

Étude de la variabilité spatiale de quelques propriétés des sols hydromorphes (gleysols) utilisés en riziculture irriguée ou inondée dans la région du Bélier (centre de la Côte d'Ivoire)

[Study of the spatial variability of some properties of hydromorphic soils (gleysols) used in irrigated or flooded rice cultivation in the region of Bélier (central Côte d'Ivoire)]

Ferdinand Gohi Bi ZRO¹, Sidiky BAKAYOKO¹, Zoumana KONATE¹, and Albert YAO-KOUAME²

¹UFR Agroforesterie, Université Jean Lorourougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

²UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present study aimed to determine the variables that distinguish the hydromorphic soils (Gleysols) used in irrigated or flooded rice growing in the region of Bélier in Côte d'Ivoire and to explain the causes of their variability in order to better apprehend their use in a context of precision agriculture. To do this, a quantitative characterization of the physicochemical composition of these soils was carried out. Soil samples analyzed in the laboratory were collected at various locations in the study area on plots currently or formerly used in rice production. The analytical results of these samples were subjected to a principal component analysis that revealed four homogeneous subsets of soils. These subsets of soils were fundamentally distinct from one another by their silt, clay and organic contents which also emerged as their fertility determinants. Thus, the study will have shown the interest for the rice producers of the zone to carry out a preliminary analysis of the spatial variability of the soil parameters before any agricultural development of the soil.

KEYWORDS: Spatial variability, coefficient of variation, hydromorphic soils, rice cultivation, region of Bélier.

RESUME: La présente étude visait à déterminer les variables qui distinguent les sols hydromorphes (gleysols) utilisés en riziculture irriguée ou inondée dans la Région du Bélier en Côte d'Ivoire et expliquer les causes de leur variabilité, à l'effet de mieux appréhender leur mise en valeur dans un contexte d'agriculture de précision. Pour ce faire, une caractérisation quantitative de la composition physico-chimique de ces sols a été réalisée. Les échantillons de sols analysés au laboratoire avaient été prélevés en divers endroits de la zone d'étude sur des parcelles actuellement ou anciennement utilisées en riziculture. Les résultats d'analyse de ces échantillons ont été soumis à une Analyse en Composantes Principales qui a mis en évidence quatre sous-ensembles homogènes de sols distincts fondamentalement les uns des autres par leurs teneurs en limons, argiles et matières organiques. Ces trois variables sont apparus également comme les déterminants de la fertilité des sols étudiés. Ainsi, l'étude aura montré l'intérêt pour les producteurs de riz de la zone de procéder à une analyse préalable de la variabilité spatiale des paramètres du sol avant toute mise en valeur agricole des sols.

MOTS-CLEFS: Variabilité spatiale, coefficient de variation, sols hydromorphes, riziculture, région du Bélier.

1 INTRODUCTION

Le sol est l'épiderme vivant et vital des continents de la terre, le support des activités humaines et le lieu de vie de nombreuses espèces végétale et animale. Il est certes renouvelable, mais à des pas de temps très longs (échelle géologique). Il subit en plus des pressions et des dégradations qui font que ses caractéristiques importantes peuvent s'avérer très hétérogènes. Pour les sols cultivés par exemple, la répartition de la matière organique est susceptible de varier fortement sur des distances décamétriques [1]. Une telle hétérogénéité constitue un facteur limitant la bonne adéquation aux caractéristiques du sol des doses de fertilisants. Il y a donc un intérêt à accroître et valoriser la connaissance des sols, notamment pour les enjeux agricoles qui vont toujours en croissant [2].

En effet, les nombreux utilisateurs et financeurs potentiels des terres agricoles doivent être mieux informés de l'existence des bases de données géographiques et sémantiques sur les sols, ainsi que de leurs possibilités de valorisation. Il est également nécessaire de les accompagner pour qu'ils s'approprient la connaissance sur les sols. Ce besoin d'accompagnement a été clairement mis en évidence en France dans un rapport issu du programme GESSOL (fonctions environnementales des sols et gestion du patrimoine sol) [4].

Dans la région du Béliér en Côte d'Ivoire, les sols hydromorphes (gleysols) sont de plus en plus utilisés en riziculture irriguée ou irriguée. Au cours de l'étude de cartographie et d'évaluation de la fertilité rizicole de ces sols [3], le besoin d'accompagnement avait également été manifesté par certains riziculteurs. Ces derniers, prétextant des faibles rendements agricoles qu'ils obtenaient, qualifiaient leurs sols de peu fertiles et les abandonnaient systématiquement. En réalité, cet état des faits s'explique par la méconnaissance des sols par leurs utilisateurs, encore que très peu de recherches scientifiques ont été consacrées jusqu'à ce jour à ces sols. Ainsi, pour mieux appréhender la mise en valeur de ces sols dans un contexte d'agriculture de précision, la présente étude visait à déterminer les variables qui les distinguent fondamentalement et expliquer les causes de cette variabilité.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude (Figure 1) fait partie de la région du Béliér localisée au centre de la Côte d'Ivoire. Elle couvre une superficie de 2.097,6 km², délimitée par les longitudes 5°24' W et 5° W et les latitudes 6°40' N et 7°12' N.

