

Diagnostic de la fertilité chimique des sols sous anacarderaies (*Anacardium occidentale* L.) dans le département de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire

[Diagnosis of the chemical fertility of soils under cashew groves (*Anacardium occidentale* L.) in the department of Korhogo in the north of Côte d'Ivoire]

Diomandé Loua Barthélémy, Soro Sibirina, Koné Dofoungo, and Adingra Kouakou Dongo Paul

Université Peleforo GON COULIBALY, Institut de Gestion Agropastorale, Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 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: In Ivory Coast, the cultivation of the cashew tree (*Anacardium occidentale* L.) contributes significantly to the influence and well-being of the populations of the Center and North areas where the poverty rate is high. One of the major constraints encountered is low productivity. The average yield of raw cashew nuts is 547 kg / ha compared to 1598 kg / ha in Nigeria and 9380 kg / ha in Vietnam in 2018. One of the efforts to increase productivity is the sustainable management of soil fertility. The aim of this study is to diagnose the level of chemical fertility of the soils of cashew orchards. Twenty-one orchards at least 20 years old were randomly selected from Korhogo County. Under these orchards, the soil was sampled between 0-30 cm depth. In each orchard, 21 composite samples each from 32 incremental samples were taken. These samples were analyzed for pH and nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, iron, zinc, copper and manganese contents. These values obtained were compared to the critical limits in order to determine the level of fertility. The results show that the soils are acidic to very acidic. The carbon, nitrogen, potassium, magnesium, calcium, sodium and zinc contents vary from low to very low levels. The content of available phosphorus is good in some orchards. On the other hand, iron, copper and manganese have a high to very high level. Determining adequate manure can improve fertility levels.

KEYWORDS: Cashew tree, soil, chemical fertility, productivity, Korhogo department.

RESUME: En Côte d'Ivoire, la culture de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) contribue significativement au rayonnement et au bien-être des populations des zones Centre et Nord où le taux de pauvreté est élevé. Une des contraintes majeures rencontrées est la faible productivité. Le rendement moyen en noix brutes de cajou est 547 kg/ha contre 1598 kg/ha au Nigéria et 9380 kg/ha au Vietnam en 2018. Un des efforts à fournir pour augmenter la productivité est la gestion durable de la fertilité des sols. Cette étude a pour but de diagnostiquer le niveau de fertilité chimique des sols des vergers d'anacardiers. Vingt-et-un vergers âgés d'au moins 20 ans ont été choisis de façon aléatoire dans le département de Korhogo. Sous ces vergers, le sol a été échantillonné entre 0-30 cm de profondeur. Dans chaque verger, 21 échantillons composites issus chacun de 32 échantillons élémentaires ont été prélevés. Ces échantillons ont été analysés pour le pH et les teneurs en azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, sodium, fer, zinc, cuivre et manganèse. Ces valeurs obtenues ont été comparées aux seuils critiques afin de déterminer le niveau de fertilité. Les résultats montrent que les sols sont acides à très acides. Les teneurs en carbone, azote, potassium, magnésium, calcium, sodium et zinc varient des niveaux faibles à très faibles. La teneur en phosphore assimilable est bonne sous certains vergers. Par contre, le fer, le cuivre et le manganèse ont un niveau élevé à très élevé. La détermination d'une fumure adéquate peut redresser le niveau de fertilité.

MOTS-CLEFS: Anacardier, sol, fertilité chimique, productivité, département de Korhogo.

1 INTRODUCTION

Anacardium occidentale, arbre originaire du Brésil, se développe bien dans les écologies tropicales entre les latitudes 15 degrés Nord et Sud. À cause de son architecture, sa résistance à la sécheresse et la quantité importante de litière qu'il produit, cet arbre se présente comme un excellent protecteur de l'environnement [1].

Anacardium occidentale a été introduit en Côte d'Ivoire dans les années 60 dans le cadre d'une politique de conservation des sols et d'un programme de reboisement des savanes du nord. Progressivement, d'un objectif purement écologique, l'implantation des vergers d'*A. occidentale* passe à un objectif socio-économique à cause de l'augmentation du prix de ses noix sur le marché international. Cette hausse du prix du kilogramme a suscité de l'engouement chez les producteurs. Ainsi, la production ivoirienne de noix de cajou a connu une évolution remarquable de 235 000 tonnes en 2006, à plus de 738 000 tonnes de noix brutes de cajou en 2018, hissant la Côte d'Ivoire au rang de premier pays producteur et exportateur mondial [2]. Le chiffre d'affaires de la filière est passé de 88,9 milliards de FCFA en 2008 à 591,28 milliards en 2018, favorisant des recettes d'exportations avoisinant les 370 milliards de F CFA [3]. Quant au revenu brut distribué aux producteurs, il est passé de 70 milliards de FCFA en 2008 à plus de 380,659 milliards de FCFA en 2018. Ce qui a permis de lutter contre la pauvreté en milieu rural dans les zones centre et nord du pays. Par ailleurs, la transformation locale qui commence à se développer sera pourvoyeuse d'emploi, grâce à l'industrialisation. Aujourd'hui, l'anacardier contribue significativement au rayonnement et au bien-être des populations des zones de production concernées. Les superficies totales plantées en anacardiers estimées à 500 000 ha en 2006, se situent à environ 1 350 000 ha en 2018 [2].

Une des contraintes rencontrées par la filière est la faible productivité des vergers. Le rendement moyen en noix brutes de cajou est passé de 424 kg/ha en 2006 à 547 kg/ha en 2018 contre 1598 kg/ha au Nigéria, Philippines 7975 kg/ha et 9380 kg/ha au Vietnam en 2018 [4].

Un des efforts à fournir pour augmenter la productivité est la gestion durable de la fertilité des sols sous les vergers d'anacardiers. En Inde, 500 g d'azote, 125 g d'anhydride phosphorique et 125 g de potasse associé au fumier par arbre/an a permis d'augmenter significativement la production de l'anacarde [5]. En effet, la production d'un verger d'anacarde dépend des caractéristiques chimiques du sol. Jusqu'à ce jour, très peu des travaux de recherche ont abordé l'état chimique des sols sous anacarderaies en Côte d'Ivoire.

