

---

**Distribution de l'aluminium échangeable et total dans les sols des agrosystèmes à base de Cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) dans les régions du centre-ouest de la Côte d'Ivoire**

Amenan Gisèle Kouassi \*, Koné Brahim, Emile B. Bolou-Bi, Albert Yao-Kouamé

Université Félix Houphouët-Boigny. Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières. Laboratoire des Sciences de la Terre, de l'Eau et des Géomatériaux. 22 BP 582 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire). E-mail : [kouassigiame47@gmail.com](mailto:kouassigiame47@gmail.com)

Reçu le 05 septembre 2023, accepté le 11 octobre 2023, publié en ligne le 30 décembre 2023

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v6i4.6>**RESUME**

**Description du sujet.** Dans le souci de prévenir les processus d'acidification des sols en cacaoculture, une étude a été menée dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire.

**Objectif.** L'objectif est d'évaluer l'état actuel de la toxicité aluminique des sols dans deux agrosystèmes à base de cacaoyer, leurs interactions avec certaines propriétés chimiques des sols.

**Méthodes.** Pour l'atteindre de cet objectif, des sols dans deux agrosystèmes à base de cacaoyer à Divo et Oumé ont fait l'objet d'une prospection pédologique et de prélèvements d'échantillons d'horizons le long d'une toposéquence. Des analyses chimiques classiques de teneurs en aluminium et certains métaux de ces échantillons ont été réalisées en laboratoire.

**Résultats.** Les résultats obtenus ont montré que les différents sols étudiés, quel que soit la position topographique, ne présentent pas de toxicité aluminique. En effet, les indices de toxicité mis en évidence selon la méthode de Kamprath ont des valeurs inférieures à 1 %, largement inférieures à la valeur seuil tolérable de 10 % pour la cacaoculture. Cette absence de toxicité aluminique est la conséquence du statut acido-basique des sols, pH variant de 4,8 à 6,8. Les teneurs en Al échangeable des sols étudiés sont alors très faibles (0,01 cmol+ kg<sup>-1</sup> à 1,10 cmol+ kg<sup>-1</sup>). La présence d'Al échangeable n'a indiqué aucune influence sur les oligo-éléments (Cu, Zn, Mn) révélant que les sols des localités étudiées sont encore très favorables à la cacaoculture.

**Conclusion.** La présence d'Al échangeable n'a indiqué aucune influence sur les oligo-éléments (Cu, Zn, Mn) révélant que les sols des localités étudiées sont encore très favorables à la cacaoculture.

**Mots-clés :** Cacaoculture, sol, toxicité aluminique, Côte d'Ivoire.

**ABSTRACT**

**Distribution of exchangeable and total aluminum in the soils of cocoa-based agrosystems (*Theobroma cacao* L.) in the central-western regions of Ivory Coast**

**Description of the subject.** In order to prevent soil acidification processes in cao-caoculture, a study was carried out in the central-west of Côte d'Ivoire.

**Objective.** The objective is to evaluate the current state of aluminum toxicity of soils in two cocoa-based agrosystems, their interactions with certain chemical properties of the soils.

**Methods.** To achieve this objective, soils in two cocoa-based agrosystems in Divo and Oumé were the subject of a pedological prospection and horizon sampling along a toposequence. Classic chemical analyzes of the aluminum and certain metal contents of these samples were carried out in the laboratory.

**Results.** The results obtained showed that the different soils studied, whatever the topographical position, do not present aluminum toxicity. Indeed, the toxicity indices highlighted using the Kamprath method have values less than 1%, well below the tolerable threshold value of 10% for cocoa farming. This absence of aluminum toxicity is the consequence of the acid-base status of the soils, pH varying from 4.8 to 6.8. The exchangeable Al contents of the soils studied are then very low (0.01 cmol+ kg<sup>-1</sup> to 1.10 cmol+ kg<sup>-1</sup>). The presence of exchangeable Al indicated no influence on trace elements (Cu, Zn, Mn) revealing that the soils of the localities studied are still very favorable to cocoa cultivation.

**Conclusion.** The presence of exchangeable Al indicated no influence on trace elements (Cu, Zn, Mn) revealing that the soils of the localities studied are still very favorable to cocoa cultivation.

