



Impact de l'aluminium sur la croissance des plantules de cacaoyer en pépinière dans des sols d'Aboisso et de Duékoué

Kouassi Amenan Gisèle*, Bolou-Bi B. Émile, Brahima Kone, Wognin Adja Affoué Mirielle Rosalie

Université Felix Houphouët-Boigny, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux, 22 BP 582 Abidjan 22 Côte d'Ivoire,

*Auteur correspondant : kouassigiame47@gmail.com/[+2250747961536](tel:+2250747961536)

Submission 17th October 2023. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 31st December 2023. <https://doi.org/10.35759/JABs.192.10>

RESUME

Objectif : Des études effectuées dans les régions d'Aboisso et de Duékoué ont eu pour but d'évaluer l'effet de l'aluminium sur la nutrition et la croissance des jeunes plants de cacaoyers.

Méthodologie et résultats : À cet effet, à l'aide d'un dispositif expérimental réalisé sous serre, un essai de croissance des plants de cacaoyers a été effectué pendant 6 mois dans des conditions contrôlées avec une application de différentes doses d'aluminium soluble sur des sols reconstitués en laboratoire. Au cours de cet essai, les paramètres de croissance des plants de cacao (hauteurs, nombre de feuille et diamètre) ont été mesurés toutes les deux semaines. Les résultats ont montré que les sols d'Aboisso sont plus acides que ceux de Duékoué traduisant ainsi une baisse de la biomasse totale avec les sols d'Aboisso par rapport aux sols de Duékoué. D'après les différentes applications de Al soluble réalisées, la dose critique inhibant la croissance observée est la dose d'aluminium apportée au deuxième traitement (0,8 mg.l⁻¹) étant supérieure aux teneurs actuelles de l'Al soluble et échangeable dans les sols de Duékoué et Aboisso. En revanche, Al échangeable est la fraction réactive dans le sol et est fortement sous l'influence de l'acidité du sol, principalement l'acidité actuelle et l'acidité potentielle.

Mots-clés : Sol, Aluminium échangeable, Acidité, Cacaoyer, Côte d'Ivoire.

Impact of aluminium on the growth of cocoa seedlings in nurseries in Aboisso and Duékoué soils.

ABSTRACT

Objective: The effect of aluminium on the nutrition and growth of young cocoa plants have been investigated in acid soils of Aboisso and Duékoué regions in Côte d'Ivoire.

Methodology and results: To this end, cocoa plant growth trial was carried out in a greenhouse for 6 months under controlled conditions with the application of different doses of soluble aluminium (0.4, 0.8 and 1.2 mg.L⁻¹) to soil profile reconstituted in lab. During the trial, cocoa plant growth parameters (height, number of leaves and diameter) were measured every fortnight. The results showed that the soils in Aboisso are more acidic than those in Duékoué, reflecting a drop in total

biomass with the Aboisso soils compared with the Duékoué soils. According to the various applications of soluble Al carried out, the critical dose inhibiting growth observed is the dose of aluminium applied in the second treatment (0.8 mg.L^{-1}), which is higher than the current levels of soluble and exchangeable Al in the Duékoué and Aboisso soils. On the other hand, exchangeable Al is the reactive fraction in the soil and is strongly influenced by soil acidity, mainly current acidity and potential acidity.

Keywords: Soil, Exchangeable aluminium, Acidity, Cocoa, Ivory Coast.

INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire est le premier producteur mondial de cacao avec 42% de la production mondiale (ICCO, 2015). Cette production, principalement enregistrée dans les régions du Sud-Ouest et Sud-Est sur une surface totale cultivée de 2 millions ha, connaît depuis un certain temps des difficultés liées au vieillissement des plantations cacaoyères dont 70% d'entre elles sont âgées de 11 à 30 ans (Keli et Assiri, 2001). Sous un climat tropical le plus humide, ce vieillissement des vergers couplé aux mauvaises pratiques agricoles induit une acidification des sols (Dabin, 1984). Les causes de l'acidification physico-chimique des sols sont dues à l'action des facteurs internes du sol comme la nature du complexe adsorbant, le rôle de la matière organique, et des facteurs anthropiques. L'un des facteurs à l'origine de l'acidification naturelle des sols est le végétal et la détérioration de la matière organique (Robert et Harter., 2007). La respiration et la dégradation de la matière organique produisent du dioxyde de carbone dans le sol dont la dissolution dans l'eau libère des ions H^+ qui viennent occuper les sites des complexes adsorbants du sol. Enfin, les causes de l'acidification des sols tropicaux sont également attribuées aux facteurs anthropiques notamment aux pratiques culturales comme l'utilisation des intrants agricoles tels que l'ammonium, l'urée, le super triphosphate. Mal adaptés et utilisés de façon abusive, ces intrants entraînent un dégagement d'ion H^+ dans le sol et l'acidifie à long terme (Robert et Harter, 2007 ; Groupe chaulage comifer, 2009). L'acidification des sols présente de nombreuses conséquences pour les plantes. En

effet, elle empêche l'alimentation des plantes en éléments nutritifs comme le phosphore et au contraire peut libérer des éléments dont l'excès peut devenir toxique pour la plante. Aussi, l'insolubilisation de certains macroéléments indispensables à la plante provoque des toxicités de l'Al, Fe et du Mn qui créent un environnement hostile à la croissance des racines et entrave plusieurs processus métaboliques tels que la fixation de l'azote et l'absorption des nutriments (Ouertatani *et al.*, 2011 ; Sierra et Desfontaines, 2018). Selon Dabin *et al.* (1960), le cacaoyer est une plante particulièrement exigeante en termes d'acidité. Les conséquences de l'acidification des sols se manifestent chez le cacaoyer et son rendement commence à baisser excessivement, dès que le pH est inférieur à 5,5 car cette acidité réduit la disponibilité des éléments nutritifs. L'insolubilisation due à l'excès d'acidité se produit pour le molybdène et le phosphore stoppés par le fer trivalent (Fe^{3+}). La solubilité des ions Fe^{3+} , Al^{3+} et Mn^{3+} provoque aussi des phénomènes de toxicité. Le pH du sol est révélateur de la saturation du complexe adsorbant par les bases. La réduction du pouvoir de fixation des cations est due au lessivage de l'argile et à un humus peu polymérisé gouverné par les acides fulviques incompatibles avec la formation des complexes argilo-humiques (Soltner, 2005). La présence de l'aluminium libre dans les sols réduit considérablement la productivité des cultures en inhibant la croissance, l'absorption et l'utilisation des nutriments. En vue de contribuer à la connaissance de l'effet de la toxicité aluminique dans les agrosystèmes

