

Indicateurs de dégradation physique des sols dans le Nord de la Côte d'Ivoire : cas de Boundiali et Ferkessédougou

**Kouamé Antoine N'GUESSAN¹, Nafan DIARRASSOUBA¹, Konan Alphonse ALUI^{1*},
Krobga Yves NANGHA¹, Insa Jésus FOFANA¹ et Albert YAO-KOUAME²**

¹ *Université Peleforo Gon Coulibaly Korhogo, UFR des Sciences Biologiques, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire*

² *Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières,
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, courriel : aluialphonse@gmail.com

Résumé

En vue d'inventorier quelques indicateurs de la dégradation physique des sols dans le Nord de la Côte d'Ivoire, différents segments topographiques, de haut versant (HV), mi versant (MV) et bas versant (BV) ont été considérés sur des toposéquences implantées, à Boundiali (Guinguereni), bassin versant de la Bagoué et à Ferkessédougou (Nabankaha), bassin versant du Bandama. Des échantillons de sols ont été prélevés dans des fosses pédologiques ouvertes sur des sites des cultures et de jachères de courte durée en HV, à MV et en BV. Les descriptions morpho pédologiques et analyses physiques réalisées indiquent que le surpâturage et la mise en culture des terres amenuisent la couverture végétale ainsi que le taux de matière organique. Les sols observés ont une texture majoritairement sablo-argilo-limoneuse (30% d'argile) avec une faible imprégnation humifère. Les valeurs de densité apparente (d_a) qui varient de 0,67 à 1,49 g.cm⁻³, indiquent une compaction des sols cultivés en mi et bas de versant, avec une perméabilité médiocre (13 à 17 mm.h⁻¹). Des corrélations significatives ($r \pm 0,70$ à 0,95) observées entre l'infiltration, le taux de matière organique, la densité apparente et l'humidité témoignent que la compaction est à l'origine de l'augmentation de la densité apparente des sols, de la diminution de la conductivité hydraulique et donc de leur dégradation physique.

Mots-clés : *dégradation physique, compaction, indicateurs, Boundiali, Ferkessédougou, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Physical indicators of soil degradation in northern Côte d'Ivoire : Case of Boundiali and Ferkessédougou

To perform the monitoring of some physical indicators of degradation in northern Côte d'Ivoire, different topographic segments, at the upper slope (HV), middle slope (MV) and lower slope (BV) were considered on implanted toposequences at Boundiali (Guinguereni), the watershed of Bagoué and at Ferkessédougou (Nabankaha), the watershed of Bandama. Soil samples were taken from soil pits open on sites of crops and short fallow at HV, MV and BV.

Morpho pedological descriptions and physical analyzes indicate that overgrazing and cultivation of land deteriorate vegetation cover and the organic matter content. The observed soils are predominantly sandy clayey loam texture (30% clay with low humus impregnation). The bulk density values (d_a), ranging from 0.67 to 1.49 g.cm^{-3} , indicates that soil compaction grown in middle and lower slope, with poor permeability (13-17 mm.h^{-1}). Significant correlations ($r \pm 0.70$ to 0.95) observed between infiltration, organic matter rates, bulk density and moisture show that the compaction is at the origin of the increase of the soil bulk density, the reduction of the hydraulic conductivity and thus their physical degradation.

Keywords : *physical degradation, compaction, indicators, Boundiali, Ferkessedougou, Côte d'Ivoire.*

1. Introduction

Le travail du sol est une pratique ancestrale, dont un des buts premiers est de créer un environnement favorable à la germination des graines et au développement des racines [1]. Afin de cultiver des superficies plus grandes, les communautés villageoises pratiquent une mécanisation basée sur le travail des animaux. C'est la culture attelée, correspondant à l'emploi de l'énergie animale (buffles, chevaux, ânes, mulets, chameaux et bœufs) dans les travaux agricoles à la place de la force humaine [2]. Il s'agit d'une forme de mécanisation qui a connu une évolution non négligeable au fil des années, et qui, par rapport à la mécanisation manuelle, permet de gagner du temps, du confort et d'employer moins de main d'œuvre [3]. Cependant, au cours du XX^{ème} siècle, les résultats de nombreuses recherches menées dans le monde entier ont révélé des problèmes communs aux sols labourés tels : le tassement, la baisse des teneurs en matière organique, l'érosion et la limitation de la circulation de l'eau [1,4].

Les principales causes du tassement du sol sont liées directement ou indirectement au développement de la mécanisation. La cause indirecte est l'appauvrissement du sol en matière organique, dû à certaines modifications des pratiques culturales, au surpâturage, etc. Or, le concept de l'agriculture durable vise, principalement, à maintenir la production végétale qui ne s'accomplit qu'avec la préservation de la capacité de production des sols en termes de fertilité, et de qualité [4]. La préservation des ressources naturelles est l'un des enjeux de recherche en lien avec le développement durable. Dès lors, de nombreuses questions se posent aujourd'hui en Afrique, quant à l'évolution des sols et à leur possible dégradation en fonction de leur utilisation [5]. La présente étude se veut une contribution à la connaissance du phénomène de compaction et d'érosion des sols de la zone nord de la Côte d'Ivoire (Boundiali et Ferkessedougou). Le risque de dégradation de la structure du sol par l'utilisation inconsidérée des engins agricoles n'est pas suffisamment compris par les agriculteurs d'Afrique de l'Ouest. C'est pourquoi, la variabilité spatiale de la densité apparente, de la porosité, de la perméabilité et de l'humidité, sont ici abordés afin d'identifier des indicateurs de dégradation physique de quelques sols de la zone nord de la Côte d'Ivoire et, appeler l'attention de chacun et de tous, sur leurs conséquences environnementales.

2. Matériel et méthodes

2-1. Sites d'étude

Les travaux ont été menés dans les départements de Boundiali (Guinguereni, bassin versant de la Bagoué) et de Ferkessedougou (Nabankaha, bassin versant du Bandama), au Nord de la Côte d'Ivoire, entre les longitudes 5°15' et 7°20' Ouest et les latitudes 9° et 10° Nord (*Figure 1*).