**Keywords:** Cocoa farming, soil, aluminum toxicity, Côte d'Ivoire.

## 1. INTRODUCTION

Le secteur agricole ivoirien se caractérise par une diversification de la production (Kouadjo *et al.*, 2002), avec le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) qui occupe une place stratégique dans ce secteur agricole (Assiri, 2007). En effet, la Côte d'Ivoire est le premier producteur mondial de cacao avec à l'heure actuelle, environ 2 200 000 tonnes de fèves produites par an, soit près de 45 % de la production mondiale. Avec une surface cultivée de 2 000 000 ha, en partie le sud du pays, la production cacaoyère occupe près 700 000 planteurs et fait vivre 4 millions de personnes, soit 25 % de la population ivoirienne (Assiri *et al.*, 2012). C'est donc la première source de devises du pays. Le cacao procure 40 % des recettes d'exportation et contribue à hauteur de 15 % à la formation du produit intérieur brut (PIB) (Tano, 2012) avec 42% de la production mondiale (ICCO, 2015). Cette performance a été réalisée aux dépens des réserves forestières qui, par leurs apports en litière, constituaient une forte ressource minérale. Malheureusement, la dégradation des réserves forestières rendant impossible le modèle cultural extensif et itinérant sur défriche forestière, la culture du cacaoyer est restée majoritairement traditionnelle, caractérisée par le vieillissement des vergers et un faible recours aux engrais et pesticides (Kéli et Assiri, 2001 ; Assiri *et al.*, 2012). A cela, diverses autres contraintes ont une forte emprise sur la culture du cacao. Ce sont (i) le déficit et la mauvaise répartition des pluies liés au changement climatique (Deheuvels, 2011), (ii) la pression démographique, empêchant les jachères de restaurer la fertilité des sols suite à une réduction de leur âge avec comme pour conséquence la dégradation importante des sols.

Cette dégradation des sols couplée au manque de réserve forestière a eu pour conséquence directe la migration des zones de production de cacao du Sud-Est et Centre-Est vers les régions du Centre-Ouest et Sud-Ouest. Certaines études démontrent en effet que la perte de nutriments par les sols pendant les différents cycles de cultures de cacao a accéléré la dégradation chimique du sol parce que le stock de nutriments des sols n'est pas renouvelé par l'altération et/ou la fertilisation des minéraux (Baligar et Fageria, 2005). Cependant, l'absorption excessive des cations basiques par le cacaoyer et non renouvelé par la fertilisation est une perte de ces éléments. En plus, la lixiviation des cations de base conduit à la désaturation du complexe d'échange induisant une acidification des

sols. C'est ainsi que la dégradation des sols dans les agrosystèmes à base de cacaoyer porte essentiellement sur l'acidification des sols. Cette acidification rend alors biodisponibles les ions  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  et  $Mn^{2+}$  dans la solution du sol (Zhao *et al.*, 2020).

Dans ces sols acides, la toxicité de l'aluminium associée aux carences en éléments nutritifs sont les principales contraintes qui pèsent sur le rendement du cacaoyer. Des études montrent que l'augmentation de la saturation en Al du sol a diminué l'absorption des éléments nutritifs (K, Ca et Mg) en réduisant fortement les rendements du cacaoyer (Santana et Cabala, 1971). Ceci dérive du fait qu'en condition acide dans un sol, l'aluminium libre occupe en majorité le complexe d'échange et devient biodisponible par les plantes (Baligar et Fageria, 1997, Snoeck *et al.*, 2015). Ces ions  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  et  $Mn^{2+}$  sous forme libre peuvent alors engendrer une fixation du phosphore en tant que composés insolubles et devient donc indisponible pour les plantes. (Havlin *et al.* (2014) ont montré que le P est adsorbé le plus largement par les oxydes d'Al et de Fe et, dans une plus grande mesure, par les argiles 1 : 1 (comme la kaolinite) dans les sols tropicaux. En vue donc de prévenir une potentielle acidification des sols dans les nouvelles zones de cacaoculture, cette étude a été entreprise pour établir un bilan actuel de l'acidité des sols par l'étude de la distribution d' $Al^{3+}$  et de  $Fe^{3+}$  et leur relation avec certaines propriétés du sol dans les écosystèmes de cacao.

L'objectif de ces présents est d'évaluer l'état actuel de la toxicité aluminique des sols dans deux agrosystèmes à base de cacaoyer, leurs interactions avec certaines propriétés chimiques des sols afin de pérenniser la production cacaoyère ivoirienne.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Description du site d'étude

Les zones d'étude choisies sont situées dans la nouvelle zone de production de cacao dans la forêt primaire dense dégradée du centre-ouest de la Côte d'Ivoire (Figure 1). Il règne dans la région un climat de type équatorial bimodale avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1400 mm par an et une température moyenne annuelle de 26 °C (Kouamé *et al.*, 2006). Le taux d'évaporation annuel moyen variait entre 2194 et 2822 mm.an<sup>-1</sup>. La géologie est un complexe précambrien de roches métamorphiques et

ignées composé de schistes de mica et de gneiss à l'ouest, de granites, de granodiorites, de quartzites et de migmatites dans d'autres sections de la zone d'étude (Kassin, 2009). Les sols développés sur ces formations géologiques sont généralement dominés

par les ferrallsols (Perraud, 1971 ; Oswald, 1997). Ces sols sont faiblement acides avec une texture argilo-sablonneuse et une profondeur moyenne supérieure à un mètre. L'horizon humifère n'est pas très épais mais riche en matière organique.