Cette étude est conduite dans le but de diagnostiquer le niveau de fertilité chimique des sols des vergers d'anacardiers en vue d'une gestion durable pour l'obtention de meilleurs rendements dans le département de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

Situé au nord de la Côte d'Ivoire dans le secteur sub-soudanais, le département de Korhogo est caractérisé par un climat de type soudano-guinéen à deux saisons: une saison sèche et une saison pluvieuse. La saison sèche s'étend de novembre à mai tandis que la saison des pluies dure de juin à octobre. La pluviométrie moyenne annuelle, atteignant 1 400 mm par le passé, est descendue autour de 1 100 mm au cours des deux dernières décennies. Les températures moyennes annuelles s'élèvent à environ 29 °C pendant l'harmattan et à 25 °C en saison pluvieuse. L'insolation est de 260 heures par mois en saison sèche, contre 140 heures en saison des pluies. La capacité érosive du climat est de 67,8 [6]. L'indice de drainage varie sensiblement de 264 mm à 668 mm [7]. L'évapotranspiration est de 1960 mm/an. Le déficit hydrique varie de 600 à plus de 750 mm/an. L'indice de dégradation spécifique du sol est de 1360 t.km².an⁻¹ dans les zones au relief peu accidenté contre 2500 t.km².an⁻¹ dans les zones plus accidentées.

La région de Korhogo est drainée par la Bagoué à l'Ouest, le Comoé à l'Est et le Bandama au centre. Les rivières N'zi, Bou, Badenou, Kobo, Badéni, Lokpoho, Solomougou et Tyakpoa, toutes tributaires du Bandama, irriguent la presque totalité de la région. Le régime hydrique est du type tropical de transition. Les crues se produisent en août, septembre et octobre. Ces cours d'eau tarissent rapidement de novembre à mai où le débit est très faible ou nul. Les plaines alluviales inondables sont abondantes tout le long de ces rivières au cours sinueux [8]. Le relief de Korhogo est composé d'une succession de plateaux dont l'altitude varie de 300 à 400 m et d'inselbergs isolés. L'altitude de ces plateaux décroît assez régulièrement, de l'Ouest vers l'Est. Le compartiment des plateaux se caractérise par des paysages monotones formant une pénélaine.

Les granites et les schistes sont les deux types de roches rencontrées dans cette région. Les paysages morpho-pédologiques rencontrés sont, par ordre d'importance, des plateaux à sommet cuirassé représentés à 33,3 %, des plateaux à sommet cuirassé partiellement démantelés représentés à 28,5 % et des collines légèrement convexes ou plan-convexes représentées à 12,3 %

[8]. Ces formations rocheuses constituent la roche mère des sols qui sont essentiellement des ferralsols, des cambisols, des luvisols, des plinthosols et des gleysols [9].

La végétation se caractérise essentiellement par des forêts claires sèches, des savanes boisée, arborée et arbustive. Les espèces arborescentes dominantes aujourd'hui sont *Anogesius leiocarpus*, *Andansonia digitata*, *Vitellaria paradoxa*, *Daniella oliveri*, *Isobelinia doka*, *Parkia biglobosa*, *Piliostigma thonningii*, *Pterocarpus erinaceus*, *Terminalia glaucescens*. Quant à la flore herbacée, elle contient *Hyptis suaveolens*, *Andropogon gayanus*, *Euclasta condylotrica*, *Hyparrhenia diplandra*, *Pennisetum polystachion*, *Aframomum latifolium*, *Sorghastrum bipennatum* [10].

2.2 MÉTHODES

Dans le département de Korhogo, 21 vergers dont l'âge est supérieur à 20 ans ont été choisis de façon aléatoire un mois avant la floraison. Sous ces vergers, le sol a été échantillonné dans l'horizon 0-30 cm de profondeur. Dans chaque plantation, un échantillon composite constitué de 32 échantillons élémentaires a été prélevé à l'aide d'une tarière. Ces échantillons prélevés ont été analysés au laboratoire pour le pH et les teneurs en azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, sodium, fer, zinc, cuivre et manganèse.

Le pH eau a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre à partir d'une suspension de sol et d'eau distillée dans un rapport sol/eau de 1/2,5. L'azote a été dosé par la méthode Kjeldahl. Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Olsen. Les cations échangeables Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+ sont déterminés après percolation sur le complexe adsorbant avec de l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7. Ensuite, ils sont dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique. Quant au Fer (Fe), au manganèse (Mn), au Zinc (Zn) et au cuivre (Cu), ils ont été extraits à l'aide du chélateur DTPA, puis dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Pour chaque paramètre, les teneurs déterminées ont été comparées aux valeurs de seuils critiques indiqués dans les tableaux 1, 2 et 3.

Tableau 1. Domaine d'acidité de sol et qualification

Domaine du pH eau du sol	Qualification
pH ≤ 4,5	Très acide
4,5 < pH ≤ 5	Acide
5 < pH ≤ 6,5	Peu acide
6,5 < pH ≤ 7,5	Neutre
7,5 < pH ≤ 8,5	Basique
> 8,5	Très basique

Source: [11]

Tableau 2. Valeurs indicatives des seuils critiques de teneurs en carbone et en éléments nutritifs dans les sols tropicaux en général

Éléments chimiques	Valeurs critiques d'interprétation			
	Très faible	Faible	Normale	Elevée
C org (g.kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	> 1,5
N total (g.kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	> 1,5
P ass (g.kg ⁻¹)	< 15	15 à 25	25 à 50	> 50
K (cmol.kg ⁻¹)	< 0,1	0,1 à 0,15	0,15 à 0,40	> 15
Ca (cmol.kg ⁻¹)	< 1,0	1 à 2,5	2,5 à 3,5	> 7,0
Mg (cmol.kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 à 1,0	1,0 à 1,5	> 3,0

Source: [12]

