

UTILISATION DES DONNEES POUR L'EVALUATION DE L'HETEROGENEITE DES SOLS FERRALLITIQUES PAR LA COULEUR SELON LE CODE MUNSELL

B. KONE¹ et A. ASSA²

¹Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO) Cotonou, 01 BP 2031 Cotonou, Bénin

²Université de Cocody, Abidjan, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

RESUME

L'hétérogénéité du sol est un handicap pour la gestion de sa fertilité et une préoccupation en expérimentation agronomique. Sa caractérisation, par des facteurs à variabilité spatiale connue, pourrait y apporter une solution. La couleur, selon le code Munsell (TSL) a été évaluée à cet effet à travers la description de l'hétérogénéité de 1028 échantillons de sol ferrallitiques provenant de la zone au-dessus du 7^e parallèle. La granulométrie, les teneurs du sol en C, Ptotal, NI et en Ca, ainsi que les propriétés du complexe absorbant (S, CEC, V) ont été comparées à la couleur, la roche-mère (Rm) et la profondeur du sol. Les analyses en composantes principales et de variances ont été utilisées pour l'analyse des données. Les résultats montrent que les sols de teintes 5YR et 7,5YR de l'horizon de surface ont été plus hétérogènes que ceux de teintes 2,5YR et 10YR, et ceci quelque soit la profondeur du sol. De même, une réduction des hétérogénéités physique et chimique liée à la teinte, P et Rm ou par TSL du sol a été observée. Ainsi, cette étude a permis de caractériser l'hétérogénéité des sols ferrallitiques, à travers sa couleur.

Mots-clés : Couleur du sol, propriétés du sol, sols ferrallitiques, variabilité, Côte d'Ivoire

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF SOIL SAMPLES WITH HOMOGENOUS PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERS

Soil heterogeneity is known to seriously hamper fertility management and causes concerns in agronomic trials. Soil characterization through factors, which spatial variability is well established, could be an option. Therefore, the Munsell chart (TSL) of soils was evaluated through the description the heterogeneity of one thousand twenty-eight ferrallitic soil samples from the area above the 7th parallel. Particle size, soil C, total P total N and Ca, as well as exchangeable bases (S), effective cation exchange capacity (ECC) and base saturation (V) were assessed in relation with soil TSL, bed rock characteristics (Rm) and soil depth. Principal components and variance analysis were used to analyse data. Results show that the 5YR and 7.5YR soil samples from the surface horizons showed more heterogeneity than those of 2.5YR and 10YR, regardless of soil depth. Moreover, a reduction of soil physical and chemical heterogeneities, according to soil hue, depth and bedrock, was demonstrated. This study allows ferrallitic soil heterogeneity characterization by its colour.

Key words : Colour, soil properties, ferrallitic soil, variability, Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

L'hétérogénéité des sols des régions tempérées est bien connue grâce à de nombreuses études comme celles de Walker *et al.* (1968), Ball et Williams (1968), Drees et Wilding (1973) pour seulement l'Amérique du Nord ; on connaît également la variabilité des sols de la Nouvelle Zélande et de l'Australie par les travaux de Lee *et al.* (1975), Black et Waring (1977). De nombreux autres travaux sur l'hétérogénéité du sol existent à travers les régions tempérées.

Dans la zone tropicale, les travaux les plus connus sont, surtout, ceux relatifs à l'hétérogénéité des sols liée aux défrichements et aux facteurs biologiques (Kang, 1977), ceux liés à la variabilité de la teneur du sol en phosphore assimilable (Gonzalez *et al.*, 1976) ou, par ailleurs, ceux de la variabilité de la teneur des sols en sodium (Ramirez *et al.*, 1981). Il existe peu de connaissances sur la caractérisation de l'hétérogénéité des sols concernant l'ensemble des propriétés physico-chimiques des sols tropicaux.

Pourtant, la variabilité physico-chimique affecte la fertilité des sols avec une influence sur la croissance et le développement des plantes tel que montré par Dancette et Poulain (1968) au Sénégal, et par Moormann et Kang (1978) au Nigeria. En outre, les hétérogénéités de terrain causent des problèmes techniques et scientifiques. Celles-ci rendent difficile l'interprétation des données scientifiques et la validité des recommandations, compliquent le dispositif expérimental et le développement des méthodes d'analyse appropriées pour la caractérisation des sols.

Malgré la notion de dispositif expérimental et de randomisation (Hack, 1976), celle de la forme des parcelles d'expérimentation (Wang, 1971) et les acquis sur la détermination de la taille des échantillons de sol (Burrough et Kool, 1981 ; Paterson et Calvin, 1965), l'hétérogénéité des sols reste encore un handicap à la compréhension des données analytiques du sol, à la conduite de l'expérimentation agronomique ainsi qu'à l'application des recommandations des doses de fertilisant. Pour cette raison, celle-ci reste une préoccupation majeure en agriculture de précision (Hoskinson *et al.*, 2002).

En Côte d'Ivoire, la variabilité temporelle des sols a été étudiée après défrichement et selon les pratiques culturales (Akodo, 1977 ; Moreau, 1983) dans la zone forestière. Les travaux de Pieri (1979) sont également connus pour la zone de savane. Cependant, les études de la variabilité spéciale des sols ivoiriens restent limitées. Les études de Moreau (1990) dans la zone forestière et celles de Vauclin et Chopart, 1991, dans la zone de transition forêt-savane ainsi que dans la savane ont été des approches pour la caractérisation de cette variabilité. Ces derniers auteurs ont révélé la nécessité de prendre en compte une échelle intégrée au sol pour une meilleure caractérisation. A cet effet, la variation de la couleur du sol pourrait servir, vu qu'elle est la résultante des processus physico-chimiques et hydrodynamiques du sol avec une variabilité le long de la toposéquence.

La présente étude se propose de donner des informations complémentaires aux pédologues et agronomes pour mieux comprendre les variabilités physiques et chimiques des sols ferrallitiques à l'aide de la couleur suite à un échantillonnage au-dessus de la latitude 7 °N de la Côte d'Ivoire.