Le relief de la zone est monotone, avec des altitudes variant, en moyenne, entre 300 et 400 m ; toutefois, des inselbergs granitiques culminant parfois à plus de 500 m d'altitude existent dans le paysage. La région est aussi constituée de plateaux latéritiques pouvant atteindre quelquefois trois mètres de hauteurs, témoins d'ancienne(s) pénéplaine(s). Ces plateaux sont affectés d'une pente très faible et régulière vers une pluviométrie moyenne annuelle oscillant autour de 1200 mm de pluie ; on y observe des galeries forestières le long des cours d'eau, constituées d'une végétation de savane boisée et arbustive [6]. Les formations géologiques de la zone sont constituées d'une succession de bandes de roches schisteuses, de roches migmatites et de roches plutoniques. Il s'agit essentiellement de granites, de granodiorites, de schistes indifférenciés et des schistes sériciteux [7], dont dérivent plusieurs types de sols, à savoir : des Ferralsols, des Cambisols, des Fluvisols et des Luvisols [8].

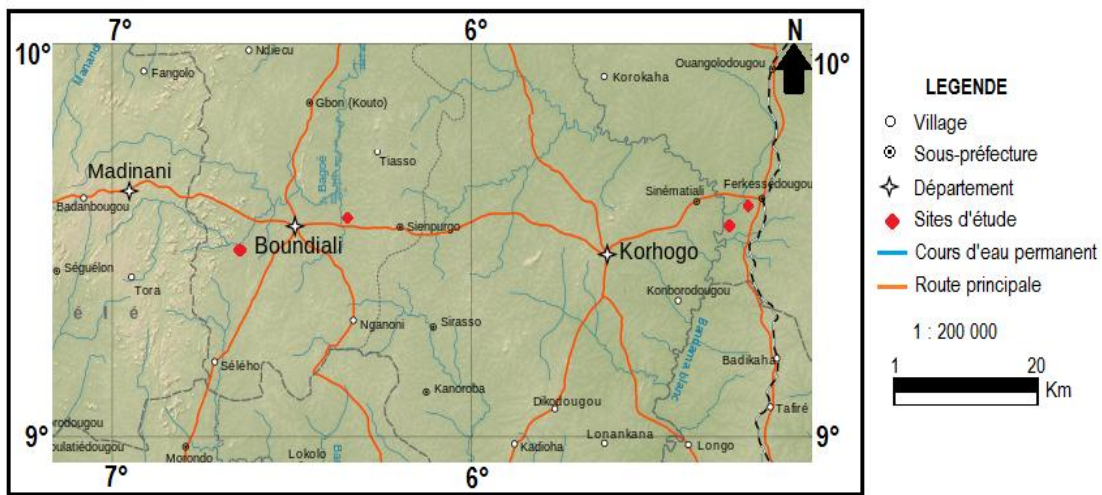


Figure 1 : Situation de la zone d'étude

2-2. Méthodes

2-2-1. Echantillonnage

En vue d'une comparaison des sites des zones de production agricole (anacarde, coton et riz) avec celles qui n'abritent pas fréquemment des cultures (jachères de courtes durées), des toposéquences ont été implantées, et différents segments topographiques : haut versant (HV), mi versant (MV) et bas versant (BV) ont été considérés au niveau de chaque toposéquence, à l'effet de détecter d'éventuelles différences (propriétés physiques), selon les types de sol. Au total, 270 échantillons de sols ont été prélevés dans différents horizons (0-20cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm et 80-120 cm), de 18 fosses pédologiques (100 cm x 80 cm x 120 cm) pour des mesures de la densité apparente, de la porosité, de la perméabilité et de l'humidité. Pour ces différents prélèvements, un cylindre (150 cm³, pour 6,5 cm de diamètre) est enfoncé, verticalement, dans les horizons de surface, après dégagement de la litière et, latéralement, pour les horizons profonds. Une pelle est introduite derrière la partie distale du cylindre, dégagé sur le côté, puis soigneusement rasé. Le contenu de chaque cylindre prélevé a été conservé à part afin d'étudier la variabilité intra-horizon.

2-2-2. Mesures effectuées

Les caractéristiques du sol observées sont la densité apparente (d_a , g/cm³), qui est la masse d'une unité de volume du sol séché à 105°C. Ce volume comprend aussi bien les solides que les pores.

Elle a été mesurée par la méthode des cylindres, en utilisant les échantillons non perturbés et frais, connaissant le poids sec constant des échantillons à 105°C et le volume des cylindres des prélèvements utilisés [9]. La porosité totale (PT) est estimée à partir d'une densité de solide de 2,65 g/cm³ (densité réelle = dr) et de la densité apparente sèche (da) des échantillons à structure conservée dans les cylindres de Kopecky. Elle est déterminée à partir de *l'équation (1)*:

$$PT = 100 - \frac{da}{dr} * 100 \quad (1)$$

Un test de perméabilité permettant de mesurer la vitesse d'infiltration d'eau (indice K) par percolation a été effectuée. Un échantillon de terre séchée et tamisée à 2 mm, sous une charge d'eau constante permet de mettre en évidence la destruction des agrégats sous une infiltration contrôlée. La vitesse d'infiltration ou de perméabilité se calcule selon *l'équation (2)*:

$$K (mm/h) = ev/HS \quad (2)$$

Avec : *e* = hauteur (cm) de la colonne de terre; *v* = volume d'eau percolé (cm³); *H* = Hauteur (cm) de charge d'eau et *S* = Section intérieure du tube (cm²).

Pour évaluer la capacité de rétention en eau du sol sur les différents modes de travail du sol, des échantillons de sol ont été prélevés et soumis à des pressions différentes. Les mesures des humidités du sol aux pF0, pF3 et pF4,2 ont été effectuées.

