

## **Effets interactifs des nutriments et de la fertilisation azotée en riziculture sur Histosol à Songon, Côte d'Ivoire**

**Nahoua Christophe SORO<sup>1\*</sup>, Kouamé René N'GANZOUA<sup>2</sup>, Bakayoko SOUMAILA<sup>1</sup>  
et Brahim KONE<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Université Felix Houphouët-Boigny, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Département de Pédologie et Agriculture Durable, Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géo-Matériaux, 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire*

<sup>2</sup> *Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, Département d'Agropédologie, Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 21 Juin 2023 ; Accepté le 08 Août 2023)

---

\* Correspondance, courriel : [soronahouachristophe@gmail.com](mailto:soronahouachristophe@gmail.com)

### **Résumé**

L'objectif de ce travail est de déterminer l'effet interactif des nutriments des Histosols avec l'apport raisonné de l'azote sur le rendement du riz WITA 9. La méthodologie a consisté à nettoyer 902 m<sup>2</sup> de bas-fond sur lequel un dispositif en split-plot de 3 blocs séparés les uns des autres d'1 m a été mise en place. Chaque bloc contient 15 micro-parcelles de 15 m<sup>2</sup> distantes de 0,5m. Avant le repiquage (20 cm × 20 cm) des jeunes plants de riz WITA 9 dans chaque micro-parcelle, le potassium et le phosphore ont été appliqués comme fumures de fond respectivement à la dose de 120 et de 40 kg.ha<sup>-1</sup> et l'urée a été apportée comme engrais de couverture par fractionnement aux doses de 60, 80 et 100 kg.ha<sup>-1</sup> aux différents stades de développement du riz. L'herbicide systémique sélectif à action foliaire (Weedkill 720 SL) et l'insecticide « Décis » ont été respectivement utilisés 2 à 3 semaines pour l'entretien des essais. Les résultats ont montré un effet interactif des éléments majeurs et oligoéléments du sol par synergie ou par antagonisme améliorant le rendement avec l'apport fractionné de l'urée à la dose optimale de 70 kg N ha<sup>-1</sup> en trois (3) fractions. En recommandation, un apport d'engrais composé (NPK-Mg+S) serait bon pour la fertilisation des Histosols et améliorer le rendement du riz de bas-fond WITA 9.

**Mots-clés :** *histosol, fertilisation azotée, riziculture, songon, Côte d'Ivoire.*

### **Abstract**

**Interactive effects of nutrients and nitrogen fertilization in rice cultivation on Histosol at Songon, Côte d'Ivoire**

The objective of this work is to determine the interactive effect of nutrients from Histosols with the rational supply of nitrogen on the yield of WITA 9 rice. The methodology consisted of cleaning 902 m<sup>2</sup> of lowland on which a device in split-plot of 3 blocks separated from each other by 1 m was set up. Each block contains 15 micro-plots of 15 m<sup>2</sup> spaced 0.5 m apart. Before transplanting (20 cm × 20 cm) the WITA 9 rice seedlings in each micro-plot, potassium and phosphorus were applied as basal fertilizers respectively at the dose of 120 and 40 kg ha<sup>-1</sup> and urea was added as cover fertilizer by splitting at doses of 60, 80 and 100 kg ha<sup>-1</sup> at

the different stages of rice development. The selective systemic herbicide with foliar action (Weedkill 720 SL) and the insecticide "Décis" were respectively used for 2 to 3 weeks for the maintenance of the trials. The results showed an interactive effect of the major elements and trace elements of the soil by synergy or by antagonism improving the yield with the fractional contribution of urea at the optimal dose of 70 kg N ha<sup>-1</sup> in three (3) fractions. As a recommendation, adding compound fertilizer (NPK-Mg+S) would be good for fertilizing Histosols and improving the yield of WITA 9 lowland rice.