Tableau 3. Seuils critiques des teneurs des oligoéléments dans le sol

Eléments chimiques	Valeurs critiques d'interprétation (mg.kg ⁻¹)				
	Très faible	Faible	Normale	Elevée	Très élevée
Zn	< 0,6	0,6 à 1,2	1,2 à 2,4	> 2,4	
Cu	< 0,2	0,2 à 0,4	0,4 à 0,8	0,8 à 1,6	1,6 à 3,2
Mn	< 2,5	2,5 à 3,5	3,5 à 7	> 7	
Fe	< 4,5	4,5 à 9	9 à 18	18 à 27	> 27

Source: [13]

3 RÉSULTATS

3.1 ÉLÉMENTS DE LA MATIÈRE ORGANIQUE ET MINÉRALISATION NETTE DE MATIÈRES ORGANIQUES

Le niveau de carbone du sol est relativement bas. Or, le carbone est la source de matière organique (M.O) du sol (MO = Cx1,72). Cette dernière avec une teneur d'au moins 1,72 g.kg⁻¹ améliore les propriétés physico-chimiques du sol. De même la teneur en azote (N) est faible (Figure 1), N stimule la croissance de la plante. Une carence en N a pour résultats une croissance fortement réduite, des feuilles plus petites, un jaunissement rapide des feuilles les plus anciennes.

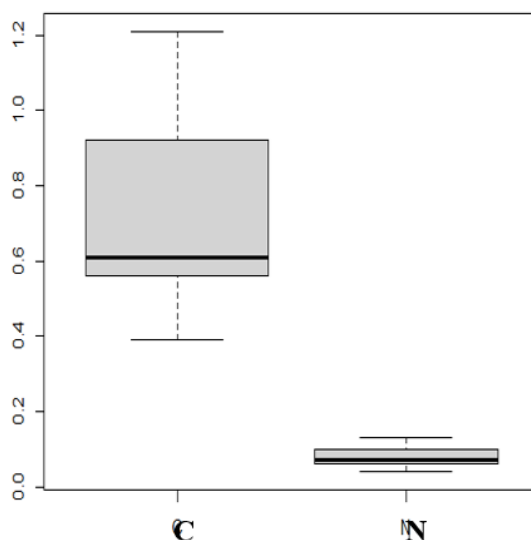


Fig. 1. Boîtes de Tukey des indicateurs de la matière organique (g.kg⁻¹) présentant une différence significative des sols anacarde-cultivés prélevés au Nord de la Côte d'Ivoire

Pour la minéralisation nette de MO, le rapport C/N montre une bonne vitesse de minéralisation dans 11 vergers (53%, tableau 4). Pour le reste, le niveau de MO du sol relativement bas, et sa rapide minéralisation, ne rendent pas toujours disponible les éléments nutritifs dont les anacardiens ont besoin à certaines phases critiques de leur développement. Quel que soit le type de sol, il est recommandé d'avoir un taux de MO de 1,72 g.kg⁻¹ au minimum. Pour une meilleure gestion de MO (rétention/apport), menant potentiellement, à terme, à une meilleure fertilité du sol, il est donc nécessaire d'apporter, en plusieurs fois, de compost afin d'approcher les 1,72 g.kg⁻¹.

Tableau 4. Matière organique et vitesse de minéralisation nette de matières organiques mesurées dans les sols sous vergers d'anacardiers au Nord de la Côte d'Ivoire

Sites d'étude/vergers	C	N	C/N	Sites d'étude/vergers	C	N	C/N
	g.kg ⁻¹				g.kg ⁻¹		
Waraniéré	0,75	0,06	13	Kakologo	0,39	0,1	7
Dokaha	0,61	0,06	10	Sédiogo	1,03	0,1	10
Fonavogo	0,71	0,07	10	Ouollo	0,42	0,1	8
Tioro	0,56	0,06	9	Moroviné	0,5	0,1	8
Napié	0,77	0,06	13	Guiembé	0,62	0,1	6
Lataha	0,56	0,04	14	Labélékaha	0,59	0,1	7
kodanakaha	0,94	0,08	12	Takpalakaha	1,21	0,12	10
Nangnékaha	0,56	0,05	11	Karakoro	0,59	0,1	7
Kié mou	0,59	0,07	8	Zié vogo	0,98	0,1	10
Ounandiékaha	0,92	0,07	13	Tangafla	0,6	0,1	5
				Torgokaha	0,98	0,1	9

Gras: rapide minéralisation nette de matières organiques

3.2 ACIDITÉ, PHOSPHORE ASSIMILABLE ET OLIGO-ÉLÉMENTS MESURÉS DANS LES SOLS SOUS ANACARDIERS

Dans le Nord de la Côte d'Ivoire, 29% des sols sous anacardier sont très acides et, majoritairement (71%), peu acides (Tableau 5). Ces résultats font dire que l'acidité des sols peut provoquer des phénomènes de toxicité ferreuse ou manganique telle que mesurée dans le sol sous anacardiers à Tioro (Figure 2; tableau 5).

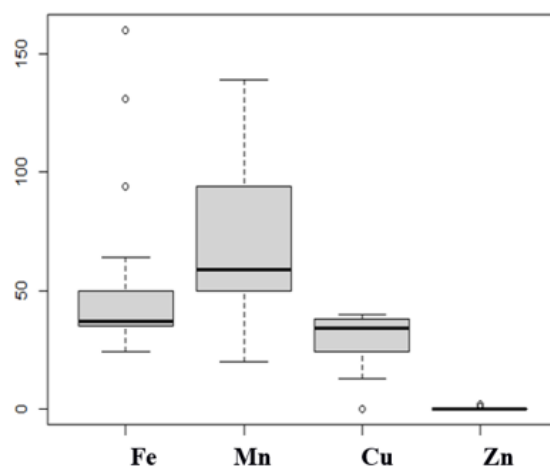


Fig. 2. Boîtes de Tukey des indicateurs en oligo-éléments (mg.kg⁻¹ sol) présentant une différence significative des sols anacarde-cultivés prélevés au Nord de la Côte d'Ivoire

La teneur en phosphore assimilable (P) est exagérément faible (Tableau 5). Le phosphore joue un rôle important dans la croissance des racines, la floraison, la production et le mûrissement des fruits. Il est donc utile d'envisager apporter du phosphore, d'autant plus qu'une teneur normale en cet élément risque d'encourager l'assimilation du fer et du zinc (Tableau 5), pour lesquels il peut y avoir déblocage par synergie avec le phosphore.