Deux principales formations géologiques caractérisent la zone [5]: les roches magmatiques constituées par les granitoïdes éburnéens et les roches volcano-sédimentaires du Birrimien. Les sols brunifiés (cambisols) sont présents à l'extrême Sud-Est où ils occupent tout au plus 10 % de la zone [6]. Le reste est couvert par les sols ferrallitiques (ferralsols) [7]. Aussi, les sols hydromorphes (gleysols), qui couvrent une superficie cumulée d'environ 474,06 km², soit 22,6 % du périmètre d'étude, sont disséminés dans la zone [8]. Le climat de la zone ou climat "Baouléen" est un climat tropical humide de transition entre le climat équatorial humide au Sud et le climat tropical humide au Nord. Ce climat est caractérisé par une pluviométrie annuelle moyenne qui varie de 1.000 à 1.400 mm [9]. Le tiers de la zone est drainée vers le Sud-Ouest, en direction du fleuve Bandama quand les eaux de la partie restante s'écoulent vers l'Est en direction de la rivière Kan.

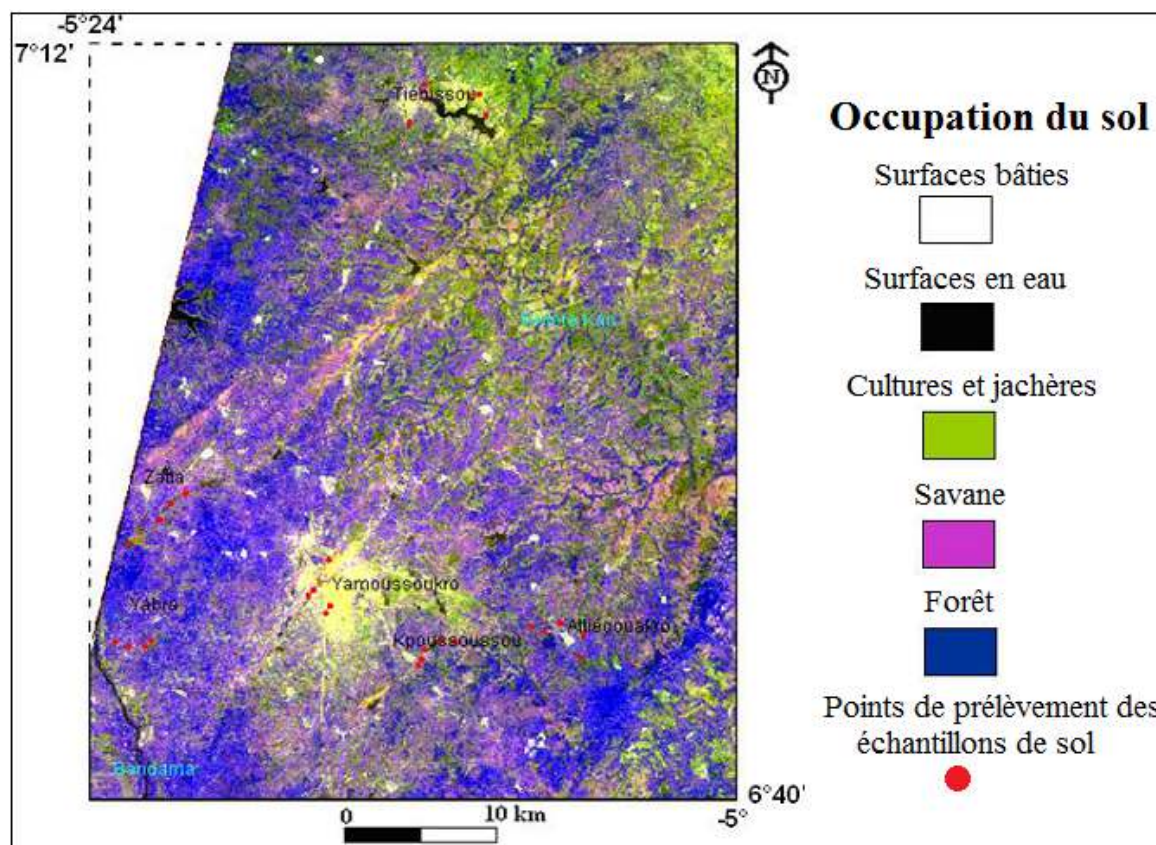


Fig. 1. Composition colorée ASTER 1-2-3 présentant la zone et les sites de l'étude.