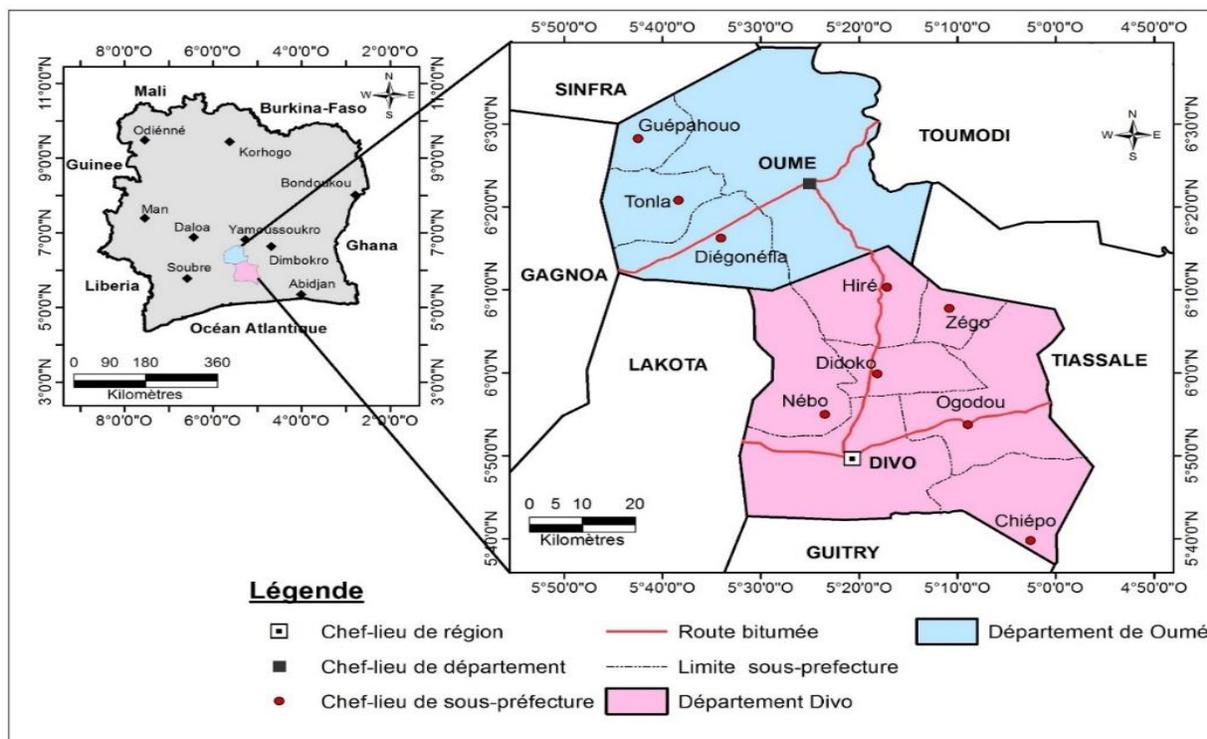


Figure 1. Localisation des sites d'étude

## 2.2. Description et échantillonnage des sols

Dans les plantations de cacaoyer âgées de plus de 30 ans, deux layons de 412 m et 615 m de longueur ont été implantées sur les toposequence de direction N 340° et N 345° du point le plus élevé jusqu'au plus bas (bas-fond) respectivement à Divo et Oumé. Puis, trois fosses pédologiques, de dimension 100 cm x 80 cm x 120 cm ont été ouvertes à chaque rupture de pente sur les deux layons suivant de trois positions (sommet, mi-versant et bas-versant). Les fosses pédologiques ouvertes ont été décrites sur la base de critères macroscopiques, puis des échantillons ont été prélevés à partir des horizons profonds vers les horizons de surface.

## 2.3. Analyse en laboratoire

Les échantillons de sol ont été séchés à l'air, légèrement broyés dans un mortier en agate et tamisés pour l'obtention de la terre fine. Les terres fines de chaque échantillon de sol ont été divisés selon la méthode du quartage. Une aliquote a été utilisée pour la détermination du pH, les fractions échangeables

(Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>). Une seconde aliquote a été finement broyée à l'aide d'un broyeur à mortier pour le dosage de métaux (Al, Fe) et traces (Cu, Zn, Mn). Le pH du sol a été déterminé, selon la méthode de la norme ISO 10390, à l'aide d'un pH-mètre après la mise en suspension de l'échantillon dans l'eau distillée dans un rapport 1/5 (v/v). L'extraction de l'aluminium échangeable a été réalisée par percolation d'une solution de KCl 1M (Trinh, 1976), alors que le H<sup>+</sup> a été déterminé par titrimétrie. Le dosage de l'Al<sup>3+</sup> des extraits filtrés a été réalisé par spectrométrie d'émission optique en plasma induit d'argon (ICP-AES). Les teneurs totales des métaux ont été dosés après une minéralisation d'une prise d'essai de sol de 0,250 g dans un mélange acide fluorhydrique et acide perchlorique (Norme NF X 31-147). Le résidu obtenu après évaporation des acides fluorhydriques et perchloriques est repris par une solution de HNO<sub>3</sub> dilué (0,01M). Les métaux présents dans les minéralisats sont analysés par spectrométrie d'émission atomique à plasma induit d'argon (ICP-AES).