MATERIELS

L'étude a porté sur les sols de plateaux situés au-dessus du 7 °N de la Côte d'Ivoire. Elle couvre les 4 secteurs climatiques suivants : les secteurs mésophiles, subsoudanéen, soudanéen et montagnard, selon le découpage réalisé par Eldin (1971). Les données ont été obtenues à partir des travaux de cartographie de la Côte d'Ivoire réalisés par l'ORSTOM (Echenbrenner et Badarello, 1978 ; Beaudou et Sayol, 1980 ; Poss, 1982 ; Lévêque, 1983 ; Viennot, 1983) et la DCGTx (Fofana, 1985 ; Fofana et Gboko, 1985 ; 1986 ; Fofana et Konan, 1993a ; 1993b ; 1995 ; Akodo et Gboko, 1991 ; Akodo et Djidji, 1993 ; 1995 ; Lao et Djidji, 1989 ; 1990). Il s'agit des données physico-chimiques de 1028 échantillons de sols ferrallitiques.

Des roches-mères essentiellement acides (granites calco-alcalins (R1), granitoïdes indifférenciés (R4), migmatites à biotite (R5), granitoïdes sub-alcalins (R6) et granitoïdes hétérogènes à biotite (R7)) ainsi que des gneiss (R2) et des schistes (R3) ont été rencontrés dans la zone étudiée.

Des paysages de plateaux cuirassés, de croupes subaplanies et leurs variances en forme et en longueur de versant avec ou sans affleurements rocheux y ont été identifiés.

Le code Munsell a été utilisé pour la détermination de la couleur du sol sur une motte de terre humide.

Les logiciels SAS et SPSS 9 ont été utilisés pour les analyses statistiques.

METHODES

Dix-neuf sites d'échantillonnage ont été sélectionnés avec une répartition inégale, selon Webster et Oliver (1990) dans la zone étudiée sur la base de critères pédoclimatiques. Les sols ferrallitiques fortement désaturés sous pluviométrie forte et pluviométrie atténuée, ainsi que les sols ferrallitiques moyennement désaturés (Monnier, 1979), ont été échantillonnés. Le tableau 1 présente la localisation des profils de sol étudiés.

Dans les sites étudiés, des toposéquences représentatives des paysages rencontrés ont été installées en levant des layons perpendiculaires aux courbes de niveau après avoir déterminé leurs azimuts sur une carte topographique. Les

layons partent du sommet au bas-fond de l'interfluve. Une fosse a été creusée tous les 100 m le long du versant avec une profondeur maximum de 1,5 m en absence d'induration. Ainsi, 289 profils de sols ont été décrits et 1028 horizons ont été échantillonnés pour les analyses en laboratoire.

La couleur a été déterminée en comparant une motte humide de l'échantillon provenant d'un horizon donné, aux couleurs standard du code Munsell. La teinte (T), la saturation (S) et la luminance (L) ont été notées comme étant la couleur TSL. Les T identifiées ont été 2,5YR, 5YR, 7,5YR et 10YR, alors que les valeurs 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 ont constitué L et S.

Les horizons décrits dans les profils ont été codifiés par des profondeurs notées P1 (0 - 20 cm), P2 (20 - 60 cm), P3 (60 - 80 cm) et P4 (80 - 150 cm) en leur attribuant le code (P1, P2, P3 ou P4) de la profondeur P à laquelle ils appartiennent.

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées dans les laboratoires de l'ORSTOM (actuel IRD) et de DCGTx (actuel BNETD) en Côte d'Ivoire. Les méthodes d'analyse de ORSTOM (1971) ont été utilisées. Les teneurs du sol en argile, limon, sable, carbone (C), azote total (N) et du phosphore total (P), ainsi que les valeurs des propriétés chimiques (somme des

bases - SBE, capacité d'échange des cations - CEC et le taux de saturation en base - V) ont été déterminés. Par commodité, S a été noté SBE. Ces composantes physico-chimiques du sol ont constitué les variables des analyses statistiques.

Par des analyses de modèle linéaire général (GLM) à l'aide du logiciel SAS, les valeurs moyennes générales des variables étudiées ainsi que celles de leurs coefficients de variation (CV) ont été obtenues pour les facteurs (rochemère (Rm), la profondeur (P) et la teinte (T) de l'analyse et leurs interactions (P*T*R).

Des analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées en prenant en compte toutes les variables physico-chimiques de l'étude suivant des sélections selon P, T et Rm. La valeur absolue de la valeur matricielle d'une variable a permis d'évaluer son importance.

La possibilité de réduire l'hétérogénéité de l'échantillonnage du sol par la couleur a été évaluée par des analyses de variances type GLM - univariable de SPSS 9. Les représentations graphiques ont été générées pour la dispersion des teneurs moyennes du sol en sable, carbone et en calcium selon la déviation standard. Les valeurs moyennes prises en compte étant celles des différents groupes de notation TSL.

Tableau 1 : Synthèse de l'échantillonnage.

Sampling synthesis.

Latitudes	Localités (Nombre de fosses pédologiques)					
	7° - 8°	7° - 6°	6° - 5°	5° - 4°	4° - 3°	> 3°
> 10°	-----	Tengréla (13)	-----	-----	-----	-----
9° - 10°	-----	Boundiali (20)	Korhogo (9)	Ferké (9) Niakara (3) Dabakala (6) Kong (44)	Bouna (34)	Bondoukou (32)
8° - 9°	Odienné (10) Touba (3)	Dianra (3) Sirasso (8)	Beheké (11)	-----	-----	-----
7° - 8°	Man (37)	Séguéla (13)	Gohitafla (5)	M'bahiakro (26)	Daoukro (3)	-----

----- : Pas de profil

RESULTATS

Le tableau 2 montre le résultat des ACP avec 60 % d'extraction des informations selon la valeur cumulative de Eigen. Les teneurs du sol en carbone, sable et en argile, ainsi que ses propriétés chimiques (SBE, CEC, V) ont été identifiées comme étant les composantes principales de la fertilité. Il s'agit de la matière organique (M. O.), de la texture et des propriétés chimiques du sol.