cacaoyères en Côte d'Ivoire, l'objectif de cet article est d'évaluer l'impact de l'aluminium

soluble sur la croissance des jeunes plants de cacaoyer en conditions contrôlées.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude : Ces études sont exécutées en condition contrôlé sous un abri de culture. Les sols proviennent de cacaoyères situées deux régions de deux zones agroécologiques de la Côte d'Ivoire (Aboisso et Duékoué) (Figure 1). La première région est localisée au Sud-Est de la Côte d'Ivoire, dans la région du Sud-Comoé d'une superficie de 4 662 km². Le climat de la région est de type équatorial et est caractérisé par une précipitation moyenne annuelle de 1265,8 mm, une température moyenne annuelle de 26,5°C et une forte humidité atmosphérique moyenne annuelle de 85% (Koua, 2007). La géologie est composée de roches éruptives, métamorphiques (granite, schiste et roches basiques) et de sables (tertiaires et quaternaires). Sur ces roches, se sont développés des ferralsols et des sols hydromorphes. Ces sols sont fortement lessivés en base et sont de qualité médiocre. A cause des activités anthropiques dans la région, la végétation est fortement parsemée de grandes plantations. La seconde zone d'étude

est localisée à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, précisément dans la région du Guémon. Sa superficie est de 3016 km². Le climat de la région est de type équatorial de transition atténué de type montagneux caractérisé par une précipitation annuelle moyenne qui varie de 1542 mm à 2000mm et une température moyenne annuelle de 25 °C (Brou, 2005). La géologie est dominée par des roches cristallines (granite, gneiss, basalte et roches volcaniques) sur lesquelles se sont développés également des ferralsols. On y rencontre par endroits des sols développés sur des roches basiques potentiellement riches en cations de base et des sols hydromorphes situés dans les basfonds. Tous ces sols présentent une fertilité moyenne et constituent un véritable atout pour le développement de l'agriculture. La végétation est constituée de forêts denses sempervirentes, souvent menacées par les systèmes agricoles abusifs et les exploitations forestières.

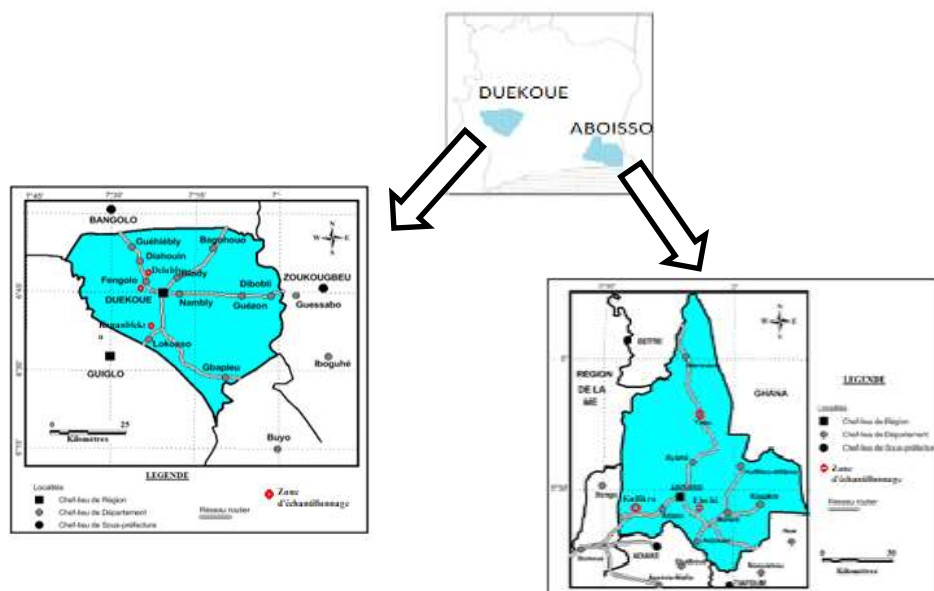


Figure 1 : Situation géographique des régions d'Aboisso et de Duékoué

Échantillonnage des sols : Lors d'une prospection pédologique, les parcelles des localités de Yaou, Eholié, Koffikro au sud-est et Délobly, Fengolo, Konanblékro à l'ouest ont été sélectionnées en raison de leur état médiocre de fertilité et du caractère acide des sols. Un hectare a été délimité dans les parcelles sélectionnées, puis 9 échantillons de sols ont été échantillonnés sur les diagonales à la tarière à deux profondeurs (0-20 cm, 20-40 cm).

Croissance expérimentale des plantules de cacaoyers

Dispositif expérimental : Pour l'expérimentation, un échantillon composite massique est constitué pour chaque profondeur à partir des 27 échantillons individuels des parcelles et représentatif de chaque site d'étude. Ces sols composites ont été utilisés pour la croissance des plantules de cacaoyer. Le support de culture constituant de 12 tubes PVC de diamètre 16 cm et de 60 cm de longueur, soutenu par une structure en bois. Ces tubes en PVC ont donc été remplis avec les échantillons des différents horizons de sols en reconstituant le profil du sol. Ces colonnes de sol sont maintenues dans les tubes PVC par un filtre en polyester de 2 µm de diamètre fixé à la base du tube. La culture des plantes a été

réalisée sous un abri de culture sur le site expérimental de l'Université Félix Houphouët-Boigny. Plusieurs semences de la variété CNRA de cacao ont été semées dans un seau contenant du terreau enrichi en éléments nutritifs. Quinze jours après le semis, les jeunes plantes obtenues ont été transplantées dans les colonnes de sols contenus dans les tubes. Cet ensemble a été régulièrement arrosé avec de l'eau distillée puis deux semaines après la transplantation, différentes doses d'Al ont été appliquées sous forme de sel soluble (sel de nitrate d'aluminium $Al(NO_3^-)_3$) aux sols selon 4 traitements en raison de 3 répétitions. Ces traitements sont :

- T0 : le traitement témoin (pas d'apport de Al) ;
- T1 : apport de 0,4 mg L⁻¹ de Al ;
- T2 : apport de 0,8 mg L⁻¹ de Al ;
- T3 : apport de 1,2 mg L⁻¹ de Al.

