha⁻¹). Ce qui est confirmé par les travaux de Gubbels (1978) qui a montré aussi que la variation insignifiante de rendement avec différentes doses n'est pas une singularité à notre étude. Cependant, en utilisant les courbes de tendances, cela a permis de confirmer la dose de 80 kg N ha⁻¹ comme étant la dose optimale d'azote. Cette valeur est par ailleurs la dose recommandée par plusieurs auteurs dans les agrosystèmes rizicoles de la Côte d'Ivoire (Akassimadou *et al.*, 2017 ; Zadi *et al.*, 2014). Cette étude n'a pas permis d'obtenir une fraction optimale pour chaque dose. Cependant, avec les régressions, on a présumé 5 fractions car plus le nombre de fractionnement est élevé plus l'efficacité agronomique s'élève et mieux seraient le rendement et le pH. On s'attend donc à une augmentation des rendements si on avait atteint cinq (5) fractions. A partir de là, cette étude vient pour confirmer la gestion de l'azote ou le fractionnement est un moyen efficace de gestion de l'azote pour avoir un meilleur rendement. En perspective, il est bon de faire une étude qui va évaluer le fractionnement plus élevé que quatre (4).

Conclusion

Au terme de notre étude, nous retenons que, pour avoir un rendement élevé sur Histosol, la dose optimale d'urée est autour de 80 kg N ha⁻¹ et le pH_{eau} du sol de 4,6. Notre étude n'a pas obtenu une fraction optimale pour chaque dose d'azote. Cependant, il a été constaté que plus le pH du sol s'élève plus le rendement en grains s'élève. Or le fractionnement des doses peut faire évoluer le pH_{eau} vers la basicité jusqu'à un optimum de 4,8 à cinq (5) fractions, on s'attend donc à une élévation du rendement si on avait fait 5 fractions. Le fractionnement est donc un moyen de gestion de l'acidité du sol et pour soutenir la production durable. Etant donné que dans nos agroécologies, on va jusqu'à 100 kg N ha⁻¹, il serait recommandable au lieu de 100 kg N ha⁻¹, d'utiliser 80 kg N ha⁻¹ et augmenter le nombre de fractionnement jusqu'à cinq (5) de la dose ou d'utiliser une autre méthode d'augmentation du pH_{eau} comme le chaulage. Il serait recommandable de faire une étude sur le nombre de fractionnement plus élevé que quatre (4) pour confirmer ou infirmer cette hypothèse.

References:

1. Agbo. K., 1994. Etude des effets des résidus de récolte sur quelques propriétés physico-chimiques des sols et sur le rendement du maïs. Mémoire d'Ingénieur Agronome. UBESA, Lomé, 104 p.

2. Akassimadou., F. E., Hien M. P., Bouadou O. F. B., Bolou B. E. B., Bongoua J. A., Ettien J-B. D. et Yao-K. A., 2017. Efficiences des nutriments P et K en riziculture irriguée dans un bas-fond secondaire en zone de savane guinéenne de la Côte d'Ivoire. *Eur. Sci. J. ESJ* 13, pp. 432-432.
3. Bertoni G., Hélias R., Poozesh V., Castillon P., Cruz P., 2013. Faut-il chauler et fertiliser les prairies permanents des sols acides et peu fertiles? *Fourrages*, (2013): 55-62.
4. Bremner J. and Mulvaney C., 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* In : Konan K.F., 2013. Diagnostic minéral d'un bas-fond secondaire développé sur matériaux granito-gneissique en région Centre de la Côte d'Ivoire : essai comportemental de riziculture irriguée, 72 p.
5. Chérif M., Audebert A., Fofana M. and Zouzou M., 2009. Évaluation of iron toxicity, on low land irrigated rice in West Africa. *Tropicultura* : 27, pp. 88-92.
6. Courtois B. ,2007. Une brève histoire du riz et de son amélioration génétique. Cirad, France., 13 p.
7. Fairhurst, T., 2015. Manuel de Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols. Consortium Africain pour la Santé des Sols, Nairobi, 179 p.
8. Fabre B. et Kockmann F., 2002. La pratique du chaulage. De la construction du référentiel régional à la démarche de conseil en exploitation et gestion des sols, 9,3, 213-224.
9. FAO., 1997. Système amélioré de riziculture pluviale. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 97 p.
10. Freney J. R., R. Leuning J. R. Simpson O.T. Denmead and Muirhead W. A. ,1885. Estimating ammonia volatilization from flooded rice fields by simplified techniques. *Soil Sci Am J.* 49, pp. 1049-1085.
11. Ganry F. et Feller C., 1977. Effet de la fertilisation azotée (urée) et de l'amendement organique (compost) sur la productivité du et la stabilisation de la matière organique en monoculture de mil dans les conditions des zones tropicales semi-arides. Séminaire régional sur le recyclage organique en Agriculture, Bue, Cameroun, 24p.
12. Ganry F., 1990. Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche. Thèse de doctorat, Université de Nancy I, 351p.
13. Gaudin R. and Dupuis J., 1999. Ammoniacal nutrition of transplanted rice fertilized with large urea granules. *Agronomy Journal* 91, pp. 33-36.
14. Gaudin R., 2015. Des modèles agronomiques pour comprendre, prévoir, intervenir : Exemples en zones tropicale et méditerranéenne.

