

# VARIABILITE SPATIALE DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS DES PERIMETRES IRRIGUES VILLAGEOIS DE RIZ ET DE BLE DE LA COMMUNE DE DIRE AU MALI

SEKOU SALA GUINDO\*<sup>1</sup>, SEKOU SACKO<sup>2</sup>, ABBA SEKOU MAIGA<sup>1</sup>, BOUBACAR TRAORE<sup>2</sup>, SOULEYMANE DAMBE<sup>2</sup>, BANDIOUGOU DIAWARA<sup>1</sup>, HAMARA DABO<sup>1</sup>, OUMAROU GOITA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut d'Economie Rurale (IER), BP : 258. Rue Mohamed V, Tel : (+223)20222606 / (+223)20231905, Email : [direction@ier.gouv.ml](mailto:direction@ier.gouv.ml), Site web : [www.ier.gouv.ml](http://www.ier.gouv.ml)

<sup>2</sup> Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB)

Hamdallaye ACI 2000, Rue 405, porte 359, tel (223)20290407, Fax : 20290418, [www.fst-usttb-edu.ml](http://www.fst-usttb-edu.ml)

\* Adresse email du correspondant : [sekousguindo@yahoo.fr](mailto:sekousguindo@yahoo.fr), Tel : 76171119/65691638

## Résumé

Les Périmètres Irrigués Villageois (PIV) des régions Nord du Mali constituent des alternatives pour contenir les effets néfastes des changements climatiques sur les populations par la fourniture de produits agricoles pour la consommation humaine et animale. Les performances actuelles de ces PIV sont en dessous de leur potentialité agronomique. La disponibilité des engrais, les oiseaux, la qualité des semences et la baisse de fertilité des sols sont les principales causes évoquées par les exploitations de riz et de blé. C'est dans ce cadre qu'une prospection des sols a été réalisée sur les PIV de riz et de blé de la commune de Diré pour évaluer les propriétés physiques et chimiques de ces sols afin de déterminer leurs capacités intrinsèques et de proposer des stratégies de gestion durable de leur fertilité. Les résultats des sondages de sols ont montré que les sols sous riziculture sont moins fertiles et se dégradent deux fois plus vite que ceux sous culture de blé. Les périmètres de 10 et 20 ans sous culture de blé ont des caractéristiques différentes ; par contre, les périmètres sous culture de riz de 10 et de 20 ans ont des caractéristiques semblables.

**Mots clés :** Fertilité, sols, riz, blé, Mali.

## Abstract

The Village Irrigation Scheme IPV of the Northern regions of Mali are an alternative to contain adverse effects of climate change on populations by providing agricultural products for human and animal consumption. The current performance of these IPV is below their agronomic potential. The low availability of fertilizers, birds, seed quality and decline in soil fertility are the main causes mentioned by rice growers. In this context, a soil survey was carried out on the rice and wheat VIS of the zone Diré to evaluate physical and chemical properties of these soils in order to determine their intrinsic capacities and to propose strategies for sustainable management of fertility. The results showed that soils under rice cultivation were less fertile than those under wheat culture. The perimeters of 10 and 20 years under wheat cultivation have different fertility levels; however the areas under rice culture for 10 and 20 years have the same levels of fertility.

**Key words:** Fertility, soil, rice, wheat.

## 1. Introduction

Dans le souci de combattre la crise alimentaire suite à la sécheresse des années 1973 et 1984 dans les régions Nord du Mali, le gouvernement, à partir de 1984 y a accru ses investissements dans le domaine agricole. Ces investissements ont surtout porté sur les aménagements hydroagricoles (AHA) notamment les Périmètres Irrigués Villageois (PIV) avec maîtrise totale de l'eau. Le nombre d' AHA réalisé au cours de ces dernières années dans la région de Tombouctou était de 1345 pour une superficie totale de 171 601 ha dont 38 627 ha de périmètres irrigués. Dans la région de Gao, les AHA ont été évalués à 7218 ha dont 1316 ha de périmètres irrigués (CPS, 2015). Les différents systèmes de cultures pratiqués sur ces AHA sont surtout le riz, le blé, le " bourgou"(*Echinochloa staghmina*) comme culture fourragère et les cultures maraichères (tomate, oignon, échalote, anis, cumin, patate douce, pomme de terre, etc).

Les PIV constituent des alternatives pour contenir les effets néfastes des changements climatiques sur les populations des régions Nord du Mali par la fourniture de produits agricoles pour la consommation humaine et animale. La production de riz des PIV de ces régions de Gao et Tombouctou ont été évaluées à 403421 tonnes soit 17,31% de la production nationale qui était de 2 331 053 tonnes en 2015 (CPS, 2015). Quant au blé, la production reste toujours faible (45 000 tonnes) par rapport à la demande nationale qui avoisine les 200 000 tonnes ( FAOSTAT, 2014). Les performances actuelles des PIV dans les régions Nord du Mali sont en dessous de leur potentialité agronomique. Selon Diakité et Doumbia (2009);la disponibilité des engrais (75 %), la baisse de fertilité des sols (67 %), les oiseaux (51 %), et la qualité des semences (50 %) ont été les principales causes évoquées par les exploitations rizicoles pour expliquer cette situation.

Les sols sont de texture sablo-limoneuse en surface passant à du limon sableux en profondeur (Keita, 2005). Ils sont légers pulvérulents à très faible teneur en argiles, peu fertiles et valorisent mal les apports d'engrais chimiques (Blein et al. 2006).