2-2-3. Analyses statistiques

Pour apprécier l'effet du mode de travail du sol sur les différents paramètres étudiés, les différentes mesures effectuées ont fait l'objet d'une analyse de variance, suivie du test de Tukey pour les mesures de la densité apparente (da), et la perméabilité (K). Celles des fréquences relatives de la porosité totale (PT) et des taux d'humidités pondérales (H) selon les différentes profondeurs, sans distinction des segments topographiques, ont été obtenues par des analyses d'association du tableau de contingence du test de chi deux (χ²). Les différentes dépendances entre les paramètres sont identifiées avec les tests de corrélation. Ces analyses statistiques sont effectuées au moyen du logiciel STATISTICA 7.1.

3. Résultats

3-1. Description morphologique des sols des différents sites

Les sols des différents sites de production agricole (anacarde, coton et riz) et sites témoins prospectés présentent, dans leur grande majorité, en tenant compte des horizons de surface, les caractéristiques descriptives ci-après (*Figure 2*). Au niveau du haut de versant, les sols qui abritent la culture de l'anacarde ont les horizons superficiels qui sont de couleur brun à brun tachetée (2,5 YR 4/3 à 7,5YR 3/4), avec une faible pénétration humifère, frais, texture sablo limoneux (sable fin et grossier); de structure polyédrique à tendance grumeleuse, notamment, au niveau des racines, très peu poreux, cohérent, avec quelques racines, millimétriques, d'orientation sub-horizontale, de classe de drainage 3,5, avec une limite nette, la transition est progressive. La contrainte au niveau de ces sols est la faible épaisseur des horizons (1 à 5 cm), de types A1 et A3.

Au niveau des sols témoins (jachères) les différences se situent au niveau de la pénétration humifère qui est moyenne, les horizons, épais de 10 cm, sont poreux. Les sols qu'on rencontre au niveau du haut de versant sont pour la plus part des dystrics Ferralsols. Au niveau de la mi- versant, les sols qui abritent la culture du coton ont, dans leur grande majorité, les caractéristiques descriptives suivantes : une humidité moyenne à faible ; de coloration brun foncé à brun rouge ou brun (2,5 YR à 7,5YR), le plus souvent tacheté (2,5YR/4/3) ; une pénétration humifère faible à moyenne ; une texture sablo argileuse, à argilo sableuse, à sables moyen et grossier, avec une teneur en argile estimée, de 10 à 15 % dans les horizons de surface. L'ensemble de la porosité est moyenne à faible, avec une présence d'assez nombreuses racines, de taille, essentiellement, millimétrique, et à orientation préférentielle sub horizontale. La structure de ses sols est polyédrique, sub anguleuse à tendance grumeleuse au niveau des racines, tant au niveau de l'ensemble de l'horizon qu'à celui du débit.

La cohérence est relativement moyenne à forte, due à la présence de très nombreux éléments grossiers (70 à 80%), notamment, des concrétions et nodules, ainsi que des grains de quartz, qui ont tendance à se prendre en masse et à s'indurer. Ce sont des sols relativement peu profonds. Les types d'horizons sont AL (horizons de laboure) et A3. Au niveau des sols témoins (jachères), la teneur en matière organique est relativement élevée et les épaisseurs, dans l'ordre de 7 à 11 cm. Les sols de mi-versant sont, pour la plus part, des Plinthic Ferralsols. Les sols du bas de versant, qui abritent la culture du riz, ou les sols témoins (jachères), sont caractérisés par un horizon brun (7,5 YR 3/1) tacheté, ocre rouille (7,5YR 4/4), apparemment non humifère, argileux, à structure massive à polyédrique subanguleuse, peu poreux, cohérent, comportant de nombreuses racines, millimétriques d'orientation sub horizontale ; de classe de drainage 3,8, avec une limite nette, et la transition progressive. La contrainte à la mise en valeur de ces Fluvisols aux horizons A3 à B21 réside au niveau de l'épaisseur.

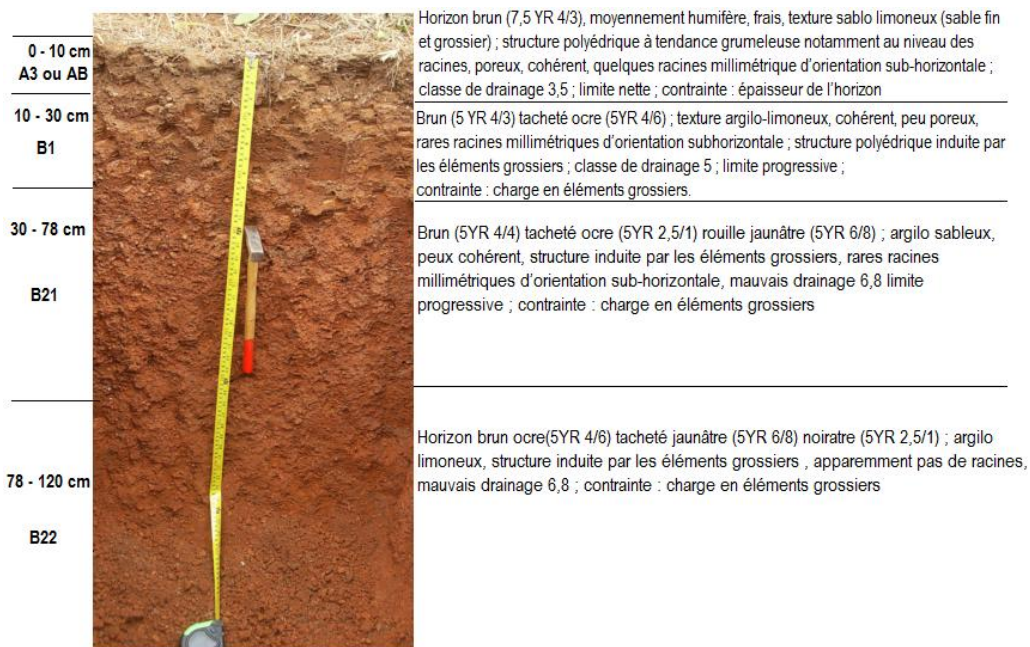


Figure 2a : *Dystric Ferralsol du haut de versant (sol abritant le verger d'anacardier)*

