

# *Diagnostic Agronomique De La Qualité Du Sol De La Parcelle Expérimentale De l'Université Jean Lorougnon Guédé Pour La Mise En Place D'un Système Agroforestier Irrigué*

N'Ganzoua Kouamé René<sup>1\*</sup>, Bayala Roger<sup>1</sup>, Kouame Amany Guillaume<sup>1</sup>, Konan Kouamé Firmin<sup>1</sup>, Tokpa Lisette Zeh<sup>2</sup>, Barima Yao Sadaïou Sabas<sup>2</sup> et Bakayoko Sidiky<sup>1</sup>

<sup>1.</sup> Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, Département de Pédologie, Laboratoire d'amélioration de la production agricole, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

<sup>2.</sup> Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Environnement, Groupe de Recherche interdisciplinaire en Ecologie du Paysage et en Environnement, Laboratoire de biodiversité et gestion durable des écosystèmes tropicaux, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

\*Auteur correspondant : N'Ganzoua Kouamé René ; [renenganz@yahoo.fr](mailto:renenganz@yahoo.fr)



## I. INTRODUCTION

Le sol, de par sa complexité et ses multiples fonctions peut avoir plusieurs définitions selon les différents domaines d'application. Dans son sens traditionnel, le sol est le milieu naturel de fixation des plantes par leurs racines où elles puisent l'essentiel de leur nourriture pour leur croissance et développement [1]. Son organisation morphologique et ses caractéristiques physiques et chimiques assurent la stabilité et la survie de la plante en la maintenant dans le sol et en l'alimentant en eau et en éléments minéraux. C'est donc un milieu de stabilité et de vie, riche en propriétés physico-chimiques indispensables pour la plante. Au plan agronomique, le sol désigne la couche superficielle de la terre, dite «couche arable» avec une profondeur acceptable, meuble que l'agriculteur travaille et entretient pour y faire pousser des cultures [2]. Bien souvent, ces agriculteurs ont par tradition une connaissance globale des itinéraires techniques des plantes à cultiver, mais, ils sont peu, ceux qui ont une connaissance sur la qualité agronomique du sol, notamment, l'état de fertilité physique et chimique du sol avant la mise en place des cultures. Ce qui a souvent conduit très tôt au déclin des cultures à longues ou à courtes racines non seulement du fait des contraintes physiques du sol [3] mais aussi de la disponibilité du sol en nutriments pour les plantes [4]. Or, une bonne croissance, un bon développement et une production durable des cultures est gage d'un bon diagnostic agronomique et d'une bonne connaissance morphopédologique et physico-chimique du sol [5]. Ces connaissances morphopédologiques et physico-chimiques du sol ne sont connues que, d'abord par la description du profil du sol, ensuite, la détermination des propriétés sur le terrain qui renseignent sur le niveau de la fertilité physique des sols et enfin, par l'analyse en laboratoire des échantillons de sol qui permettent de connaître le niveau de fertilité chimique des sols. Des indicateurs clés de la fertilité physique des sols portés sur les caractéristiques morphologiques des différents horizons, les proportions des particules solides du sol (argiles, limons et sables), la densité apparente et la réserve utile du sol ont été rapportés par plusieurs travaux, notamment, ceux de Kouamé et al. [3], Ouattara [6], Adéchina et al. [7]. De même, des indicateurs de la fertilité chimiques des sols rapportés par plusieurs chercheurs [8]-[9]-[10]-[11] ont relevé le taux de l'acidité du sol, les teneurs en éléments majeurs et oligoéléments. Dans un souci de pérenniser les cultures, maintenir la production et/ou d'optimiser le rendement tout en préservant le couvert forestier, plusieurs chercheurs s'accordent sur des pratiques agricoles durables, notamment, l'agroforesterie qui est définie comme un système agricole complexe intégrant des arbres dans les exploitations

agricoles[12]-[13]-[14] de sorte à réconcilier durablement la production agricole, la fertilité des sols et la protection de l'environnement [15]-[16]-[17]. Dans cette optique, un projet de mise en place d'un système agroforestier intégrant, cultures pérennes, cultures vivrières et arbres forestiers a été initié sur l'une des parcelles expérimentales de l'Université Jean Lorougnon Guédé. Mais bien avant la mise en œuvre de ce projet innovant, il convient de faire un diagnostic agronomique de la qualité du sol de ladite parcelle pour s'assurer de la durabilité des systèmes de culture envisagés. C'est dans ce but que s'inscrit cette étude intitulée « Diagnostic agronomique de la qualité du sol de la parcelle expérimentale de l'Université Jean Lorougnon Guédé pour la mise en place d'un système agroforestier ». Elle a pour objectif de déterminer le potentiel agronomique de la qualité du sol de la parcelle expérimentale de l'université Jean Lorougnon Guédé pour une implantation d'un système agroforestier productif et durable.