2.2 COLLECTE DES DONNÉES

Vingt-quatre échantillons composites de sol ont été prélevés en novembre 2010 par des sondages à la tarière sur six sites, à raison de quatre échantillons par site. Ces sites localisés à Attiéguakro au Sud-est de la zone, Yamoussoukro au Sud-ouest, Kpoussossou au Sud, Zatta et Yabra à l'Ouest et enfin Tiébissou au Nord ont été présélectionnés à partir des scènes AST_L1A_00301102004105823 et AST_L1A_00301102004105832 de l'image satellitaire ASTER datant du 10 janvier 2004 selon qu'ils représentent des bas-fonds humides actuellement ou anciennement utilisés en riziculture. Les prélèvements ont été faits dans la couche arable du sol entre 0 et 20 cm et 20 et 40 cm de profondeur.

Les échantillons de sol prélevés ont été séchés à l'air libre et tamisés à une maille de 2 mm en vue des analyses de laboratoire. Ces analyses ont été réalisées au Laboratoire d'Analyse des Végétaux et Sols (LAVESO) de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB). Il s'est agi essentiellement d'effectuer les analyses classiques des sols, à savoir, déterminer la granulométrie, le pH, les teneurs en carbone organique, azote total, phosphore assimilable, bases échangeables (potassium, calcium, magnésium et sodium) et la CEC. Le fer ferreux a été également dosé car de grandes concentrations de cet élément métallique sont très souvent observées dans les sols de bas-fonds où ils sont responsables de la toxicité ferreuse chez les plants de riz. Les méthodes utilisées pour réaliser ces différentes analyses sont résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Synthèse des méthodes d'analyse des sols appliquées

Variables mesurées	Méthodes
Sable	Pipette Robinson [10]
Limon	
Argile	
pH (1 : 2,5: Sol : Eau)	pH-mètre à électrode de verre [11]
Carbone organique (C)	Walkley et Black [11]
Azote total (N)	Kjeldahl modifiée [11]
Phosphore assimilable	Olsen modifiée [12]
Calcium (Ca ²⁺)	Spectromètre d'absorption atomique [11]
Magnésium (Mg ²⁺)	
Potassium (K ⁺)	
Sodium (Na ⁺)	
CEC	
Fer (Fe ²⁺)	Spectromètre de masse [13]

2.3 ANALYSE DES DONNÉES

A partir des résultats d'analyse des sols, des moyennes, écarts-types, coefficients de variation ont été calculés pour évaluer la variabilité spatiale des propriétés des sols. Ensuite, une Analyse en Composante Principales (ACP) a été réalisée pour regrouper les sols dans des sous-ensembles homogènes de sorte que les sols d'un même sous-ensemble présentent des valeurs similaires dans la plupart des variables analysées. Pour finir, la matrice de corrélation de type Pearson et le test de Student à $p < 0,05$ ont été utilisés pour évaluer la dépendance entre les variables mesurées. Tous ces traitements statistiques ont été réalisés à l'aide de la version 7.1 du logiciel Statistica.

3 RÉSULTATS

3.1 VARIABILITÉ DES PROPRIÉTÉS DES SOLS

Le Tableau 2 présente les valeurs moyennes des variables observées dans les sols. D'un site à un autre, les valeurs mesurées sont en général différentes. Cette variation est quantifiée dans le Tableau 3 qui présente, pour chaque variable du sol, le coefficient de variation. De toutes les variables mesurées, l'argile présente la variabilité la plus importante (52,96 %) quand le pH présente la variabilité la plus faible (7,57 %). Les variabilités du magnésium (51,73 %) et du phosphore (50 %) sont du même ordre que celle de l'argile. Le limon, le carbone organique, l'azote, le potassium et le calcium d'une part, puis le sodium et le fer d'autre part, présentent des variabilités similaires (respectivement 35 à 37,38 % et 25,13 à 27,00 %). Les variabilités des autres propriétés mesurées, à savoir le sable (12,94 %), la CEC (18,29 %) et le pH (7,57 %) sont ainsi plus ou moins différentes.