3.3 INFLUENCE DE L'ACIDITÉ (PH) DES SOLS SOUS ANACARDIERS SUR LES TENEURS EN PHOSPHORE ASSIMILABLE, LES CATIONS BASIQUES ET LES OLIGO-ÉLÉMENTS

C'est le lieu d'appeler l'attention sur le fait que dans un milieu acide, le P, le K, le calcium (Mn), le magnésium sont moins facilement assimilables par l'anacardier, tandis que le fer, le manganèse, le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) (Figures 2 et 3) le seront

davantage. C'est les cas ici. L'on observe, par ailleurs, que 29% des sols sous anacardiens laissent entrevoir une croissance optimale des cultures, car le pH du sol est compris entre 6 et 7 (Tableau 5). Dans cette zone de pH, la majorité des éléments nutritifs sont assimilables par les plantes.

Tableau 5. Acidité (pH), phosphore assimilable (mg.kg⁻¹) et oligo-éléments mesurés dans les sols anacarde-cultivés du Nord de la Côte d'Ivoire

Sites d'étude/vergers	pH	P	Fe	Mn	Cu	Zn	Sites d'étude/vergers	pH	P	Fe	Mn	Cu	Zn
Fonavogo	4,4	42	37	98	13	2	Dokaha	5,4	21	50	51	37	0
Tioro	4,5	21	160	139	0	1	Karakoro	5,6	11	25	51	38	0
Kié mou	4,5	42	25	51	38	0	Labélékaha	5,8	26	94	59	24	0
kodanakaha	4,8	21	94	59	24	0	Sédiogo	5,9	53	37	95	13	2
Waraniéré	5	42	35	94	36	0	Takpalakaha	5,9	53	36	20	40	0
Napié	5	22	131	124	31	0	Kakologo	6	26	50	50	38	0
Ouollo	5,1	21	64	94	21	0	Zié vogo	6	47	35	94	36	0
Moroviné	5,1	20	34	40	34	0	Torgokaha	6	68	37	95	13	2
Nangnékaha	5,2	20	36	20	40	0	Tangafla	6,2	58	50	50	38	0
Lataha	5,3	22	24	33	26	0	Guiembé	6,3	26	24	33	26	0
							Ounandiékaha	6,5	42	35	94	36	0

Gras: sols anacarde-cultivés très acides et pH du sol compris entre 6 et 7

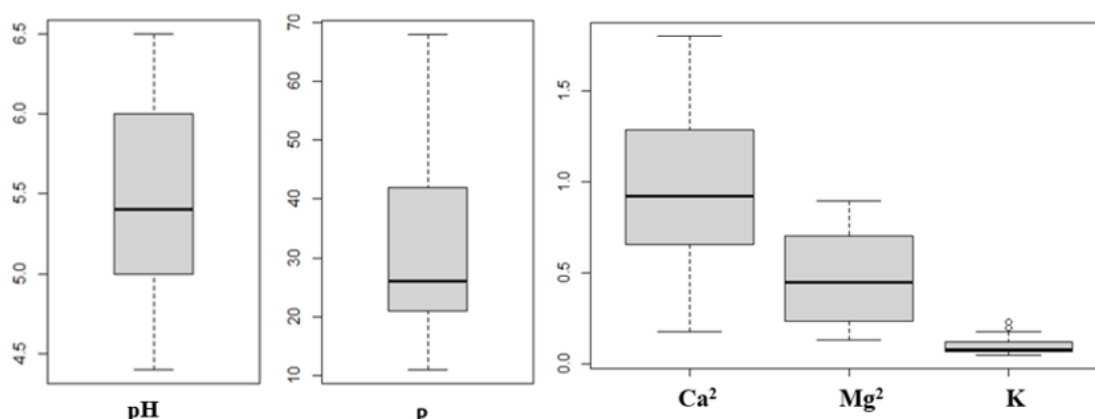


Fig. 3. Boîtes de Tukey présentant l'Acidité (pH), les teneurs en phosphore assimilable (mg.kg⁻¹ sol) et cations basiques (cmol.kg⁻¹ sol) des sols prélevés au Nord de la Côte d'Ivoire

3.4 RELATIONS ENTRE LES TENEURS CATIONS BASIQUES ET LES RAPPORTS CARACTÉRISTIQUES ÉTABLIS DANS LES SOLS SOUS ANACARDIERS AU NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE

La teneur en Ca est faible dans 42,8 % des sols prélevés et très faible pour 57,2 % d'entre eux. Mg est faible (47,6 %) et très faible (52,4 %) des sols étudiés. K a une teneur très faible (66,66 %), faible (28,57 %) et normale, avec 4,77 % des sols étudiés (Tableau 6).

Si les valeurs obtenues paraissent faibles, les rapports caractéristiques établis, montrent de forts déséquilibres entre le Ca et le Mg, le Mg et le K, ainsi qu'entre le Ca et le K. Mg est un élément constituant de la chlorophylle, et une carence contrarie la croissance de la plante, provoquant une chlorose (décoloration jaunâtre) sur les feuilles les plus anciennes. Quant au Ca, il participe au développement racinaire et à la maturation des fruits, ne devra pas excéder, ni être en deçà de 2g/Kg, car, en cas d'excès, il y a un risque important de carence induite en fer, et, en cas de carence de Ca, la croissance des plantes peut être interrompue et en période de sécheresse des maladies peuvent survenir. Or, l'on observe que quelquefois la teneur en Ca représente 5, 10, voire davantage celle du K, qui contribue à l'initiation des boutons floraux et au développement des fruits (Tableau 6).