## 2.4. Analyse statistique

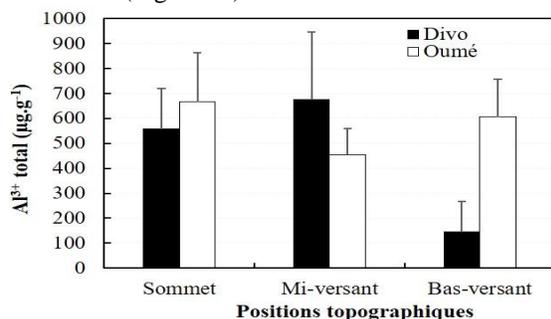
Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel JMP 13. Une ANOVA à mesures répétées a été appliquée pour identifier l'effet de la position topographique. Une ANOVA à sens unique suivie d'une comparaison de test de Student-Newman-Keuls (SNK) a été utilisée pour identifier les différences significatives entre les positions topographiques, avec un seuil de signification de 5 % (0,05).

### 3. RESULTATS

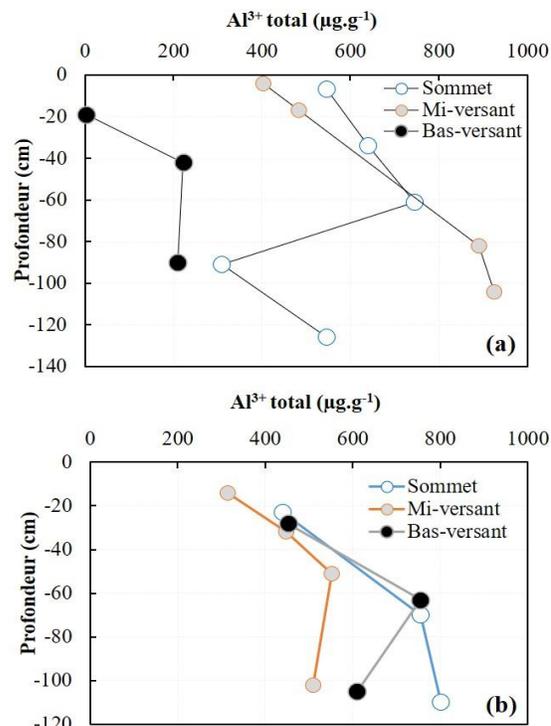
#### 3.1. Distribution de l'Al dans les profils de sol

La variation latérale de l' $Al^{3+}$  total est représentée par la figure 2. Les résultats montrent que la teneur en  $Al^{3+}$  total ne présente pas de variation systématique des sols du sommet au bas-versant à Oumé alors que sur le site de Divo, les teneurs en  $Al^{3+}$  des sols sont statistiquement plus élevées au sommet et mi-versant que le bas-versant. En effet à Divo, les teneurs dans les sols des positions topographique élevées (sommet et mi-versant) sont 3 à 3,5 fois supérieures à celles des sols du bas-versant.

La variation verticale des teneurs en  $Al^{3+}$  total dans les profils de sol est indiquée dans les figures 3. Elle montre que les teneurs les plus basses en  $Al^{3+}$  sont observées dans les horizons de surfaces et les teneurs les plus élevées dans les horizons profonds quelques soit la position topographique, exception faite de l'horizon à -90 cm au sommet de la toposequence de Divo. Les profils de variation de l' $Al^{3+}$  total sont similaires dans les positions topographiques de bas-versant et de mi-versant avec une augmentation progressive de la teneur des horizons de surface aux horizons intermédiaires du profil de sol (Figure 3), puis les teneurs restent constantes jusque dans les horizons profonds. La plus grande variabilité des teneurs en  $Al^{3+}$  est observée au sommet du profil de sol de Divo (Figure 3a).



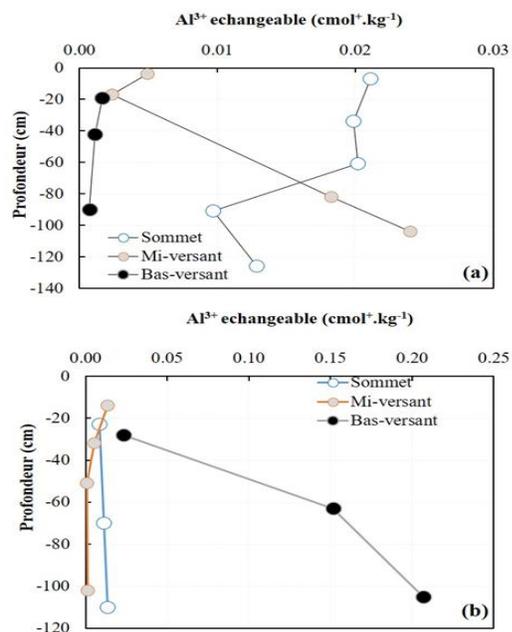
**Figure 2.** Distribution latérale de la teneur en Al dans les sols à Divo et Oumé