Tableau 2. Synthèse des propriétés des sols

Sites	A (g/kg)	L (g/kg)	S (g/kg)	pH-eau	C (g/kg)	N (g/kg)	P (g/kg)	K ⁺ (g/kg)	Ca ²⁺ (10 ⁻⁴ g/kg)	Mg ²⁺ (10 ⁻⁴ g/kg)	Na ⁺ (10 ⁻⁴ g/kg)	CEC (cmole (+)/kg)	Fe ²⁺ (g/kg)
Attégouakro	118,67±8,32	253,35±4,8	628,48±10,46	6,8±0,2	12,59±0,23	1,36±0,06	0,08±0	0,05±0	3,68±0,2	5,21±0,98	2,41±0,16	11,06±0,53	8,55±0,06
Kpoussoussou	33,02±3,54	94,25±6,05	870±10,73	6,8±0,1	8,2±0,38	1,04±0,07	0,32±0,21	0,06±0	2,67±0,24	3,74±0,1	1,33±0,09	6,72±0,26	6,21±0,13
Tiébissou	57,5±1,5	194,57±1,32	747,66±2,56	5,75±0,05	3,65±0,25	0,35±0,02	0,03±0	0,02±0	2,91±0,56	1,53±0,13	1,88±0,06	8,4±0,21	6±0,68
Yabra	80,31±4,2	264,28±13,45	653,91±17,35	5,9±0,1	10,68±0,99	1,04±0,06	0,03±0	0,03±0	5,08±0,4	6,46±0,58	2,07±0,1	9,73±0,17	4,76±0,31
Yamoussoukro	24,02±5,4	112,57±5,11	863,42±6,36	6,07±0,15	7,26±0,54	0,76±0,05	0,54±0,25	0,04±0	2,12±0,31	2,94±0,6	1,31±0,09	7,68±0,53	4,04±0,25
Zatta	62±5,18	212,35±10,17	723,14±8,7	6,1±0,2	7,08±0,75	0,81±0,04	0,08±0	0,03±0	4,88±0,42	3,83±0,78	1,94±0,22	8,63±0,9	4,85±0,21

Tableau 3. Moyennes, écarts-types et coefficients de variation des propriétés des sols

Variabes	Moyennes	Écarts-types	Coefficient de variation (%)
A (g/kg)	62,59	33,15	52,96
L (g/kg)	188,56	67,65	35,88
S (g/kg)	747,77	96,82	12,94
pH	6,23	0,47	7,57
C (g/kg)	8,24	3,08	37,38
N (g/kg)	0,89	0,33	37,08
P (g/kg)	0,18	0,09	50,00
K (g/kg)	0,04	0,014	35,00
Ca	3,56	1,32	37,07
Mg	3,75	1,94	51,73
Na	1,83	0,46	25,13
Fer (g/kg)	5,74	1,55	27,00
CEC (cmole (+)/kg)	8,71	1,68	18,29

3.2 GROUPES HOMOGÈNES DE SOLS IDENTIFIÉS

La Figure 2 présente les valeurs propres ressorties de l'ACP. Le premier axe factoriel exprime 49,09 % de la variabilité totale du nuage des individus (ou des variables). Le second axe exprime 25,11 % de cette inertie. La chute importante de la variabilité dès le troisième axe qui ne conserve plus que 10,27 % de l'inertie totale convainc du choix des deux premiers axes pour représenter la variabilité contenue dans l'ensemble du jeu de données utilisées. Ces deux axes expliquent à elles seules 74,2% de l'inertie du nuage.

La Figure 3 présente la projection des individus sur le plan factoriel. L'axe 1 de ce plan oppose d'une part les sols du site d'Attigouakro aux sols des sites de Yabra et Zatta et, d'autre part, les sols de Tiébissou aux sols de Kpoussoussou et Yamoussoukro. L'axe 2 oppose les sols de Kpoussoussou et Yamoussoukro aux sols d'Attigouakro. Cet axe oppose également les sols de Yabra et Zatta aux sols de Tiébissou. Par ailleurs, les sols de Yabra et Zatta d'un côté et ceux de Yamoussoukro et de Kpoussoussou de l'autre côté, ont la plupart de leurs variables similaires, qui est traduit par la proximité des individus de ces sols sur le plan factoriel. Les sols de ces deux sites forment ainsi un groupe homogène. Les sols de Tiébissou et d'Attigouakro constituent par contre, chacun, un groupe homogène.