**Keywords :** *histosol, nitrogen fertilization, rice cultivation, songon, Côte d'Ivoire.*

## 1. Introduction

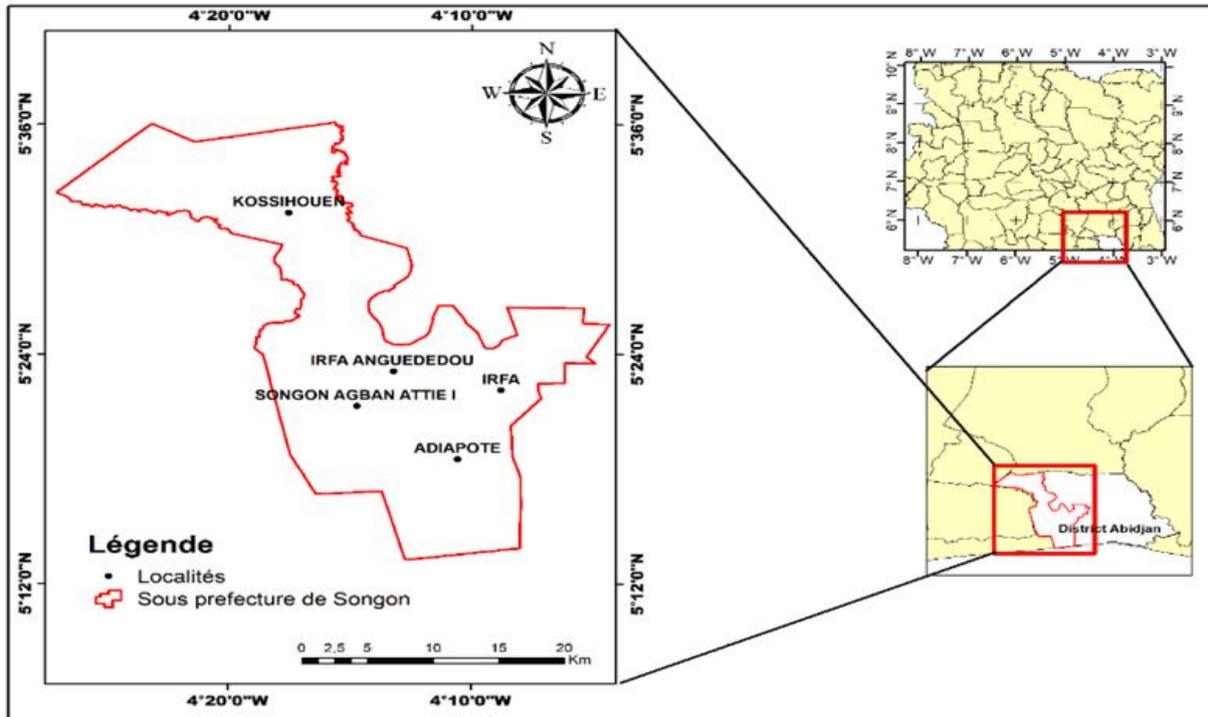
La riziculture est une composante agricole très importante à travers le monde et particulièrement en Côte d'Ivoire où elle occupe environ 2 millions des agriculteurs [1] pour plus de 800 milles hectares de superficies emblavées [2]. Cette importance accordée à la culture du riz, est motivée, non seulement par les atouts naturels en matière de riziculture dont dispose la Côte d'Ivoire mais aussi par la popularisation rapide qui induit aujourd'hui une augmentation de la consommation annuelle jusqu'à 90 kg/habitant [3]. Ce qui occasionne des importations massives qui coûtent à l'Etat ivoirien plus de 400 milliards de FCFA par an pour couvrir les besoins de la consommation nationale en riz [4]. Le secteur de la riziculture est donc pourvoyeur d'emplois et promoteur de l'autosuffisance alimentaire en Côte d'Ivoire. Cependant la production rizicole n'est pas sans contraintes. Elle est plombée par des facteurs biotiques et abiotiques liés aux faibles niveaux de fertilité des sols rizicultivables [5, 6], aux changements globaux de l'environnement climatique, caractérisés par l'irrégularité de la pluviométrie et l'apparition des ravageurs ces dernières années en Côte d'Ivoire [7] ainsi qu'à une prévalence des riziculteurs à la riziculture pluviale par tradition [1]. En effet, la production rizicole en Côte d'Ivoire est dominée à plus de 80 % par le riz pluvial ou de plateau avec un rendement maximal de l'ordre 1,3 t ha<sup>-1</sup> sans intrants et sans mécanisation [1, 8] contre un rendement moyen de 3,5 t ha<sup>-1</sup> en riziculture de bas-fond [9] pour un rendement potentiel de 6 - 8 t ha<sup>-1</sup> dans ce écosystème [10]. Dans un souci de maximiser la production rizicole dans les bas-fonds ivoiriens pour satisfaire les besoins de consommation, très souvent, l'utilisation des engrais chimiques et/ou organiques est préconisée à cause de leur action bénéfique sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol [11, 12]. Cependant, la méconnaissance d'une fertilisation raisonnée [13] et de la courbe de réponse du riz aux fertilisants [14] rend l'apport d'engrais minéraux et/ou organiques difficile pour compenser ou corriger le faible niveau de fertilité des sols pour la nutrition du riz cultivé [15, 16]. Par ailleurs, de nombreux travaux ont-ils montré l'implication des éléments minéraux dans de nombreux processus physiologiques de la plante [17]. Cependant, il existe peu d'informations scientifiques sur l'effet synergique ou antagonisme des nutriments du sol dans la croissance et le développement des plantes. Il est donc impérieux que des études soient menées afin de maîtriser les effets interactifs des nutriments du sol sur le rendement du riz [18, 19], spécialement, sur Histosols qui sont des sols de bas-fond avec des couches organiques épaisses (C > 40 %), saturées d'eau et propices à la riziculture. Par ailleurs, pour éviter de perturber l'équilibre naturel des nutriments de ces sols dans la pratique rizicole tout en augmentant leur productivité, la fertilisation raisonnée est très souvent préconisée. L'objectif de ce travail est donc de déterminer l'effet interactif des éléments nutritifs des Histosols par apport raisonné de doses d'azote sur les paramètres du rendement du riz. A terme, cette étude devra recommander une fertilisation fractionnée d'azote susceptible d'optimiser le rendement du riz sur Histosol tout en préservant son équilibre écosystémique.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Zone d'étude

L'étude a été conduite dans un bas-fond dans la commune de Songon au sud du grand Abidjan-Côte d'Ivoire entre les latitudes 5°19'32" et 5°19'33"N et les longitudes 4°10'17" et 4°10'18" W avec une altitude 30 m (*Figure 1*). Le climat est de type tropical humide bimodal caractérisé par deux saisons sèches centrées sur août

et janvier qui alternent avec deux saisons humides centrées sur octobre et juin. Les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 1540 et 3040 mm et la température moyenne annuelle est 26,4°C [20].



**Figure 1 : Localisation du site des essais agronomiques à Songon**

## 2-2. Matériel végétal

La variété de riz utilisée dans cette étude expérimentale en culture de bas-fond est le WITA 9 développé par AfricaRice (ex ADRAO) en 1992 à IITA au Nigéria et inscrit au catalogue en 2010. La nature génétique du WITA 9 est de la lignée du type variétal *Oryza sativa* et du groupe variétal indica. Cette variété est précoce avec un cycle court de 120 jours et un rendement potentiel à la récolte de 8 à 10 tonnes à l'hectare [21]. Le WITA 9 a de très bons caractères agro morphologiques et résiste aux maladies et insectes. Il a un bon goût au niveau organoleptique [22].

## 2-3. Matériel fertilisant et phytosanitaire

### 2-3-1. Matériel fertilisant

Le matériel fertilisant est essentiellement constitué d'engrais minéraux simples. Les types d'engrais utilisés pour la fumure minérale, ont été constitués d'engrais simples minéraux dont le super triphosphate (TSP :  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ) : 50 % de phosphore (P) et le sulfate de potassium ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) : 50 % de potassium (K), pour la fumure de fond et de l'urée ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) : 46 % d'azote (N), pour la fumure de couverture.

### 2-3-2. Matériel phytosanitaire

Il est composé d'herbicides et d'insecticides. Pour ce qui concerne les herbicides, le glyphosate (herbicide total systémique) et le Weedkill 720 SL (herbicide systémique sélectif à action foliaire) ont été utilisées. Quant à l'insecticide, c'est le « Décis » qui a été utilisé.