## II. METHODOLOGIE

### 2.1. Description de la zone d'étude

L'étude a été réalisée en mai 2022 en période de saison pluvieuse sur l'une des parcelles expérimentales de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (Figure 1). La ville de Daloa est le chef de lieu de la région administrative du Haut-Sassandra et le pôle de développement rural du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire situé entre le 6° et 7° de latitude Nord et le 7° et 8° de Longitude Ouest [18]. Le climat est de type tropical humide de transition avec une pluviométrie bimodale variant entre 1200 et 1600 mm/an [19]. La température moyenne annuelle se situe entre 24 et 25°C et l'humidité relative moyenne est d'environ 70% [20]. La couverture végétale, très hétérogène, varie progressivement d'une forêt humide semi-décidue à une savane préforestière. Les sols de la région sont basés sur de vastes massifs granitiques, des roches métamorphiques et schisteuses. Ils sont représentés comme un complexe de Distric plinthic ferralsol, qui globalement présentent de bonnes aptitudes agricoles pour tous les types de culture [21].

### 2.2. Prospection pédologique

La prospection pédologique a été réalisée selon la méthode des toposéquences [22]-[23]. Cette méthode consiste à étudier les sols se succédant du plateau au bas de versant d'un paysage morpho pédologique. Les travaux de prospection pédologique sur le site ont débuté par la détermination, à l'aide d'une boussole, d'une direction azimutale, de direction Nord suivant laquelle un layon a été ouvert.

### 2.3. Ouverture et description des fosses pédologiques

Suivant la toposéquence, des fosses pédologiques de dimension 100 x 80 x 120 cm ont été ouvertes manuellement suivant les positions préférentielles de plateau, de versant et de bas de versant (Figure 2). Ces fosses ont été décrites conformément aux critères définis par le CPCS [24] et inspirés de la méthode de Boulet *et al.* [25], l'approche de l'Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer [26] associées au guide simplifié pour la description des sols[27]-[28]-[29] et par la fiche de description de fosses pédologiques du modèle de STIPA [30] adapté au système WRB [31]. Ces critères sont basés entre autres sur l'épaisseur des horizons, la couleur, la matière organique, l'humidité, la texture, la structure, la cohésion générale, la compacité, la porosité, la densité, la taille et l'abondance des racines, le taux d'éléments grossiers, l'hydromorphie, les types d'horizons et le type de sol. Sur le terrain, ces principaux caractères morphologiques du sol ont été déterminés à travers des méthodes spécifiques résumées dans le tableau 1.

### 2.4. Caractérisation des propriétés physiques du sol

Après la description morphologique du profil, des échantillons de sol ont été prélevés dans les horizons A superficiel et B sous-jacent du sol et débarrassés des débris végétaux et gravillons pour la caractérisation des propriétés physiques du sol.

#### 2.4.1. Détermination de la granulométrie du sol

La granulométrie d'un sol définit les proportions des particules solides primaires du sol. Elle est déterminée à partir la mesure de la taille des particules solides du sol susceptible de traverser un tamis à différentes mailles. Ainsi, après la description du profil du sol, des échantillons de sol ont été prélevés aussi bien dans l'horizon A que celui du B à chaque niveau de la toposéquence (Plateau, Versant et bas de versant) pour déterminer les différentes proportions des particules solides (argile, limon et sable) du sol au laboratoire en utilisant la méthode par tamis[34]. Cette méthode permet de déterminer la texture du sol par séparation des fractions granulométriques. Le

principe de cette méthode par tamis consiste à séparer une portion d'échantillon de sol séché par vibration, sur une série de tamis superposés de différentes porosités (45 µm, 63 µm, 106 µm, 150 µm, 180 µm, 500 µm, 2 mm et 2,36 mm). Après agitation mécanique du tamis, à vitesse maximum de 2000 tours/min, pendant 25 minutes, les fractions granulométriques sont séparées selon leur taille, notamment, l'argile (< 45 µm), le limons (45 à 60 µm), les sables fins (106-500 µm) et grossiers (>2 mm). Le contenu de chaque tamis, est par la suite, pesé, et la fraction d'échantillon recueillie par tamis, est rapportée sur la quantité d'échantillon totale (en pourcentage) selon l'équation suivante :

**Poids du tamis avec la fraction - Poids du tamis vide**

$$\text{Fraction granulométrique (\%)} = \frac{\text{Poids du tamis avec la fraction} - \text{Poids du tamis vide}}{\text{Poids de l'échantillon total utilisé}} \times 100 \quad (1)$$

#### 2.4.2. Détermination de la densité apparente

La densité apparente est la masse de sol présente dans un volume donné, généralement exprimée en g/cm<sup>3</sup>. Elle traduit globalement l'état de compacité du sol et indirectement, la porosité totale et la capacité de l'eau de circuler dans le sol. La densité apparente du sol a été déterminée en utilisant la méthode du cylindre [35]-[36]. Le principe consiste à enfoncer mécaniquement un cylindre de diamètre 5cm et de longueur 10cm dans le sol à une profondeur souhaitée et à retirer le cylindre avec le sol qu'il contient. Cette prise de sol a été séchée à l'étuve à 105°C pendant 48 heures, puis pesée à la balance électronique de précision model NHB-1500 g. La densité apparente a été obtenue par le rapport suivant :

$$da = \text{Masse de sol séché} / \text{Volume du cylindre (g/cm}^3\text{)} \quad (2)$$

La densité apparente a été calculée pour les horizons A et B. en considérant chaque niveau de la toposéquence.