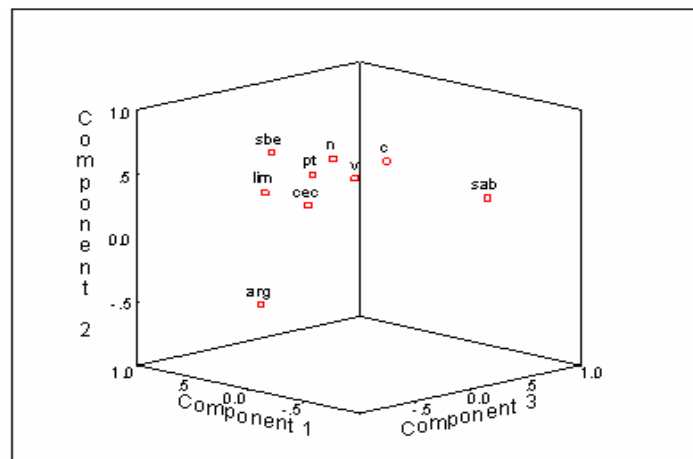
Trois groupes d'échantillons de sol ferrallitique ont été distingués selon la dispersion des variables : (i) le groupe caractérisé par la teneur en limon et en composantes chimiques (C, N,

Pt) ainsi que par les propriétés chimiques (CEC, SBE, V) élevées, (ii) le groupe riche en argile et (iii), le groupe des sols ferrallitiques riches en sable (Figure 1). Les résultats des analyses ont montré révélé que les échantillons de teintes 5YR et 7,5YR ont des propriétés moyennement à très variables, alors qu'elles sont peu ou moyennement variables pour les sols 2,5YR et 10YR (Figure 2). De même, une forte hétérogénéité du sol a été observée dans l'horizon de surface P1 (0 - 20 cm) selon la figure 3. Les schistes (R3), les granitoïdes indifférenciés (R4) et les granitoïdes hétérogènes à biotites (R7) sont caractéristiques des échantillons les plus dispersés (Figure 4).

Tableau 2 : Matrice de corrélation des paramètres physiques et chimique du sol.

Correlation matrix of physical and chemical soil parameters

Variables	Composantes principales		
	1	2	3
Argile	0,64	- 0,60	- 0,24
Sable	- 0,82	0,40	0,33
Limon	0,56	0,29	- 0,28
Carbone	0,22	0,44	0,53
Azote total	0,55	0,45	0,32
Phosphore total	0,30	0,46	- 0,11
Somme des bases échangeables (SBE)	0,44	0,65	- 0,34
Capacité d'échange des cations (CEC)	0,74	0,05	0,28
Taux de saturation en bases (V)	- 0,47	0,64	- 0,50
Valeur cumulative de Eigen			67



(arg : argile, sab : sable, lim : limon, c : carbone, n : azote total, pt : phosphore total, sbe : somme des bases échangeables, cec : capacité d'échange des cations, v : taux de saturation en bases)

Figure 1 : Dispersion des variables physico-chimiques du sol.

The spread of physical and chemical soil parameters.

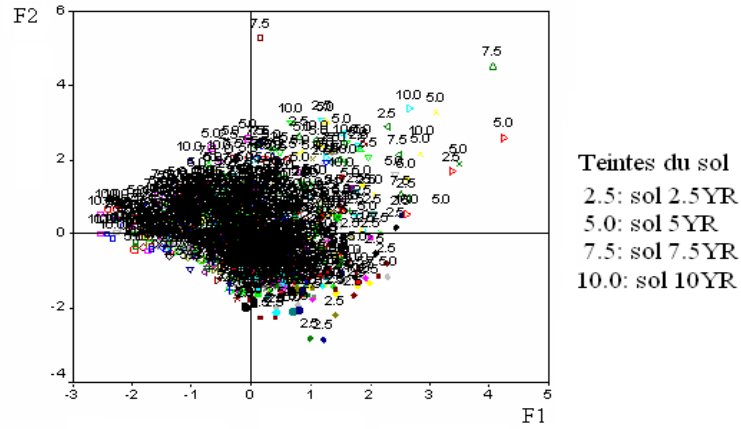


Figure 2 : Dispersion des échantillons du sol selon la teinte.
Soil samples spreading according to hue.

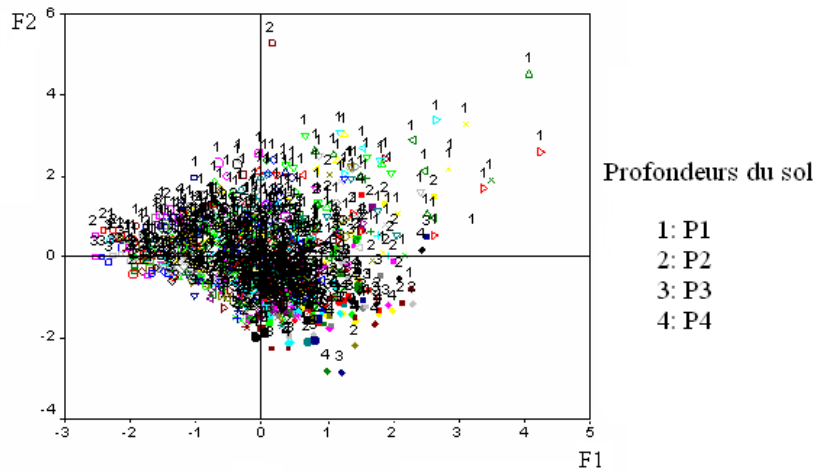


Figure 3 : Dispersion des échantillons du sol selon la profondeur.
Soil samples spreading according to depth.