## 2-4. Mise en place des essais expérimentaux

Une parcelle de bas-fond d'une superficie 902 m<sup>2</sup> dans la commune de Songon a été manuellement nettoyée à la machette après pulvérisation à l'herbicide total à base de glyphosate. Les débris végétaux ont été débarrassés, la parcelle a été mise à boue et drainée pour la mise en place des essais expérimentaux. Ensuite, la parcelle a été délimitée en micro-parcelles de 15 m<sup>2</sup> (3m × 5 m) par la réalisation des diguettes suivant un dispositif en split-plot de 3 blocs séparés les uns des autres d'une allée d'un mètre. Chaque bloc contient 15 micro-parcelles également distantes de 0,5 m. Dans chaque micro-parcelle et avant le repiquage, le potassium et le phosphore ont été appliqués comme fumures de fond respectivement à la dose de 120 et de 40 kg ha<sup>-1</sup>. Les jeunes plants de riz WITA 9 âgés de 21 jours ont été repiqués dans un espacement régulier de 20 cm × 20 cm et l'urée a été apportée comme engrais de couverture par fractionnement aux doses respectives de 60, 80 et 100 kg ha<sup>-1</sup> aux différents stades de développement du riz (**Tableau 1**). L'herbicide systémique sélectif à action foliaire (Weedkill 720 SL) et l'insecticide « Décis » ont été utilisés 2 à 3 semaines après le planting contre les mauvaises herbes et les insectes ravageurs suivis d'un désherbage manuel régulier pendant la croissance du riz.

## 2-5. Collecte des données de l'étude

### 2-5-1. Échantillonnage du sol du bas-fond

Sur l'aire expérimentale, Avant la mise en place des essais (sur l'aire expérimentale) et à la fin du cycle cultural (dans chaque micro-parcelle), cinq échantillons de sol ont été prélevés dans les 20 premiers centimètres des horizons du sol, dans les quatre angles et au centre de chaque périmètre en utilisant la méthode de la carotte à l'aide d'un tuyau PVC de diamètre 20 cm. Ces échantillons de sol prélevés ont été mélangés pour obtenir un échantillon composite qui a été ensuite séché à l'air libre, puis passé au tamis fin avant d'être broyé. Un échantillon représentatif d'un kilogramme de sol composite broyé a été conditionné dans des films plastiques noirs prévus à cet effet et envoyé au laboratoire pour les analyses.

**Tableau 1 : Doses d'azote (kgN ha<sup>-1</sup>) fractionnées aux stades d'application selon les traitements**

Dose-N (kg/ha)	Traitements	Nombre de fractionnements	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*

### **2-5-2. Analyse du sol au laboratoire**

Les analyses ont été réalisées au Laboratoire des Végétaux et des Sols de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny de Yamoussoukro, en Côte d'Ivoire, pour évaluer l'état de fertilité initiale du sol et après la fertilisation d'un cycle cultural. Ces analyses ont porté sur la détermination de l'acidité du sol à travers le pH, les teneurs en carbone (C), en azote (N), en phosphore assimilable (Pass), en bases échangeables ( $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ), en capacité d'échange cationique (CEC), en zinc ( $Zn^{++}$ ) et en Fer ( $Fe^{++}$ ) Ainsi :

- le pH a été déterminé en utilisant la méthode du pH-mètre électronique en verre dans un rapport sol/solution de 1/2,5 [23]. Le principe consiste à plonger l'électrode en verre du pH- mètre dans le mélange de sol et à faire directement la lecture sur le cadran du pH-mètre après stabilisation pour donner la valeur du pH.
- la teneur du carbone total a été déterminée par la Méthode de [24]. Le principe consiste à oxyder, à froid, le carbone organique total présent dans le sol par une solution de bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ), en présence d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ). Le titrage de l'excès du bichromate est fait en milieu fortement acide, au moyen d'une solution de sulfate ferreux 0,5N ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ). La proportion de carbone organique total est déterminée après virage de la solution au brun.
- la teneur de l'azote total a été déterminée par la méthode de Kjeldahl modifié par [25]. Le principe consiste à transformer, en milieu acide, les composés organiques azotés en sulfate d'ammoniaque  $SO_4(NH_4)_2$ , en présence d'acide sulfurique concentré ( $H_2SO_4$ ), à chaud, et d'un mélange de catalyseurs ( $K_2SO_4$  et  $CuSO_4$ ). L'ammoniaque ainsi formé est déplacé de ses combinaisons par la soude (NaOH) concentrée, distillée par entraînement de vapeur, recueilli dans une solution d'acide borique ( $H_3BO_3$ ) et dosé par l'acide sulfurique titré.
- la teneur du phosphore assimilable a été déterminée par la méthode Olsen-Dabin décrite par [26]. Le phosphore assimilable du sol est extrait par une solution de bicarbonate de sodium ( $NaHCO_3$  ; 0,5N), pH 8,5 sur un autoanalyseur, en mesurant l'intensité du complexe bleu phosphomolybdique.
- la capacité d'échange cationique (CEC) et les bases échangeables ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  et  $Na^+$ ) sont extraites par rinçage d'une solution d'acétate d'ammonium ( $NH_4C_2H_3O_2$ , 1N) à pH 7. Le principe de cette méthode est basé sur le fait que la quantité d'ammonium retenue par le sol après lavage de l'excès d'acétate d'ammonium est exprimée en capacité d'échange des cations (CEC). L'ammonium retenu est libéré par percolation, et déterminé par autoanalyseur. Les bases échangeables ( $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ ) sont déterminées par spectrophotométrie d'absorption atomique et, le  $K^+$ , le  $Zn^{++}$ , le  $Fe^{++}$  par photométrie à flamme.

### **2-5-3. Détermination du rendement en grains**

A maturité, le riz a été récolté manuellement avec des faucilles sur 8 m<sup>2</sup> en laissant les 2 lignes de bordure. Après battage, les grains de riz ont été séchés au soleil, vannés et pesés pour obtenir le poids frais des grains (PFG) par traitement. Ensuite, un échantillon de riz par traitement a été prélevé et mis à l'étuve à 70°C, pendant 24 heures pour déterminer le poids sec des grains (PSG). Le taux d'humidité (H) des grains a été déterminé selon **l'Équation** suivant :

$$\text{Taux d'humidité-H (\%)} = (PFG - PSG) / PSG \times 100 \quad (1)$$

Enfin, on a déterminé le rendement des grains (RDG) sur 8 m<sup>2</sup> et extrapolé à l'hectare en utilisant **l'Équation** ci-après :

$$RDG (t ha^{-1}) = (PSG (kg) / 8(m^2)) \times (10000/1000) \times ((100-H)/86) \quad (2)$$

## 2-6. Analyse statistique

L'analyse statistique des données collectées et la détermination de la courbe de réponse de l'azote ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS. Les analyses de corrélation de Pearson et de régressions ont été effectuées pour déterminer la relation entre les éléments nutritifs et le rendement en grains par rapport à la dose. Les analyses de variance (ANOVA) ont été évaluées pour alpha ( $\alpha$ ) = 0,05 mais les analyses de corrélation ont été évaluées pour alpha ( $\alpha$ ) = 10 %. Quant à la courbe de tendance, elle a été réalisée à l'aide du logiciel Excel 2016 avec l'appréciation du déterminant  $R^2$ .