#### 2.4.3. Estimation de la réserve utile

La réserve en eau utile (RU) du sol est la quantité d'eau nécessaire qu'un sol peut absorber et restituer à la plante. Elle a été déterminée à partir des équations de Rawls et Brakensiek [37], en considérant les valeurs de la capacité au champ (pF<sub>2,5</sub>) et de l'humidité pondérale du sol au point de flétrissement (pF<sub>4,2</sub>). La réserve en eau utile (RU) est obtenue par l'équation :

$$RU = (\text{Humidité pF}_{2,5} - \text{Humidité pF}_{4,2}) \times z \quad (3)$$

Où : z = épaisseur de l'horizon en mètre

Le calcul de la réserve utile a été effectué pour les horizons A et B en considérant chaque niveau de la toposéquence.

#### 2.5. Caractérisation des propriétés chimiques du sol

Sur l'aire de la parcelle, trois échantillons de sol ont été prélevés à la tarière dans les 20 premiers centimètres suivant la toposéquence, aux positions préférentielles de plateau, de versant et bas de versant de l'interfluve. Ces échantillons de sol prélevés à chaque niveau de la toposéquence ont été mélangés pour obtenir un échantillon composite qui a été ensuite séché à l'air sous abri, puis passé au tamis fin avant d'être broyé. Un échantillon représentatif d'un kilogramme de sol composite broyé de chaque niveau (plateau, versant et bas de versant) de la toposéquence a été conditionné dans des films plastiques noirs prévus à cet effet et envoyé au Laboratoire des Végétaux et des Sols de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny de Yamoussoukro, en Côte d'Ivoire pour les analyses. Ces analyses ont concerné :

- le pH<sub>eau</sub>: il a été déterminé en utilisant la méthode du pH-mètre électronique en verre dans un rapport sol/solution de 1/2,5 [38]. Le principe consiste à plonger l'électrode en verre du pH- mètre dans le mélange de sol et à faire directement la lecture sur le cadran du pH-mètre après stabilisation pour donner la valeur du pH ;

- la teneur du carbone total : la détermination de la teneur du carbone total a été faite par la Méthode de Walkley et Black décrite par Nelson et Sommers [39]. Le principe consiste à oxyder, à froid, le carbone organique total présent dans le sol par une solution de bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ), en présence d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ). Le titrage de l'excès du bichromate est fait en milieu fortement acide, au moyen d'une solution de sulfate ferreux 0,5N ( $FeSO_4, 7H_2O$ ). La proportion de carbone organique total est déterminée après virage de la solution au brun. La teneur en matière organique a été déterminée en multipliant le pourcentage de carbone du sol par un facteur de conversion constante et égale à 1,724 à travers ( $\%C \times 1,724 = MO$ ) selon Bemmelen [40]; ;

- la teneur de l'azote total : la méthode de Kjeldahl modifiée a été utilisée [41]. Le principe consiste à transformer, en milieu acide, les composés organiques azotés en sulfate d'ammoniaque  $SO_4(NH_4)_2$ , en présence d'acide sulfurique concentré ( $H_2SO_4$ ), à chaud, et d'un mélange de catalyseurs ( $K_2SO_4$  et  $CuSO_4$ ). L'ammoniaque ainsi formé est déplacé de ses combinaisons par la soude (NaOH) concentrée, distillée par entraînement de vapeur, recueilli dans une solution d'acide borique ( $H_3BO_3$ ) et dosé par l'acide sulfurique titré.

- le rapport C/N: il a été calculé en utilisant le rapport du carbone total par l'azote total kjeldahl ;

- la teneur du phosphore assimilable : elle a été déterminée par la méthode Olsen-Dabin décrite par Olsen et Sommers [42]. Le phosphore assimilable du sol est extrait par une solution de bicarbonate de sodium ( $NaHCO_3$  ; 0,5N), pH<sub>8,5</sub> sur un autoanalyseur, en mesurant l'intensité du complexe bleu phosphomolybdique ;

- La capacité d'échange cationique (CEC) et les bases échangeables ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  et  $Na^+$ ) : elles ont été extraites par rinçage d'une solution d'acétate d'ammonium ( $NH_4C_2H_3O_2$ , 1N) à pH7. Le principe de cette méthode est basé sur le fait que la quantité d'ammonium retenue par le sol après lavage de l'excès d'acétate d'ammonium est exprimée en capacité d'échange des cations (CEC). L'ammonium retenu est libéré par percolation, et déterminé par autoanalyseur. Les bases échangeables ( $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$ ) ont été déterminées par spectrophotométrie d'absorption atomique et, le  $K^+$  par photométrie à flamme, dans le percolât.