**Figure 3.** Distribution verticale de la teneur en Al total dans les sols à Divo (a) et Oumé (b)

#### 3.2. Aluminium échangeable dans les profils de sol

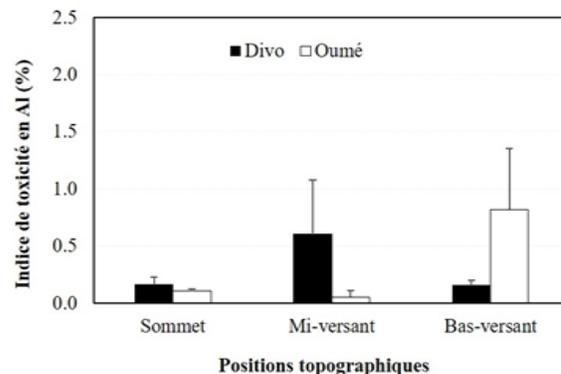
La variation verticale de l' $Al^{3+}$  échangeable dans les sols est représentée par la figure 4. Les résultats indiquent une grande variabilité de la distribution des teneurs en  $Al^{3+}$  échangeable dans les profils de sol selon le site et la position topographique. A Divo, les teneurs en  $Al^{3+}$  échangeable montre une tendance générale à la baisse des horizons de surface aux horizons profonds des profils de sols du sommet et du bas-versant. Par contre, le profil de variation des teneurs en  $Al^{3+}$  échangeable dans le sol du mi-versant indique une augmentation progressive des horizons de surfaces aux horizons profonds (Figure 4a). A Oumé, les teneurs en  $Al^{3+}$  échangeable des profils de sol des niveaux topographiques (sommet et mi-versant) ne présentent pas de variations avec des valeurs quasi-nulles (0,01 à 0,12  $cmol^+ kg^{-1}$ ). Par contre, les teneurs en  $Al^{3+}$  échangeable des horizons du profil de sol du bas-fond sont significativement ( $p < 0,05$ ) supérieures à ceux du sommet et mi-versant et augmentent progressivement des horizons de surface (0,20  $cmol^+ kg^{-1}$ ) aux horizons profonds (1,10  $cmol^+ kg^{-1}$ ) (Figure 4b).



**Figure 4 :** Distribution verticale de la teneur en  $Al^{3+}$  échangeable dans les sols à Divo (a) et Oumé (b)

### 3.3. Détermination du degré de toxicité des sols en aluminium

L'estimation de la toxicité aluminique des horizons des sols est donnée par l'indice de toxicité de Kamprath, les résultats sont affichés à la figure 5. Ils indiquent des indices de toxicité liés à l' $Al^{3+}$  libre toujours inférieures à 1 % quel que soit le site d'étude. En détail, l'indice de toxicité aluminique est similaire sur les deux sites au sommet des profils de sol avec des valeurs moyennes respectives de  $0,16 \pm 0,07\%$  et  $0,11 \pm 0,02\%$  à Divo et Oumé. Par contre pour les positions topographiques (mi-versant et bas-fond), l'indice de toxicité aluminique est plus élevé à Divo dans les sols de mi-versant alors que qu'il apparait avec la plus grande valeur à Oumé dans les sols de bas-fonds (Figure 5).



**Figure 5.** Indice de toxicité aluminique de Kamprath dans les sols étudiés

### 3.4. Acidité et distribution des éléments traces métalliques dans les sols étudiés

Le tableau 1 présente le statut acido-basique et les teneurs et leur distribution des métaux (ETM) dans les profils de sols. Les données indiquent que ce sont des sols modérément acides à neutres avec une gamme de pH de 4,8 à 6,8. Globalement, les sols sont plus acides à Divo qu'à Oumé où les sols sont neutres et les sols des sommets présentent les valeurs de pH les plus élevés des profils de sols. En ce qui concerne les métaux, les sols des sommets présentent les teneurs supérieures aux deux autres positions topographiques, les sols des bas-fonds ayant les teneurs les plus faibles quel que soit le site d'étude. De ces métaux, le Fe total est le métal ayant les teneurs les plus élevées des sols, et est suivi par le Mn, le Zn et enfin le Cu.

Les teneurs en Cu, Zn, Mn, le Fe et le pH sont faiblement corrélées avec  $Al^{3+}$  total. Il en est de même pour l' $Al^{3+}$  échangeable (Tableau 2) à l'exception du pH. Par contre, ces deux fractions de l'Al sont corrélées avec le taux d'argile (%) dans les sols.