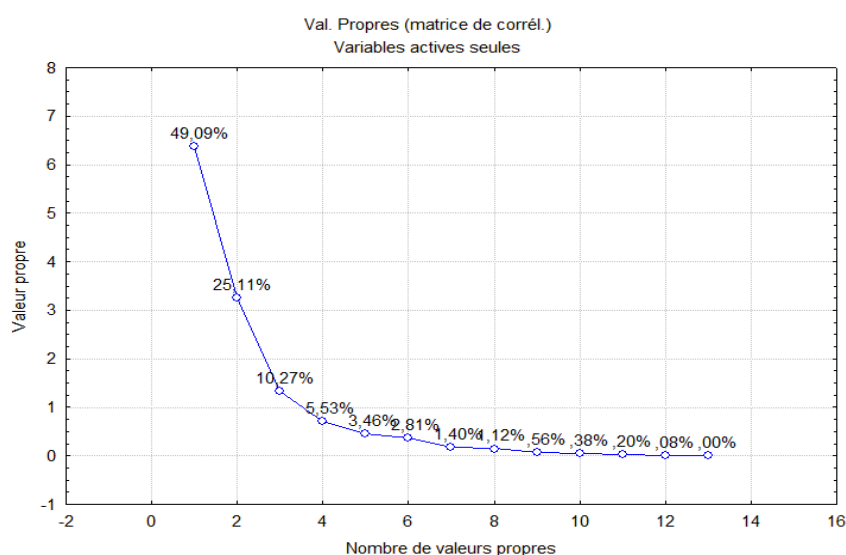


Fig. 2. Valeurs propres

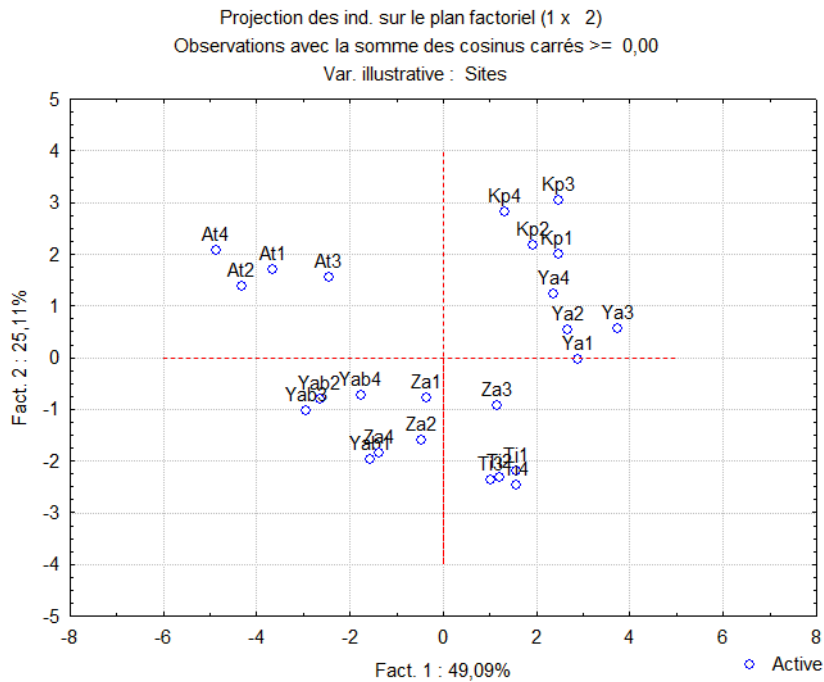


Fig. 3. Groupes homogènes de sol

At : Attiégouakro ; Kp : Kpoussoussou ; Yab : Yabra ; Ya : Yamoussoukro ; Za : Zatta.

3.3 PARTICULARITÉS DES GROUPES HOMOGÈNES DE SOLS

Le pH, le sable, le limons, l'argile, le carbone organique, l'azote total, le potassium, le sodium et la CEC du sol sont les variables les mieux représentées sur le graphe du fait de leur position très rapprochée du cercle des corrélations (Figure 4). Elles constituent les variables significatives des sols étudiés. L'examen des axes factoriels fait ressortir des corrélations importantes entre ces variables. La matrice de corrélations calculée donne les seuils de significativité de ces corrélations (Tableau 4). Ainsi, il ressort que le sodium, la CEC et l'argile, qui sont presque confondus, sont corrélés positivement de manière très hautement significative. La corrélation entre le pH et le potassium et celle entre le limon et le sodium sont également positives et très hautement significatives. Par contre, le sable et le limon, qui semblent former un angle de 180°, sont corrélés négativement de manière très hautement significative. Le pH formant approximativement un angle de 90° avec le limon d'une part et le sable d'autre part, a une corrélation presque nulle avec ces deux variables.

Les variables significatives corrélées positivement à l'axe 1 sont le sodium, la CEC, le limon et surtout l'argile. Le sable est corrélé négativement à cet axe. Ainsi, les sols du site d'Attiégouakro qui ont la particularité de contribuer plus que les autres sols à la formation de cet axe sont les plus fournis en limons, argiles et sodium, mais les moins fournis en sables. Ces sols ont également les CEC les plus relevées. Les individus homogènes regroupant les sols de Kpoussoussou et Yamoussoukro étant situés à leur opposé sont les moins fournis en limons et en argiles et les plus fournis en sables. Leurs CEC sont les plus faibles.

La position rapprochée du pH et surtout du potassium de l'axe factoriel 2 traduit la forte corrélation de ces variables à cet axe dont la formation est avérée sujette aux contributions importantes des sols de Kpoussoussou et de Tiébissou. Les sols de Kpoussoussou situés au-dessus de cet axe, et avec eux les sols de Yamoussoukro, ont des valeurs de potassium et de pH parmi les plus grandes observées. Les sols de Tiébissou situés à l'opposé des sols de Kpoussoussou sont, à juste titre, caractérisés par les plus petites valeurs de ces variables.