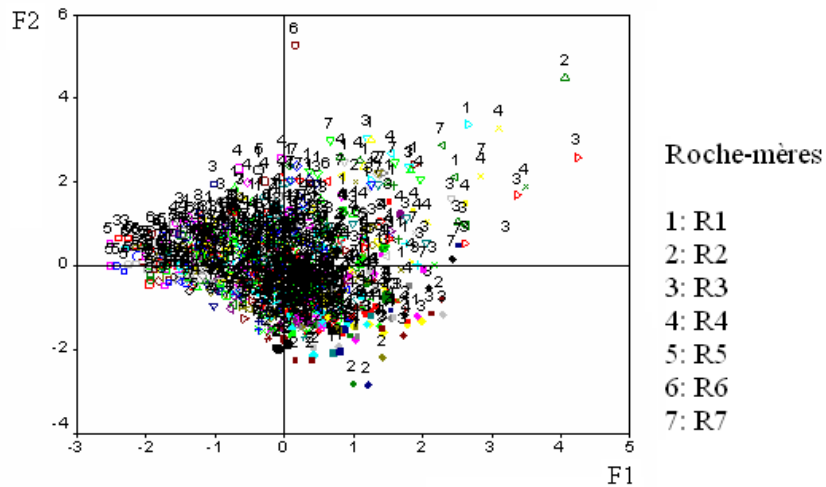


Figure 4 : Dispersion des échantillons du sol selon la roche-mère.
Soil samples spreading according to bedrock.

En plus de la caractérisation de l'hétérogénéité des échantillons par rapport à T, P et Rm, une réduction des coefficients de variation (CV) des valeurs moyennes des composantes physiques et chimiques des sols est notée sous l'effet de l'interaction des facteurs (T, P, Rm) selon les tableaux 3, 4 et 5. Ces facteurs ont des effets significatifs sur les variables étudiées, à l'exception de l'effet de leur interaction (T*P*Rm) sur la teneur du sol en limon (Tableau 3) et sur le taux de saturation du sol en bases (Tableau 5). Malgré la réduction des CV observée pour toutes les variables, seuls les CV des teneurs moyennes du sol en argile et en sable sont faibles (Tableau 3) ; les autres variables ayant des CV encore élevés (Tableaux 3, 4 et 5). C'est pourquoi, on a procédé à l'évaluation de l'effet de l'interaction des constituants de la notation de Munsell (TSL) avec Rm ou P sur la variabilité de certaines composantes principales du sol (Tableau 6), en vue de réduire son hétérogénéité. La variance de l'erreur d'analyse est très élevée (84,19) pour la teneur du sol en argile et faible

pour les teneurs du sol en C (1,68) et pour la CEC (11,51). En plus, les variances sont faibles et positives pour C ($2,95 \cdot 10^{-2}$) et CEC (7,63). Cependant, des variances négatives sont observées pour C ($-1,06 \cdot 10^{-2}$) et CEC (-0,21) sous les effets respectifs de Rm*T*S*L et P*T*S*L. Cela indique une inadéquation de ces interactions dans l'analyse. Toutefois, ces résultats offrent la possibilité d'envisager la réduction de la variabilité des composantes chimiques (C et CEC étant des composantes principales) des sols ferrallitiques en tenant compte de la roche-mère ou de la profondeur du sol associée à la notation de couleur selon Munsell.

Les représentations graphiques des teneurs moyennes des composantes du sol pour les groupes de TSL selon leurs déviations standard montrent une plus grande dispersion pour le sable (Figure 5) et des dispersions moyennes pour C (Figure 6) et Ca (Figure 7). Cela démontre la possibilité d'utiliser la couleur du sol pour reconnaître l'homogénéité chimique des sols.

Tableau 3 : Variation des valeurs moyennes des fractions granulométriques des sols ferrallitiques.

Mean particle size variation in the ferrallitic soils.

Sources de variation	Argile		Sable		Limon	
	Moy (%)	CV (%)	Moy (%)	CV (%)	Moy (%)	CV (%)
T	30 ^s	44,69	56 ^s	27,97	14 ^s	87,52
P	30 ^s	42,31	56 ^s	27,29	14 ^s	85,99
Rm	30 ^s	45,16	56 ^s	28,46	14 ^s	85,55
T*P*Rm	30 ^s	36,16	56 ^s	23,19	14 ^{ns}	82,59

ns : non significative ; s : significative

Tableau 4 : Variation des valeurs moyennes du carbone, du phosphore total et de l'azote total des sols ferrallitiques.

Variation in the mean values of carbon, total phosphorus and total nitrogen in ferrallitic soils.

Sources de variation	C		Pt		N	
	Moy (%)	CV (%)	Moy (ppm)	CV (%)	Moy (pm)	CV (%)
T	0,74 ^s	67,16	223 ^s	63,05	0,60 ^s	67,80
P	0,74 ^s	55,99	223 ^s	60,88	0,60 ^s	58,37
Rm	0,74 ^s	65,11	223 ^s	63,01	0,60 ^s	65,34
T*P*Rm	0,74 ^s	50,65	223 ^s	51,81	0,60 ^s	50,88

s : significative

Tableau 5 : Variation des valeurs moyennes de la somme des bases, de la capacité d'échange des cations et du taux de saturation des sols ferrallitiques.

Variation in the mean values of total cation, exchangeable cations and saturation rate in cations in ferralitic soils.

Sources de variation	SBE		CEC		V	
	Moy (mécq/100g)	CV (%)	Moy (mécq/100g)	CV (%)	Moy (%)	CV (%)
T	2,68 ^s	55,74	6,59 ^s	53,87	44,42 ^s	56,64
P	2,68 ^s	53,82	6,59 ^s	54,40	44,42 ^s	54,63
Rm	2,68 ^s	52,86	6,59 ^s	51,44	44,42 ^s	55,16
T*P*Rm	2,68 ^s	49,96	6,59 ^s	50,75	44,42 ^{ns}	52,68

ns : non significative ; s : significative

Tableau 6 : Variance de certaines composantes principales des sols ferrallitiques.

Variance in several principal components of ferralitic soils.