Les travaux réalisés dans la région de Tombouctou sur l'identification des contraintes liées à la riziculture ont montré que la baisse de la fertilité des sols est due à la faible teneur en matière organique du sol, variable en fonction des systèmes de culture (Belmekki et al. 2013 ; Goita et Diawara, 2002) et des méthodes de gestion des engrais par les producteurs. Cette mauvaise gestion des engrais surtout minéraux (retard dans l'application, apports de faibles doses) est accentuée dans ces dernières années par leur mauvaise qualité physique et chimique. Le ciblage des engrais appropriés doit se faire en tenant compte des caractéristiques du sol et des plantes. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude dont l'objectif est d'identifier les caractéristiques physiques et chimiques des sols cultivés en riz et blé pour une meilleure gestion de leur fertilité.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1 Présentation et choix des sites d'étude

L'étude de la variabilité spatiale de la fertilité des sols des PIV des régions Nord du Mali a été effectuée dans les périmètres proches du cercle de Diré dans la région de Tombouctou en mars 2015 (figure 1) à cause de l'insécurité qui sévissait dans la zone. Elle a été réalisée sur

04 PIV. Il s'agit des périmètres de Saouné et N'Gorfondu pour le riz; Gangani Beri et Kouygour pour le blé. L'âge d'exploitation des périmètres, l'accessibilité et la proximité au chef de lieu de la commune de Diré ont été utilisés comme critères pour le choix des sites.

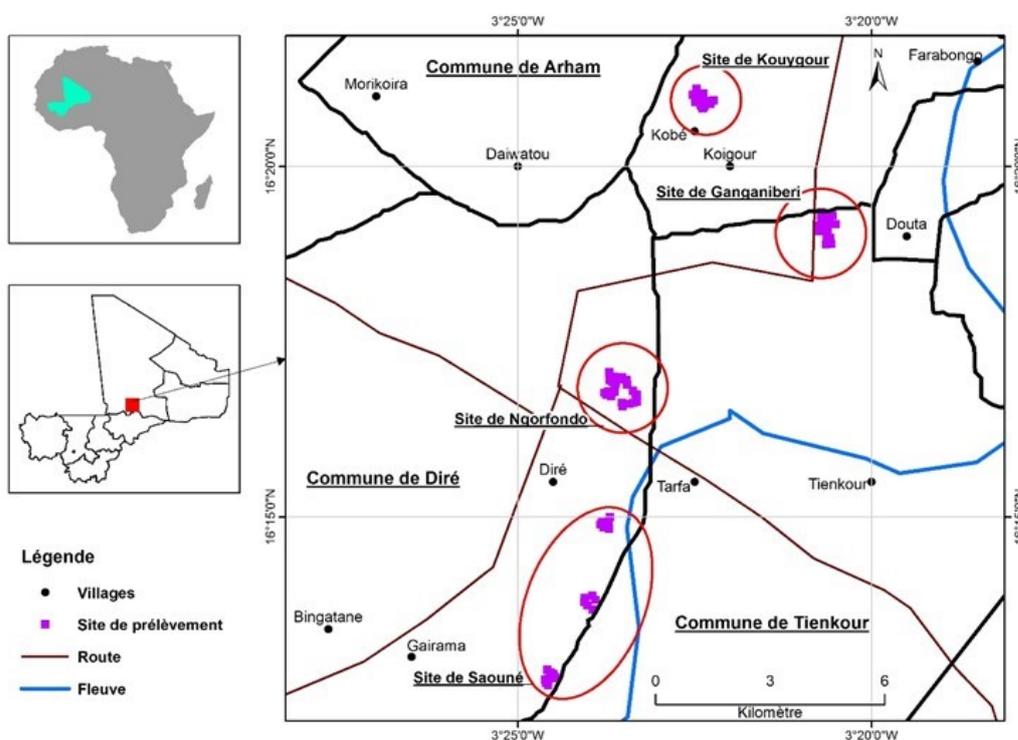


Figure 1 : Présentation des sites d'étude et de prélèvement des échantillons de sols (Source : SIG - LABOSEP-Sotuba)

Les sites d'étude sont situés à environ 10 à 15 km de la ville de Diré. Leurs caractéristiques figurent dans le tableau. Le climat est de type sahélien. La pluviométrie moyenne de la zone de 2000 à 2012 est d'environ 178 mm. La température moyenne relevée pour la même période est de 29,51 °C. La période de végétation des plantes est estimée de 60 - 90 jours pour une probabilité de 75 %. Cette période correspond au nombre de jours consécutifs pendant lesquels il y a suffisamment d'humidité dans les sols pour permettre une culture normale. Le régime d'humidité du sol est sec avec plus de 09 mois consécutifs et le régime de la température du sol est hyperthermique.

Tableau 1 : Age d'exploitation et coordonnées géographiques des sites de prélèvements de sols pour la caractérisation physico-chimique

Périmètre	Système de Culture	Age d'exploitation (Année)	Latitude	Longitude
Gangani Beri	blé	≥ 20	16°19'20,7 "	003°20'42,4"
Koygour (Djigala Boungo)	blé	≤ 10	16°20'59,1"	003°22'27,9"
N'Gorfondu	riz	≥ 20	16°16'44,4 "	003°23'18,8"
Saouné	riz	≤ 10	16°15'00,4"	003°23'42,8"

La végétation herbacée de la zone est dominée par *Cenchrus biflorus*, *Aristida sp* et *Panicum turgidum*. Les formations arbustives à dominance épineuse sont caractérisées par la présence d'*Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, *A. senegal* et *Euphorbia balsamifera*.