Au final, quels que soient les groupes homogènes de sols mis en évidence, les limons, le carbone organique et donc les matières organiques et surtout les argiles apparaissent comme les variables les mieux corrélées avec l'ensemble des autres variables mesurées (Tableau 5).

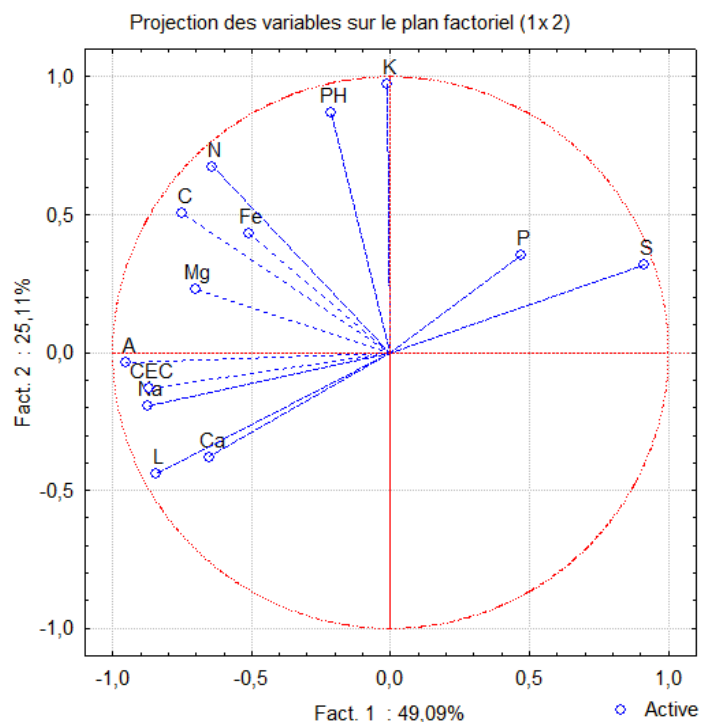


Fig. 4. Projection des variables sur le plan factoriel

Tableau 4. Contributions des individus basées sur les corrélations à l'élaboration des facteurs 1 et 2

Contributions au Facteur 1	Contributions au Facteur 2	Individus
9,06282	3,85260	At1
12,76262	2,50339	At2
4,10063	3,25970	At3
16,20254	5,78742	At4
4,12872	5,32596	Kp1
2,51937	6,23186	Kp2
4,13582	12,24070	Kp3
1,18927	10,65171	Kp4
1,68633	6,44457	Ti1
1,00194	7,14765	Ti2
0,71616	7,50830	Ti3
1,69802	8,04434	Ti4
1,65393	5,19541	Yab1
4,74644	0,87122	Yab2
5,85346	1,40018	Yab3
2,12987	0,72264	Yab4
5,72035	0,00077	Ya1
4,85464	0,39719	Ya2
9,57236	0,41740	Ya3
3,83276	2,04611	Ya4
0,08769	0,82347	Za1
0,14859	3,38537	Za2
0,90915	1,16904	Za3
1,28653	4,57301	Za4

At : Attiéougakro ; Kp : Kpoussoussou ; Yab : Yabra ; Ya : Yamoussoukro ; Za : Zatta.

Tableau 5. Matrice de corrélations (Pearson)

Variables	A	L	S	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	CEC	Fe
A	1												
L	0,84***	1											
S	-0,92***	-0,98***	1										
pH	0,20 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1									
C	0,63***	0,44*	-0,52**	0,46*	1								
N	0,52**	0,26 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	0,64***	0,94***	1							
P	-0,41*	-0,51**	0,50*	0,10 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	1						
K	-0,04 ^{ns}	-0,42*	0,31 ^{ns}	0,81***	0,50**	0,66***	0,24 ^{ns}	1					
Ca	0,52**	0,65**	-0,64***	-0,20 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	1				
Mg	0,53**	0,42*	-0,48*	0,25 ^{ns}	0,73***	0,67***	-0,06 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,61**	1			
Na	0,83***	0,76***	-0,82***	0,10 ^{ns}	0,45*	0,33 ^{ns}	-0,46*	-0,19 ^{ns}	0,54**	0,52**	1		
CEC	0,84***	0,71***	-0,70***	0,04 ^{ns}	0,54**	0,39 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,50*	0,55**	0,88***	1	
Fe	0,62***	0,26 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	0,59**	0,36 ^{ns}	0,44*	-0,19 ^{ns}	0,41*	-0,06 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,45*	0,40 ^{ns}	1

– *ns* : Différence non significative

– * : Différence significative ;

– ** : Différence hautement significative ;

– *** : Différence très hautement significative.