## 2.6. Détermination du potentiel agronomique du sol de la parcelle expérimentale

Le potentiel agronomique du sol définit un certain nombre de paramètres morphologiques et physico-chimiques donnant une possibilité de cultiver le sol en fonction des exigences de la plante envisagée. Elle a été déterminée ici à la partir de la limitation agricole basée sur la profondeur du sol utile, le pH<sub>eau</sub>, la répartition des gravillons sur la face du profil du sol, la texture du sol, la teneur des nutriments (matière organique-MO, azote-N, Phosphore assimilable-Pass, potassium-P, somme des cations-S, volume de saturation-V et la capacité d'échanges cationiques-CEC [43]-[44]-[45] à chaque niveau de la toposéquence (Tableau 2).

## 2.7. Traitement statistique des données

L'analyse des données a été faite à l'aide de méthodes de statistique descriptive et d'analyses de variance (ANOVA) réalisée avec le logiciel SAS version 9.4. Les moyennes ont été séparées au moyen du test de Newman et Keuls au seuil de probabilité de 5%.

# III. RESULTATS

## 3.1. Caractéristiques morphologiques des profils du sol

Les profils de sol ouverts tout le long de la toposéquence (Plateau, Versant et bas de versant) et morphologiquement décrits sont présentés par la figure 3. Deux grands horizons (horizon A superficiel et horizon B sous-jacent) d'épaisseurs variables ont été déterminés à chaque niveau de la toposéquence. Globalement, on note que les caractéristiques dominantes décrites sont identiques à quelques différences près selon les horizons et les niveaux de la toposéquence.

Au niveau des caractéristiques de l'horizon A, on note qu'il est humifère, poreux, meuble avec de nombreuses racines à orientation subhorizontale et une structure grumeleuse quel que soit le niveau de la toposéquence. En revanche, l'épaisseur, la couleur, l'hydromorphie et les gravillons ont tendance à varier selon les niveaux de la toposéquence. De façon plus explicite, l'épaisseur de la couche A, augmente avec le niveau de la toposéquence. Elle est respectivement de 22 cm au plateau, 25 cm au versant et de 28

cm au bas de versant. La couleur également varie de brun foncé (7,5 YR, 3/2) au niveau du plateau à brun (7,5YR, 5/3) au versant et (7,5YR, 4/2) au bas de versant. Aucune tâche d'hydromorphie n'a été observée au plateau, au versant et au bas de versant et la structure est grumeleuse. La proportion de gravillons dans le sol décroît avec le niveau de la toposéquence. Elle est de 15 à 20% au niveau du plateau et de 5 à 10% au versant et bas de versant. C'est un horizon A11.

Au niveau des caractéristiques de l'horizon B, une description similaire a été notée avec des similitudes et des dissimilitudes. La couche B, a une épaisseur respectivement au niveau du plateau plus importante (98 cm), au versant (95 cm) et au bas de versant (82 cm). En outre, l'horizon B est peu humifère, peu poreux et peu compact. Quelques racines sont observées au plateau et au versant à rares racines au bas de versant. La couleur est brun jaunâtre (10YR) quel que soit le niveau de la toposéquence. La structure est polyédrique subangulaire au plateau et au versant et massif à débit polyédrique au bas de versant. La proportion des gravillons est relativement élevée au plateau qu'au bas de versant. En définitif, cette description morpho pédologique présente un sol profond de plus de 100 cm quel que soit le niveau de la toposéquence avec un endoplinthic ferralsol au plateau, un plinthic leptosol au versant, un pseudogleyic ferralsol au bas de versant. C'est un horizon B12

### **3.2. Caractéristiques physiques du sol**

#### **3.2.1. Granulométrie et texture du sol**

Le Tableau 3 présente les teneurs moyennes des différentes particules solides du sol (Argile, limon et sable) et sa texture selon le niveau de la toposéquence, aussi bien pour l'horizon A superficiel que l'horizon B sous-jacent. Son analyse montre qu'il existe une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les teneurs moyennes des fractions du sol en argile aussi bien dans l'horizon A ( $p=0,042$ ) que dans l'horizon B ( $p=0,059$ ). La granulométrie de l'horizon A, indique une teneur en argile faible au bas de versant (15,75%) comparativement à celles du plateau (25,50%) et du versant (25,67%) qui affichent des teneurs moyennes statistiquement identique.

En revanche les teneurs en limon et en sable n'ont pas été statistiquement différent ( $p > 0,05$ ) quel que soit le niveau de la toposéquence. La teneur en limon est statistiquement identique au plateau (20,56%), au versant (26,75%) et au bas de versant (20,53%). Un résultat similaire a été noté au plateau (55,84%), au versant (48,75%) et au bas de versant (65,75%) avec le sable.

Pour ce qui conserve l'horizon B, les teneurs des fractions granulométriques sont similaires à celles de l'horizon A dans le même ordre de variation. La teneur en argile a été significative ( $p < 0,05$ ) alors que celles du limon et du sable affichent des valeurs statistiquement identique pour tous les niveaux de la toposéquence. Au niveau de la texture, bien que des variantes relatives existent entre les niveaux des toposéquences, la texture globale enregistrée est la texture limono-argilo-sableuse (LAS) aussi bien dans l'horizon A que celui de l'horizon B.