### 2.1.1. Les échantillonnages

Les échantillonnages de sol ont été effectués sur les périmètres sous culture riz et blé. Pour chaque système de culture, un périmètre dont l'âge d'exploitation est inférieur à 10 ans et un périmètre dont l'âge d'exploitation est supérieur à 20 ans furent choisis. Vingt-cinq prélèvements ont été effectués dans chaque périmètre à 20 cm de profondeur de façon aléatoire mais tout à fait représentatif du site.

### 2.1.2. Les analyses au laboratoire

Les échantillons de sols de chaque point de prélèvement au niveau des périmètres de riz ou de blé ont été séchés à la température ambiante avant d'être broyés et tamisés avec un tamis de 2 mm de diamètre avant analyse. Les analyses ont porté sur les caractéristiques physiques et chimiques des sols. Les principaux paramètres déterminés sont : la granulométrie, le pH (par la méthode potentiométrique dans une suspension de terre), le carbone organique (selon la méthode Anne modifiée), l'azote total (selon Kjeldahl), le phosphore assimilable (selon Bray II), la capacité d'échange cationique et les bases échangeables.

La granulométrie des échantillons de sol a été faite par la destruction de la matière organique collant les particules les unes aux autres, par addition d'une solution dispersante de 25 ml de NaCl sur 20g de sol. Le volume est ensuite complété par l'eau distillée puis soumis à un agitateur mécanique pendant 1h 30 mn. La solution est ensuite filtrée par un tamis de 0,05 mm qui retient le sable dans des allonges (éprouvette) d'un litre. Le limon est ensuite prélevé à 15 cm de profondeur dans les allonges par une pipette de 25 ml. La séparation des particules est basée sur la différence de dépôt dans l'eau des particules de diamètres différents. L'argile est ensuite prélevée après sédimentation à une profondeur de 10 cm dans les allonges. Les échantillons sont ensuite séchés à l'étuve à 105 °C pendant 24 h avant de faire les pesées. Le triangle de texture a été utilisé pour la détermination de la classe texturale du sol.

La détermination du pH a été faite à l'eau distillée par la méthode potentiométrique dans une suspension de terre dont le ratio est de 1g de terre pour 1ml d'eau distillée (Van der Pol, 1986). Le pH a été mesuré par la tension électrique d'un système constitué par deux demi-piles. Pour le calcium (Ca), le calcaire dans le sol est décomposé par l'acide chlorhydrique. Le volume de CO<sub>2</sub> dégagé par le calcaire est mesuré et comparé avec le volume de CO<sub>2</sub> dégagé d'un poids connu de CaCO<sub>3</sub>.

Quant au carbone dans le sol, il est oxydé par un mélange de dichromate de potassium et d'acide sulfurique. L'excès de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> est neutralisé par une solution contenant le Fe<sup>2+</sup> (sous la forme de sel de Mohr (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>\*6 H<sub>2</sub>O) ou de sulfate de fer (FeSO<sub>4</sub>). L'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) est utilisé pour complexer l'ion Fe afin d'obtenir un point de virage plus distinct. La différence en meq. de Fe utilisé pour l'échantillon et pour l'essai à blanc permet de calculer le contenu de carbone dans le sol.

Pour le dosage de l'azote, le sol est minéralisé par l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentré, porté à ébullition en présence d'un catalyseur. Ainsi l'azote contenu dans la matière organique (MO) se transforme en sulfate d'ammonium. L'ammonium est déterminé à l'aide de l'auto-analyseur. Le phosphore assimilable dans le sol est extrait par une solution de HCl 0,1M et de NH<sub>4</sub>F 0,03M. Dans l'extrait, le phosphore est déterminé sur auto-analyseur en mesurant l'intensité du complexe bleu phosphomolybdique.

Le phosphore total dans le sol est minéralisé par l'acide de Fleischmann. La température pendant la minéralisation est de 140 °C, mais des variations de température entre 120 et 160 °C sont permises. Dans le minéralisât, le phosphore est déterminé sur auto-analyseur en mesurant l'intensité du complexe bleu phosphomolybdique.

Le potassium est déterminé par extraction par 0,1 M HCl, cela permet d'obtenir le K présent dans le sol sous forme soluble, du K au complexe absorbant et une partie du K fixé dans les minéraux.

Les bases échangeables sont extraites dans le sol lessivé par une solution d'acétate d'ammonium (C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub>) 1M à pH 7. La quantité d'ammonium retenue par le sol après lavage de l'excès d'acétate d'ammonium est une estimation de la capacité d'échange des cations (CEC). L'ammonium retenu est libéré par percolation et est déterminé par auto-analyseur. Les bases échangeables (Na, K, Ca, Mg) sont déterminées dans le premier percolât.

## 2.2. Les analyses statistiques

Les données d'analyse des différents points de prélèvements dans les périmètres de riz ou de blé des régions Nord du Mali ont été traitées statistiquement, géo- référencées, comparées aux normes du LABOSEP de l'IER de Sotuba utilisées au Mali comme référence nationale (Tableau 2).

**Tableau 2 : Normes d'interprétations des résultats d'analyse des sols**

Paramètres	Bon	Seuil critique
C %	18	0,6
N total %	≥ 1,2	-
P. assimilable ppm	20	7
K. échangeable meq	≥ 0,20	0,20

Source : Laboratoire Sol-Eau-Plante (LABOSEP) IER-Sotuba (1993)

Les logiciels Excel version 2010 et SPSS version 20 ont été utilisés pour le traitement des données. L'analyse en composante principale (ACP) avec le logiciel R fût utilisée pour les corrélations entre les types de sol, les systèmes de cultures et les caractéristiques chimiques des sols.