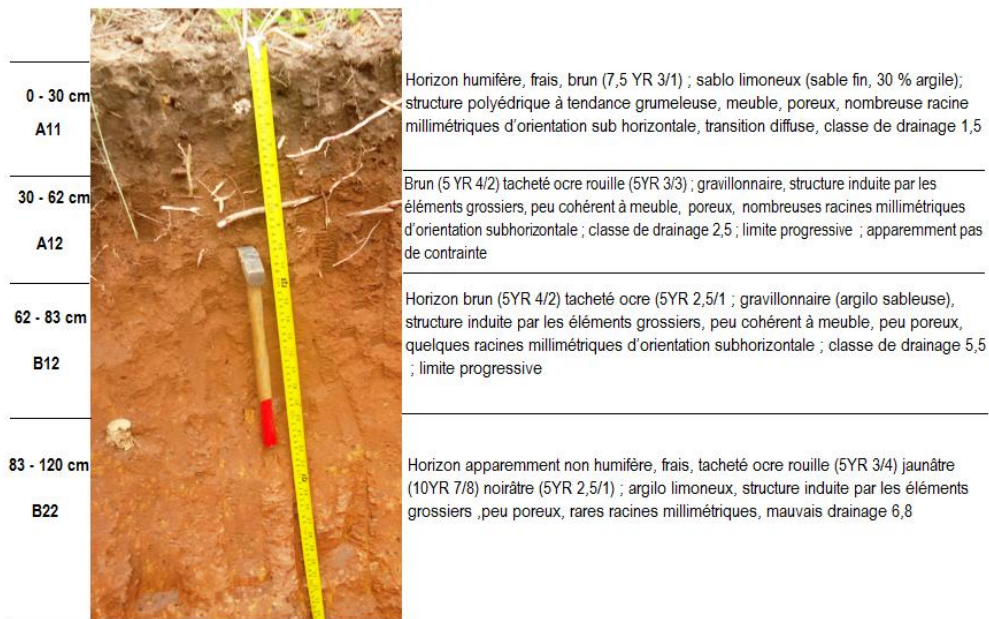


Figure 2b : *Plinthic Ferralsol de la mi versant (sol témoin = jachère)*

3-2. Densité apparente et porosité totale du sol

La densité apparente du sol traduit globalement l'état de compaction du matériau et, indirectement, la porosité totale. Lorsqu'elle est élevée, le sol ne contient pas des pores nécessaires à la croissance des racines, les capacités en eau sont réduites et, la circulation des fluides ralentie. Les résultats présentés dans le cadre de cette étude concernent la couche de sol entre 0 et 120 cm. Les différentes analyses montrent les valeurs de densité apparente (D_a) variant, toutes profondeurs confondues, de 0,67 à 1,49 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Le **Tableau 1** illustre une variation significative (F calculée = 167,83, $P \leq 0,01$) de la densité apparente (D_a) selon les différents modes d'utilisation des sols investigués. En effet, une nette différence est marquée au niveau de chaque position topographique, notamment, au niveau des sols de bas de versant, avec des densités apparentes plus élevées sur l'ensemble des profils ouverts (de 1,29 à 1,49 g/cm^3). Ces sols peuvent être considérés comme étant moyennement compacts. Les valeurs, les plus faibles pour les différentes couches étudiées sont observées au niveau des sols du haut de versant laissés en jachère. Les densités apparentes relevées varient de 0,67 à 0,94 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Ces horizons de sols sont très à lâches. Dans la majorité des valeurs relevées, les horizons de surface ont une D_a supérieure à 1, excepté l'horizon supérieur du profil de la jachère du haut de versant. Les horizons de labours sont classés dans les densités apparentes, moyennement compactes à compactes. La porosité totale étant calculée à partir de la densité apparente, on retrouve logiquement une tendance inversée (**Tableau 2**). Ainsi, la porosité est moins de 50% dans les sols qui abritent les cultures de riz et de coton, surtout les horizons de surface (horizon de labour). Les valeurs obtenues indiquent, de manière générale, que les pratiques culturales et la topographie agissent sur ce paramètre physique du sol de façon considérable. Les sols des jachères du haut de versant ont des valeurs de porosité relativement plus élevées (64,5 à 74,72%) par rapport aux autres sols inventoriés.

Tableau 1 : Densités apparentes relevées sur les sols des différents sites

Paramètre physique	Sites	Type de culture en fonction de la position topographique							F calculée	P calculée	P théorique
		Haut de versant		Mi- versant		Bas de versant					
		Epaisseur de l'horizon (cm)	Sol abritant la culture de l'anacarde	Jachère 1	Sol abritant la culture du Coton	Jachère 2	Sol abritant la culture du Riz	Jachère 3			
Densité apparente (g/cm ³)	Boundiali	0-20 cm	1,37 ± 0,21 b	0,67 ± 0,05 d	1,38 ± 0,22 b	1,33 ± 0,17 bc	1,41 ± 0,28 ab	1,29 ± 0,16 bc	167,83 **	0,0012	≤ 0,01
		20-40 cm	1,24 ± 0,13 c	0,75 ± 0,05 d	1,44 ± 0,31 ab	1,11 ± 0,11 dc	1,47 ± 0,30 a	1,43 ± 0,3 ab			
		40-60 cm	1,23 ± 0,13 c	0,82 ± 0,06 d	1,45 ± 0,33 a	1,05 ± 0,11 dc	1,43 ± 0,3 ab	1,44 ± 0,31 ab			
		60-80 cm	1,15 ± 0,11 dc	0,91 ± 0,06 d	1,46 ± 0,34 a	1,03 ± 0,09 dc	1,42 ± 0,29 ab	1,47 ± 0,35 a			
		80-120 cm	1,11 ± 0,11 dc	0,93 ± 0,06 d	1,45 ± 0,33 a	0,93 ± 0,06 d	1,41 ± 0,28 ab	1,49 ± 0,37 a			
	Ferkessédougou	0-20 cm	1,36 ± 0,20 b	0,87 ± 0,06 d	1,39 ± 0,23 b	1,34 ± 0,18 bc	1,4 ± 0,28 ab	1,31 ± 0,16 bc			
		20-40 cm	1,28 ± 0,15 bc	0,89 ± 0,06 d	1,47 ± 0,35 a	1,12 ± 0,11 dc	1,48 ± 0,31 a	1,42 ± 0,29 ab			
		40-60 cm	1,25 ± 0,14 c	0,83 ± 0,06 d	1,45 ± 0,33 a	1,13 ± 0,12 dc	1,44 ± 0,31 ab	1,44 ± 0,31 ab			
		60-80 cm	1,24 ± 0,13 c	0,94 ± 0,06 d	1,43 ± 0,3 ab	1,08 ± 0,11 dc	1,42 ± 0,29 ab	1,45 ± 0,33 a			
		80-120 cm	1,12 ± 0,1 dc	0,91 ± 0,06 d	1,45 ± 0,33 a	1,05 ± 0,11 dc	1,41 ± 0,28 ab	1,47 ± 0,35 a			