## 3. Résultats

### 3-1. Caractérisation des propriétés physico-chimiques du sol

Le résultat de l'analyse physico-chimique des échantillons composites du sol du bas-fond prélevés dans l'horizon 0-20 cm avant et après la mise en place des essais est consignée dans le **Tableau 2**. Avant l'expérimentation, on note une forte concentration en carbone (45,4 g/kg) dans le sol et une valeur élevée de C/N (21,62 > 15) attestant de la présence de matière organique partiellement décomposée. Avec un pH acide (pH = 4,7), il présente une teneur en azote très faibles (N = 2,1g kg<sup>-1</sup>). La capacité d'échange cationique (CEC) est également faible (3,42 cmol. kg<sup>-1</sup>). Les teneurs en cations échangeables en K<sup>+</sup> (0,42 cmol. kg<sup>-1</sup>), Mg<sup>++</sup>(1,48 cmol kg<sup>-1</sup>), Ca<sup>++</sup> (0,03 cmolkg<sup>-1</sup>) sont faibles ainsi que la teneur en oligo-éléments, notamment, en zinc (Zn = 0,35 ppm). Cependant, la teneur en fer est élevée (Fe = 700 ppm). Le rapport Mg / K (Mg/K < 4) ainsi que le rapport Ca / K (Ca/K < 12), indiquent que le calcium et le magnésium sont déficients par rapport au potassium dans le sol. Le rapport Ca / Mg faible (Ca / mg > 0,02) indique également un léger excès du magnésium sur le calcium. Mais, la somme du calcium et du magnésium est en excès par rapport au potassium si l'on en juge le rapport K / Ca + Mg (K/Ca+Mg < 2). Tout ceci montre que ces sols sont variablement pauvres en éléments nutritifs. Après l'expérimentation, on constate dans l'ensemble que tous les éléments chimiques du sol évalués ont eu leur teneur en légère augmentation comparativement à leurs teneurs initiale, excepté pour le phosphore-P, les rapports C/N et K/(Ca + Mg) qui ont des teneurs en baisse. Toutefois, il convient de noter que, la teneur du potassium-K a été très inférieure à celle du magnésium à l'état initial alors qu'après l'essai c'est le contraire qui est observé si l'on en juge le rapport Mg / K (Mg/K > 4). Au niveau du calcium, sa teneur faible initialement devient élevée après fertilisation si l'on se réfère au rapport Ca / K (Ca/K < 12). La valeur du rapport C/N (15 < 18,31 < 20) atteste de la bonne activité microbienne qui décompose la matière organique et un besoin en azote couvert. On constate donc une amélioration de la CEC (16,1cmol/kg).

**Tableau 2 : Teneurs en éléments chimiques du sol du bas-fond (0 - 20 cm) avant et après l'expérimentation**

Eléments physico - chimiques	Avant essai	Après essai
pH-eau	4,7	4,9
C <sub>ORG</sub> (g/kg)	45,4	49,98
N <sub>t</sub> (g/kg)	2,1	2,8
C/N	21,62	18,31
P <sub>total</sub> (ppm)	650	360,94
Ca (cmol/kg)	0,03	0,18
Mg (cmol/kg)	1,48	2,13
K (cmol/kg)	0,42	0,43
Zn (cmol/kg)	0,35	-
Al (cmol/kg)	0,06	0,58
Fe (ppm)	710	3320
CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	3,42	16,1
Ca / Mg	0,02	0,08
Mg / K	3,52	4,95
Ca / K	0,07	0,42
K / (Ca + Mg)	0,28	0,19

Par ailleurs, la variation des éléments chimiques après l'expérimentation en fonction des doses d'azote apportées sont présentés dans le **Tableau 3**. On observe que l'apport des doses d'azote ont soit entraîné une importation des nutriments donc un gain, soit une exportation des nutriments donc une perte, des teneurs initiales après l'expérimentation. De façon plus explicite, les différentes doses d'azote apportées (0, 60 80 et 100 kg Nha<sup>-1</sup>) ont permis une exportation plus élevée induisant une perte en Carbone-C, Azote-N, Potassium-K, Calcium-Ca, Magnésium-Mg et en CEC dans le sol initial. Par contre, le Phosphore-P, le Fer-Fe l'aluminium-Al et le rapport C/N se sont trouvés en excès dans le sol avec l'apport des doses d'azotes. On peut donc déduire que, tout apport d'azote quelle que soit la dose, modifie la teneur initiale des nutriments soit par un gain, soit par une perte.