## 3. Résultats

### 3.1 Caractéristiques des sols des PIV de riz et de blé

Les sols des différents périmètres étudiés ont une texture limono-sableuse à l'exception du site N'Gorfondu qui est sablo-limoneuse (tableau 3). La fertilité varie en fonction des systèmes de culture et de la durée d'exploitation du périmètre (tableau 3). Les Coefficients de

variation (CV) ont été très faibles à l'exception de l'Azote (N) qui a varié de 2,9 - 86,2 %. Le pH a été bon dans l'ensemble pour la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes car il a varié de 5,9 ( $\pm 0,6$ ) à 6,4 ( $\pm 0,2$ ), (tableau 3). Les sols ont aussi une faible teneur en carbone (C %) et en N et caractérisés par une grande variabilité en fonction des systèmes de cultures et des âges. Le rapport C / N varie de 11,6 ( $\pm 6,5$ ) à 16,5 ( $\pm 9,1$ ).

**Tableau 3** : Résultats d'analyse des caractéristiques physiques et chimiques de quelques périmètres de la zone de Diré

Paramètres	N'Gorfondo		Saouné		Ganganiberi		Koygour	
	(riz âge $\geq$ 20)	CV %	(riz âge $\leq$ 10)	CV %	(blé âge $\geq$ 20)	CV %	(blé âge $\leq$ 10)	CV %
pH eau	5,9 ( $\pm 0,6$ )	4,9	5,9 ( $\pm 0,3$ )	0,17	7,0 ( $\pm 0,3$ )	4,8	6,4 ( $\pm 0,2$ )	0,5
% C	0,3 ( $\pm 0,2$ )	0,2	0,9 ( $\pm 0,2$ )	3,62	0,20 ( $\pm 0,1$ )	5,5	0,30 ( $\pm 0,2$ )	3,7
N total %	0,02 ( $\pm 0,0$ )	2,9	0,03 ( $\pm 0,0$ )	39,1	0,01 ( $\pm 0,0$ )	86,2	0,02 ( $\pm 0,0$ )	49,0
C/N	16,5 ( $\pm 9,1$ )	44,6	11,6 ( $\pm 6,5$ )	0,09	15,6 ( $\pm 11,8$ )	0,1	15,04 ( $\pm 0,1$ )	14,0
P assi ppm P	3,6 ( $\pm 2,7$ )	0,1	4,0 ( $\pm 3,1$ )	0,25	28,9( $\pm 9,7$ )	0,03	22,9( $\pm 14,3$ )	0,04
CEC meq/100g	9,0( $\pm 1,9$ )	0,3	10,9( $\pm 3,4$ )	0,09	19,6( $\pm 6,9$ )	0,05	13,8 ( $\pm 2,6$ )	0,1
Ca éch	4,9 ( $\pm 1,3$ )	0,1	6,03( $\pm 2,2$ )	0,17	11,6( $\pm 4,6$ )	0,1	7,72 ( $\pm 1,7$ )	0,1
Mg éch	2,5( $\pm 0,6$ )	0,2	3,02 ( $\pm 1,1$ )	0,33	5,8( $\pm 2,3$ )	0,2	3,9 ( $\pm 0,9$ )	0,3
K éch	0,2 ( $\pm 0,1$ )	0,4	0,3( $\pm 0,3$ )	3,61	0,5( $\pm 0,5$ )	2,1	0,5 ( $\pm 0,2$ )	1,9
Na éch	0,1( $\pm 0,1$ )	6,5	0,12 ( $\pm 0,1$ )	8,01	0,2 ( $\pm 0,2$ )	4,8	0,3( $\pm 0,1$ )	3,7
Sable %	74,0		68,0		72,0		70,0	
Limon %	22,0		26,0		23,0		26,0	
Argile %	4,0		6,0		4,0		4,0	

éch = échangeable

Nous avons noté cependant une bonne teneur en phosphore (P) assimilable et en Potassium (K) échangeable sur l'ensemble des PIV de blé. Il y a un déséquilibre entre les teneurs en potassium et en magnésium (Mg). La ration Mg / K est supérieur à la valeur optimum comprise entre 3 - 4 (Boyer, 1978). La CEC observée a été faible dans les sols de riziculture. Les sols sont non sodiques à faiblement sodiques (Na<sup>+</sup>) avec un taux de sodium échangeable supérieur à 15 % sur les sols sous culture blé de Ganganiberi et de Koygour (Tableau 3).

De l'analyse générale en fonction des systèmes, il est ressorti que la teneur en éléments nutritifs est plus élevée dans les périmètres sous cultures de blé par rapport à ceux sous culture du riz. Le pH varie de 5,9 ( $\pm 0,5$ ) pour le riz à 7,0 ( $\pm 0,4$ ) dans les parcelles sous culture blé. La dispersion autour de la moyenne a été surtout élevée pour le rapport C/N, le P assimilable et la CEC. Le rapport C/N a été faible (14,1 - 15,3) en général, ce qui montre une bonne minéralisation de la matière organique (tableau 4).