Les moyennes affectées d'une même lettre, dans une même colonne et une même ligne, ne sont pas significativement différentes, au seuil $\alpha = 0,05$, selon la méthode de Tukey. ns = non significative; * = significative; ** = hautement significative et *** = très hautement significative.

Tableau 2 : Porosités relevées dans les sols des différents sites

Paramètre physique	Sites	Epaisseur de l'horizon (cm)	Type de culture en fonction de la position topographique					X ² calculé	X ² théorique	
			Haut de versant	Mi-versant	Bas de versant					
Porosité (%)	Boundiali	0-20 cm	48,30	74,72	47,92	49,81	46,79	51,32	89,72	21,026
		20-40 cm	53,21	71,70	45,66	58,11	44,53	46,04		
		40-60 cm	53,58	69,06	45,28	60,38	46,04	45,66		
		60-80 cm	56,60	65,66	44,91	61,13	46,42	44,53		
		80-120 cm	58,11	64,91	45,28	64,91	46,79	43,77		
	Ferkessédougou	0-20 cm	48,68	67,17	47,55	49,43	47,17	50,57		
		20-40 cm	51,70	66,42	44,53	57,74	44,15	46,42		
		40-60 cm	52,83	68,68	45,28	57,36	45,66	45,66		
		60-80 cm	53,21	64,53	46,04	59,25	46,42	45,28		
		80-120 cm	57,74	65,66	45,28	60,38	46,79	44,53		

3-3. Perméabilité des sols investigués

La perméabilité K d'un sol est la capacité de ce dernier à infiltrer l'eau. Il s'agit d'une vitesse de circulation de l'eau libre entre les grains, l'eau « pelliculaire », « collée » autour des grains restés immobiles. La perméabilité dépend de la texture du sol et de sa structure (homogène, fissures...). Plus un milieu est perméable (K grand), plus l'eau s'y infiltre. Un sol est considéré comme imperméable lorsque le coefficient K est inférieur à 10^{-8} m/s ; ce qui correspond à 0,036 mm/h. A l'inverse, au-delà de 5.10^{-5} m/s, ce qui correspond à 180 mm/h, le sol est considéré comme très perméable, et son aptitude à l'infiltration excellente. En considérant les horizons de labour, c'est-à-dire les deux premiers (0-20 et 20-40 cm), et en exprimant K en mm/h, les différentes données obtenues sur les sites de Boundiali (**Figure 3a**), comportent une différence significative ($F_{cal} = 103,23$; $P_{cal} = 0,0027$). De façon générale, il y a une décroissance des valeurs enregistrées, des horizons superficielles aux plus profonds sauf, les sols de jachères, 2 au niveau de la mi versant, où l'on constate le contraire (28 à 32 mm/h). Les sols de bas de versant indiquent des valeurs qui sont peu perméables à médiocres (10 à 13 mm/h), contre les sols à cotonnier et à anacardier de mi versant et du haut de versant, qui ont une perméabilité médiocre (14 à 25 mm/h). Les sols des jachères du haut de versant enregistrent les valeurs de l'ordre de 61 à 67 mm/h, qui en font des sols assez perméables. Au niveau de Ferkessédougou (**Figure 3b**), les valeurs de perméabilité enregistrées sont de l'ordre de 13 à 17 pour les bas de versants, de 17 à 35 pour les mi versants, et 17 à 70 pour les hauts de versants. Les analyses statistiques appliquées à ces valeurs indiquent une différence hautement significative ($F_{cal} = 129,33$; $P_{cal} = 0,0056$). Les sols des jachères du haut de versant donnent les valeurs les plus élevées (66 à 70 mm/h), témoins d'une assez bonne perméabilité. Les sols au niveau de la culture du riz ont une perméabilité qui est médiocre (13 à 15 mm/h).

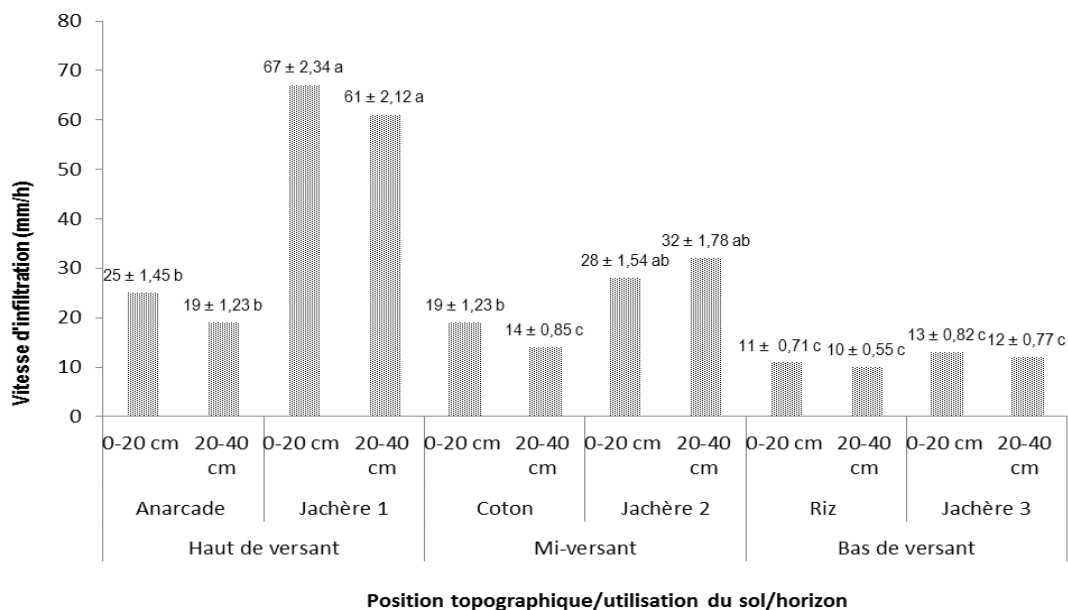


Figure 3a : Vitesse d'infiltration de l'eau dans les différents horizons des sols du site d'étude de Boundiali (Les moyennes affectées d'une même lettre, ne sont pas significativement différentes)