Tableau 6. Teneurs en cations basiques (cmol.kg⁻¹ sol) et rapports caractéristiques établis dans les sols anacarde-cultivés du Nord de la Côte d'Ivoire

Sites d'étude/vergers	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca/Mg	Mg/K	K/Mg	K/Ca	Ca/K
	cmol.kg ⁻¹								
Waraniéré	0,669	0,211	0,071	0,039	3,171	2,972	0,336	0,106	9,42
Dokaha	0,872	0,238	0,196	0,054	3,664	1,214	0,824	0,225	4,45
Fonavogo	1,066	0,45	0,08	0,058	2,369	5,625	0,178	0,075	13,33
Tioro	0,505	0,242	0,047	0,039	2,087	5,149	0,194	0,093	10,74
Napié	1,388	0,233	0,074	0,029	5,957	3,149	0,318	0,053	18,76
Lataha	1,082	0,182	0,071	0,057	5,945	2,563	0,39	0,066	15,24
kodanakaha	0,962	0,27	0,066	0,045	3,563	4,091	0,244	0,069	14,58
Nangnékaha	0,257	0,132	0,047	0,052	1,947	2,809	0,356	0,183	5,47
Kiérou	1,485	0,42	0,082	0,191	3,536	5,122	0,195	0,055	18,11
Ounandiékaha	1,644	0,897	0,131	0	1,833	6,847	0,146	0,08	12,55
Kakologo	0,648	0,643	0,094	0	1,008	6,84	0,146	0,145	6,89
Sédiogo	0,785	0,76	0,125	0	1,033	6,08	0,164	0,159	6,28
Ouollo	0,337	0,215	0,046	0,049	1,567	4,674	0,214	0,136	7,33
Moroviné	0,175	0,167	0,046	0,036	1,048	3,63	0,275	0,263	3,8
Guiembé	0,92	0,741	0,118	0	1,242	6,28	0,159	0,128	7,80
Labélékaha	0,659	0,693	0,088	0	0,951	7,875	0,127	0,134	7,49
Takpalakaha	1,805	0,859	0,069	0	2,101	12,449	0,08	0,038	26,16
Karakoro	0,769	0,647	0,106	0	1,189	6,104	0,164	0,138	7,25
Ziévo	1,184	0,791	0,176	0	1,497	4,494	0,223	0,149	6,73
Tangafla	1,35	0,703	0,066	0	1,92	10,652	0,094	0,049	20,45
Torgokaha	1,288	0,701	0,227	0	1,837	3,088	0,324	0,176	5,67

3.5 CARACTÉRISATION DES CULTURES ET DES SOLS SOUS ANACARDIERS

Les moyennes des 21 sols prélevés sous les vergers seront considérés. Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée entre les moyennes du pH, C, N, les bases échangeables et les oligoéléments. Les variables prélevées se rapportant à deux indicateurs d'acidité du sol (acide et peu acide) des variables qualitatives citées précédemment.

LECTURE DE LA MATRICE DES CORRÉLATIONS

Dans le but d'évaluer les relations entre les indicateurs, un corrélogramme est présenté en figure 4. Il s'agit d'un tableau reprenant les corrélations entre tous les indicateurs. Ce corrélogramme a permis de choisir des indicateurs indépendants, afin d'obtenir un maximum d'informations différentes possibles, avec un minimum de mesures. Ainsi, ce corrélogramme permet de choisir des indicateurs non-corrélés afin d'avoir des informations différentes sur le fonctionnement des sols. La matrice permet d'observer, d'une part, la relation positive forte entre N, Mg²⁺ et P, et entre le pH et Mg²⁺, d'autre part. Elle permet de constater les relations négatives entre pH et K, Cu et Zn. Toutes ces corrélations entre variables vont conditionner la composition des axes factoriels dont le sens et la signification s'interpréteront en fonction de leur corrélation avec chaque variable.

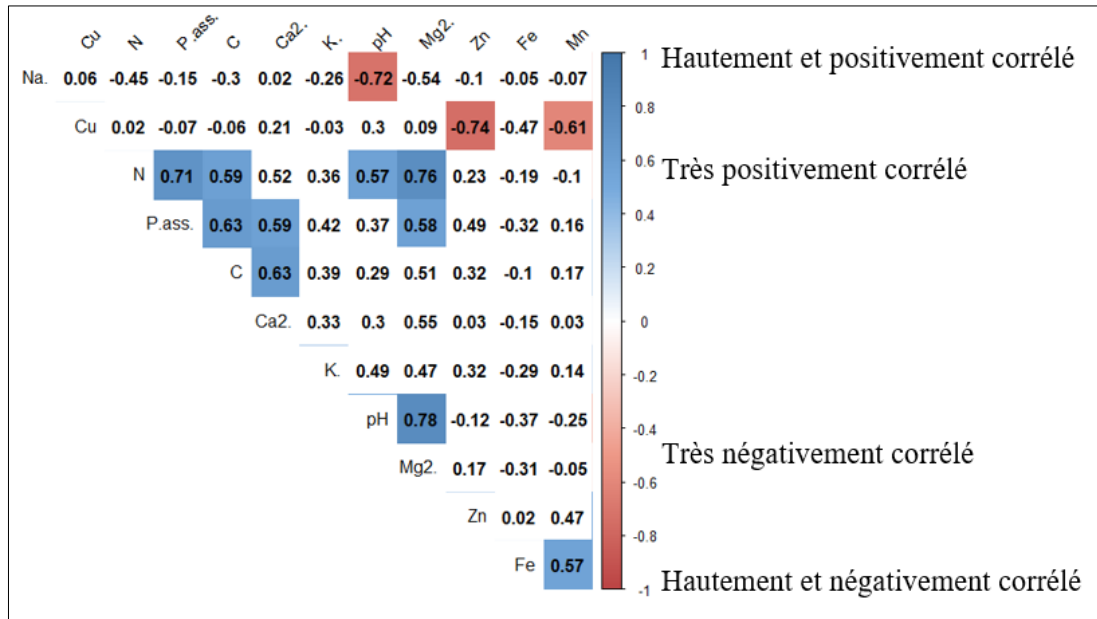


Fig. 4. Corrélogramme entre les onze variables de départ mesurées dans les sols anacarde-cultivés du Nord de la Côte d'Ivoire - p 0,05. Test rho de Spearman

PART DE LA VARIANCE EXPLIQUÉE PAR LES AXES FACTORIELS

La matrice de données de départ, de format (12 x 21) donne un histogramme des valeurs propres indiquant la part de l'ensemble de l'information contenue sur chaque facteur. Ici, le critère de l'inertie moyenne incite à retenir les 2 premiers axes (Figure 6), l'information contenue sur les 10 autres pouvant être considérée comme résiduelle.