**Tableau 4** : Moyenne générale des résultats d'analyse des caractéristiques chimiques des périmètres sous culture riz et des périmètres sous culture blé dans la zone de Diré

Paramètres	Moyenne		Ecart Type		CV %	
	riz	blé	riz	blé	riz	blé
pH eau	5,90	6,8	± 0,45	± 0,43	7,68	6,36
C %	0,30	0,23	± 0,17	± 0,19	54,10	84,39
N-total	0,02	0,02	± 0,01	± 0,01	38,58	45,53
C / N	14,12	15,30	± 8,20	± 12,86	58,10	84,04
P-assi ppm	3,79	25,90	± 2,90	± 12,47	76,50	48,16
CEC meq/100g	10,03	16,73	± 2,90	± 5,95	28,87	35,54
Ca échangeable	5,47	9,67	± 1,86	± 3,98	34,01	41,13
Mg échangeable	2,75	4,84	± 0,91	± 1,99	32,91	41,15
K échangeable	0,22	0,49	± 0,24	± 0,24	112,46	49,40
Na échangeable	0,10	0,24	± 0,08	± 0,17	83,02	72,34

### 3.2. Corrélation entre propriétés chimiques des sols et les systèmes de culture riz et blé

Les résultats des corrélations entre la CEC, Ca, Mg, K et Na varient de 0,59 à 0,99 pour les sols sous culture blé et de 0,50 à 0,99 pour les sols sous culture riz (tableau 5 et 6).

**Tableau 5** : Corrélation entre les différents éléments sous culture de blé

Paramètres	pH eau	C	N total	P	CEC	Ca	Mg	K	Na
pH eau	1,00	-0,37	-0,46	0,16	0,36	0,36	0,36	0,02	-0,06
C %	-0,37	1,00	0,15	-0,30	-0,05	-0,04	-0,04	-0,34	-0,07
N total	-0,46	0,15	1,00	-0,17	-0,18	-0,19	-0,19	0,07	0,16
P assi	0,16	-0,30	-0,17	1,00	0,11	0,10	0,10	0,15	-0,03
CEC	0,36	-0,05	-0,18	0,11	1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	-0,10	0,04
Ca	0,36	-0,04	-0,18	0,10	<b>0,99</b>	1,00	1,00	-0,16	-0,01
Mg	0,36	-0,04	-0,19	0,10	<b>0,99</b>	1,00	1,00	-0,16	-0,013
K assi	0,02	-0,34	0,08	0,15	-0,09	-0,16	-0,16	1,00	<b>0,59</b>
Na	-0,05	-0,07	0,16	-0,03	0,04	-0,01	-0,013	<b>0,59</b>	1,00

**Tableau 6** : Corrélation entre les différents éléments sous culture de riz

Paramètres	pH eau	C	N total	P	CEC	Ca	Mg	K	Na
pH eau	1,00	-0,09	-0,07	-0,01	0,01	0,03	0,02	-0,13	-0,11
C %	-0,09	1,00	0,09	-0,26	0,23	0,19	0,20	0,46	0,06
N total	-0,07	0,09	1,00	-0,06	0,34	0,33	0,34	0,17	0,15
P assi	-0,01	-0,26	-0,06	1,00	-0,24	-0,26	-0,25	0,11	-0,14
CEC	0,01	0,23	0,34	-0,24	1,00	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,41	<b>0,50</b>
Ca	0,03	0,19	0,33	-0,26	<b>0,99</b>	1,00	<b>0,98</b>	0,33	0,44
Mg	0,02	0,20	0,34	-0,25	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	1,00	0,33	0,44
K assi	-0,13	0,48	0,17	0,11	0,41	0,33	0,33	1,00	0,38
Na	-0,11	0,06	0,15	-0,14	0,49	0,44	0,44	0,37	1,00

En ce qui concerne la variation de l'ACP pour les périmètres à blé et à riz en fonction des âges (figure 2 et 3), il est ressortit que les périmètres de 10 et 20 ans sous culture de blé ont des caractéristiques différentes en fonction des âges (figure 2). Par contre, les périmètres sous culture riz de 10 et de 20 ans ont souvent des caractéristiques chimiques semblables (figure 3).

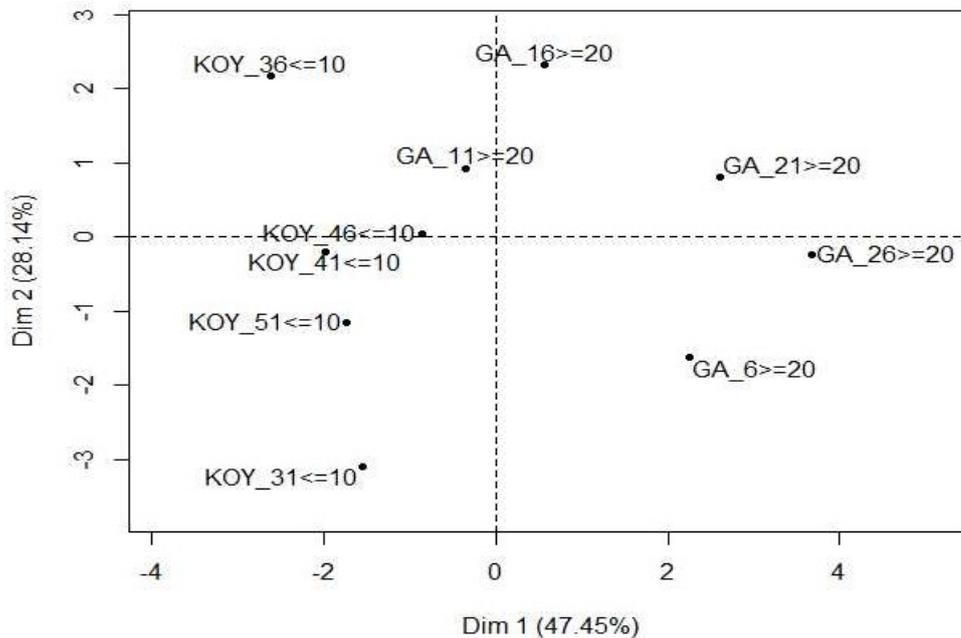


Figure 2 : Graphe des nuages des individus de l'ACP pour le sol sous culture blé (GA= Ganganiberi (âge > 20 ans), KOY =Koygour (âge <10ans)