- Document présenté pour l'obtention de l'habilitation à Diriger des travaux. Université Paul-Valéry Montpellier, 108 p.
15. Gaudnik C., 2011. Impacts des dépôts d'azote atmosphérique sur la végétation des prairies acides du domaine atlantique français. *Biologie végétale*. Université des Sciences et Technologies (Bordeaux 1). BioGeCo (Site de recherche Forêt - Bois de Pierroton - 69, route d'Arcachon F-33612 Cestas Cedex FRANCE - France).
 16. Godin B., A. Chandelier., Jacquemin G., Meza R., Eylenbosch D., Lateur M., Blanchard R., Meurs R., Bodson B., Sinnaeve G., 2020. Valorisation des froments et épeautres de la récolte 2020. Livre Blanc « Céréales » – Septembre.
 17. Gubbels, G. H., 1978. Interaction of cultivar and seeding rate on various agronomic characteristics of flax. *Can. J. Plant Sci.* 58: 303–309.
 18. [18] Konan K. F., 2017. Essai de la compréhension de la variabilité des rendements en riziculture à partir des pratiques paysannes dans les bas-fonds secondaires du M'Bé et de Lakakpli en région centre de la Côte d'Ivoire, 595 p.
 19. Koné B., 2014. Sustaining rice production in Tropical Africa: Coping with rice yield gape and declining yield. Lap Lambert Publishing. 223p.
 20. Lacharme M., 2001. Mémento Technique de Riziculture. La fertilisation minérale du riz « fascicule 6 », 19 p.
 21. Landmann G., Gosselin F., Bonhême I. (coord.), 2009. Biomasse et biodiversité forestière. Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière : implication pour la biodiversité et les ressources naturelles. Paris, MEEDDM-Ecofor, 210 p. www.gip-ecofor.org
 22. Lavigne D. P., Boucher L et Vidal L. 1996. "Les bas-fonds en Afrique tropicale humide : stratégies paysannes, contraintes agronomiques et aménagements" in Pichot et al eds. *Fertilité*
 23. *du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides, actes du séminaire international,*
 24. CIRAD, pp. 148-161.
 25. MCLAU-JICA (Ministère de la Construction, du Logement, de l'Assainissement et de l'Urbanisme-Agence Japonaise de Coopération Internationale), 2015. *Projet de développement du Schéma Directeur d'Urbanisme du Grand Abidjan (SDUGA) Vol 2*, 508p.
 26. Mohamed D., 2005. Analyse du fonctionnement d'une parcelle de riz irrigué sur sol alcalin. Application à la gestion intégrée de la fertilisation azotée et du calendrier cultural dans le delta intérieur du fleuve Niger (Mali), 175 p.

27. Mukenza M. M., Ildephonse K. M., John T. K., Alain K. M., Sylvestre C., Yannick U. S. 2021. Perception de la dégradation de la fertilité des sols et de sa gestion par les agriculteurs de la cité de Kasenga en République Démocratique du Congo *Geo-Eco-Trop.* V45, N° 2, pp. 211-220.
28. Nelson D. W. and Sommers L. E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, in page, A.L,ed, *Methods of soil analysis: part 2 Chemical and Microbiological Properties* (2nded); *Madison, Wis, American Society of Agronomy*, pp. 539-579.
29. Ngaresseum D. K. T., 2010. Evolution de la production et des importations de riz en Côte d'Ivoire de 1965 à 2008. BUPED N° 08/2009, 29 p.
30. ONDR, 2016. Office National de Développement de la Riziculture. www.ondr.ci
31. Pieri C., 1979. Etude de la composition de la solution d'un sol sableux cultivé du Sénégal à l'aide de capteurs en céramique poreuse. *Agronomie Tropicale*. Vol.34, N°1, pp. 9-22.
32. Saidou A., Gnakpenou K. D., Balogoun I., Hounnahin S. R. et 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*, pp. 6575-6589.
33. Snoeck D., 2010. Importance d'une bonne gestion de la fertilité des sols pour cacaoculture durable. In : Atelier sur la gestion des sols des vergers cacaoyers et l'agroforesterie appliquée à la cacaoculture en Afrique de l'Ouest et du Centre, 16 au 18 mars 2010, Kumassi, Ghana. COPAL. s.l. : s.n., pp. 1-8.
34. Sommers ME.and Miller W.P., 1996.Cation exchange capacity and exchange coefficients.In *Methods of soil analysis. Part 3 – Chemical Methods*.Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A. and Loeppert R.H. (Ed.).American Society of Agronomy, Madison, USA. SSSA Book Series 5: pp. 1201-1230.
35. Soro N. C., 2017. Criblage et identification des génotypes de riz les plus sensibles à l'apport de fertilisant dans un bas-fond irrigable : contribution de la pédologie à la sélection variétale. Mémoire Pour l'obtention du diplôme de master. Université Félix Houphouët Boigny, 61p.
36. Thomas, G. W., 1982, "Exchangeable Cations. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*", Second Edition. A.L. Page (editor). *Agronomy*, No. 9, Part 2, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI: 159-165.

37. Touré A., Mahaman C. M., Becker M. et Johnson D., 2005. Approche diagnostique pour mieux cibler les interventions culturales dans les bas-fonds rizicoles de Côte d'Ivoire, *agronomie africaine* 17, pp. 219-225.
38. Wetselaar R., Ganry F., 1982. Nitrogen balance in agrosystems. Y.R. Dommergues, H. G. Diem (Eds.), pp. 1-35.
39. Zadi F., Koné B., Gala bi T. J., Akassimadou E. F., Konan K. F., Traoré M. J., N'ganzoua K.R et Yao-Kouamé A. 2014. Lowland Rice Yield as Affected by Straw Incorporation and Inorganic Fertilizer Over Cropping Seasons in Fluvisol. *Journal of advances in agriculture vol .3, no. 1,pp.129 – 141.*