4 DISCUSSION

Le sol, composante majeure du rendement des cultures, peut présenter une variabilité spatiale importante. Différentes méthodes de caractérisation de cette variabilité des sols sont utilisées dans un objectif d'agriculture de précision [14]. La caractérisation quantitative basée sur des prélèvements d'échantillons de sols est la méthode qui a été appliquée dans la présente étude. Cette méthode a l'avantage de donner une image précise de la composition physico-chimique des sols alors que d'autres méthodes, basées sur la caractérisation qualitative des sols (mesure de résistivité, mesure de réflectance ou mesures mécaniques) permettent d'obtenir des informations complémentaires et de réduire la densité d'échantillonnage [15-16-17].

Toutefois, le sol est une entité très complexe au sujet de laquelle les pédologues sont unanimes depuis plusieurs décennies pour attester la difficulté de déduire aisément ses caractéristiques à partir de la reconnaissance de quelques propriétés diagnostiques [18]. En effet, le sol fonctionnant comme un système ouvert, fait que ses déterminants sont nombreux, interagissent entre eux et sont susceptibles de varier dans le temps [19]. De plus, l'activité humaine (travail du sol, fertilisation, amendement, aménagement, pollution) se surimpose souvent de façon prédominante à l'effet des conditions naturelles et est susceptible de modifier profondément les propriétés biologiques, physiques et chimiques des sols. Cependant, les limons, le carbone organique (ou les matières organiques) et surtout les argiles, pour être apparus dans cette recherche comme éléments parmi les plus variables spatialement et en même temps les plus corrélés avec l'ensemble des autres variables mesurées, pourraient mieux expliquer la variabilité des sols étudiés. En d'autres termes, l'évolution de l'un ou l'autre de ces trois variables du sol pourrait entraîner sensiblement celle des autres variables.

A ce sujet, le rôle majeur des matières organiques dans la variabilité des sols a déjà été démontré par plusieurs auteurs. En effet, en affichant un coefficient de variation de 24,1 % dans l'étude réalisée par [1], les matières organiques étaient apparues comme les éléments les plus variables parmi quelques propriétés de sols sableux des Landes de Gascogne (France). [20] avait obtenu un coefficient de variation des teneurs en matières organiques du même ordre de grandeur et d'importance pour des sols forestiers. Aussi, d'après la revue bibliographique de [21] sur la variabilité spatiale des propriétés des sols, les matières organiques, avec un coefficient de variation supérieure à 35 %, apparaissaient-elles comme un des caractères les plus variables au sein des surfaces de l'ordre d'un hectare ou moins.

Par ailleurs, il avait été déjà obtenu que les sols hydromorphes (gleysols) utilisés en Afrique de l'ouest pour la riziculture irriguée ou inondée sont extrêmement hétérogènes du point de vue de leurs propriétés texturales qui dépendent en général des teneurs d'argiles, de limons et de sables [22]. Ce sont certains de ces sols qui ont fait l'objet de la présente étude. Ces derniers étant apparus peu variables relativement à leurs teneurs en sables, est le signe que l'hétérogénéité des propriétés texturales qui les caractérise est le fait des teneurs de limons et d'argiles. Les travaux de [22] ont montré également que les

plus fertiles de ces sols rizicoles sont en général des sols alluviaux des larges vallées, pouvant contenir 2 à 5 % de matière organique et ayant une texture limono-argileuse à argileuse.

Au final, on retient que les argiles, les limons et les matières organiques gouvernent non seulement la variabilité des sols étudiés, mais aussi et surtout, leur fertilité.

5 CONCLUSION

A partir de la caractérisation quantitative de leur composition physico-chimique, il a été possible de répartir les sols rizicoles d'un périmètre de la région du Bélier située en Côte d'Ivoire en quatre sous-ensembles homogènes. Chaque sous-ensemble présentait des valeurs statistiquement similaires dans la plupart des variables mesurées, notamment les teneurs de limons, d'argiles et de matières organiques. Ces trois variables étaient apparues aussi, par déduction, comme les déterminants de la fertilité des sols étudiés. Il est donc d'intérêt pour les producteurs de riz de la zone d'étude de procéder à une analyse préalable de la variabilité spatiale des paramètres du sol avant d'effectuer le choix de leurs parcelles à mettre en culture. Dès lors, une question reste en suspens, celle de déterminer les teneurs optimales de ces variables significatives des sols étudiés.

REMERCIEMENTS

L'équipe de chercheur qui a réalisé cette étude remercie sincèrement les producteurs de riz de la région administrative du Bélier en Côte d'Ivoire pour leur franche collaboration.