#### **3.2.2. Densité apparente du sol**

Les densités apparentes moyennes calculées à chaque niveau de la toposéquence dans les horizons, A superficiel et B sous-jacent sont enregistrées dans le tableau 4. On note qu'aucune différence significative n'existe entre les valeurs moyennes de la densité apparente quel que soit le niveau de la toposéquence avec une moyenne générale comprise entre 1,35 et 1,50 g/cm<sup>3</sup>. En outre, la densité apparente augmente relativement en passant de la couche superficielle (A) à la couche sous-jacente (B) dans un même niveau de la toposéquence. Cependant, on a noté que la densité apparente au plateau (horizon A = 1,4 g/cm<sup>3</sup> ; horizon B = 1,5 g/cm<sup>3</sup>) et au bas de versant (horizon A = 1,4 g/cm<sup>3</sup> ; horizon B = 1,5 g/cm<sup>3</sup>) sont identiques et les plus élevées par rapport à celle du versant (horizon A = 1,3 g/cm<sup>3</sup> ; horizon B = 1,4 g/cm<sup>3</sup>). Par ailleurs, la densité apparente du sol satisfaite comparativement à la norme considérée dans les sols tropicaux qui est comprise entre 1,30 et 1,70 g/cm<sup>3</sup>.

#### **3.2.3. Reserve utile du sol**

Les réserves utiles estimées par horizon à chaque niveau de la toposéquence sont enregistrées dans le tableau 5. On note qu'aucune différence significative n'existe entre les valeurs moyennes de la réserve utile quel que soit le niveau de la toposéquence avec une moyenne générale comprise au-dessus de 100 mm. Ce qui pourrait se traduire par une bonne capacité de rétention et de circulation de l'eau du sol.

### 3.3. Caractéristiques chimiques du sol

#### 3.3.1. pH<sub>eau</sub>, Matière organique, Carbone, Azote et Phosphore assimilable

Les valeurs moyennes des teneurs du pH<sub>eau</sub>, de la matière organique du carbone, de l'azote, du rapport carbone sur azote et du phosphore assimilable issues de l'analyse des échantillons sont présentées dans le tableau 6. On note une variabilité significative ( $p < 0,05$ ) des différents paramètres chimiques selon les niveaux de la toposéquence. Explicitement, on note que :

-le pH<sub>eau</sub> : la comparaison de sa valeur moyenne indiquant l'acidité des niveaux de la toposéquence montre que, le versant (pH= 6,3) et le bas de versant (pH=6,5) ont affiché des taux d'acidité statistiquement identiques et plus élevés que le plateau (pH=5,9). Par ailleurs, si l'on se réfère à la valeur normative et à la moyenne générale du taux du pH<sub>eau</sub> (6,7), le sol de l'UJLoG est globalement peu acide ( $6,5 < \text{pH}=6,7 < 7,5$ ).

-la matière organique et le carbone : la matière organique et le carbone ont affiché des teneurs moyennes significatives ( $p < 0,05$ ) par rapport aux différents niveaux de la toposéquence. La matière organique-MO et le carbone-C ont eu des teneurs respectivement plus élevées et satisfaites au plateau (MO = 2,29% ; C= 1,33%) comparativement aux niveaux du versant (MO=1,89% ; C=1,10%) et du bas de versant (MO=1,84% ; C=1,07%) de la toposéquence qui ont eu des teneurs intermédiaires, identiques et insatisfaites par rapport aux normes. Cependant, la moyenne générale de ces paramètres indiquent que les teneurs en matière organique ( $2 < \text{MO}=2,01\% < 3$ ) et en carbone ( $1,2 < \text{C}=1,17\% < 1,7$ ) sont assez bonnes. Le sol est moyennement pourvu en matière organique et en carbone.

-l'azote : les niveaux de la toposéquence (plateau, versant et bas de versant) n'ont aucunement et significativement impacté la teneur de l'azote ( $p > 0,05$ ) qui d'ailleurs est faible et très insatisfaite, excepté pour le plateau (N=0,10 %) qui semble respecter la normalité. Ce qui dénote que le sol de la parcelle expérimentale de l'UJLoG est globalement pauvre en azote ( $\text{N}=0,09\% < 0,1$ ).

-le rapport C/N : le rapport C/N n'a pas été significativement affecté par les niveaux de la toposéquences bien qu'il indique en moyenne une bonne minéralisation ( $11 < \text{C/N}=12,30 < 15$ ) quel que soit le niveau de la toposéquence.

-le Pass : l'analyse du tableau montre que le phosphore assimilable a présenté des différences significatives ( $P < 0,05$ ) au niveau de la toposéquence. A cet effet, la comparaison des moyennes indique une teneur en phosphore assimilable plus importante et statistiquement identique au plateau (Pass=6,38 ppm) et au versant (Pass=5,71 ppm) qu'au bas de versant (Pass=4,46 ppm). Toutefois, aucune teneur du phosphore assimilable n'est satisfaite si l'on tient compte de la normalité. Le sol est globalement pauvre en phosphore (Pass=5,52ppm < 10).

#### 3.3.2. Teneurs des cations échangeables, Somme des cations échangeables, Capacité d'échange cationique et le taux de saturation des cations.