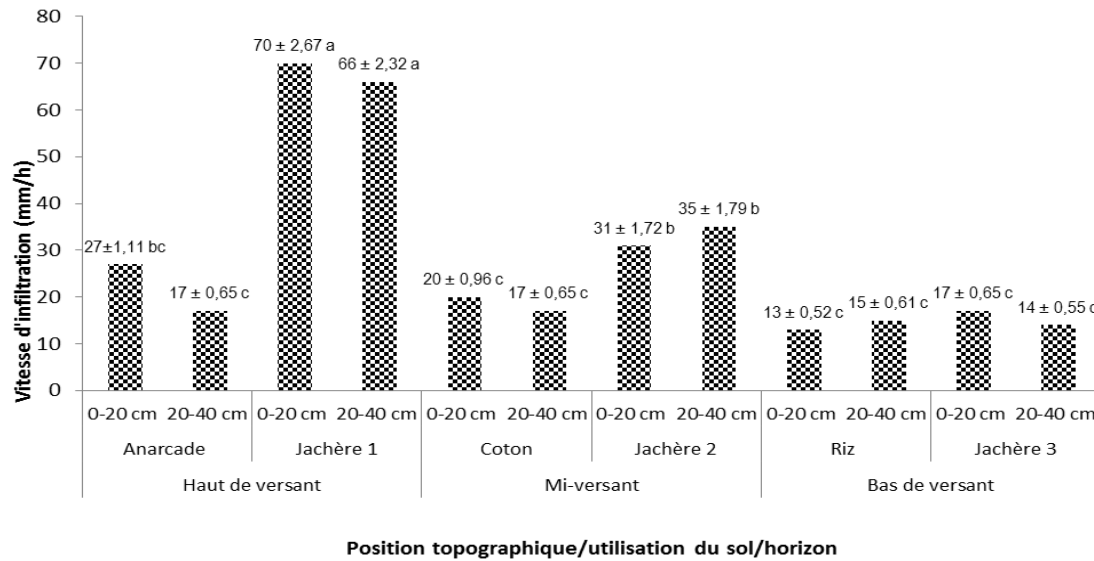


Figure 3b : Vitesse d'infiltration de l'eau dans les différents horizons des sols du site d'étude de Ferkessedougou (Les moyennes affectées d'une même lettre, ne sont pas significativement différentes)

3-4. Humidité des sols investigués

Les humidités des sols des différents sites d'étude de la **Figure 4** indiquent des valeurs obtenues après les analyses, de l'ordre de 9 à 33%. Les tests de comparaison des moyennes effectués à travers les analyses statistiques indiquent une différence significative, quel que soit le lieu d'étude ($\chi^2_{cal} = 98,31$, $\chi^2_{théor} = 21,16$). En tenant compte de la variation topographique, les sols du bas de versant sont plus humides (27 à 33%) par rapport à ceux du haut de versant (19 à 27%) et du mi versant (9 à 15%) quel que soit le site d'étude.

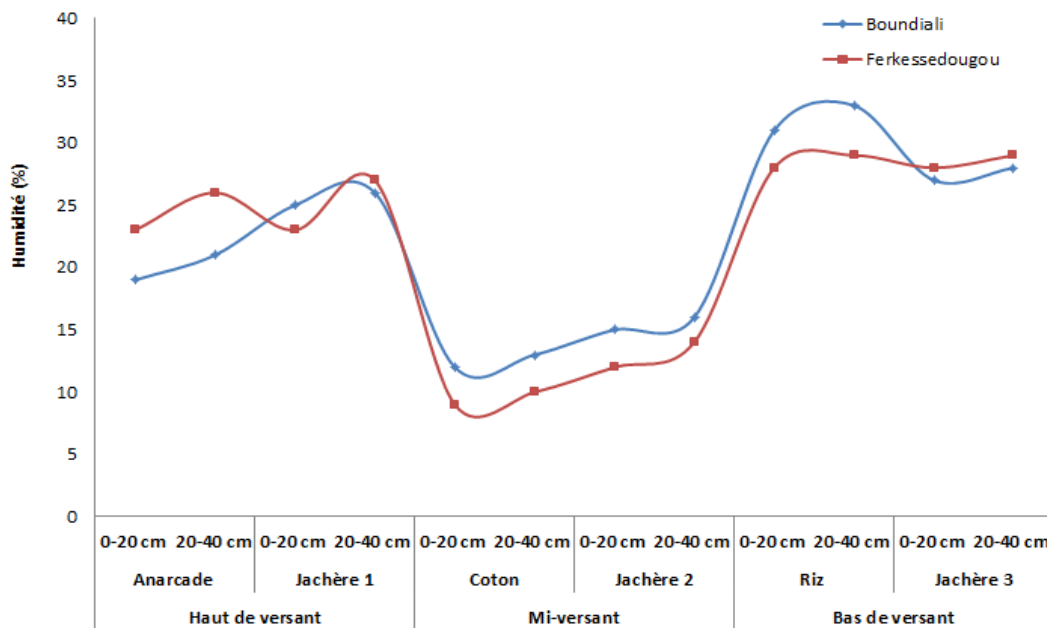


Figure 4 : Evolution de l'humidité des sols des différents sites de l'étude

3-5. Interactions entre les différents paramètres physiques des sols des différents sites