Variances	Argile	Carbone	CEC
Var (P*T*S*L)	83,48	2,95,10 ⁻²	-0,21
Var(R*T*S*L)	24,15	-1,06,10 ⁻²	7,63
Var (Erreur)	81,19	1,68	11,51

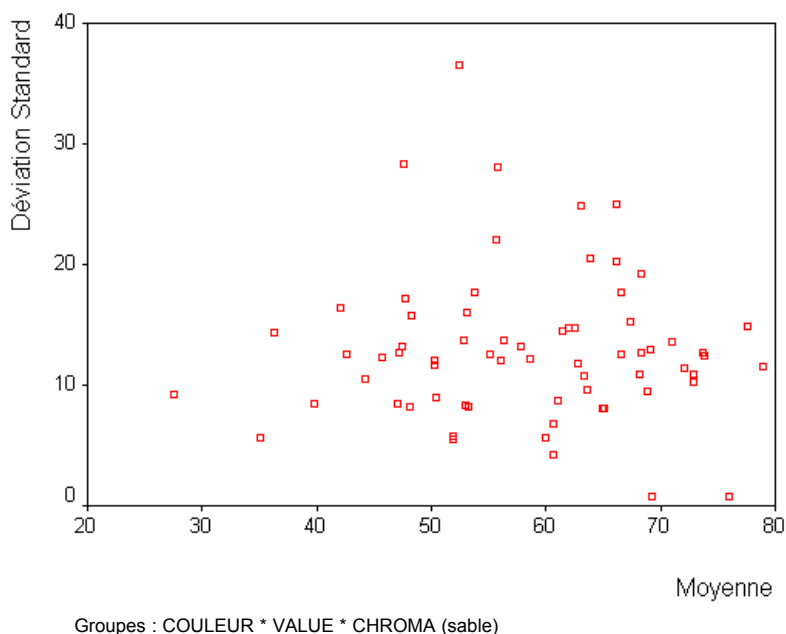


Figure 5 : Dispersion des teneurs moyennes du sol en sable selon le code Munsell.

Spreading of the sand mean content in the soil according to Munsell chart color.

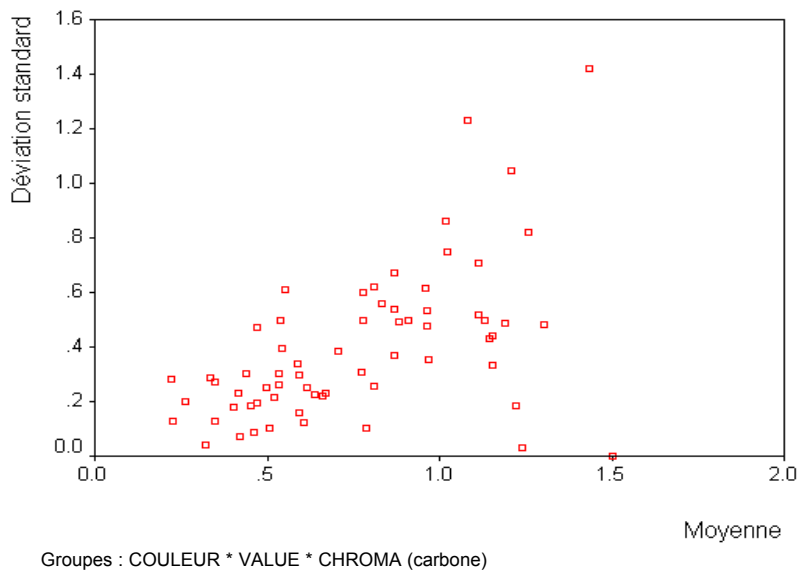


Figure 6 : Dispersion des teneurs moyennes du sol en carbone selon le code Munsell.

Spreading of carbon mean content in the soil according to Munsell chart color.

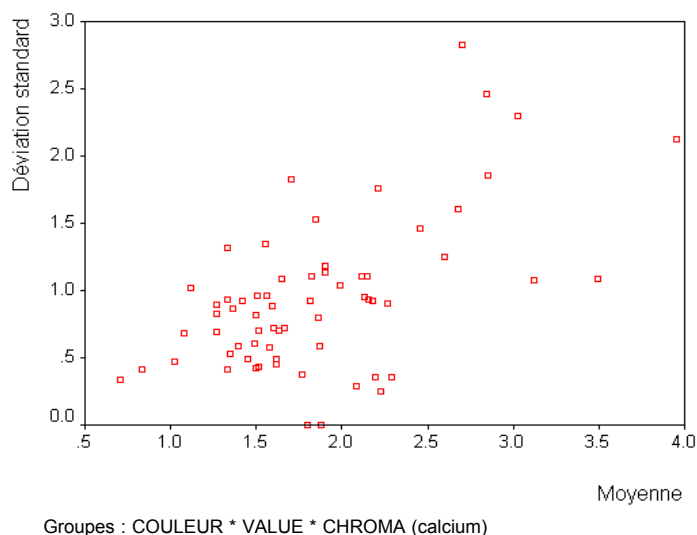


Figure 7 : Dispersion de la teneur moyenne du sol en calcium selon le code Munsell.

Spreading of calcium mean content in the soil according to Munsell chart color

DISCUSSION

Les résultats de l'ACP ont révélé l'importance de la texture du sol, sa teneur en matière organique et ces propriétés chimiques. Cela concorde avec les critères de certaines classifications des sols comme celle de CPCS (1967) et celle de FAO-UNESCO (1974) qui accordent beaucoup d'importance aux propriétés chimiques des sols. Quant à la texture, son importance est démontrée dans les études de lixiviation des bases réalisées par Poss (1978) à Korhogo et Paquet *et al.* (1970) au Burkina

Faso. La texture grossière favorisant ce processus, entraîne une baisse de la fertilité des sols.

Enfin, l'importance de la matière organique est montrée par la notion de minéralisation qui est quantifiée par le rapport C/N utilisé par Dabin (1970) lorsqu'il a établi les abaques de la fertilité des sols ferrallitiques. Rappelons que la minéralisation de la matière organique restitue au sol ses composantes chimiques, améliorant ainsi sa fertilité (Tian, 1992). À la lumière de cette analyse, on peut comprendre pourquoi la texture du sol, sa matière organique et ses

propriétés chimiques représentent les composantes principales des sols ferrallitiques telles que montrées par l'étude en cours.