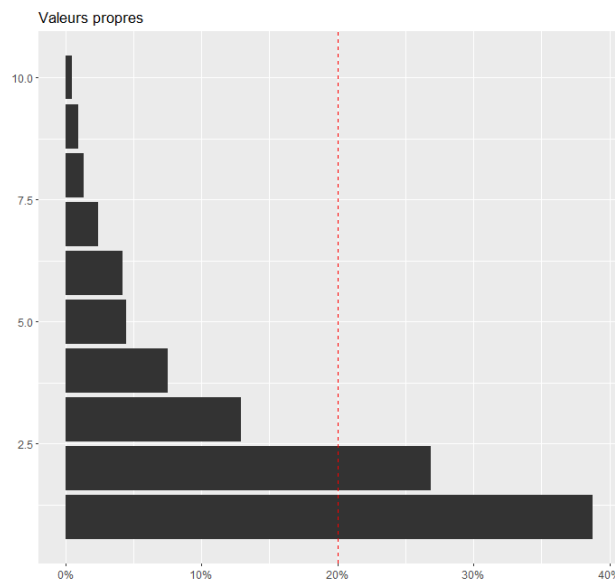


Fig. 5. Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par chaque axe factoriel

INTERPRÉTATION DES FACTEURS EN FONCTION DE LEUR CORRÉLATION AVEC CHAQUE VARIABLE

La lecture pour chacun des facteurs retenus des corrélations avec les 12 variables permet ensuite de déterminer leur signification concrète. Sur le cercle des corrélations entre les deux premières composantes principales et les 12 variables que le facteur 1 s'avère être un indicateur de contrôle la quantité d'engrais artificiel ou naturel ajouté ou de matériaux de chaulage

retenus par le sol pour un effet durable sur la croissance des cultures. En effet, en projetant orthogonalement les vecteurs sur cet axe 1, on constate des corrélations positives avec les indicateurs de matières organiques (C et P, etc.) et des corrélations négatives avec les indicateurs de CEC (Ca^{2+} , Mg^{2+} et N). C'est le lieu d'appeler l'attention sur le fait de fortes doses d'engrais sur les sols à faible CEC seront gaspillées, car les nutriments supplémentaires seront lessivés. Ainsi, le premier axe oppose les vergers qui sont "fertiles partout" comme Takpalakaha sur les sites peu acides, lorsque la teneur en P est en relative grande quantité à ceux qui sont "moins fertiles" comme Tioro sur des sites acides où l'on observe des phénomènes de toxicité ferreuse ou manganésienne. Le deuxième axe oppose les vergers dont le facteur de rendement le plus important sont les variables "N" et " Mg^{2+} " à ceux qui ne le sont pas.

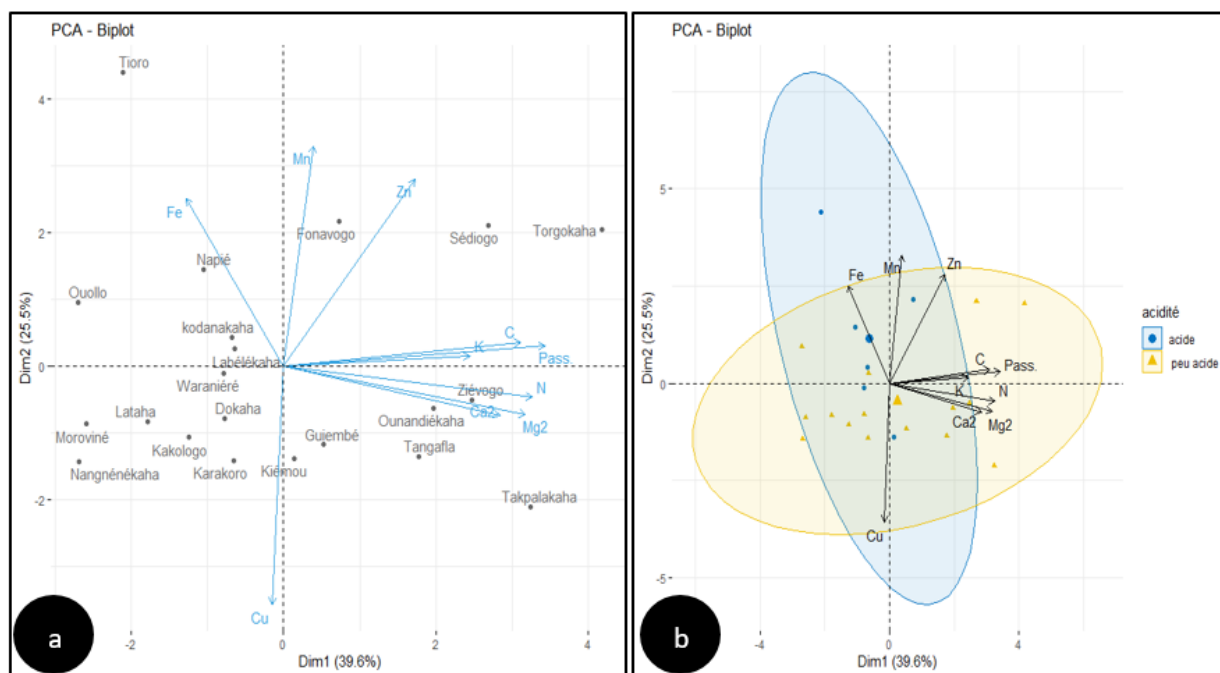


Fig. 6. Biplot des sites et des variables sur les deux premiers plans factoriels
a: Projection sur les sites; b: cercle de corrélation se rapportant aux indicateurs d'acidité du sol

4 DISCUSSION

Parmi les vergers étudiés, 14 % sont situés sur des sols très acides, 14 % sont sur des sols acides et 72 % sur des sols peu acides. L'acidification des sols de cette zone serait liée à la culture cotonnière qui se pratiquait avant la culture de l'anacardier. En effet, la culture de coton ne permet pas le plus souvent de couvrir les exportations des cultures favorisant ainsi la perte des cations basiques. Les travaux de la référence [14] ont montré que le principal facteur de l'acidification du sol en zone cotonnière est la mise en culture des terres qui provoque une forte désaturation du complexe adsorbant. Les sols peu acides sont généralement caractéristiques des sols du secteur sub-soudanais. Les résultats obtenus par la référence [10] dans la même zone indiquent les mêmes niveaux d'acidité. Les sols très acides et acides pourraient réduire les performances des anacardiers, car *Anacardium occidentale* tolère les conditions de sols peu acides à neutres [15].