Le tableau 7 présente les teneurs respectives des cations échangeables, de la capacité d'échange cationique et du taux de saturation des cations résultant de l'analyse des échantillons de sol prélevés. Il ressort de l'analyse du tableau que les cations échangeables, la capacité d'échange cationique et le taux de saturation sont variablement affectés par les différents niveaux de la toposéquence. De façon spécifique on a noté que le potassium-K, le sodium-Na et la capacité d'échange cationique-CEC n'ont affiché aucune valeur significative ( $p > 0,05$ ) entre les différents niveaux (plateau, versant et Bas de versant) de la toposéquence. Toutefois il convient d'indiquer que les teneurs moyennes en général du potassium-K ( $\text{K}= 1,48 \text{ cmol/kg} > 0,4$ ), du sodium-Na ( $\text{Na} > 0,30 \text{ cmol/kg}$ ) et de la capacité d'échange cationique-CEC ( $10 < \text{CEC}= 16,83 \text{ cmol/kg} < 20$ ) ont été satisfaites comparées à la norme. En revanche, le calcium-Ca, le magnésium-Mg, la somme des cations échangeables-SCE et le taux de saturation des cations-V ont eu des teneurs significativement impactées par les niveaux de la toposéquence. Concrètement, les teneurs du calcium-Ca et de la somme des cations échangeables-SCE ont été statistiquement identiques et les plus élevées au plateau (Ca=6,59 cmol/kg ; SCE=8,75 cmol/kg) et au versant (Ca=5,15 cmol/kg ; SCE= 7,34 cmol/kg) comparativement au bas de versant (Ca=3,17 cmol/kg ; SCE=5,49 cmol/kg). Un résultat similaire a été obtenu avec le magnésium-Mg et le taux de saturation-V avec des teneurs plus élevées au plateau (Mg=3,17 cmol/kg ; V=51,07%) alors que le versant (Mg=0,43 cmol/kg ; V= 42,98 %) et le bas de versant (Mg=0,31 cmol/kg ;

V=33,93%) affichaient des teneurs identiques et intermédiaires. En comparant les teneurs moyennes générales aux teneurs normatives, il ressort que les cations échangeables, la capacité d'échange cationique et taux de saturation ont été tous satisfaits.

### 3.4. Potentiel agronomique du sol de la parcelle

Le potentiel agronomique ou l'aptitude culturale du sol a été mis exergue à travers les degrés de limitation agricole présentés dans le tableau 8 en fonction des niveaux topographiques du sol. Il ressort de l'analyse du tableau pour ce qui concerne les propriétés physiques, qu'aucune limitation n'a été observée quel que soit le niveau de la toposéquence l'on tient compte de la profondeur de la couche superficielle (22-28cm), du pH<sub>eau</sub> (5,9-6,5) et de la teneur du potassium (1,44-1,55 cmol/kg). Au niveau de la répartition des gravats dans le sol, le plateau et le versant affiche un degré de limitation moyenne (10-20%) contre 10 % (sans limitation) au bas de versant. La texture limono-argilo-sableuse ne constitue pas une limitation au plateau et au versant alors qu'au bas de versant il y a une limitation moyenne avec la texture à limono-sableuse. Les taux de matière organique (2,29%) et d'azote (0,10%) ne constituent aucunement une limitation au plateau alors qu'ils présentent une limitation moyenne au versant (MO =1,89% ; N = 0,09%) et bas de versant (MO = 1,84% ; N = 0,08%). Le potassium est respectivement sans limitation au plateau (20,39 cmol/kg), d'une limitation moyenne (18,45 cmol/kg) au versant et d'une limitation faible (14,24 cmol/kg) au bas de versant. La somme des cations échangeables, a affiché une limitation moyenne au plateau (8,75 cmol/kg) et une sans limitation au versant (42,98 cmol/kg) et au bas de versant (33,93 cmol/kg). La capacité d'échange cationique a eu une limitation moyenne tout au long de la toposéquence. Le volume de saturation des cations a donné une limitation moyenne au plateau (51,07 %) et une limitation faible au versant (42,98%) et au bas de versant (33,93 %).