Par ailleurs, l'horizon de surface du sol et sa teinte ont permis d'identifier les échantillons à caractères variables par les représentations graphiques de l'ACP. La variabilité des composantes de l'horizon de surface du sol a été montrée par plusieurs auteurs dont, Seubert *et al.* (1977) et Sanchez *et al.* (1983), qui indiquent l'effet des pratiques agricoles tel que le défrichement ou les feux de brousse comme sources de cette variabilité. Quant à l'hétérogénéité décrite par la teinte du sol, elle peut s'expliquer par la dynamique de l'eau le long de la toposéquence. En effet, il existe une hiérarchisation de la teinte des sols ferrallitiques le long de la toposéquence (Koné, 2007). Les sols de teintes 2,5YR, 5YR, 7,5YR et 10YR sont majoritaires, respectivement, au sommet, sur les versants supérieur et moyen, ainsi que le bas versant. Les sols rouges (2,5YR) étant situés au sommet d'interfluve (Fritsch, 1993 ; Boa, 1989) sont soumis à un drainage vertical dominant de l'eau (Poss et Valentin, 1983) alors que les mouvements latéraux de l'eau (drainage latéral, ruissellement) deviennent importants sur les versants (supérieurs et moyen) où dominent les sols de teintes 5YR et 7,5YR. L'intensité croissante de cette dynamique le long de la toposéquence (Zhang *et al.*, 2006) et sa variabilité associée à la diversité des paysages de la zone étudiée, induiront des transports de quantité variable de matière. De ce fait, les échantillons 5YR et 7,5YR auront des propriétés différentes sur le même type de paysage et d'un paysage à l'autre. Dans le bas versant, on trouve surtout des sols 10YR avec une réduction du mouvement latéral de l'eau à cause de l'hydromorphie temporaire des sols voisins en aval (Blavet, 1997 ; Diatta, 1996). On y assiste alors à une réduction de l'hétérogénéité du sol. Ainsi, la dynamique de l'eau serait à la base de l'hétérogénéité des sols de teintes 5YR et 7,5YR des versants supérieur et moyen d'une toposéquence, alors que ceux de teintes 2,5YR et 10YR ont des propriétés plus homogènes.

Enfin, la carte géologique de la Côte d'Ivoire établie par Tagini (1965) et celle des secteurs climatiques (Eldin, 1971) permettent d'affirmer que le lien entre la roche-mère et les échantillons dispersés est une conséquence des différences climatiques entre les différents secteurs recoupés par les schistes, les granitoïdes indifférenciés et les granitoïdes hétérogènes à

biotites. Ainsi, la roche-mère n'est pas bien indiquée pour caractériser l'hétérogénéité du sol : sur une roche donnée, on peut trouver différents groupes de sols ferrallitiques comme cela se constate par la superposition de la carte géologique de Tagini (1965) et celle des sols de Perraud (1967).

Ainsi, il est possible de caractériser l'hétérogénéité des sols ferrallitiques par la profondeur de l'horizon concerné et par sa couleur. Connaissant le gradient des matières (Delvigne, 1965) et la variation de la couleur du sol le long de la toposéquence il est permis d'envisager l'extension des résultats actuels aux sols en dessous de la latitude 7 degrés Nord de la Côte d'Ivoire. En effet, le concept de la toposéquence et ses implications sont valables pour toute la zone tropicale (Poss, 1978). Par ailleurs, cette étude est une confirmation du fait que la couleur du sol est la résultante des processus physico-chimiques et hydrodynamiques vu qu'elle permet l'identification des sols homogènes, notamment en ce qui concerne l'homogénéité chimique avec la notation TSL. Ces résultats représentent non seulement un acquis important pour l'amélioration de l'expérimentation agronomique, mais aussi, ils font de la couleur, un outil qui peut servir en agriculture de précision. En effet, la cartographie de l'hétérogénéité du sol est une étape importante de cette pratique (Mueller *et al.*, 2004) qui s'impose de plus en plus à l'agriculture. A cet effet, la méthode mériterait une confirmation pour la description de la micro variabilité du sol.

CONCLUSION

L'évaluation de la variabilité des sols ferrallitiques au-dessus du 7° degré Nord de la Côte d'Ivoire a révélé l'homogénéité des propriétés des sols du sommet (2.5YR) et du bas versant (10YR) des interfluves. Les sols de teintes 5YR et 7.5YR des versants supérieur et moyen de l'horizon de surface étant les plus hétérogènes. Les notations de la teinte du sol, de la profondeur et de la roche-mère permettent un échantillonnage des sols homogènes du point de vue physique, alors que la notation TSL de la couleur permet l'obtention des échantillons chimiquement homogènes.

La couleur du sol constitue ainsi un descripteur de leur hétérogénéité pouvant servir en expérimentation agronomique et pour l'interprétation des résultats analytiques.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les directions générales du Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO), du Bureau national d'études techniques et de développement (BNETD) et du Centre national de recherche agronomique (CNRA) ainsi que l'Initiative du riz pour l'Afrique (ARI), pour leur soutien à cette étude.