Les différents tests de corrélations réalisés entre les variables des sols ont donné plusieurs significativités (**Tableau 3**). Ainsi, au niveau du site de Boundiali, les corrélations les plus significatives ont été observées entre la densité apparente et la vitesse d'infiltration des eaux. Ce couple de variables (Da-K) a donné pour coefficient de corrélation positif $r = 0,92$ en haut de versant, dans les sols à jachère, et $r = 0,95$ dans les champs de coton, à mi versant. Il est négatif ($r = - 0,93$) en bas de versant, dans les sols de la jachère. La porosité totale (PT) et l'humidité (H) ont donné un coefficient de corrélation négatif qui est $r = - 0,76$ au niveau des sols abritant l'Anacarde en haut de versant. Au niveau des sites de Ferkessédougou les coefficients de corrélation les plus significatifs sont $r = 0,95$ pour le couple de variables Da-K, pour les sols de la mi versant sous culture de cotonnier, $r = - 0,94$ (PT – K) pour les sols abritant la jachère en haut de versant. Au niveau du bas de versant la porosité totale (PT) et l'humidité (H) sont moyennement corrélées ($r = - 0,87$). Les données d'analyse de corrélation indiquent que la densité apparente et la vitesse d'infiltration restent toujours corrélées ($r = 0,95$) à mi versant, surtout dans les sols à cotonnier.

Tableau 3 : *Corrélation entre les paramètres des sols des différents sites.*

Localité	Position topographique	Utilisation du sol	Couple de Variables (X;Y)	Coefficient de corrélation r	r ²	t	(Pr> t)	Significativité
Boundiali	Haut de versant	Jachère 1	Da - K	0,92	0,8464	17,71	0,00024	**
		Anacardier	PT - H	-0,76	0,5776	4,51	0,0176	*
	Mi versant	Cotonnier	Da - K	0,95	0,9025	21,34	0,000365	**
		Jachère 2	H - K	0,82	0,6724	9,22	0,00128	**
	Bas de versant	Riz	PT - K	0,94	0,8836	19,88	0,00045	**
Jachère 3		Da - H	-0,93	0,8649	20,94	0,00041	**	
Ferkessédougou	Haut de versant	Anacardier	K-H	-0,88	0,7744	10,23	0,0143	*
		Jachère 1	PT - K	-0,94	0,8836	21,23	0,0122	**
	Mi versant	Cotonnier	Da - K	0,95	0,9025	20,89	0,000234	**
		Jachère 2	PT - H	0,82	0,6724	9,21	0,0112	*
	Bas de versant	Jachère 3	Da - K	-0,87	0,7569	9,12	0,0123	*
Riz		PT - H	-0,91	0,8281	9,03	0,0221	*	

4. Discussion

La dégradation des sols a tendance à s'accroître sur quelques sols de Boundiali et de Ferké, au Nord de la Côte d'Ivoire. Il nous a été constaté de voir une forte activité anthropique sur ces sols (cultures et élevages). L'implantation des toposéquences et la description des profils de sol nous a permis de comprendre que le surpâturage a un effet dommageable sur la structure du sol. En effet, il apparaît nettement que le piétinement du bétail et la dégradation de la strate végétale modifient la structure du sol (fermeture des pores, tassement, etc.) en rendant plus facile le ruissellement [10,11]. Les sols des cultures investigués au cours du présent travail ont, pour la plus part, une très faible pénétration humifère et une texture à dominance sablo-argilo-limoneuse, surtout à mi versant. Cela est certainement dû au surpâturage et à la mise en culture, qui ont fortement contribué à réduire la couverture végétale ainsi que le taux de matière organique, favorisant ainsi la compaction du sol [12]. Ainsi, la conséquence des faibles teneurs en matière organique peut, à long terme, être préjudiciable à la fertilité du sol.

A cet égard, il a été signalé qu'un sol dont le taux de matière organique est bas se compacte facilement et, perd, de ce fait, une partie de sa fertilité physique [13]. La compaction est à l'origine de l'augmentation de la densité apparente du sol, et de la diminution de la conductivité hydraulique [14,15]. La couverture végétale est un facteur important en aménagement des bassins versants, car elle assure une protection du sol contre l'effet de la pluie. La densité de la végétation joue, elle aussi, un important rôle dans la limitation du ruissellement et la réduction du taux d'évaporation, ainsi qu'au niveau de l'augmentation de la capacité de rétention du bassin [13]. Ainsi donc, le décapage des horizons humifères a été rendu possible par le ruissellement des eaux pluviales. Les études de corrélation réalisées, entre les propriétés hydrodynamiques des sols (capacité d'infiltration), la texture du sol, et les paramètres relatifs à l'état de surface (densité apparente, teneur en matière organique et humidité relative du sol), ont montré que le comportement hydrodynamique des différents sols investigués est fortement lié à son état de surface. En effet, le taux d'infiltration est nettement corrélé aux caractéristiques des états de surface et à la teneur en sable de l'horizon superficiel. Ces résultats corroborent les auteurs [16], qui ont montré que la texture est un facteur important, qui affecte le comportement hydrologique du sol. Ainsi, les données d'infiltration, pour plusieurs types de sol, dans des terrains d'occupations variées, montrent que la vitesse d'infiltration peut être grossièrement corrélée avec la texture des sols.

Pour l'ensemble de ces sols, la densité apparente est le paramètre de surface le plus en relation avec la capacité d'infiltration. La plus part des corrélations significatives obtenues se situent entre la densité apparente et l'infiltration de l'eau dans le sol. Cela pourrait être utilisé comme indicateur du phénomène de dégradation, car la plupart des sols compactés et imperméabilisés ne sont plus en état de remplir correctement leurs fonctions environnementales, en particulier, celles qui ont trait à l'infiltration de l'eau et à la croissance des végétaux [16]. C'est ce qui expliquerait les faibles récoltes obtenues sur les différents sites étudiés. En tenant compte de la variation topographique, les sols du bas de versant sont plus humides (27 à 33%) par rapport à ceux du haut de versant (19 à 27%) et du mi versant (9 à 15%), quel soit le site d'étude. Les tests de corrélations appliquées aux données relevés indiquent une corrélation entre la porosité totale et l'humidité, au niveau des sols du bas de versant. Cette corrélation est positive ($r = 0,82$) au niveau de la jachère, et négative ($r = - 0,91$) au niveau des sols des champs de riz, sur le site prospecté à Ferkessédougou. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait qu'une nette tendance à l'augmentation du taux d'argile du sol est observée pendant la phase de jachère, au cours de laquelle il y a reconstitution de la fraction fine du sol. Par contre, dans la pratique répétée de la culture du riz, il y a une "désargilisation" de la partie supérieure du profil pédologique qui, en conséquence s'enrichit en sable, très perméable à l'eau. Il y a donc un abaissement du taux d'humidité, contrairement aux sols à fort taux d'argile [17].