**Tableau 3 : Variation des éléments chimiques après l'expérimentation en fonction des doses-N**

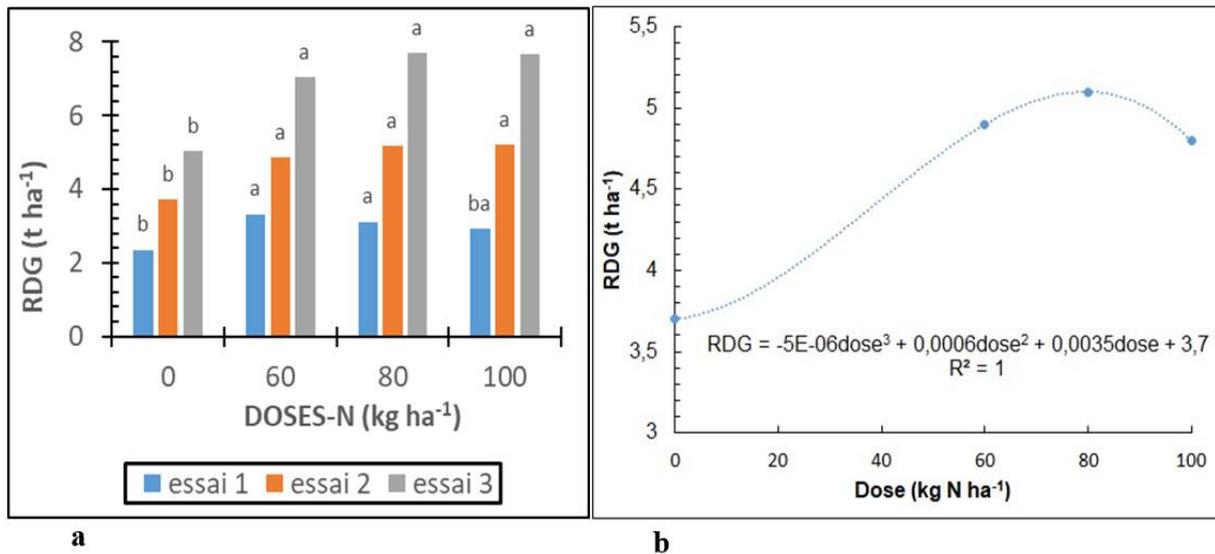
Eléments chimiques	Variation des nutriments du sol après l'essai selon les doses d'azote apportées								
	Avant essai	0 kg N ha <sup>-1</sup>	Δ 0 kg	60 kg N ha <sup>-1</sup>	Δ 60kg	80 kg N ha <sup>-1</sup>	Δ 80kg	100 kg N ha <sup>-1</sup>	Δ 100kg
pH <sub>eau</sub>	4,7	5,2	-0,5	4,7	0	5,1	-0,4	0,4	5,1
C <sub>org</sub> (g/kg)	45,4	46,96	-1,56	45,51	-0,11	55,05	-9,65	53,26	-7,86
N <sub>t</sub> (g/Kg)	2,1	2,9	-0,8	2,85	-0,75	2,81	-0,71	2,72	-0,62
C/N	21,62	16,47	5,15	15,97	5,65	19,59	2,03	19,81	1,81
P <sub>i</sub> (ppm)	650	241,13	408,87	403,6	246,4	408,73	241,27	364,58	285,42
P <sub>ech</sub> (ppm)	-	1,03	-	1,75	-	1,72	-	1,3	-
Zn (cmol/kg)	0,35	0,45	-0,1	0,23	0,12	0,39	-0,04	0,25	0,1
Fe <sub>i</sub> (ppm)	-	2516	-	1485	-	1956	-	1451	-
Fe <sub>ech</sub> (ppm)	710	2,62	707,38	3,96	706,04	2,84	707,16	3,47	706,53
Ca <sup>2+</sup> (cmol/kg)	0,03	1,8	-1,77	1,9	-1,87	1,7	-1,67	1,8	-1,77
Mg <sup>2+</sup> (cmol/kg)	1,48	2,1	-0,62	2,12	-0,64	2,14	-0,66	2,15	-0,67
K <sup>+</sup> <sub>ech</sub> (cmol/kg)	0,42	0,37	0,05	0,43	-0,01	0,46	-0,04	0,42	0
CEC (cmol/kg)	0,06	14,18	-14,12	18,32	-18,26	16,51	-16,45	15,41	-15,35
Al (cmol/kg)	3,42	2,96	0,46	1,92	1,5	1,94	1,48	2,26	1,16

Δ : Variation de l'élément (avant essai - après essai)

### 3-2. Effet du traitement sur le rendement en grain (RDG)

#### 3-2-1. Effet du fractionnement de l'azote sur le RDG

Le rendement en grain-RDG obtenu par dose d'azote appliquée et par cycle cultural est présenté (**Figure 2a**) et la courbe de tendance du RDG en fonction du cycle (**Figure 2b**). On note des effets significatifs ( $P < 0,05$ ) du cycle et de la dose sur le rendement en grains (RDG) d'une part et d'autre part, une différence significative entre les valeurs moyennes du RDG par dose et par essai agronomique au cours de l'expérimentation. On remarque que, quel que soit l'essai agronomique, les valeurs moyennes du RDG pour les doses de 60, 80 et 100 kg ha<sup>-1</sup> sont statistiquement identiques et supérieures à ceux de la dose témoin (0 kg N ha<sup>-1</sup>). Une observation similaire est également notée, quelle que soit la dose d'azote appliquée, indiquant une évolution progressive du rendement avec la courbe de tendance dont le coefficient de détermination  $R^2$  égal à 1 (**Figure 2b**). Elle montre que le coefficient du degré 3 est très faible ( $10^{-6}$ ) alors que le coefficient du degré 1 est de l'ordre de  $10^{-3}$  et positif avec une constante de (3,7) tendant à augmenter faiblement la valeur du RDG selon les doses croissantes d'azote. Par ailleurs, la courbe de la surface de réponse du RDG à l'intersection dose/Nombre de fractionnement montre que la dose optimale pour un rendement optimal est de 70 kg N ha<sup>-1</sup> pour trois (3) fractions de la dose au moins (**Figure 3**).



**Figure 2 :** Valeurs moyennes du RDG par dose d'azote appliquée ( $P = 0,0002$ ) et par essai agronomique (a) et tendance du RDG en fonction de la dose (b)

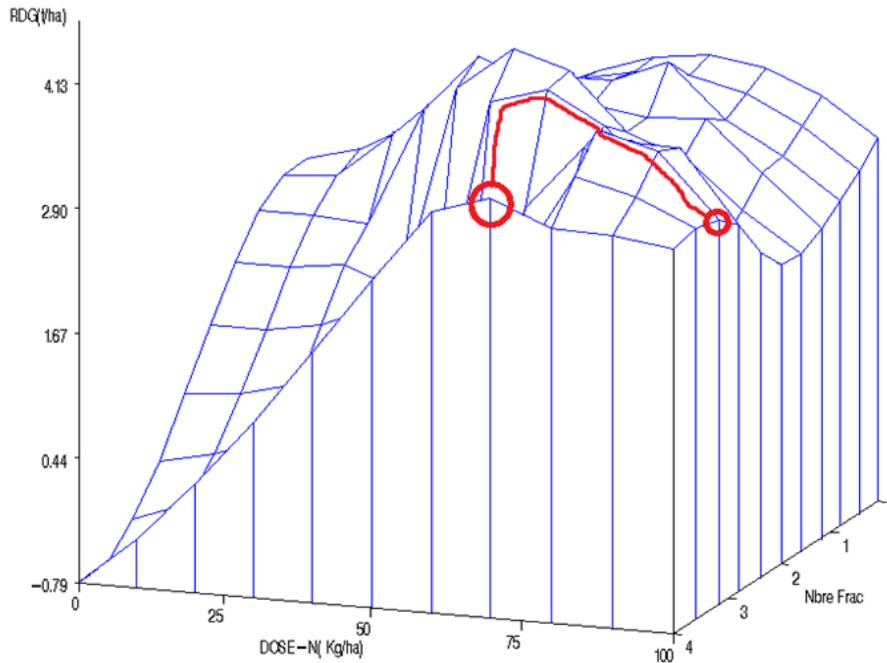


Figure 3 : Courbe de réponse du RDG à l'intersection dose/Nombre de fractionnement