REFERENCES

- Akodo M. et K. Gboko. 1991. Etude morpho-pédologique de la région de Séguéla, feuille 2. Notice explicative et carte des unités morpho-pédologiques au 1/100 000. DCGTx, Bouaké, 71 p.
- Akodo M. et D. D. Djidji. 1993. Etude morpho-pédologique du degré carré de Dimbokro, feuille 1 (Daoukro). Notice explicative et carte des unités morpho-pédologiques au 1/100 000. DCGTx, Bouaké, 123 p.
- Akodo M. et D. D. Djidji. 1995. Etude morpho-pédologique du degré carré de Man, feuille 1. Notice explicative et carte des unités morpho-pédologiques au 1/100 000. DCGTx, Bouaké, 125 p.
- Akodo E. A. 1977. Etude de l'évolution biochimique des sols ferrallitiques forestiers de la basse Côte d'Ivoire, sous l'effet du défrichement. ORSTOM, Adiopodoumé. Multigr., 80 p.
- Ball D. F. and W. M. Williams. 1968. Variability of soil chemical properties: efficiency of sampling programmes on an uncultivated brown earth. *J. Soil Sci.* 19 : 379 - 391.
- Beaudou A. et R. Sayol. 1980. Etude pédologique de la région de Boundiali – Korhogo (Côte d'Ivoire). Cartographie et typologie sommaire des sols. Feuille de Boundiali, feuille de Korhogo à l'échelle 1/200 000. Trav. et Doc. N° 2. ORSTOM, Paris, 281 p.
- Black A. S. and S. A. Waring. 1977. The natural abundance of ¹⁵N in the soil water system of a small catchment area. *Aust. J. Soil Res.* 15 : 51 - 77.
- Blavet D. 1997. Hydro-pédologie d'un bassin versant représentatif d'un paysage sur socle granito-gneissique d'Afrique de l'Ouest (Togo). Relations avec le comportement d'une plante cultivée. Doc. ORSTOM. 2. Montpellier, 236 p.
- Burrough P. and J. Kool. 1981. A comparison of statistical techniques for estimating the spatial variability of soil properties in trial fields. *Sol.* 4 : 29 - 37.
- Boa D. 1989. Caractérisation, propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialité des sols gravillonnaires : Cas de Booro-Borotou (région de Touba, Nord-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Université d'Abidjan, 131 p.
- CPCS-Commission de pédologie et de cartographie des sols. 1967. Classification des sols : Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes des sols. Commission de pédologie et de cartographie des sols. République de Côte d'Ivoire, 56 p.
- Dabin D. 1970. Appréciation de la fertilité des sols ferrallitiques moyennement désaturés de la Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM N° 32* : 130 p.
- Dancette C. et J. F. Poulain. 1968. Influence de l'acacia albida sur les facteurs pédo-climatiques et les rendements des cultures. *Sols Afr.* 13 : 197 - 239.
- Delvigne J. 1965. Pédogénèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. *Mém. ORSTOM*, N° 13, Paris, 177 p.
- Diatta S. 1996. Les sols gris de bas de versant sur granito gneiss en région centrale de la Côte d'Ivoire. Organisation toposéquentielle et spatiale, fonctionnement hydrologique : conséquences pour la riziculture. Thèse de doctorat. Université Henri point carré. Nancy I, 85 p.
- Drees L. R. and Wilding L. P. 1973. Elemental variability within a sampling unit, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37 : 82 - 87.
- Eldin M. 1971. Le climat. In : M. Avenard, M. Eldin, G. Girou, J. Sircoulon, P. Touchebeuf, J. L. Guillaumet, E. Adjanooun (Eds.). *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mem. ORSTOM N° 50*, Paris : pp 77 - 101.
- Eschenbrenner V. et L. Badarello. 1978. Etude pédologique de la région d'Odienné (Côte d'Ivoire). Carte des paysages morpho-pédologiques, feuille d'Odienné à 1/200 000. ORSTOM, Paris, 123 p.
- FAO-Food and Agriculture Organization et UNESCO-United Nation Education Sciences and Culture Organization. 1974. *Soil map of world 1/5 000 000 I. Legend.* UNESCO. Paris, 53 p.
- Fofana M. 1985. Etude morpho-pédologique de détail pour l'exploitation d'un verger à Sirasso et Dianra au 1/10 000. Notice explicative et carte des unités pédologiques. DCGTx, Bouaké, 35 p.

- Fofana M. et K. Gboko. 1985. Etude morpho-pédologique de reconnaissance de la région de reconnaissance de la région de Tengréla. Notice explicative et carte des unités morpho-pédologiques au 1/100 000. DCGTx, Bouake, 120 p.
- Fofana M. et K. Gboko. 1986. Etude morpho-pédologique de reconnaissance de la région de reconnaissance de la région de Bouaké Sud, feuille 1. Notice explicative et carte des unités morpho-pédologiques au 1/100 000. DCGTx, Bouake, 65 p.
- Fofana M. et A. Konan. 1993a. Etude morpho-pédologique de la région de Séguéla, feuille 4 (Gohitafla). Notice explicative et carte des unités morpho-pédologiques au 1/100 000. DCGTx, Bouake, 70 p.
- Fofana M. et A. Konan. 1993b. Etude morpho-pédologique de la région de M'bahiakro, feuille 4. Notice explicative et carte des unités morpho-pédologiques au 1/100 000. DCGTx, Bouake, 70 p.
- Fofana M. et A. Konan. 1995. Etude morpho-pédologique de la région de Bondoukou, feuille 1. Notice explicative et carte des unités morpho-pédologiques au 1/100 000. DCGTx, Bouake, 75 p.
- Fritsch E. 1993. Organisation et fonctionnement de « système sol » en zone de contact forêt-savane du milieu tropical ouest africain (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). Tome II : le fonctionnement hydrique. Collection Étude de thèse. ORSTOM, Paris, 176 p.
- Gonzalez A. A., Leon A. and V. Savich. 1976. Variation in the mobile phosphate content of soils. Revista CENIC, Ciencias, Biologicas. 7 : 159 - 166.
- Hack H. R. B. 1976. Components of error in field experiments with cotton, groundnuts, kenaf and sesame in the Central Sudan rain lands. (I). Field and statistical methods, increasing precision by replication and its cost. Expl. Agric. 12 : 209 - 242.
- Hoskinson R. L., Pokrajac D., Obradovic Z. and A. Lazarevic. 2002. The unpredictability of soil fertility across space and time. In: IST (eds). Proc. 6th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, MN. Temple University. Website : [htt://www.ist.temple.edu](http://www.ist.temple.edu). [27 April 2008].
- Kang B. T. 1977. Effect of some biological factors on soil variability in the tropics. II. Effect of oil palm (*Elaeis guineensis*) tree. Plan and Soil. 47 : 451 - 462.
- Koné B. 2007. La couleur comme indicateur de la fertilité des sols : utilisation des données pour l'étude de la fertilité potentielle des sols ferrallitiques au-dessus de la latitude 7 degrés Nord de la Côte d'Ivoire. Thèse de l'université de Cocody, Abidjan, 146 p.
- Lao B. H. et D. D. Djidji. 1989. Etude morpho-pédologique de la région de Dabakala, feuille 1. Notice explicative et carte des unités morpho-pédologiques au 1/100 000. DCGTx, Bouake, 130 p.
- Lao B. H. et D. D. Djidji. 1990. Etude morpho-pédologique de la région de d'Odienné, Notice explicative et carte des unités morpho pédologiques au 1/10 000. Projet Soja. DCGTx, Bouake, 70 p.
- Lee R., Bailey M. J., Northey R. D., Barker P. R. and E. J. Gibson. 1975. Variation in some chemical and physical properties of three related soil types : Dannevirke silt loam, Kiwitea silt loam, and Marton silt loam, N. Z. J. Agric. Res. 18 : 29 - 36.
- Lévêque A. 1983. Etude pédologique et de ressources en sols de la région du Nord du 10^e parallèle en Côte d'Ivoire. Carte des unités morpho-pédologiques et de paysages morpho-pédologiques, partie ivoirienne des feuilles de Niellé, de tengréla et de Tienko à 1/200 000. Notice explicative N° 96. ORSTOM, Paris, 126 p.
- Monnier Y. 1979. Les sols. In : Jeune Afrique (Eds.). Les atlas de Jeune Afrique : la Côte d'Ivoire. Jeune Afrique, Paris : pp 20 - 21
- Moormann F. R. and B.T. Kang. 1978. Micro variability of soils in the tropics and its agronomic implications with special references to West Africa. In : Diversity of soils in the tropics. AAA Special publication. 34 : 29 - 43.
- Moreau R. 1990. Variations spatiales d'une couverture pédologique relativement homogène et expérimentation agronomique en basse Côte d'Ivoire. ORSTOM Fond Documentaire, N° 27137, Land development-Management of acid soils : 163 - 173.
- Moreau R. 1983. Evolution des sols sous différents modes de mise en culture, en Côte d'Ivoire forestière et préforestière. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XX, N°4 : 311 - 325.
- Mueller T. G., Pusuluri N. B., K. K. Mathias, P. L. Cornelius and R. I. Barnhisel. 2004. Soil-Specific Soil Fertility Management : A Model for Map Quality. Soil Sci. Soc. Am. J. 68 : 2031 - 2041.
- Paterson R. G. and L. D. Calvin. 1965. Sampling. In : C. A. Black (Eds.). Methods of Soil