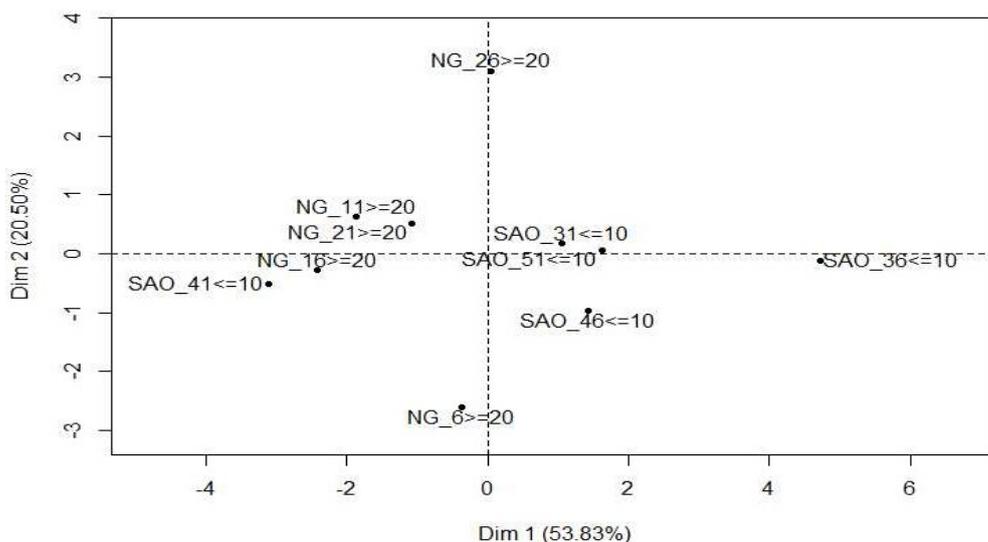


Figure 3 : Graphe des nuages des individus de l'ACP pour le sol sous culture sous culture riz (NG : N'Gorfondo (âge >20ans), SAO = Saouné (âge < 10 ans)

#### 4. Discussion

Les résultats des analyses des sols ont montré que les sols de la zone de Diré sont de texture limono-sableuse à sablo-limoneuse. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Keita (2005) qui ajoute que ces types de sols sont profonds, bien drainés et acides dans tout le profil mais plus acides en surface. Selon Bi, Yao-Kouamé, et Kouamé, (2012) ; ces types de sols sont surtout favorables à la culture du blé et dans une moindre mesure au riz . Les sols dominés par les sables se caractérisent par une faible CEC et des teneurs faibles en MO (Touhtouh et *al.* 2014).

Les sols observés ont des caractéristiques variables en fonction des systèmes de cultures et des âges (tableau 3). La variabilité de la fertilité des sols relève de 02 facteurs, l'un lié aux différences inhérentes à la roche mère à partir de laquelle le sol a été formé (Mustafa SAĞLAM et DENGİZ, 2014) et l'autre aux modes de gestion des sols par les producteurs de riz et de blé. Selon Peukert et *al.*(2016), les activités agricoles notamment la gestion des résidus de récolte affectent les propriétés physiques du sol (Naresh, 2013) et même chimiques (Fairhurs et *al.* 2015) par des interactions avec différents processus à différentes échelles. La variabilité des propriétés chimiques des sols serait due aussi au mode de gestion des sols et des nutriments, des résidus de récolte, et des techniques culturales qui influent principalement sur les teneurs en carbone des horizons de surface (Feller,1995; Singh et *al.* 2015).

Dans les périmètres de riz, certains paysans repiquent le riz sans le labour des parcelles. D'autres font l'assolement rotation sur les parcelles de blé avec l'anis, le cumin ou l'oignon. Or les modes et les types de labours, les systèmes de culture et les apports d'éléments fertilisants influent sur les caractéristiques des sols (Phefadu et Kutu, 2016).

Sur les PIV sous culture riz, nous avons noté une tendance à l'acidification quel que soit l'âge de l'exploitation. Selon Huang et *al.* (2014), avec l'inondation sous la culture du riz, il y a immobilisation des anions et cations entraînant une acidification du sol. Cela a pour conséquences un accroissement de la solubilité de Al, une diminution de l'assimilabilité du P consécutive à la libération des cations Al et très probablement une perturbation de l'activité biologique. Lorsque le pH augmente, l'hydrogène se dissocie et les ions d'aluminium liés sont libérés et précipitent dans la forme amorphe  $Al(OH)_3$ . Ces changements libèrent des sites d'échange de cations négatifs et augmentent la CEC.

Les sols sous culture blé ont des pH optimum favorables à l'assimilation des éléments nutritifs par rapport aux sols sous culture riz. Le pH est un bon indicateur pour l'assimilation des éléments minéraux par les plantes (Huang, Wong, et Triantafilis 2014). La variation du pH est liée aux modes de gestion des sols et des systèmes de culture. La CEC faible (9,0-10,9) observée au niveau des parcelles de riz (tableau 3) en fonction des systèmes de cultures serait liée à la nature des sols et à leur teneur faible en MO. Maltas et *al.* (2012) ont montré que la CEC est positivement corrélée avec la teneur en M.O or les sols sont limono-sableux à sablo-limoneux avec une faible teneur en MO.