L'essai a été conduit selon un dispositif expérimental en bloc de Fisher de trois répétitions séparées les unes des autres de 20 cm d'un support en bois. Les résultats du diagnostic phytosanitaire des jeunes plants de cacaoyers et la configuration géométrique des parcelles, a donné lieu, à une disposition particulière des blocs (Figure 2).

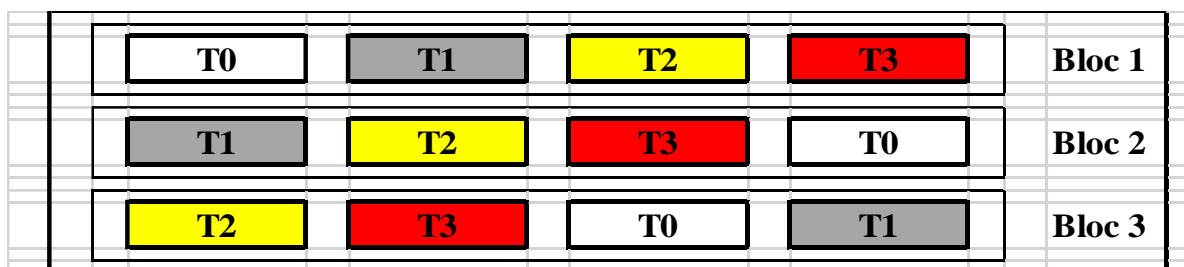


Figure 2 : Dispositif expérimental en bloc de Fisher

Suivi de la culture et collecte des données :

Après l'application des doses d'Al, les plantules de cacaoyer sont arrosées chaque matin avec 100 ml d'eau distillée. Ensuite, les mesures sont faites sur les paramètres de croissance : la hauteur des plantules, le diamètre des plantules et le nombre des

feuilles. Ces données sont collectées toutes les deux semaines avant et après apport de Al sur les sols pendant 6 mois de culture. Au terme des 6 mois de culture, le dispositif expérimental est délicatement démonté, les sols sont prélevés et conditionnés par horizons. Ces échantillons sont séchés dans à l'air

ambient jusqu'à la stabilisation des masses. Ils sont tamisés à l'aide d'un tamis à maille 2 mm afin de récupérer la terre fine. En parallèle, les plantules de cacaoyer dans le dispositif ont été récupérées et les racines abondamment rincées avec de l'eau distillée. Ces échantillons de plantes ont été séparés selon la biomasse aérienne et les racines. Puis ces organes ont été séchés à 65°C pendant 72 h et pesés pour la détermination des masses des biomasses.

Analyses en laboratoire

Acidité des sols : Les trois types d'acidité (acidité résiduelle, potentielle et totale) ont été déterminés sur les échantillons de sol. Les acidités résiduelle et potentielle sont estimées par la détermination de la valeur des pH avec de l'eau distillée ou une solution de KCl 1M dans un rapport 1/5 (m/V). Après avoir pesé 5g de sol tamisé à 2 mm, 25 ml de solution d'eau distillée ou de solution KCl 1M y sont rajoutés dans un flacon. Le tout est secoué puis laissé au repos durant respectivement 1 h et 24 h. Le pH est ensuite déterminé dans la solution surnageant à l'aide d'un pH-mètre de marque WTW Inolab®. La détermination de l'acidité totale des échantillons est faite avec le surnageant du mélange sol-résine-eau distillée. En effet, après avoir pesé 1 g de sol tamisé, 3 g de résine AMBERLITE™ IRN-77 (résine échangeuse d'ions H⁺) sont rajoutés suivis de 50 ml d'eau distillé dans un flacon. Ce mélange

est homogénéisé deux fois à travers un cycle d'agitation (8h) - repos (16h). Enfin, il a été centrifugé pendant 10 mn à 3000 RPM. L'acidité totale est déterminée dans le surnageant par titration avec NaOH 0,1M.

Aluminium total et échangeable : La détermination de la teneur en Al total des sols est effectuée sur une aliquote de 10 g de sol par un analyseur XRF portable Delta équipé d'étalonnages spécialisés. Quant à la l'Al échangeable, la teneur a été déterminée sur un extrait de solution après une extraction au KCl 1M. En effet, 5g de sol tamisé à 2 mm ont été mélangé à 25 ml de solution KCl 1M dans un flacon. Puis, ce mélange est agité et laissé au repos pendant respectivement 24h et centrifugé pendant 15 min à 3000 RPM. L'Al échangeable est ensuite dosé par colorimétrie dans le surnageant à l'aide d'un spectromètre HACH DR/2000 à la longueur d'onde de 522 nm.

Traitement statistique : Les études statistiques réalisées sur des variables identifiées et sont soumises à l'analyse de variance (ANOVA) et les moyennes de chaque variable ont été comparées en utilisant le test de Student-Newman-Keuls au seuil de significativité (P<0,05) par le logiciel SAS pour identifier les traitements ayant un effet significatif sur les propriétés chimiques du sol et la biomasse des plants de cacaoyer.