- Analysis. Part I. Madison, Wisconsin, Agronomy 9 ASA : 54 - 72.
- Paquet H. , G. Bocquier et G. Millot. 1970. Un nouveau type d'accumulation oblique dans les paysages géochimiques : l'invasion remontante de la montmorillonite. C. R. Acad. Sc., Sér. D. T.270 : 460 - 463.
- Perraud A. 1967. Notice explicative de l'esquisse pédologique au 1/500 000. ORSTOM. Multigr. Adiopodoumé, 93 p.
- Poss R. 1978. La dynamique de l'eau saturante dans les sols de la périphérie d'un Inselberg, en milieu ferrallitique de transition (Nord de la Côte d'Ivoire) .Cah. ORSTOM. sér. Pédol.I.XVI.(2) : 131-154.
- Poss R. 1982. Etude morpho-pédologique de la région de Katiola (Côte d'Ivoire). Carte des paysages et des unités morpho-pédologiques. Feuille Katiola à 1/200 000. Notice explicative N°94. ORSTOM, Paris, 142 p.
- Poss R. et C. Valentin. 1983. Structure et fonctionnement d'un système eau-sol-végétation : une toposéquence ferrallitique de savane (Katiola, Côte d'Ivoire). Cah. ORSTOM., Sér. Pédol., Vol. XX. (4) : 341 - 360.
- Ramirez A. C., Palacios V. O. and G. P. Z. De Lara. 1981. Spatial interpolation of data for salt content in soil. *Agrociencia* 45 : 89 - 103.
- Sanchez P. A. Villachica J. H. and D. E. Band. 1983. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rain forest in Peru. *Soil. Sci. Amer. J.* 47 : 1171 - 1178.
- Seubert C.E., Sanchez P. A. and C. Valverde. 1977. Effects of land clearing methods on soil properties and crop performance in Ultisol of the Amazon Jungle of Peru. *Trop. Agr.* 54 : 307 - 321.
- ORSTOM-Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer. 1971. Méthodes d'analyse utilisées au laboratoire. ORSTOM, Paris, 30 p.
- Tagini B. 1965. Esquisse géotechnique de la Côte d'Ivoire. SODEMI. Rapport n° 107, Abidjan. Côte d'Ivoire, 94 p.
- Tian G. 1992. Biological effect of plant residues with contrasting chemical compositions. On plant and under humid condition. Wageningen University, 114 p.
- Vauclin M. et J. L. Chopart. 1991. Méthodologie d'analyse de la variabilité spatiale de dispositifs agronomiques. In : AUPELF-UREF (Eds.). Utilisation rationnelle de l'eau des petits basins versants en zone aride. John Libbey Eurotext, Paris : pp 307 - 315.
- Viennot M. 1983. Etude pédologique de la région de Touba (Côte d'Ivoire). Carte des unités morpho-pédologiques et des paysages morpho-pédologiques, feuille de Touba à 1/200 000. Notice explicative N° 98. ORSTOM, Paris, 91 p.
- Walker P. H, Hall G. F. and R. Protz. 1968. Soil trend, and variability across selected landscapes in Iowa. *Soil sci. Soc. Amer. Proc.* 32 : 97 - 101.
- Wang C. M. 1971. What coefficient is the best indicator of the amount of soil heterogeneity. I. *Mem. of college of Agriculture, National Taiwan University*, 12 : 1 - 23.
- Webster R. and M. O. Oliver. 1990. *Statistical methods in soil and land resources survey.* Oxford University Press, 350 p.
- Zhang J., Quine A. T. and S. G. Ni. 2006. Stock and dynamics of SOC in relation to soil redistribution by water and tillage erosion. *Global Change Biology* 12 (10) : 1834 - 1841.