Les températures élevées de la zone (en moyenne 30°C) et les conditions d'humidité pendant une certaine période de l'année (saison des pluies ) sont favorables à la minéralisation de la matière organique apportée par la végétation, de sorte que le taux de matière organique est faible (Pieri, 1989). Ainsi, ces sols peuvent être considérés comme très pauvres en M.O, avec une teneur en C inférieure à 1 % (Pallo et *al.* 2006). Ces caractéristiques exposent ces types de

sols à plusieurs problèmes agronomiques, en particulier la sensibilité au lessivage des éléments vers les couches profondes ou à l'érosion hydrique ou éolienne car la M.O ne peut plus jouer son rôle biologique et de stabilisateur de la structure du sol.

Par ailleurs, les résidus de récolte (paille produite sur les parcelles de riz ou de blé) sont généralement consommées par les animaux et les bouses de vaches séchées qui restent sur les parcelles sont transportées hors du PIV par les femmes et les enfants et utilisées comme source d'énergie pour la cuisson des aliments. Tous ces facteurs contribuent à la diminution de la teneur en C du sol (Akinola et al. 2016). Or les résidus de récoltes affectent positivement les propriétés des sols tels que le taux d'humidité, la formation des agrégats, la densité et la porosité (Naresh, 2013; Rathore et al. 2018). Singh et al. (2015) ajoutent que la teneur du sol en C est liée aussi au recyclage des apports de MO. Les caractéristiques agro écologiques, les systèmes de cultures et les pratiques culturales de restitution de la matière organique jouent également sur les stocks de carbone (Traoré et al. 2006; Ganry et al. 2006).

La teneur en azote a été faible quel que soit le système de culture et l'âge d'exploitation. La pauvreté des sols en azote ( $N < 1,2\%$ ) est liée d'une part à la nature des sols et d'autre part aux conditions pédoclimatiques de température et d'humidité variable en fonction des systèmes de culture qui influent sur la décomposition de la M.O du sol. Sous culture de riz, le maintien de la lame d'eau stimule la dénitrification ; par contre ; sous culture de blé, il y a une alternance entre l'humectation et la dessiccation favorable pour la décomposition rapide de la M.O. En condition d'inondation (système cultural du riz) le potentiel redox est faible et  $\text{NO}_3$  est réduit en  $\text{NH}_4^+$ . L'inondation améliore aussi la disponibilité de P, K, Si, Mo, Cu et Co et réduit la disponibilité de N, S et Zn. Par contre en milieu oxydé (système cultural blé), le potentiel augmente par l'oxydation des éléments nutritifs (Peukert et al. 2016 ; Zhou et al. 2014). Peukert et al. (2016) ajoutent que le labour réduit le taux de C et de N en brisant les agrégats du sol par l'augmentation de l'aération, la minéralisation de la matière organique et le turnover des racines des différentes cultures qui se succèdent souvent sur les sols à blé. Ainsi, les sols à blé ont eu des teneurs en éléments minéraux plus élevées par rapport aux sols à riz.

Le rapport C/N a été en général faible. Des apports du fumier, du terreau sont effectués sur les parcelles de production de riz et ou de blé de façon irrégulière et les quantités apportées sont très faibles et variables d'un paysan à un autre. Ces apports de fumier dans le sol entraînent l'accroissement de la teneur en C en surface, un abaissement du C/N et une minéralisation rapide des MO apportées au champ et autres débris végétaux (Hien et al. 2003). La culture du riz ou du blé sans apport de fumier dans ces sols de texture limono-sableuse à sablo-limoneuse induit une baisse importante des teneurs en C et N dans les horizons de surface. Cependant, les PIVs de blé sont relativement riches en P et K, ce qui pourrait s'expliquer par la teneur élevée en lignine ou silice des tiges de blé difficilement décomposables par les microorganismes du sol. Cela se traduit par une évolution lente de la matière organique avec un faible niveau de minéralisation (Bambara et al.2015). Aussi, sur les parcelles de blé, une grande partie de la paille de blé reste sur place et est transformée progressivement par les microorganismes du sol contribuant ainsi à augmenter le stock de carbone.

L'accumulation des résidus de récolte (notamment le turnover des racines dans le sol) au cours des différentes années de culture dans les parcelles ainsi que les apports successifs d'engrais augmentent aussi la disponibilité en P et K (Naresh, 2013). Contrairement à l'azote, il n'y a pas de consommation de luxe en P par les plantes ; ce qui contribue à l'augmentation

de la disponibilité du P. La disponibilité du P est aussi contrôlée par le pH, la teneur en argile, le CaCO<sub>3</sub> et la teneur en M.O du sol. La MO brise le lien entre le CaCO<sub>3</sub> et le P, lui permettant ainsi d'être accessible pour les plantes. Le régime hydrique de ces systèmes de culture est caractérisé par des alternances de phases d'humectation et de dessiccation qui agissent aussi sur la cinétique des éléments (Sanyal et al. 2015) notamment celle du phosphore.

L'analyse de l'ACP a montré que les sols sous riziculture de 10 et 20 ans ont souvent les mêmes niveaux de fertilité chimique par contre avec le blé, les sols de 10 et 20 ans ont des niveaux de fertilité différents. Cette dégradation plus prononcée des parcelles de riz est liée aux modes de gestion et à l'inondation des parcelles de riz entraînant le lessivage des éléments minéraux vers les couches profondes. Les différents degrés d'hétérogénéité des facteurs de gestion des terres, l'irrigation, la fertilisation, l'érosion, le relief et le drainage jouent sur la variabilité de la fertilité des sols (Mousavifard et al. 2013).

Cette variation de la fertilité des sols est un bon indicateur pour une meilleure gestion de l'agriculture et des ressources naturelles (Bhunja et al. 2016). Les interactions entre les différents éléments doivent être également considérées pour une efficacité d'utilisation des engrais (Malvi, 2011).