**Tableau 1.** Statut acido-basique, teneurs en argiles et en métaux des sols étudiés à Divo et Oumé

Localités	Positions topographiques	Profondeur (cm)	pH	Taux d'argile (%)	Fe mg.kg <sup>-1</sup>	Mn mg.kg <sup>-1</sup>	Cu mg.kg <sup>-1</sup>	Zn mg.kg <sup>-1</sup>
DIVO	Sommet	-7	6,1	35	68,3	177,0	5,5	17,8
		-34	6,0	35	67,2	201,0	6,5	12,8
		-61	6,1	75	78,1	237,0	8,5	25,0
		-91	6,4	80	46,8	226,0	7,7	21,4
		-126	6,5	85	92,3	269,0	3,7	6,1
	Mi-versant	-4	5,6	60	371,0	26,5	1,5	6,9
		-17	4,8	65	92,4	152,0	1,0	3,9
		-82	4,9	75	47,5	12,5	1,7	7,1

		-104	5,0	85	40,9	7,8	0,9	4,0
	Bas versant	-19	5,0	30	81,2	27,1	0,3	0,9
		-42	5,9	15	52,8	3,8	0,3	0,6
		-90	6,8	10	52,1	2,6	0,4	5,2
	Sommet	-23	6,6	60	109,0	180,0	4,3	4,1
		-70	6,8	80	136,0	231,0	3,2	3,2
		-110	6,8	65	82,2	232,0	1,5	4,7
OUME	Mi-versant	-14	6,7	45	184,0	66,6	3,3	5,7
		-32	6,5	60	114,0	73,1	2,2	6,3
		-51	6,3	60	106,0	75,7	2,0	4,9
		-102	5,8	65	95,8	39,1	2,1	1,4
	Bas versant	-28	6,4	75	185,0	169,0	3,9	3,7
		-63	5,4	80	175,0	25,1	4,6	4,4
		-105	5,1	85	164,0	59,9	4,4	4,0

**Tableau 2.** Matrice de corrélation entre l'aluminium total et les oligo-éléments.

Variable	Cu	Zn	Mn	Fe	pH	Argile (%)
Al	0,226	0,156	0,218	-0,094	-0,156	<b>0,644</b>
Al <sub>éch</sub>	0,265	-0,061	-0,169	0,231	<b>-0,344</b>	<b>0,371</b>

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha = 5\%$ .

#### 4. DISCUSSION

L'aluminium échangeable est un élément hautement toxique et préjudiciable aux cultures dans beaucoup de sols tropicaux dès lors qu'une réaction fortement acide, du sol permet sa fixation à fortes teneurs sur le complexe absorbant (Boyer, 1976). Toutes les études s'accordent à reconnaître que l'aluminium échangeable n'existe que dans les sols acides et surtout fortement acides (Segalen 1973). L'aluminium échangeable est présent dans de très nombreux sols à réaction fortement acide de la zone intertropicale. Il commence à apparaître pour des pH souvent compris entre 5 et 6, mais ses teneurs s'accroissent très vite si le pH s'abaisse, de telle sorte que les toxicités aluminiques apparaissent habituellement pour des pH voisins de 5 et surtout inférieurs à 5. Dans le cas de cette étude, le pH des sols varie de légèrement acides à neutres. De ce fait, les teneurs dosées de l'Al<sup>3+</sup> échangeable apparaissent très faible de même que la corrélation avec le pH. En effet, les pH pour lesquels l'Al<sup>3+</sup> commence à apparaître en quantités dosables sont variables suivant les sols, mais pour des pH de sols compris entre 5 et 6, il ne s'agit encore que de quantités très faibles, nullement gênantes comme le traduit les indices de toxicité aluminique déterminé dans cette étude. Cette toxicité aluminique est dans cette étude en général inférieure à 1 %, largement inférieure au seuil de 10 % fixé pour le cacaoyer (Edou-Minko, 2003). Cependant, le suivi de l'Al<sup>3+</sup> échangeable sur ce site requiert une attention

particulière car les résultats montrent une dynamique de cette fraction de l'Al<sup>3+</sup> des sommets vers les bas-fonds, notamment à Oumé. Dans les horizons des sols du sommet de la toposequence, le faible taux en Al<sup>3+</sup> échangeable s'expliquerait par la présence d'une teneur élevée en matière organique (N'Dri, 2016) qui serait imputable à une densité élevée de cacaoyers associés à d'autres essences ligneuses. Cet ensemble renouvelle alors la matière organique du sol par le biais la litière (feuilles, branches, etc.). Divers travaux sur les interactions entre la matière organique et l'Al<sup>3+</sup> libre tendent à démontrer que la présence d'une plus grande quantité de matière organique dans les sols non seulement améliore leur capacité à tamponner le processus d'acidification, mais également inhibe la production et la mobilisation d'Al<sup>3+</sup> échangeable et soluble (Jiang *et al.*, 2018 ; Li *et al.*, 2022). En effet, l'apport de la matière organique au sol diminue l'activité de l'Al monomère dans la solution du sol.