## IV. DISCUSSION

La description des caractères morphologiques a été faite à partir des profils du sol réalisés à différents niveaux de la toposéquence (plateau, versant et bas de versant). Ces profils avaient tous, à tous les niveaux de la toposéquence une profondeur de plus de 120 cm. Ce qui témoigne d'un caractère profond du sol de la parcelle expérimentale. La profondeur des sols constitue l'un des caractères morphologiques primordiaux pour identifier la typologie du sol. En effet, selon les travaux de Boyer [43] et ceux de Van Wambeke [48], un sol profond de plus de 100 cm qui ne rencontre aucune contrainte majeure est qualifié de ferralsol [31]. Les ferralsols, de par leur caractère profond sont propices aussi bien aux cultures pérennes à longue racines qu'aux cultures annuelles à racines courtes [49]. En outre, les fractions granulométriques des horizons A superficiel et B sous-jacent du sol de la parcelle présentent, du point de vue des propriétés physiques, une texture relativement équilibrée principalement, limono-sablo-argileuse. En effet, toutes les trois fractions granulométriques (Argile, limon et sable) sont d'une manière générale bien représentées quel que soit le niveau de la toposéquence. Ce qui leur confère de bonnes potentialités agronomiques selon les travaux de Tossou *et al.* [50]. La texture limono-argilo-sableuse est indicateur d'une texture équilibrée qui se présente comme une texture favorable pour les plantes cultivées. Ce qui serait un avantage à l'adaptation des cultures. Ce résultat confirme les travaux menés par Buol *et al.* [51] et Pypers *et al.* [52] qui ont montré que la texture argilo-sableuse du sol est excellente et convenable à la plupart des cultures pour un bon rendement. Aussi, le sol de la parcelle expérimentale a enregistré une densité apparente moyenne qui est comprise entre 1,35 et 1,50g/cm<sup>3</sup>. Ces valeurs correspondent à la norme de la densité apparente des ferrasols variant entre 1,30 et 1,70 g/cm<sup>3</sup> selon les travaux de Bitom [46]. Cette densité apparente du sol serait due à l'abondance des particules argileuses fines qui compactent et densifient le matériau [53]. Par ailleurs, la densité apparente croit en passant de l'horizon A plus superficiel à l'horizon B sous-jacent. Ce résultat corrobore les travaux de Kouadio *et al.*, [54], affirmant que la densité apparente est basse dans les horizons supérieurs par rapport aux horizons inférieurs. La basse densité apparente dans l'horizon (A) en surface est le sens que la porosité est plus élevée dans cet horizon plus que dans les horizons plus en profondeur [55]. La réserve utile du sol enregistrée a été aussi élevée (> 100 mm) constituant une bonne réserve d'eau dans le sol pour la nutrition hydrominérale de la plante [47]. Cette bonne capacité de rétention en eau du sol de la parcelle expérimentale résulterait de sa composition granulométrique et sa texture limon-argilo sableuse [56], de sa bonne disposition en structure grumeleuse à tendance polyédrique subangulaire [57]. Ces propriétés confèrent au sol une porosité suffisante pour faciliter la circulation de l'eau dans les interstices du sol pour stocker l'eau pour les racines [58] et aussi pour l'absorber par succion [59]. En définitif, le sol de la parcelle de l'Université Jean Lorougnon Guédé présente morphologiquement et physiquement des caractères favorables à toute sorte de culture qu'elle soit pérenne ou annuelle.

L'analyse des paramètres chimiques du sol a permis de déduire que le sol de la parcelle expérimentale de l'UJLoG est peu acide et moyennement riche en éléments nutritifs si l'on se réfère aux teneurs quantitatives en nutriments observées. La teneur moyenne de la matière organique est globalement satisfaite par référence à la normalité ( $2 \leq \text{MO}\% \leq 3$ ). Cette forte teneur en matière organique serait due au fait que la parcelle est une jachère de plus d'une vingtaine d'années et donc elle a pu produire une biomasse abondante sur le sol [60]-[61]. Cette abondante matière organique conférerait au sol des nutriments nécessaires pour les cultures par des processus d'humification et de minéralisation, et par conséquent l'amélioration de la fertilité [62]-[63]-[64]. Cette qualité de la matière organique a impacté positivement l'acidité du sol à travers le taux du pH peu acide [65]. En effet, à des valeurs moyennes de pH ( $\text{pH} \geq 5$ ), la matière organique a tendance à développer plus de charges négatives qui pourraient entraîner la fixation des bases échangeables sur le complexe absorbant du sol [66]-[67], réduisant ainsi le nombre d'ions  $\text{H}^+$  adsorbés qui sont sources d'acidité des sols [68]. En outre, le taux de matière organique a également influencé la teneur en capacité d'échange cationique-CEC qui se trouve dans un intervalle acceptable ( $10 \leq 16,83 \text{ cmol/kg} \leq 20$ ). Ces résultats confirment les travaux de Alexandre et al. [69]; Koull et Halilat [70], qui ont montré que la CEC est intimement liée au taux de matière organique dans le sol. Par ailleurs, il est important de souligner que les valeurs de CEC obtenues ont été moyennes. Il serait donc opportun de développer des techniques culturales susceptibles de maintenir ou d'améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol pour l'époussement des plantes cultivées [71]. Les résultats d'analyses ont également montré que le sol est moyennement saturé en cations échangeables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) avec des concentrations en cations acceptables. Cela est lié à la qualité du complexe argilo-humique qui est riche en matière organique, et par conséquent, en humus [72]. Cette richesse du complexe argilo-humique peut aussi expliquer le caractère peu acide du sol. La teneur du sol en phosphore assimilable a été aussi très faible surtout au versant et au bas de versant. Ce constat serait lié aux faibles taux de matière organique observés à ces niveaux de la toposéquence. En effet, de nombreux auteurs dont Tumer [73] et Ballot *et al.* [74] ont souligné l'importance de la matière organique dans la disponibilité du phosphore assimilable et dans le stockage réversible des éléments nutritifs par l'intermédiaire de la minéralisation/immobilisation par les microorganismes [8]-[75]-[76]. Ainsi, la matière organique joue un rôle déterminant dans l'amélioration de la fertilité des sols [77].