**3-2-2. Relation entre les nutriments du sol et le rendement en grain (RDG)**

Le coefficient de corrélation (R) établi entre les nutriments du sol avant/après l'expérimentation et le rendement en grain obtenu est présenté dans le **Tableau 4**. Avant l'expérimentation, on note que le rendement grain est corrélé positivement avec l'azote-Nt, le potassium-K et le magnésium-Mg et négativement avec le phosphore-P. Cependant, aucune corrélation n'est significative ( $P > 0,1$ ) entre les éléments nutritifs présents dans le sol et le RDG. Après l'expérimentation, on observe que le rendement grain est corrélé positivement le potassium-K et le magnésium-Mg et négativement avec l'azote et le Calcium-Ca. Il permet d'indiquer de façon générale que le potassium-K a un effet sur le rendement au seuil de ( $\alpha = 10 \%$ ).

**Tableau 4 : Coefficient de corrélation (R) entre les nutriments et le RDG**

	Corrélation R									
	Avant expérimentation					Après expérimentation				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
<b>RDG</b>	0,14 ns	-0,13 ns	0,13 ns	0,06 ns	0,13 ns	-0,1 ns	0,06 ns	0,36s	-0,13 ns	0,13 ns

ns = Valeur corrélée non significative ; s = Valeur corrélée significative.

**3-2-3. Relation entre les nutriments du sol et le rendement en grain (RDG) en fonction de l'apport de la dose d'azote**

La corrélation (R) établie entre le RDG et les nutriments en fonction de l'apport de la dose d'azote est soit positive soit négative. Toutefois, aucun nutriment (P, K, Ca, S et Mg) n'a été corrélé avec le RDG (**Tableau 5**). Cependant, il convient d'indiquer que, à alpha ( $\alpha = 10 \%$ ), le magnésium-Mg a présenté un effet significatif à la dose 100 kg N ha<sup>-1</sup> avec une forte corrélation positive (0,73), de même que le soufre (S) à la dose 60 kg N ha<sup>-1</sup> avec une corrélation négative (-0,9).

**Tableau 5** : Coefficient de corrélation (R) entre le RDG et les nutriments en fonction de l'apport de la dose d'azote

Nutriments	Corrélation R du RDG			
	0 kg N ha <sup>-1</sup>	60 kg N ha <sup>-1</sup>	80 kg N ha <sup>-1</sup>	100 kg N ha <sup>-1</sup>
P	0,39ns	-0,74ns	-0,14ns	0,03ns
K	0,17ns	-0,36ns	0,33ns	-0,52ns
Ca	0,04ns	-0,7ns	0,13ns	-0,63ns
S	0,08ns	-0,9s	-0,25ns	-0,33ns
Mg	-0,48ns	-0,61ns	0,59ns	0,73s

s = significatif

### 3-2-4. Régression linéaire du rendement en grain (RDG) par dose d'azote apportée en fonction de l'exportation des nutriments par le riz

La régression linéaire simple du RDG mettant en évidence l'exportation des nutriments du sol en fonction de l'apport de la dose d'azote est présentée dans le **Tableau 6**. On observe qu'en absence de tout apport d'azote (0 kg N ha<sup>-1</sup>) et donc à l'état initial, les coefficients de régression sont tantôt négatifs (K, Ca et P), tantôt positifs (N et P) et non significatifs ( $P > 0,05$ ) avec des constantes significatives ( $0,05 \leq P \leq 0,10$ ) pour l'azote-N, le potassium-K, le magnésium-Mg et le phosphore-P) bien que le modèle linéaire avec constante ne soit pas significatif ( $P > 0,05$ ). Lorsque l'azote est apporté à 60 kg N ha<sup>-1</sup> la constante du modèle linéaire des nutriments est hautement significatif ( $P < ,0001$ ) avec des coefficients de régression positifs pour le phosphore-P (0,01), le magnésium-Mg (10), le potassium-K (10) et négatifs pour l'azote-N (-3,33). En revanche, le calcium-Ca affiche un coefficient positif (2,5) et une constante non significative ( $P > 0,05$ ). Par contre, à 80 kg N ha<sup>-1</sup>, seul le potassium-K présente un modèle linéaire avec une constante hautement significatif ( $P < ,0001$ ) mais le coefficient est négatif (-1) et faible par rapport à sa constante (5,07). Pour un apport de 100 kg N ha<sup>-1</sup>, aucun modèle linéaire n'a été significatif ( $P > 0,05$ ) pour tous les éléments nutritifs. Cependant, la constante de la régression du potassium-K est très significatif ( $P = 0,007$ ) avec un coefficient positif (4,13).

**Tableau 6 : Régression linéaire du rendement en grain (RDG) par dose d'azote apportée en fonction de l'exportation des nutriments par le riz**

Régression linéaire simple du RDG																
0 kg N ha <sup>-1</sup>					60 kg N ha <sup>-1</sup>				80 kg N ha <sup>-1</sup>				100 kg N ha <sup>-1</sup>			
Nutri	Coef	Cste	Pro. du modèle	R <sup>2</sup>	Coef	Cste	Pro. du modèle	R <sup>2</sup>	Coef	Cste	Pro. du modèle	R <sup>2</sup>	Coef	Cste	Pro. du modèle	R <sup>2</sup>
N	0,5	4,14s	0,27	0,82	-3,33hs	2,4hs	<.0001	1	-0,64	4,65s	0,12	0,96	-55	-29,41	0,22	0,88
K	-2,5	3,86s	0,27	0,82	10hs	5hs	<.0001	1	-1hs	5,07hs	<.0001	1	.	4,13ts		
Ca	-1,36	1,32	0,32	0,75	2,5	9,57	0,67	0,25	0,04	5,18s	0,63	0,28	27,5	52,8	0,22	0,88
Mg	1	4,36s	0,27	0,82	10hs	11,3hs	<.0001	1	-0,64	4,69s	0,12	0,96	-10	-2,56	0,89	0,03
P	-0,002	4,6s	0,34	0,74	0,01ts	2,18ts	0,006	0,99	-0,006	6,55s	0,14	0,95	0,02	-1,6	0,97	0,03