Les principaux mécanismes de cette diminution sont supposés être (i) la précipitation de l'Al<sup>3+</sup> soluble et (ii) la formation de complexes Al-matière organique dont la teneur augmente avec l'augmentation du taux d'ajout de matière organique (Nogueirol *et al.*, 2015 ; Takahashi et Dahlgren, 2016,). Dans cette étude, une faible corrélation a été observée entre l'Al<sup>3+</sup> échangeable et l'Al total et le pH alors cette corrélation est plus importante avec la teneur en argile. Cela suppose que le stock d'Al dans ces sols se trouve dans

les structures minérales, suggérant que la dynamique de l'Al dans ces sols serait liée à celle de l'argile. Les interactions entre les oxydes d'Al et les argiles dépendent du pH. À faible pH, où les oxydes portent une charge positive suffisante, ils précipitent sur les surfaces argileuses. Une fois formés, ces revêtements sont stables à des pH plus élevés. La précipitation des oxydes à pH élevé se produit sous forme de phases séparées des argiles (Soltner, 2005). Dans ces sols légèrement acides à neutres, il n'a été également observé une corrélation entre l'Al et les autres métaux dont la spéciation dépend également du pH du sol. En ce qui concerne les métaux dans les sols, une modification du pH de la solution du sol entraîne un changement correspondant du mécanisme de rétention dominant des métaux lourds dans les sols. Lorsque le pH est élevé, les mécanismes de précipitation (par exemple, précipitation sous forme d'hydroxydes et (ou) de carbonates) dominant dans le sol. Lorsque le pH diminue, la précipitation devient moins importante et l'échange de cations devient dominant. De grandes quantités de métaux lourds sont alors retenues dans les sols si le pouvoir tampon du sol reste suffisamment élevé pour résister à un changement de pH (Yong et Phadungchewit, 1993). Ainsi, l'absence de corrélation entre l'Al et les métaux suggère que le processus d'acidification des sols étudiés n'a pas encore débuté (Ciesielski *et al.*, 2008), et que ces sols demeurent favorables à la cacaoculture.

## 5. CONCLUSION

Les sols étudiés sont légèrement acides à neutres. En conséquence, ils présentent dans l'ensemble, des teneurs en aluminium échangeable assez faibles et des indices de toxicité aluminique, inférieurs à 1 %, loin du seuil critique pour la cacaoculture (10 %). Par contre, les résultats obtenus confirment que bas-fonds présente, notamment à Oumé, le plus grand indice de toxicité aluminique mais pas significatif. Par ailleurs, la présence d'aluminium échangeable n'a aucune influence sur les oligo-éléments (Cu, Zn et Mn) indiquant que ces sols sont encore très favorables à la cacaoculture. Toutefois, l'évolution de la toxicité aluminique dans les sols de bas-fond mérite une attention particulière.

## Références

- Assiri AA., 2007. *Identification des pratiques paysannes dans la conduite des vergers de cacaoyers en Côte d'Ivoire*. Mémoire de Diplôme d'Étude Approfondie (DEA) : Université de Cocody-Abidjan, Abidjan (Côte d'Ivoire), 56 p.
- Assiri AA., Kacou EA., Assi FA., Ekra KS., Dji KF., Couloud JY. & Yapo AR., 2012. Rentabilité économique des techniques de réhabilitation et de replantation des vieux vergers de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 14(2), 1939-1951. ISSN 2071 - 7024
- Baligar VC. & Fageria NK., 1997. *Growth and mineral nutrition of field crops*. 2<sup>e</sup> éd. 270 Madison Avenue, New York, New York 10016, États-Unis, pp.75-95.
- Boyer J., 1976. *L'aluminium échangeable : incidence agronomique, évaluation et correction de sa toxicité dans les sols tropicaux*. Pédologue de l'ORSTROM., 24 rue Bayard, 75008 paris, pp. 259-269.
- Ciesielski H., Sterckeman T., Baliteau J.Y., Caria G., Goutiers V. & Willery J.P., 2008. Evolution du pH et de la CEC de sols du Nord de la France en fonction des doses de chaulage (CaCO<sub>3</sub>) Influence du carbone organique. *HAL Open Science*, 15, 161-170.
- Dehevels O., 2011. *Compromis entre productivité et biodiversité sur un gradient d'intensité de gestion de systèmes agro forestiers à base de cacaoyers de Talamanca, Costa Rica*. Ecole Doctorale Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosociences, Environnement de Montpellier. 185 p.
- Edou-Minko., 2003. *L'état de fertilité du complexe absorbant des sols du plateau manganésifère d'Okouma (Gabon)*, 18 p.
- Fageria NK. & Baligar VC., 2005. *Effet de l'aluminium sur la croissance et la nutrition de Cacao*. *Journal of Integrative Agriculture*, 88, 97-185.
- Havlin, J.L.; Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D., 2014. *Soil Fertility and Nutrient Management: An Introduction to Nutrient Management*, 8th ed.; Pearson: Upper Saddle River, NJ, USA, 2014; p. 516.
- Jiang J., Wang YP., Yu M., Cao N. & Yan J., 2018. Soil organic matter is important for acid buffering and reducing aluminum leaching from acidic forest soils. *Chemical Geology*, 501, 86-94.
- ICCO, 2015. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLI, N°2, Cocoa year 2014/2015. <https://www.icco.org/quarterly-bulletin-of-cocoa-statistics-november-2015/> (02/08/2023).
- Kassin KE., 2009. *Étude des pour la replantation cacaoyère dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire : cas des départements de conditions pédoclimatiques Divo et de Gagnoa*. Thèse de Doctorat unique : Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan (Côte d'Ivoire), 140 p.
- Keli ZJ. & Assiri A. A., 2001. Essai de bilan et perspectives des systèmes de cultures associées à base de plantes pérennes en Côte d'Ivoire, CIRAD ISBN 2-87614-502-2. *Conférence internationale sur l'avenir des cultures pérennes, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 5-9 Novembre 2001*.
- Kouadjo JM., Kehou Y., Mosso RA., Toutou KG., Nkamleu GB. & Gockowski J., 2002. *Production et offre du cacao et du café en Côte d'Ivoire (Rapport d'enquête)*. Ecole