RESULTATS

Croissance des plantules de cacaoyer

Hauteur des plantes : La figure 3 présente l'évolution de la croissance des plants de cacaoyer enregistré au cours de 6 mois de culture. Les résultats montrent que l'allure de la croissance est similaire pour tous les traitements à Aboisso et à Duékoué. Cependant, au niveau des sols de la zone d'Aboisso, la meilleure croissance est observée avec le traitement T1 et la plus faible croissance, avec le traitement T0. Concernant

les sols de Duékoué, la croissance est meilleure avec le traitement T2 au cours des deux premiers mois d'une part, et avec le traitement T1 pour le reste des mois, d'autre part. Quant à la faible croissance, elle est visible avec le traitement T0 dans les deux premiers mois, et avec le traitement T3 au-delà des deux premiers mois. De façon générale, la croissance des plants est meilleure dans les deux régions avec le traitement T1.

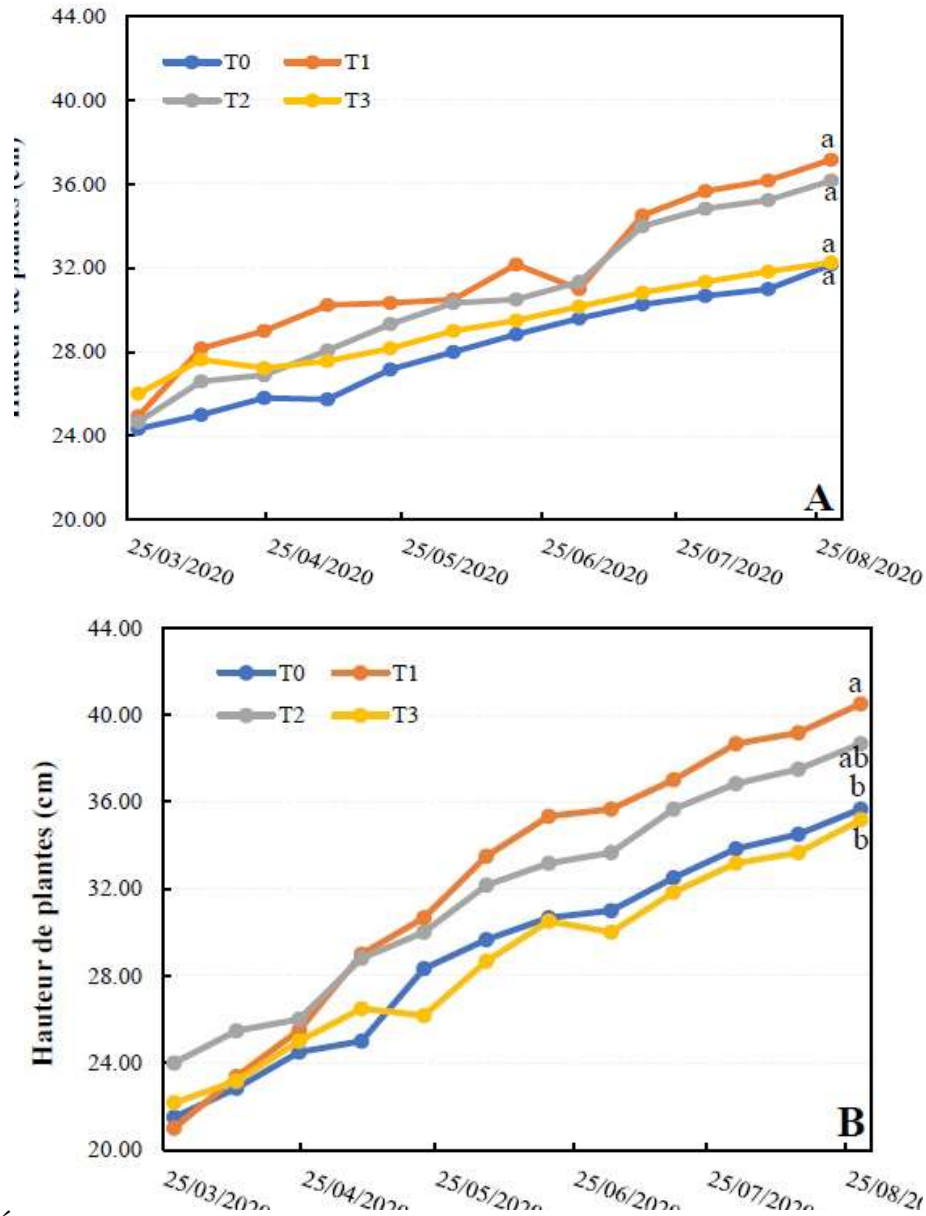


Figure 3 : Évolution de la hauteur moyenne des plants au cours de l'essai de croissance sur les sols d'Aboisso (A) et de Duékoué (B).

Biomasse sèche totale : Les moyennes des biomasses sèches totales aériennes (feuilles et tige) et racinaires des plantes sont présentées à la **figure 4**. La biomasse aérienne représente la fraction la plus importante de la biomasse totale quel que le traitement et la région. Elle représente en moyenne une proportion de 70,17 % de la biomasse totale pour Duékoué et

69,86 % pour Aboisso. Toutefois, les plants de cacaoyer cultivés sur les sols de Duékoué présentent les biomasses les plus élevées contrairement à ceux des sols d'Aboisso. De façon générale, on relève que la quantité de biomasses sèches est meilleure avec le traitement T1, tandis qu'elle est plus faible avec le traitement T3.