*s = significatif ; ts = hautement significatif ; hs = hautement significatif ; Coef = Coefficient ; Cste = Constante ; Pro. = Probabilité.*

#### 4. Discussion

Les résultats de l'analyse physico-chimique du sol avant la mise en place des essais présentent un sol organique riche en carbone ( $C = 45,4 \text{ g/kg}$ ) et une forte minéralisation de la matière organique si l'on se réfère au rapport carbone sur l'azote ( $C/N > 15$ ). Ce qui est le caractère typique des Histosols [27]. Par ailleurs, les faibles teneurs des éléments majeurs et oligo-éléments, de la capacité d'échange cationique et des différents ratios établis s'expliquent par l'immobilisation de ces nutriments dans le sol trop souvent saturé d'eau. Ce qui justifie le pH fortement acide ( $\text{pH} = 4,7$ ). En effet, en sol organique, en raison de l'immobilisation des oligoéléments et de la minéralisation rapide de la matière organique, le sol s'acidifie [28]. Cette acidification du sol pourrait modifier les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol créant ainsi un milieu peu propice à l'alimentation minérale et à la croissance des plantes dans cet écosystème d'où sa marginalisation pour l'agriculture de rente. Mais, en culture rizicole, les Histosols font l'objet de forte conquête et de pratique agricole innovante, ce qui justifie l'intérêt de la fertilisation raisonnée de l'apport de l'azote. Ainsi donc, la fertilisation azotée par fractionnement a contribué à l'enrichissement plus ou moins des nutriments du sol et surtout à leur mobilisation pour l'alimentation minérale du riz [29]. Ce qui s'est traduit par l'écart des valeurs des nutriments enregistrés à la fin du cycle cultural améliorant le rendement en grain produit. Cela soutient la tendance cubique (3) du rendement en grain selon les doses, attestant une grande variabilité de l'effet des doses d'azote sur le rendement avec une dose optimale de  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  alors que selon les cycles de culture, les doses  $60, 80$  et  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  n'ont pas affiché de différence significative entre les rendements en grain de riz. Une analyse plus approfondie montre bien que la dose optimale pour un rendement optimal est de  $70 \text{ kg N ha}^{-1}$  en trois (3) fractions de la dose au moins. Ce résultat constitue une innovation des connaissances pour la riziculture qui affirment la dose de  $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  en trois fractions dans toutes les écologies [29, 30]. L'étude sur Histosol conduit ici, a contribué à une réduction de la dose de référence ( $80 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) à  $70 \text{ kg N ha}^{-1}$  même si le nombre de fraction est maintenu identique bien qu'on suspecte le fait qu'un plus grand nombre de fraction induirait un plus grand rendement [31, 32]. La constance du RDG entre les différentes doses d'azote ( $60, 80$  et  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), a montré que le sol a joué un rôle de tampon pour une dose donnée autour de laquelle le rendement est resté inchangeable [33]. Ce qui s'explique par l'analyse des nutriments du sol qui a montré que les variations obtenues entre les éléments chimiques avant et après l'expérimentation entre ces différentes doses sont pratiquement identiques. La relation de corrélation positive ou négative enregistrée entre les éléments nutritifs avant/après l'expérimentation et le RDG n'a pas montré globalement d'effet significatif mais, il convient d'indiquer que l'apport des doses d'urée a boosté l'action des éléments nutritifs déjà présents dans le sol par synergie ou par antagonisme favorisant l'augmentation du rendement. Les régressions linéaires ont montré que certains éléments majeurs et oligoéléments tels que le phosphore-P, le magnésium-Mg, le potassium-K et dans une certaine mesure le soufre-S ont été très déterminants dans l'augmentation du rendement. Mais, de façon spécifique, le potassium-K a été l'élément le plus déterminant dans l'augmentation des rendements. Cependant, lorsque l'apport d'urée est trop élevé ( $> 80 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), ces éléments nutritifs du sol ne sont plus utilisés de façon efficiente et par conséquent n'ont plus d'effets sur le RDG.

#### 5. Conclusion

Au terme de notre étude, nous retenons que, les Histosols sont des sols organiques, acides à très forte minéralisation de la matière organique et à forte immobilisation des oligoéléments pour l'alimentation des plantes. Pour une activité agricole et pour un meilleur rendement dans cet écosystème, un apport d'urée fractionnée à la dose de  $70 \text{ kg N ha}^{-1}$  serait optimal pour booster l'action des éléments nutritifs libérés par minéralisation de la matière organique. En outre, une fertilisation potassique suffisante des Histosols

pourrait les rendre plus productifs vu que le potassium-K a été l'élément le plus déterminant dans l'augmentation des rendements. Par ailleurs, un apport d'engrais composé (NPK, Mg+S) serait plus recommandé pour la fertilisation des Histosols. A la lumière de l'étude sur Histosol, la fertilisation azotée telle que pratiquée, nécessite un ajustement spécifique comme recommander par les pratiques de SSNM. Cela permet de réduire le coût d'intrant en riziculture tout en augmentant le rendement avec une bonne protection de l'environnement.