- Nationale Supérieure de Statistique et d'Economie Appliquée, 128 p.
- Kouamé B., Koné D. & Yoro G., 2006. La pluviométrie en 2005 et 2006 dans la moitié Sud de la Côte d'Ivoire. *Le CNRA*, pp. 12-13.
- Li H., Chen J., Zhang J., Dai T., Yi H., Chen F., Zhou M. & Hou H., 2022. Multiple environmental risk assessments of heavy metals and optimization of sludge dewatering: Red mud–reed straw biochar combined with Fe<sup>2+</sup> activated H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Journal of Environmental Management*, 316, 190-205.
- Nogueirol RC., Monteiro FA. & Azevedo RA., 2015. Tropical soils cultivated with tomato: fractionation and speciation of Al. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1(8), 160-187.
- N'Dri KE., 2016. *Dynamique de la matière organique sous cacaoyère le long de deux toposéquences, à Divo et Oume, en région centreouest de la côte d'ivoire*. Mémoire Master : Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan (Côte d'Ivoire), 57 p.
- Oswald M., 1997. *Recomposition d'une société au travers de plusieurs crises: la société rurale Bété*. Thèse de 3ème cycle. Institut Nationale Agronomique Paris-Grignon, Paris, Volume 1, 146-180.
- Perraud A., 1971. *Les sols*. In *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. Paris, Mémoires ORSTOM, 50, pp. 69-390.
- Santana. PC. & Cabala-R., 1971. Effets de l'augmentation de chaux sur certains sols de cacao région de culture de Bahia. *Revista Theobroma*, 1, 17-28.
- Segalen P., 1973. *Aluminium dans les sols*, de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique. Outre-Mer Services Scientifiques Centraux 70-74, route d'Aulnay - 93-Bondy France, 183 p.
- Sneock D., Koko I., Joffre J., Bastide P. & Jagoret P., 2015. Cocoa nutrition and fertilization: Relevant agronomic basics and fertilizer issues. *Sustainable Agriculture Reviews*, 19, 12-22.
- Soltner D., 2005. *Les bases de la production végétale*. Tome 1. Le sol et son amélioration. Collection Sciences et techniques Agricoles, 24<sup>ème</sup> éd., ISBN : 2-907710-00-1, 471 p.
- Takahashi T. & Dahlgren R. A., 2016. Nature, Properties and Function of Aluminum–humus Complexes in Volcanic Soils. *Geoderma*, 263, 110–121.
- Tano A.M., 2012. Crise cacaoyère et stratégies des producteurs de la sous-préfecture de Méadji au Sud-Ouest ivoirien. Doct, Univ. Toulouse 2 Le Mirail, France, 261p.
- Trinh sambath., 1976. *Les différentes formes des constituants alumineux dans les sols acides des pays d'Afrique*. Thèse Doct. 3e cycle, Univ. Paris VI, 85 p.
- Yong RN. & Phadungchewit Y., 1993. pH influence on selectivity and retention of heavy metals in some clay soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 30, 821–833.
- Zhao, Wen-rui Li, Jiuyu Jiang, Jun Lu, Hailong Hong, ZhiNeng Qian, Wei Xu, Ren-Kou Deng & Kai-Ying Guan Peng, 2020. The mechanisms underlying the reduction in aluminum toxicity and improvements in the yield of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) After organic and inorganic amendment of an acidic ultisol. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 288, 106716. DOI: 10.1016/j.agee.2019.106716.