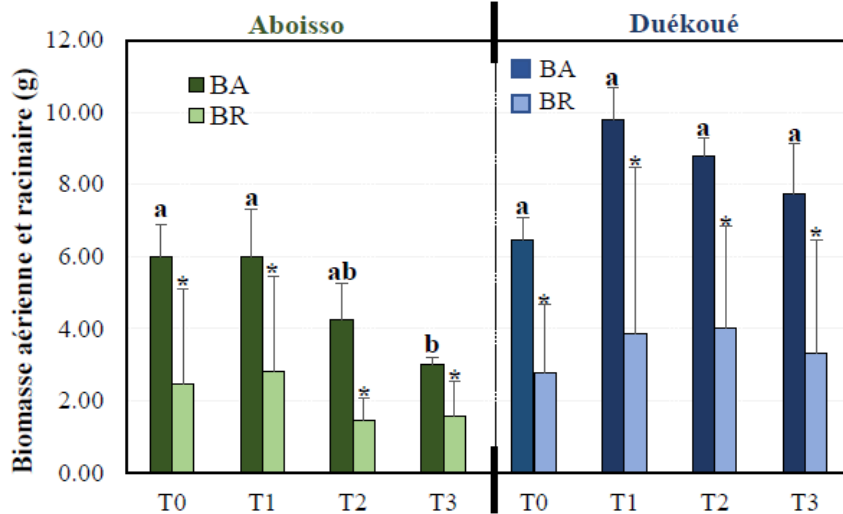


Figure 4 : Biomasses sèches totales (biomasse aérienne (BA) et racinaires (BR)) des différentes plantes. La même lettre et le symbole (*) indique la différence, entre respectivement les biomasses a aériennes et racinaires au sein des traitements d'une région, n'est pas significative selon le test de Student Newman and Keuls (SNK) au seuil de significativité de 5%.

Paramètres chimiques des sols

Aluminium total et échangeable des sols :

Les résultats présentés aux **figure 5** et **figure 6** indiquent l'Al total et échangeable dosé dans les échantillons de sol. On note que l'Al total dosé avant la culture est en moyenne plus élevé dans les horizons 0-20 cm (avec des moyennes de $1,90 \pm 0,24 \mu\text{g.g}^{-1}$ et $2,15 \pm 0,15 \mu\text{g.g}^{-1}$ respectivement à Aboisso et Duékoué) que

dans les horizons 20-40 cm (avec des moyennes de $1,72 \pm 0,30 \mu\text{g.g}^{-1}$ et $1,42 \pm 0,25 \mu\text{g.g}^{-1}$ respectivement à Aboisso et Duékoué). Cependant, ces différences entre les horizons ne sont pas significatives selon le test de Student. La comparaison des moyennes en Al total des régions montre que les sols sont plus enrichis à Duékoué qu'Aboisso contrairement aux horizons profonds (**figure 5**).

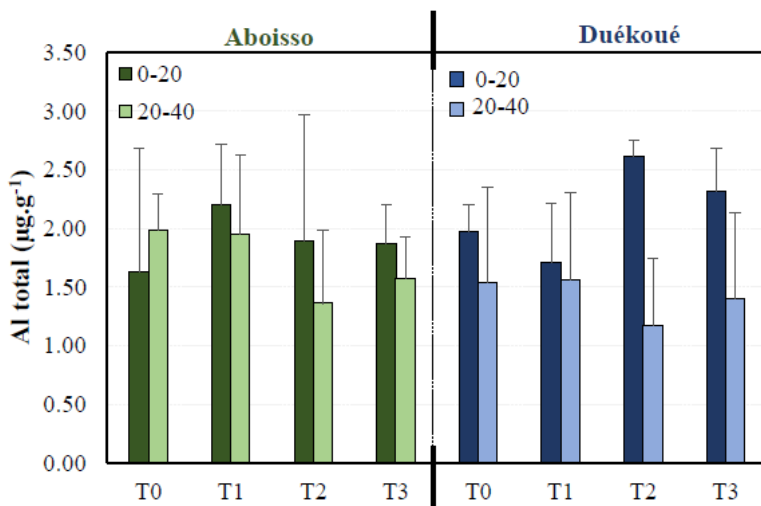


Figure 5 : Teneur en Al total des sols utilisés pour la culture des plants de cacaoyers. Les barres verticales indiquent les écart-types standards estimés sur les moyennes.

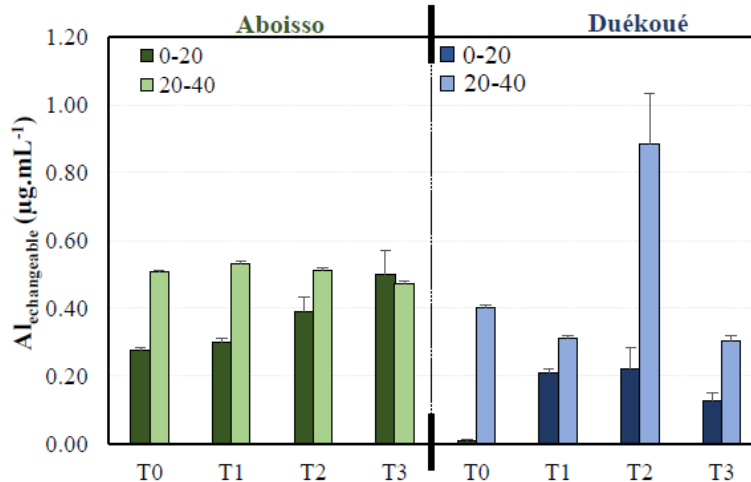


Figure 6 : Teneur en Al échangeable des sols en fin de culture des plants de cacaoyers. Les barres verticales indiquent les écart-types standards estimés sur les moyennes.

Acidité des sols : Le Tableau 1 présente les résultats de l'acidité des sols des régions étudiées. Il s'agit de l'acidité actuelle (extraction à l'eau), l'acidité potentielle (extraction au KCl 1M) et de l'acidité totale (extraction à la résine). A l'analyse, la croissance de l'acidité rangée dans l'ordre suivant : acidité actuelle < acidité potentielle < acidité totale. En effet, les résultats indiquent que pour l'acidité actuelle, les moyennes des horizons 0-20 cm et des horizons 20-40 cm sont similaires indistinctement des traitements dans chaque région. Dans le cas de l'acidité potentielle, il y a une variation entre les horizons 0-20 cm et 20-40 cm à Duékoué avec

des moyennes d'acidité plus élevées dans les horizons profonds. Par contre, les moyennes de l'acidité potentielle dans les sols d'Aboisso montrent qu'il n'y a pas de différence statistique entre ces valeurs quel que soit le traitement. Ainsi, l'acidité potentielle des sols d'Aboisso est supérieure en moyenne à celle des sols de Duékoué. De même que l'acidité potentielle, l'acidité totale présente des moyennes distinctes entre les horizons 0-20 et 20-40 cm à Duékoué alors que dans les sols d'Aboisso, la différence n'est pas statistiquement distinguable quel que soit le traitement.