La teneur en carbone est faible à très faible dans 90,5 % des sols étudiés et la teneur en azote des sols étudiés est restée très faible sous tous les vergers étudiés. Ce niveau d'azote et de carbone dans les sols étudiés caractérise bien les sols sous savane en milieu tropicale. En effet, l'azote et le carbone du sol proviennent essentiellement des végétaux supérieurs après décomposition de la litière. Dans cette zone, les feux de brousse cycliques et les systèmes de culture itinérante qui influencent la dynamique de la matière organique [16] (Koné et al. 2009) ne donnent pas le temps nécessaire au sol de constituer son stock d'azote et de carbone [17] (Bationo et Buerkert, 2000). Le niveau faible d'azote et de carbone obtenu dans cette étude est proche des résultats des travaux de la référence [18] réalisés en zone de savane au centre de la Côte d'Ivoire. Le niveau normal de carbone dans 9,5 % des sols étudiés serait lié aux pratiques culturales qui utilise la fumure organique.

La teneur en phosphore assimilable sous les vergers est très faible dans 4,8 % des sols étudiés, faible dans 38 %, normale dans également 38 % et élevée 19,2 %. La teneur très faible et faible en phosphore assimilable est typique à de nombreux sols des régions inter-tropicales en raison de leur fort pouvoir fixateur [19]. Le niveau faible du phosphore dans le sol a été mis en évidence par la référence [20] sous les cacaoyers dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Le niveau normal et élevé du phosphore dans des sols étudiés traduit la libération du phosphore fixé sous la forme assimilable sous l'action de la matière organique qui est la principale cause de la biodisponibilité du phosphore dans le sol en milieu tropicale. Les travaux de la référence [21] ont montré l'effet de la matière organique sur la biodisponibilité du phosphore dans les sols sous les cultures de cacaoyer.

Les teneurs des sols étudiés en calcium, magnésium, potassium sont très faible à faible. Ce niveau faible des cations échangeables est en rapport avec l'acidité du sol. En effet, le pH du sol est un reflet relativement fidèle de la saturation du complexe adsorbant par les bases [22]. Cette déficience serait due à l'exportation par les récoltes sur plusieurs années sans une fumure de restitution. Le sodium a une teneur très faible à nulle. En effet, le sodium n'est un élément nutritif indispensable aux cultures. Il intervient dans la stabilité structurale. Lorsque sa teneur est trop élevée ($< 217 \text{ cmol.kg}^{-1}$), il peut entraîner la salinité du sol [23]. Dans nos sols étudiés, le niveau de sodium n'influence pas la fertilité. Les teneurs des sols étudiés en calcium, magnésium, potassium sont très faible à faible. Ce niveau faible des cations échangeables est en rapport avec l'acidité du sol. Cette déficience serait due à l'exportation par les récoltes sur plusieurs années sans une fumure de restitution. Cette déficience des sols sous anacardières en bases échangeables en Côte d'Ivoire a été mise en évidence par les travaux de la référence [9].

Le zinc est en général déficitaire tandis que le fer, le cuivre et le manganèse ont des teneurs élevées à très élevées dans les sols étudiés. Le niveau faible de zinc et les niveaux élevés de fer, cuivre et manganèse dans les sols serait lié à la nature du matériau parental. La référence [25] a également montré le niveau faible du zinc contrairement au fer, manganèse et cuivre sur sol ferralitique sur cipolin à Madagascar dans le cadre d'une recherche sur les éléments traces des sols tropicaux. Ces excès de ces oligoéléments pourraient créer des risques de phytotoxicité ou de perturbation de la nutrition.

5 CONCLUSION

Les résultats de cette étude sur le niveau de fertilité chimique des sols fondent la faiblesse du rendement de l'anacardier dans la zone d'étude. Des sols étudiés sont acides à très acides. Les teneurs en carbone, azote, potassium, magnésium, calcium et zinc variant des niveaux faibles à très faibles. Quant au phosphore assimilable, sa teneur est partiellement bonne sous les vergers étudiés. Par contre, les oligoéléments comme le fer, le cuivre et le manganèse ont un niveau élevé à très élevé dans les sols étudiés. Ces excès de ces oligoéléments pourraient créer des risques de phytotoxicité ou de perturbation de la nutrition. La teneur faible en sodium est loin d'influencer les propriétés physico-chimiques des sols. Les sols sous anacardières étudiés présentent, d'une part une déficience en des éléments majeurs, secondaires et oligoélément, d'autre part, des excès en des oligoéléments pouvant impacter négativement la nutrition de l'anacardier. La détermination de formules et de doses optimales d'engrais organo-minéraux peut permettre de redresser le niveau de fertilité des sols en vue de relever le rendement en noix et pommes d'anacarde dans les zones de production.