REFERENCES

- [1] D. Arrouays, I. Vion, Cl. Jolivet, D. Guyon, A. Couturier et J. Wilbert, "Variabilité intraparcellaire de quelques propriétés des sols sableux des Landes de Gascogne (France) : Conséquences sur la stratégie d'échantillonnage agronomique", *Étude et Gestion des Sols*, 4, 1, pp 5-16, 1997.
- [2] A.C. Richer de Forges, D. Arrouays, F. Héliès, B. Laroche et M. Bardy, "Quelles demandes sur les sols reçoit-on aujourd'hui au niveau d'un pays comme la France? ", *Etude et Gestion des Sols*, 19 (2), 119-128, 2012.
- [3] B.G.F. Zro, *Utilisation de la télédétection et du Système d'Information Géographique (SIG) pour la cartographie et l'évaluation de la fertilité rizicole des sols hydromorphes (gleysols) : cas d'un périmètre de la région du Bélier (Centre de la Côte d'Ivoire)*. Thèse Unique de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Côte d'Ivoire, 145 p., 2012.
- [4] S. Robert, F. Ajmone-Marsan, J.P. Ambrosi, M. Biasioli, C. Cormier, S. Criquet, C. Keller, M.L. Lambert-Habib et E. Rabot, *Préconisation d'utilisation des sols et qualité des sols en zone urbaine et peri-urbaine – application du bassin minier de Provence*, Rapport final du programme GESSOL, CNRS, Aix-Marseille Université, Université de Turin, 99 p, 2008.
- [5] Yacé, *Initiation à la géologie. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest : pétrologie, géologie régionale*, Éditions CEDA, Abidjan, 183 p., 2002.
- [6] Yao-Kouamé, "Nature des éléments grossiers observés dans les sols brunifiés dérivés des matériaux du complexe volcano-sédimentaires de Toumodi-Kanhankro en moyenne Côte d'Ivoire", *Revue CAMES*, série A, vol. 05, pp. 39-52, 2007.
- [7] Dabin, N. Leneuf et G. Riou, *Carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/2.000.000. Notice explicative*, ORSTOM, 39 p., 1960.
- [8] B.G.F. Zro, J-C. Okaingni et K. F. Kouamé, "Cartographie des sols hydromorphes de la région des Lacs (Côte d'Ivoire) par l'approche du Spectral Angle Mapper (SAM)", *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, N° 195, p. 31-41, 2011.
- [9] Y.T. Brou, *Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire*. Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches. Université des Sciences et Technologies de Lille, 212 p., 2005.
- [10] J.P. Douzals, "Mesures physiques de la variabilité des sols en agriculture de précision", *Ingénieries-E A T*, IRSTEA édition 2000, pp. 45-52, 2000.
- [11] 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*, N°12, 15 p., 2014.
- [12] M.A. Hilhorst et J. Balendonck, *A pore water conductivity sensor to facilitate non-invasive soil water content measurements*, in: Precision Agriculture 99, STAFFORD J.V. Ed., SCI, Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, p. 211-222, 1999.

- [13] E.D. Lund, C.D. Christy, P.E. Drummond, *Practical applications of soil electrical conductivity mapping*, in Precision Agriculture 99, STAFFORD J.V. Ed., SCI, Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, p. 771-780, 1999.
- [14] M. Delaune, M. Reiffsteck et C. Feller, "L'analyse granulométrique de sols et sédiments à l'aide du microgranulomètre « Sedigraph 5000 ET » Comparaison avec la méthode « pipette Robinson »", *Cahier ORSTOM, série Pédologie*, vol. XXVI, N° 2, 183-189, 1991.
- [15] CEAEQ, *Détermination du pH: méthode électrométrique. MA. 100-pH 1.1, Rév. 3*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 11 pages, 2005.
- [16] J. Pétaud, "Les méthodes d'analyse Tome 1 : Analyses de sols", *Laboratoire commun d'analyses*, N°5, 200 p, 1993.
- [17] M-C. Menet, "Principes de la spectrométrie de masse", *Revue Francophone des Laboratoires*, Issue 437, 41-53, 2011.
- [18] C. Walter, D. King, P. Lagacharie et J.M. Robbez Masson, *L'analyse spatiale des sols: Description, modélisation et représentation de la variabilité spatiale des sols*, in : Sols et Environnement, J. C. Girard et al., Dunod, 881 p., 2011.
- [19] R. Webster, "Is soil variation random? ", *Geoderma* (97)3-4, 149-163, 2000.
- [20] B. Williot, "Variabilité spatiale et risques d'erreurs dans l'analyse des horizons holorganiques forestiers", *Étude et Gestion des Sols*, 2 (1) : 73-83, 1995.
- [21] L.P. Wilding et L.R. Drees, *Spatial variability and pedology*, In : Pedogenesis and soil taxonomy. I: concepts and interactions. L. P. Wilding, N. E. Smeck, and G. F. Hall (Ed.). Elsevier, New York, pp. 83-116, 1983.
- [22] B. Dabin et R. Maignien, "Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles", *Cahier ORSTOM, Série Pédologie*, vol. XVII, N° 4 : 235-257, 1979.