## 5. Conclusion

Les prospections, les prélèvements et analyses effectués sur les sols des PIVs de blé et de riz ont montré des caractéristiques variables en fonction des systèmes de cultures et des âges. Les sols des horizons de surface sont de texture sablo-limoneuse à limono-sableuse. La variation est liée aux pratiques culturales et aux modes de gestion des sols variables au sein d'un même périmètre. Il ressort de l'analyse générale de l'étude de la variabilité des propriétés physiques et chimiques des sols des PIVs de Diré que les anciens périmètres de blé sont moins fertiles que les nouveaux. Par contre, avec le riz, les niveaux de fertilité des PIVs de 10 et de 20 ans sont souvent identiques. Les PIVs de riz se dégradent plus vite que les PIV de blé. La gestion durable de la fertilité de ces PIV des régions Nord du Mali doit être axée sur une bonne utilisation des cultures qui permettent d'apporter un bon stock de carbone organique dans le sol par leur système racinaire ; les apports fréquents de M.O et d'engrais minéraux de bonne qualité et une bonne gestion de l'eau.

## Références

Akinola .A.A., Abdoulaye T., Valbuena D., Erenstein O., Haileslasie.A.; Germaine.I., Shehu.M., Ayedun.B. 2016 : Déterminants de l'utilisation des résidus de cultures selon un gradient d'intensification dans les zones de savanes de l'Afrique de l'Ouest. *tropicultura* 34 (4): 396-410.

Bambara D., Adjima T., et Victor H. 2015 : Composts de déchets urbains et dynamiques du carbone du sol à Donsin, Burkina Faso. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)* 109 (1): 89-108.

Belmekki M., Rachid M., Oumaima I.H., Mohamed B.,et Mohamed El. 2013: Effects of tillage and cropping systems on the structural stability and soil organic matter in semi-arid areas of Morocco. 4 (2): 12 pages.

Bhunja, G.S, Pravat K.S, et Ramkrishna.M. 2016: Comparison of GIS-Based Interpolation Methods for Spatial Distribution of Soil Organic Carbon (SOC). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 27 pages

Bi, GF Zro, Kouamé A. Y-, et K. F. Kouamé. 2012 : Évaluation statistique et spatiale de la fertilité rizicole des sols hydromorphes (gleysols) de la région du Béliér (Côte d'Ivoire). SOMMAIRE/INHOUD/SUMARIO 30 (4): 236 - 242.

Blein, R, Bio G.S, Benoît F. D, et Borgui Y. 2008 : Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO), 116 pages

Boyer J. 1978 : Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides. Initiations, documentations techniques, no 35. Paris: O.R.S.T.O.M., 176 pages

CPS (cellule de planification et de statistique), SDR. 2015: *Annuaire statistique /Secteur Développement Rural*. Bamako-Mali. 132 pages

Diakité M.et Dombia M. 2009: Etude de référence sur la production du riz au Mali. Etude. CORAF.23 pages

Fairhurs.T(ed). 2015 : *manuel de gestion intégrée de la fertilité des sols. africa soil health consortium.*, 179 pages

FAOSTAT. Consulté le 9 mars 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.

Feller.C. 1995. La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne ». Agriculture et Développement, no 8: 35-41.

Ganry, F, R Oliver, E Hien, K Traoré, C Feller, et J Gigou. 2006. Gestion des apports de matière organique pour accroître les stocks de carbone en région soudano-sahélienne, 1.

Goita O et Diawara B. 2002 : *Identification des contraintes liées à la riziculture irriguée dans les régions nord du Mali*. Etude. Mali: IER.21 pages

Hien E., Francis G., Victor H., et Robert O. 2003 : *Dynamique du carbone dans un sol de savane du sud-ouest Burkina sous l'effet de la mise en culture et des pratiques culturales*. In Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, Garoua, Cameroun, 11pages. Cirad-Prasac.

Huang, J., Wong. V. N. L., et Triantafilis. J. 2014: Mapping Soil Salinity and PH across an Estuarine and Alluvial Plain Using Electromagnetic and Digital Elevation Model Data ». Soil Use and Management 30 (3): 394-402.

Maltas A., Hansrudolf O., Raphaël C., Vincent B., et Sokrat S. 2012: Effet à long terme des engrais organiques sur les propriétés du sol ». Recherche agronomique suisse 3 (3): 148-155.

Malvi U.R. 2011: Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. Karnataka Journal of Agricultural Sciences 24 (1). 106-109

Mousavifard S. M., Hamidreza M., Ebrahim S., Naser D., et Mir Hassan R. S. 2013: Determining and Mapping Some Soil Physico-Chemical Properties Using Geostatistical and GIS Techniques in the Naqade Region, Iran . Archives of Agronomy and Soil Science 59 (11): 1573-1589.

Keita B. les sols dominants du Mali . [http:// www.fao.org/docrep/005/ y3948f/ y3948f08.htm](http://www.fao.org/docrep/005/y3948f/y3948f08.htm). Consulté le 21 janvier 2019. [http://www.fao .org/docrep/005/ y3948f/ y3948f08.htm](http://www.fao.org/docrep/005/y3948f/y3948f08.htm).

Traoré, K B, G McCarthy, J S Gigou, M D Doumbia, A Bagayoko, R S Yost, H Konaré, et al. 2006. « Aménagement en courbes de niveau et conservation du carbone », 10. CIRAD-IER, 568-577

VAN DER POL, F., 1986: Institut Royal des Régions Tropicales, Amsterdam. *Laboratoire Sol- Eau- Plante de Sotuba*. Cahier des méthodes d'analyses. 39 pages