REFERENCES

- [1] O. O. Adeigbe, F. O. Olasupo, B. D. Adewale, and A. A. Muyiwa, "A review on cashew research and production in Nigeria in the last four decades", *Scientific Research and Essays*, vol. 10, no. 5, pp. 196 – 209, 2015.
- [2] FIRCA, La Filière du Progrès-La filière anacarde, Magazine d'information du Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles, Acte 20, 2018.
[Online] <https://firca.ci/wp-content/uploads/2019/05/LaFiliereDuProgres20.pdf> (23 octobre 2020).
- [3] FIRCA et CCA, Renforcement des capacités des chercheurs dans le domaine de l'anacarde, Le conseil du coton et de l'anacarde et le projet d'appui au secteur agricole en Côte d'Ivoire, TDR Sélection de chercheurs pour un Programme National de Recherche sur l'anacardier, 2015.
- [4] FAO, Major Food and Agricultural Commodities and Producers—Countries by Commodity, 2020.
[Online] <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC> (october 23, 2020).
- [5] E. V. V. Bhaskar Rao, Integrated production practices of cashew in india, National Research Center for Cashew, Puttur, 574202, D.K., 2017.
- [6] F. Fournier, Climat et érosion, PUF, Paris, 1960.
- [7] S. Henin et G. Aubert, Relations entre le drainage, la température et l'évolution des sols. C.R. Acad. Sci., 1945.
- [8] A. G. Beaudou et R. Sayol, Etude pédologique de la région de Boundiali- Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire). Méthodologie et typologie détaillée (morphologie et caractères analytiques), Travaux et documents de l'ORSTOM N°112, 1980.

- [9] L. B. Diomandé, A. Yao-Kouamé, et B. Koné, Types de sol et chémotypes d'huile essentielle de *Lippia multiflora*. E-book, Editions Universitaires Européennes, 2018. [Online] <https://www.decitre.fr/livre-pod/types-de-sol-et-chemotypes-dhuile-essentielle-de-lippia-multiflora-9783841671455.html> (23 octobre 2020).
- [10] L. B. Diomandé, K. Brahima, V. T. Etienne, B.T. Tié, A. Yao-Kouamé, "Occurrence and leave extractable essential oil of *Lippia multiflora* M. (Verbenaceae) as affected by soil acidity, carbon, nitrogen and phosphorus contents in north Côte d'Ivoire", *Environment and Natural Resources Research*, vol. 4, no. 2, pp. 115-127, 2014. <http://dx.doi.org/10.5539/enrr.v4n2p115>.
- [11] D. Arrouays, V. Antoni, M. Bardy, A. Bispo, M. Brossard, C. Jolivet, C. Le Bas, M. Martin, N. Saby, N. Schnebelen, E. Villanneau, P. Stengel, Fertilité des sols: conclusions du rapport sur l'état des sols de France, "Innovations Agronomiques", vol. 21, pp. 1-11, 2012.
- [12] A. Assa, Précis de pédologie à l'usage des étudiants du second cycle des études universitaires, Editions Universitaires, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2005.
- [13] W. L. Lindsay and W. A. Norvell, "Development of a Dtpa Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper". *Soil Science Society of America Journal*, vol. 42, pp. 421-428, 1978. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>.
- [14] B. Koulibaly, Caractérisation de l'acidification des sols et gestion de la fertilité des agrosystèmes cotonniers au Burkina, Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, Mali, 2011.
- [15] M. A. Tandjiekpon, Caractérisation du système agroforestier à base d'anacardier (*Anacardium occidentale* Linnaeus) en zone de savane au Bénin, Mémoire de DEA, Université Abomey-Calavi, Bénin, 2005.
- [16] B. Koné, S. Diatta, S. Oikeh, Y. Gbalou, M. Camara, D. D. Dohm, et A. Assa, "Estimation de la fertilité potentielle des ferralsols par la couleur: usage de la couleur en morphopédologie", *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 89, no.3, pp. 331-342, 2009. <http://dx.doi.org/10.4141/CJSS07119>.
- [17] A. Bationo and A. Buerkert, "Soil organic carbon management for sustainable land use in Sudano-Sahelian West Africa". *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 6, pp. 131-142, 2000.
- [18] L. B. Diomandé, O. F. Akotto, C. Kanko, V. E. Tia, and A. Yao-kouamé, "Occurrence and chemical composition of essential oil from *Lippia multiflora* M. (Verbenaceae) leaves as affected by soil carbon, nitrogen and phosphorus contents in the centre Côte d'Ivoire", *International Journal of Agricultural Policy and Research*, vol. 3, no. 1, pp. 44-52, 2015. <http://dx.doi.org/10.15739/IJAPR.025>.
- [19] P. Hinsinger, Y. Ndeye, T. Becquer, L. Chapuis-Lardy, et D. Masse, Les enjeux liés au phosphore dans les sols tropicaux, UMR Eco&Sols, Montpellier SupAgro-CIRAD-INRA-IRD, 2015.
- [20] K. L. Koko, R. G. Yoro, K. Ngoran, A. Assa, "Evaluation de la fertilité des sols sous cacaoyers dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire", *Agronomie Africaine*, vol. 20, no. 1, pp. 81-95, 2008.
- [21] T. V. Ouattara, K. E. Kassin, L. J. Koko, G. N. Tah, M. E. Assi, G. Amari, E. Dick, et M. Camara, "Effets de la fertilisation organo-phosphatée sur la biodisponibilité du phosphore, la teneur en aluminium et le pH des sols sous cacaoyers dans la région de Divo en Côte d'Ivoire", *Journal of Applied Biosciences*, vol.118, pp. 11754-11767, 2017. <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v118i1.2>.
- [22] P. M. Kopittke and N.W. Menzies, "Effect of pH on Na induced Ca deficiency", *Plant and soil*, vol. 269, pp. 119-129, 2005.
- [23] D. S. McIntyre, "Exchange sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils". *Australian Journal of soil research*, vol. 17, pp. 115-20, 1979.
- [24] L. Nalovic et M. Pinta, "Recherches sur les éléments traces dans les sols tropicaux: étude de quelques sols de Madagascar". *Geoderma*, pp. 117-132, 1970.
- [25] Deckers, J., La fertilité du sol et problème d'environnement dans différentes zones écologiques des pays en développement de l'Afrique sub-saharienne. In: R. Van, and W.H. Prins (Eds.), *Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique Subsaharienne*, FAO, pp.41-58, 1993.
- [26] N. E. Egbe, S. T. Olatoye, and C. R. Obatolu, Impact of rate and types of fertilizers on productivity and nutrient cycling in tree crop plantation ecosystem, Edition MAB Workshop, 1989.