5. Conclusion

A la lumière de ces résultats, il ressort que l'indicateur de la dégradation physique de quelques sols d'exploitation agricole, au Nord de la Côte d'Ivoire (Boundiali et Ferkessédougou), est liée aux activités humaines. Cela se manifeste par le surpâturage des terres et leur mise en culture, qui entraînent à la fois une réduction importante du couvert végétal, et la diminution du stock de matière organique. Il y a augmentation du tassement de la surface du sol, conduisant au phénomène de compaction. La dégradation de la strate végétale, qui modifie la structure du sol (fermeture des pores, tassement, *etc.*), rend plus facile le ruissellement, et donc l'érosion des sols.

Les résultats obtenus suggèrent un certain nombre de recommandations pratiques pour améliorer la gestion de la fertilité des sols, afin d'assurer durablement les productions agricoles. Il s'agit, pour ces agriculteurs, de :

- ✓ pratiquer de l'arboriculture, surtout sur les versants de forte pente ;
- ✓ mettre un accent particulier sur la production et la diffusion des technologies de transformation des biomasses en matière fertilisante ;
- ✓ sensibiliser les producteurs à l'association de fumures organiques aux engrais minéraux et à l'introduction de légumineuses dans les systèmes de culture.
- ✓ mettre en place des aménagements sylvo-pastoraux pour augmenter la production fourragère des espèces pastorales.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la Direction du CORAF/WECARD dans le cadre du projet ILWAC pour, le soutien apporté lors de la réalisation de cette étude.

Références

- [1] - K. KÖLLER, Techniques of Soil Tillage. In: E. Titi (Editor), *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton (2003).
- [2] - M. R. GOE, and R. E. MCDOWELL, Animal traction: guidelines for utilization. department of animal science New York State College of Agriculture and Life Sciences a Statutory College of the State University, Cornell University, Ithaca, New York (1980) 90.
- [3] - A. BARRO, R. ZOUGMORE et J.B.S. TAONDA, Mécanisation de la technique du zaï manuel en zone semi-aride. *Cahier Agriculture*, 14 (6) (2005) 11.
- [4] - R. LAL, D.C. REICOSKY, and J.D. HANSON, Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no (till farming). *Soil Tillage Res*, 93 (1) (2007) 1-12.
- [5] - S. ALONGO, M. VISSER, T. DROUET, F. KOMBELE., G. COLIN et J. BOGAERT, Effets de la fragmentation des forêts par l'agriculture itinérante sur la dégradation de quelques propriétés physiques d'un Ferralsol échantillonné à Yangambi, R.D. Congo. *TROPICULTURA*, 31 (1) (2013) 36-43.
- [6] - 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*, (2005) 212.
- [7] - I. YACE, Initiation à la géologie. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest. Pétrologie, Géologie régionale. Ed. CEDA, SODEMI (2002) 183.
- [8] - B. KONE, S. DIATTA, O. SYLVESTER, G. YORO, C. MAMERI, D. D. DESIRE, et A AYEMOU, Estimation de la fertilité potentielle des ferralsols par la couleur. *Canadian Journal of Soil Science*. 89 (2009) 331-342.
- [9] - R.G. BLAKE and K.H. HARTAGE, Bulk density. In: Klute A., ed. Methods of soils analysis. Part1. 2nd ed. Madison, WI, USA: *American Society of Agronomy*, (1986) 363-375.
- [10] - K.B. TRAORE, G. MCCARTHY, J.S. GIGOU, M.D. DOUMBIA, A. BAGAYOKO, R.S. YOST, H. KONARE, L. DIONI, H. COULIBALY, A. SIDIBE et R.A. KABLAN, Aménagement en courbe de niveau et conservation du carbone. *Colloque international sur: Gestion de la biomasse, Erosion et Séquestration du carbone, Montpellier, du 24-28 septembre (2002)*.

- [11] - A. TRIBAK, Stratégies et techniques de lutte antiérosive dans les montagnes du pré-Rif oriental. *Bulletin du Réseau Érosion*, 21 (2002) 45-55.
- [12] - M. NAITORMBAIDE, F. LOMPO, Y.Z. GNANKAMBAR, N. OUANDAOGO et M.P SEDOGO, Les pratiques culturelles traditionnelles appauvrissent les sols en zone des savanes du Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 4 (4) (2010) 871-881.
- [13] - E. ROOSE, Évolution historique des stratégies de lutte antiérosive : vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Sécheresse*, 15 (1) (2004) 9-18.
- [14] - W. B. Voorhees, the effect of soil compaction on crop yield. *Agricultural Research Service. SAES*, (1986) 1-7.
- [15] - R. C. REEDER and I. HAKANSSON, subsoil compaction by vehicules with high axial load extent. Persistence and crop response. *Soil and tillage research*, 29 (1994) 277-304.
- [16] - M. SABIR, B. BARTHES et E. ROOSE, Recherche d'indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion sur les principaux sols des montagnes méditerranéennes du Rif occidental (Maroc). Science et changements planétaires, *Sécheresse*. 15 (1) (2004) 105-110.
- [17] - M. YEMEFACK, L. NOUNAMO, R. NJOMGANG et P. BILONG, Influence des pratiques agricoles sur la teneur en argile et autres propriétés agronomiques d'un sol ferrallitique au Sud Cameroun, *Tropicultura*, 22 (1) (2004) 3-10.