Tableau 1 : Moyenne des différents types d'acidité des sols des régions d'Aboisso et de Duékoué.

	Traitements	Acidité actuelle		Acidité potentielle		Acidité totale	
		0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
Aboisso	T0	0,01 (0,002)	0,01 (0,001) ^{ns}	0,12 (0,019)	0,17 (0,019) ^{ns}	17,50 (2,500)	21,67 (1,443) ^{ns}
	T1	0,09 (0,002)	0,02 (0,001) [*]	0,11 (0,034)	0,13 (0,034) ^{ns}	15,83 (3,819)	15,00 (2,500) ^{ns}
	T2	0,04 (0,002)	0,03 (0,005) ^{ns}	0,15 (0,039)	0,15 (0,017) ^{ns}	11,67 (5,774)	12,50 (5,000) ^{ns}
	T3	0,07 (0,015)	0,07 (0,008) ^{ns}	0,15 (0,064)	0,17 (0,008) ^{ns}	9,18 (3,819)	15,83 (1,443) [*]
Duékoué	T0	0,01 (0,000)	0,01 (0,001) ^{ns}	0,04 (0,021)	0,11 (0,020) [*]	12,50 (2,500)	12,50 (2,500) ^{ns}
	T1	0,04 (0,002)	0,04 (0,003) ^{ns}	0,03 (0,016)	0,11 (0,006) [*]	12,50 (2,500)	20,00 (2,500) [*]
	T2	0,06 (0,007)	0,05 (0,003) ^{ns}	0,05 (0,017)	0,11 (0,006) [*]	9,20 (1,443)	15,00 (2,500) [*]
	T3	0,02 (0,002)	0,08 (0,007) [*]	0,02 (0,011)	0,14 (0,024) [*]	17,50 (2,500)	10,83 (1,443) [*]

Les nombres en gras sont les moyennes, les nombres situés entre des parenthèses correspondent aux écart-types standards estimés sur les moyennes. Le symbole (*) indique une différence significative entre les moyennes des acidités des différents horizons selon le test de Student Newman and Keuls (SNK) au seuil de significativité de 5%, alors que ns correspond à des différences non significatives entre ces moyennes.

Interaction entre Al du sol et la croissance du cacaoyer : Le Tableau 2 représente les corrélations entre les paramètres analysés dans cette étude. A l'analyse, la teneur de l'aluminium total est indépendante de l'acidité des sols. Cette fraction de l'Al total n'a alors aucune influence sur la croissance des plantes à travers les biomasses des plantes. Ce qui indique qu'il n'y a aucun lien entre Al total et Al échangeable. Par contre, Al échangeable est positivement associé aux acidités actuelle et potentielle des sols. En d'autres termes, la teneur de Al échangeable évolue avec l'augmentation de l'acidité des sols indépendamment des traitements. Quant à l'étude des biomasses, la figure 6 indique

qu'elles sont indépendantes des acidités actuelle et totale ainsi que de Al total. Elles régressent avec l'acidité potentielle et Al échangeable des sols. Ces paramètres étudiés permettent de distinguer un effet « région », car, plants cultivés sur les sols d'Aboisso se distinguent clairement de ceux réalisés sur les sols de Duékoué indépendamment des traitements appliqués. Ainsi, le facteur essentiel contrôlant cette distribution est l'acidité potentielle des sols puisque la région d'Aboisso présente des sols plus acides que ceux de la région de Duékoué. Ceci induit une élévation de la teneur en Al échangeable des sols et donc une réduction de la biomasse dans les sols d'Aboisso.

Tableau 2: Corrélation entre les paramètres analysés dans cette étude.

	Acidité actuelle	Acidité potentielle	Acidité totale	Al _{ech}	Al _{tot}	BT	BA	BR
Acidité actuelle	1.00	0.26	-0.25	0.53	0.15	-0.13	-0.15	-0.05
Acidité potentielle		1.00	-0.19	0.79	-0.16	-0.60	-0.58	-0.56
Acidité totale			1.00	-0.32	-0.30	0.14	0.13	0.15
Al _{ech}				1.00	-0.10	-0.46	-0.44	-0.47
Al _{tot}					1.00	0.12	0.16	0.00
BT						1.00	0.98	0.89
BA							1.00	0.80
BR								1.00

Alech et Altot désignent les teneurs en Al échangeable et totale des sols. BT, BA et BR représentent les biomasses totales, aériennes et racinaires des plants après six mois de culture.

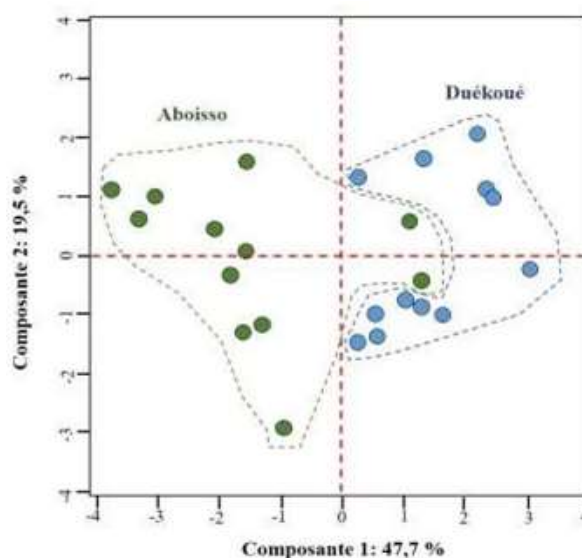


Figure 6 : Répartition des échantillons des sites d'Aboisso et de Duékoué sur les plans factoriels