### Références

- [1] - ONDR, Stratégie nationale révisée de développement de la filière riz en Côte d'Ivoire (SNDR) 2012 - 2020. République de Côte d'Ivoire, Ministère de l'Agriculture, (2012) 40 p.
- [2] - S. A. OUEDRAOGO, L. BOCKEL, A. AROUNA, I. FATOGNON et P. GOPAL, Analyse de la chaîne de valeur riz en Côte d'Ivoire : Optimiser l'impact socio-économique et environnemental d'un scénario d'autosuffisance à l'horizon 2030. Accra, FAO, (2021). <https://doi.org/10.4060/cb1506fr>
- [3] - COMMODAFRICA, Afrique de l'Ouest - Riz. <http://www.commodafrica.com/11-05-2015-les-ivoiriens-maliens-et-senegalais-consomment-plus-de-90-kg-de-riz-par> : consulté le 11/02/2023
- [4] - FAO, Filière rizicole en Côte d'Ivoire. <https://www.fao.org/cote-divoire/actualites/detail-events/en/c/1618482/>, (2022) consulté le 13/02/2023
- [5] - B. KONE, Sustaining rice production in Tropical Africa: Coping with rice yield gap and declining yield. *Lap Lambert Publishing*, (2014) 223 p.
- [6] - A. BATIONO and A. U. MOKWUNYE, Alleviating soil fertility constraints to increase crop production in West Africa : The experience in the Sahel. *Fertility Research*, 29 (1991) 95 - 115
- [7] - D. KOUASSI, Y. C. BROU, P. KOUAKOU et E. TIENEBO, Identification des risques climatiques en riziculture pluviale dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, Vol. 32, (1) (2020) 14 p.
- [8] - ANARIZ-CI, Rapport d'activités de l'association nationale des riziculteurs de Côte d'Ivoire (anariz-ci) sur la filière riz en Côte d'Ivoire, assemblée générale constitutive du cadre de concertation des organisations des riziculteurs des pays de l'Afrique de l'ouest, Bamako du 25 au 27 janvier, (2011) 5 p.
- [9] - D. K. T. NGARESSEUM, Evolution de la production et des importations de riz en Côte d'Ivoire de 1965 à 2008. BUPED N° 08/2009, (2010) 29 p.
- [10] - A. TOURE, C. M. MAHAMAN, M. BECKER et D. JOHNSON, Approche diagnostique pour mieux cibler les interventions culturales dans les bas-fonds rizicoles de Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 17 (3) (2005) 219 - 225
- [11] - P. JACQUES et P. JOBIN, La fertilisation organique des cultures : les bases. Fédération d'agriculture biologique du Québec, (2005) 48 p.
- [12] - J. T. DOUGLAS, M. N. AITKEN et C. A. SMITH, Effects of five non-agricultural organic wastes on soil composition and on the yield and nitrogen recovery on Italian ryegrass. *Soil Use Man.*, 19 (2003) 135 - 138
- [13] - N. C. SORO, B. KONE et Y. SOUMAILA, Effets de la dose et fractionnement de l'azote sur l'acidité d'un Histosol et le rendement en riziculture. *ESI Preprints*, (2023) 1 - 21
- [14] - F. E. AKASSIMADOU, M. P. HIEN, O. F. B. BOUADOU, B. E. B. BOLOU, J. A. BONGOUA, J.-B. D. ETTIEN et A. YAO-K, Efficacités 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 (2017) 432 - 432
- [15] - M. M. MUKENZA, K. M. ILDEPHONSE, T. K. JOHN, K. M. ALAIN, C. SYLVESTRE et U. S. YANNICK, 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.*, Vol. 45, N° 2 (2021) 211 – 220

- [16] - K. C. MULAJI, Utilisation des composts de bio-déchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Thèse de Doctorat, Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, (2011) 220 p.
- [17] - P. MARSCHNER, Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3è Edition London : *Academic Press*, (2012). <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123849052>, consulté le 6/9/2016
- [18] - B. KONÉ, G. L. AMADJI, M. IGUÉ and O. AYONI, Rainfed upland rice production on a derived savannah soil of West Africa. *Journal of Animal and Plant Science*, 2 (4) (2009) 156 - 162
- [19] - MCLAU-JICA, Ministère de la Construction, du Logement, de l'Assainissement et de l'Urbanisme-Agence Japonaise de Coopération Internationale. Projet de developpement du Schéma Directeur d'Urbanisme du Grand Abidjan (SDUGA), (2) (2015) 508 p.
- [20] - CNEV, Catalogue National des Espèces et Variétés Végétales (CNEV) : le Riz. Le catalogue des variétés de riz cultivées au Niger. Extrait du Catalogue National des Espèces et Variétés Végétales, (2012) 39 p.
- [21] - A. BOUET, A. L. N'CHO, Z. J. KELI, N. YOBOUE, C. M. YAYHA et P. N'GUESSAN, Centre National de Recherche Agronomique. Bien cultiver le riz irrigué en Côte d'Ivoire. Direction des programmes de recherche et de l'appui au développement - Direction des systèmes d'information, (2005) 4 p.
- [22] - M. DIACK et M. LOUM, Caractérisation par approche géostatistique de la variabilité des propriétés du sol de la ferme agropastorale de l'Université Gaston Berger (UGB) de Saint Louis. Dans le bas delta du fleuve Sénégal". *Revue de géographie du laboratoire Leïdi*, (12) (2014) 15 p.
- [23] - A. WALKLEY and I. A. BLACK, An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 34 (1934) 29 - 38
- [24] - J. MURPHY and J. P. RILEY, A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27 (1962) 31 - 36
- [25] - S. R. OLSEN and L. E. SOMMERS, Phosphorus. In : Page, A.L., Ed., *Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, (1982) 403 - 430
- [26] - M. RAUNET, Bas-fonds et riziculture : actes du séminaire d'Antananarivo, Madagascar, 9-14 décembre 1991. Montpellier : CIRAD-CA, (1993) 524 p.
- [27] - WRB (World reference base for soil resources). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4<sup>th</sup> Edition, (2022) 234 p.
- [28] - R. DOUCET, Le climat et les sols agricoles. ed. Berger, Eastman, Québec. xv, (2006) 443 p.
- [29] - S. UDDIN, M. A. R. SARKAR and M. M. RAHMAN, Effect of nitrogen and potassium on yield of dry direct seeded rice cv. NERICA 1 in aus season. *Int. J. Agron. Plant Prod*, 4 (1) (2013) 69 - 75
- [30] - A. K. MYINT, T. YAMAKAWA, Y. KAJIHARA and T. ZENMYO, Application of different organic and mineral fertilizers on the growth, yield and nutrient accumulation of rice in a Japanese ordinary paddy field. *Science World Journal*, 5 (2) (2010) 47 - 54
- [31] - P. VERMA, A. CHAUHAN and T. LADON, Site specific nutrient management : A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9 (5S) (2020) 233 - 236
- [32] - K. V. RAO, Site-specific integrated nutrient management - principles and strategies. In : Proceedings of the workshop on SSNM in Rice and Rice based cropping systems held in Hyderabad, Feb. 4-13, (2009) 22 - 29
- [33] - K. YEBOUA and K. BALLO, Caractéristiques chimiques du sol sous palmeraie. *Cahiers Agricultures*, 9 (1) (2000) 73 - 76
- [34] - Y. L. GERSON et J. B. GNAMBA-YAO, Analyse des contraintes et stratégies du développement de la riziculture dans la sous-préfecture de KOUIBLY à l'Ouest de la COTE D'IVOIRE. *Espace Géographique et Société Marocaine*, (2020) 33 - 34