DISCUSSION

Effet de l'aluminium sur la croissance des cacaoyers : L'étude de l'effet de Al sur la croissance des plants de cacaoyer a montré que la croissance en hauteur est meilleure avec le traitement T1 sur les sols des deux localités. Par contre, la croissance est mauvaise avec le traitement T0 pour les sols d'Aboisso, et le traitement T3 pour les sols de Duékoué. Aussi au niveau de la biomasse, la biomasse aérienne représente en moyenne une proportion de 70,17 % de la biomasse totale pour Duékoué et 69,86 % pour Aboisso. Cette variabilité des paramètres de croissances pourrait être liée à l'acidité des sols et par conséquent, à la teneur en Al échangeable. En effet, les résultats ont montré que, plus l'acidité de la solution du sol est élevée, plus la teneur de l'Al échangeable est importante dans le sol. Ce qui indique que Al échangeable est absorbé par la plante à travers les processus racinaires. Il s'agit d'un phénomène passif. À des valeurs dépassant le seuil de concentration dans la solution, l'absorption est faite en fonction de la quantité d'Al présent dans la solution du sol (Guerrier, 1978). Tout comme les plantes calcicoles, le cacaoyer est parfois très sensible à la toxicité, puisque l'excès d'Al échangeable empêche l'absorption des autres éléments nutritifs de la solution du sol (Omenda *et al.*, 2021). Les racines sont les parties de la plante les plus affectées par l'acidité puisque l'aluminium s'y accumule (Coutinho, 1990). La non tolérance des plantes calcicoles à l'Al soluble se traduit par une baisse de la croissance et du rendement (Baligar et Fageria, 2005) témoignant ainsi la différence de quantité de biomasses sur les sols des localités étudiées justifiée par une acidification plus importante dans les sols d'Aboisso.

Dose critique de l'Aluminium inhibant la croissance des jeunes plants de cacaoyers : Les résultats issus du dispositif expérimental ont mis en évidence une variation de la hauteur des cacaoyers en cloche avec les plus faibles hauteurs obtenues avec les traitements T0 et

T3, et les plus grandes hauteurs avec les traitements T1 et T2. En revanche, la production de biomasses sèches totales décroît du traitement T0 au traitement T3. Cela est en accord avec la réponse de la hauteur des plantes en fonction des doses de nutriments (N, P, K, etc.). A l'instar des nutriments essentiels de la plante, à faible dose et sous des formes bien précises, Al a un effet bénéfique sur la croissance des plantes via la stimulation de la croissance (Bojorquez Quintal *et al.*, 2017). Les augmentations ultérieures des doses d'Al n'amélioreront plus la production, mais plutôt toxiques. Ce qui implique que le potentiel génétique de la plante est satisfait. Cette réponse est fortement associée au pH du milieu, dont à la forme de Al dans la solution du sol. En revanche, l'Al précipité ou chélaté avec des composés organiques n'est pas toxique pour les plantes (Nogueirol *et al.*, 2015). Cette toxicité est directe (inhibition du développement des racines par l'obstruction de certaines cellules, voire des organes aériens) et surtout indirect (Shetty *et al.*, 2021 ; Shetty et Prakash, 2020).

Effets de l'Aluminium échangeable sur quelques paramètres chimiques du sol : Les travaux ont permis de constater que Al total dosé avant la culture est en moyenne plus élevé dans les horizons de 0 à 20 cm que dans les horizons de 20 à 40 cm contrairement à celui de Al échangeable. Aussi, les horizons profonds du sol (horizon 20-40 cm) sont plus acides que les horizons de surface (0 à 20 cm), alors plus l'acidité augmente plus l'Al échangeable augmente. Cela s'explique par la présence d'une teneur élevée en matière organique. Cette présence assure le renouvellement régulier de la matière organique du sol par le biais de leurs litières (feuilles, branches, etc.). Par ailleurs, cette forte proportion en surface pourrait être aussi liée d'une manière plus ou moins étroite à la texture comme la teneur en argile puisque la matière organique a la capacité de fixer l'Al

échangeable (Boyer, 1982). Le fait de constater dans cette étude que l'acidité totale soit supérieure à l'acidité potentielle et celui-ci supérieure à l'acidité actuelle, cela démontre que l'acidité des sols n'est pas intimement liée différentes doses d'Al appliquées. A ce sujet, Segalen (1973) relève que Al échangeable n'existe que dans les sols acides et surtout fortement acides. Ainsi, plus un sol est acide, plus Al échangeable est présent dans ce sol (Abdenma, 2013). Cet Al libre sur le complexe argilo-humique du sol s'oppose, par un effet tampon à tout augmentation du pH tant qu'il n'est pas absolument éliminé du complexe (Jiang *et al.*, 2018). De plus, Al libre

s'accumule dans le sol avec l'augmentation de la teneur en phosphore (Krstic *et al.*, 2012). Dans les sols tropicaux à pH en dessous 4,5, la désagrégation de la matière organique cesse du moment où les teneurs en aluminium sont élevées (Segalen, 1973). L'acidité impacte souvent la désagrégation de la matière organique et l'activité des micro-organismes (champignons, bactéries), la fixation de l'azote et la nitrification (Boyer, 1978 ; Dabin, 1984). La meilleure quantité de matière organique enregistrée dans les sols de Duékoué par rapport à celle d'Aboisso, montre qu'Al échangeable influencerait certaines propriétés liées à la fertilité du sol.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RÉSULTATS

Dans le but de connaître l'impact de l'Aluminium sur la croissance et les nutriments des cacaoyers, une étude expérimentale a été entreprise dans des conditions contrôlées et a consisté à l'apport de différentes doses de l'aluminium sur les sols d'Aboisso et de Duékoué. Les résultats ont mis en évidence que les sols de la zone d'Aboisso sont plus acides que ceux de la zone de Duékoué. Cette situation s'est traduite par une baisse de la biomasse totale avec les sols d'Aboisso par rapport aux sols de Duékoué. D'après les différentes applications de Al soluble réalisées,

la dose critique inhibant la croissance observée est la dose d'aluminium apportée au deuxième traitement (0,8 mg.l⁻¹) étant supérieure aux teneurs actuelles de l'Al soluble et échangeable dans les sols de Duékoué et Aboisso. En revanche, Al échangeable est la fraction réactive dans le sol et est fortement sous l'influence de l'acidité du sol, principalement l'acidité actuelle et l'acidité potentielle. Un amendement minéral ou organique est envisageable pour évaluer leur effet sur les processus d'acidification des sols.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdenma D, 2013. Évaluation of Soil Acidity in Agricultural Soils of Smallholder Farmers in South Western Ethiopia. Sciences, Technology and Arts Reports Journal, Vol. 2, pp. 1-10.
- Baligar V. C. et Fageria N. K, 2005. Aluminum influence on growth and uptake of micronutrients by cacao. Rev. Vol. 1, pp. 25 – 39.
- Brou YT, 2005. Climat, mutations socioéconomiques 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, France, p.226.
- Boyer J, 1978. Le calcium et le magnésium dans les régions tropicales humides et subhumides. Initiation-Docummentation Technique n°35, ORSTOM, Paris, 173 p.
- Boyer J, 1982. Facteurs de fertilité et utilisation des sols In les sols ferrallitiques (Tome X). Initiations Documentations Techniques Vol. 52, pp. 338- 339.

- Bojórquez-Quintal E, Escalante-Magaña C, Echevarría-Machado I, Martínez-Estévez, M, 2017. Aluminum, a Friend or Foe of Higher Plants in Acid Soils. *Frontiers in plant science*, Vol. 8, pp. 17-67.
- Camus H, 1972. Etude hydrologique du Guémon à Duekoué. *Adiopodoumé: ORSTOM*, 19 p.
- Coutinho J. F, 1990. Exchangeable aluminum and root growth of wheat (*Triticum aestivum*) as criteria of lime requirement in acid soils of northeast Portugal. *Developments in Plant and Soil Sciences*, Vol. 41, pp. 435-441.
- Dabin B, Leneuf N. et Riou G, 1960. Carte pédologique de la Côte-d'Ivoire au 1/2.000.000. *ORSTOM. Institut d'enseignement et de recherches tropicales Adiopodoumé, Côte-d'Ivoire*. 28 P
- Dabin B, 1984. Les sols tropicaux acides. *Cahier de l'ORSTOM, Série Pédologie*. vol. 21, N° 1, pp. 7-20.
- Groupe chaulage comifer, 2009. Le chaulage des bases pour le raisonner. Version 2, *Comifer*, 110p
- Guerrier G., 1978. Absorption d'aluminium par des racines de plantes entières de fève et de lupin jaune. *Rev. Plant Soil*, Vol. 50, pp. 135–144.
- ICCO, 2015. *ICCO Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics*. Vol. 41, N° 4, pp. 5-12.
- Jiang J., Wang Y.P., Yu Cao N., Yan J., 2018. Soil organic matter is important for acid buffering and reducing aluminum leaching from acidic forest soils. *Chemical Geology*, Vol. 501, pp. 86-94.
- Keli Z. J. et Assiri A. A., 2001. Essai de bilan et perspectives des systèmes de cultures associées à base de plantes pérennes en Côte d'Ivoire. *Rev. Plant Soil*, Vol. 50, pp. 235–244.
- Koua A., 2007. Situation de la production de café en Côte d'Ivoire : cas du département d'Aboisso, état des lieux et perspectives. *Mémoire d'ingénieur, Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA), INPHB, Yamoussoukro*, 90 p.
- Krstic D., Ivica D., Dragoslav N. et Dragana B., 2012. *Aluminium in Acid Soils: Chemistry, Toxicity and Impact on Maize Plants. Food Production – Approaches, Challenges and Tasks*, Vol. 13, pp. 231-242.
- Nogueirol, R. C, Monteiro F. A. et Azevedo R. A : 2015. Tropical soils cultivated with tomato: fractionation and speciation of Al. *Environmental Monitoring and Assessment* 187, 160 (1-8).
- Omenda J.A., Ngetich K.F., Kiboi M.N., Mucheru-Muna M.W. et Mugendi D.N., 2021. Phosphorus availability and exchangeable aluminum response to phosphate rock and organic inputs in the Central Highlands of Kenya. *Heliyon*, Vol. 7, pp. 1-8.
- Ouertatani S., Kamel R., John R. et Azaiez G., 2011. Soil liming and mineral fertilization for Root nodulation and growth of faba beans in an acid soil in Tunisia. *Journal of Plant Nutrition*, vol.34, N°6, pp.850-860.
- Robert D. et Harter Ph.D., 2007. *Les sols acides des tropiques*. Université du New Hampshire. <https://www.echonet.org> ; Published 2007. 26p.
- Sierra J. et Desfontaines L. 2018. La dynamique de l'azote biodisponible dans les sols acides de Guadeloupe : Conséquences sur la gestion de la fertilisation azotée organique et minérale. *Rapport d'étude, Unité Astro, INRA Antilles-Guyane, Equipe AgroEcoSyst*, 28p.
- Segalen P., 1973. L'aluminium dans les sols. *ORSTOM, Initiations Documentations Techniques N°22*, 282p.

- Shetty R. et Prakash N. B., 2020. Effect of different biochars on acid soil and growth parameters of rice plants under aluminium toxicity. Scientific Report, N° 10, pp. 12-249.
- Shetty R., Vidya C.S., Prakash N.B., Lux A. et Vaculík M.,2021. Aluminum toxicity in plants and its possible mitigation in acid soils by biochar: A review. Science of The Total Environment, N° 756, pp. 14-27.
- Soltner D., 2005. Les bases de la production végétale. Tome 1. Le sol et son amélioration. Collection Sciences et techniques Agricoles, 24ème éd., Bressuire, France, 471 p
- Segalen., 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 ; p. 83.