Le potentiel agronomique du sol a été observé respectivement à travers la profondeur des profils, le taux gravillonnaire, la texture, l'acidité et la teneur des nutriments dans le sol. Ces paramètres n'ont en aucun cas constitué une contrainte majeure quant à l'implantation d'un système agroforestier au regard des degrés de limitation agricole observés (sans à faible limitation) dans le tableau 8 quel que soit le niveau de la toposéquence.

Ce résultat peut s'expliquer par l'effet d'accumulation de la matière organiques au plateau suite à la décomposition des débris végétaux et qui a plus ou moins été entraîné par effet de pente vers le versant et le bas de versant par les eaux de ruissellement. Cependant, il convient d'indiquer que le potentiel agronomique de la parcelle est globalement sans limite au plateau, de limite moyen au versant et de limite faible au bas de versant, témoignant ainsi le degré de dégradation du sol de la parcelle le long de la toposéquence.

## V. CONCLUSION

L'étude menée sur la parcelle expérimentale de l'université Jean Lorougnon Guédé de Daloa visait à faire un diagnostic agronomique de la qualité du sol de la parcelle expérimentale de l'UJLoG pour l'implantation d'un système agroforestier intégrant, cultures pérennes, annuelles et arbres forestiers. L'ensemble des caractéristiques morphologiques et des propriétés physiques du sol de la parcelle déterminés, révèle un ferralsol sans contrainte majeure avec une texture limono-argilo-sableuse, une structure grumeleuse, une densité apparente convénable et une bonne réserve utile pour les plantes. En outre, l'analyse chimique des échantillons du sol prélevés, a révélé un sol peu acide et faiblement à moyennement riche en nutriments quel que soit le niveau de la toposéquence. Ces différentes caractéristiques morphopédologiques, physiques et chimiques confèrent au sol de la parcelle expérimentale de l'Université Jean Lorougnon Guédé, une bonne aptitude culturale pour la mise en place d'un système agroforestier intégrant toute sorte de culture. Cependant, il convient d'indiquer que le sol est peu acide et de fertilité faible à moyenne. Pour sa mise en valeur à travers l'implantation d'un agrosystème forestier, il serait opportun de développer des techniques culturales susceptibles d'améliorer la fertilité du sol pour l'épanouissement des plantes cultivées.

## REMERCIEMENT

Le laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole et l'équipe de recherche en Agro-pédologie de l'Université Jean Lorougnon Guédé tient à remercier toutes les structures partenaires de la recherche dans le champ disciplinaire pour leur collaboration au cours de cette étude. Nous remercions également la gouvernance de l'Université Jean Lorougnon Guédé Daloa pour nous avoir permis de travailler sur la parcelle expérimentale de l'Université.

## REFERENCE

- [1]. Delecour F, 1981. Initiation à la Pédologie. Service de la Science du Sol. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat Gembloux (Belgique). 78p
- [2]. (Memento de l'agronome, 2023).
- [3] Kouamé FK, Kouamé RN, Roger B, Amidou O, Akre HDA, Kouadio CK, Dognimeton S, Gohi FZB, Brahim K and Sidiky B, 2022. Morphopedological characteristics and physical potential of Zépréguhé Soils in Daloa Region, Centre West, Côte d'Ivoire. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 15(02) : 598–605.
- [4] Konan KF, 2012. Diagnostic minéral d'un sol de bas-fond secondaire développé sur matériaux granito-gneissique en région centre de la Côte d'Ivoire : essai comportant de riziculture irriguée. Université Félix Houphouët Boigny Cocody-Abidjan. Diplôme d'études approfondies en sciences de la terre, 58p.
- [5] Soumaré M, Demeyer A, Tack FMG et Verloo MG, 2002. Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts. *Bioresource Technology*, 81(2) : 97-101.
- [6] Ouattara A, 2022. Caractérisation des propriétés physiques du sol de la parcelle expérimentale d'un système agroforestier de l'Université Jean Lorougnon Guédé Daloa-Côte d'Ivoire. Université Jean Lorougnon Guédé, Mémoire de master 2, UFR Agroforesterie, option Amélioration des ressources agricoles, 46p
- [7]. Adéchina O, Ouattara A and N'Ganzoua KR, 2018. Morphological and physico-chemical properties as affected by savanna soils along toposequences in Gogbala (Northern Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 25(1) : 437-445
- [8]- Bertrand R. et Gigou J. 2000. La Fertilité des Sols Tropicaux (N° 40). Maisonneuve et Larose, Paris, 397 p.
- [9]- Traoré K., 2003. Le parc à karité, sa contribution à la durabilité de l'agrosystème : cas d'une toposéquence à Konobougou dans le Mali-sud. Thèse de Doctorat en Sciences du Sol, Université de Montpellier II, ENSAM, France, 180p.
- [10]- Traore K.B., Gigou J.S., Coulibaly H., Doumbia M.D. 2004. Contoured ridge-tillage increases cereal yields and carbon sequestration. In 13th International soil conservation organisation conference, Brisbane, July 2004, Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions. 2004, 6p.
- [11] Doumbia M., Jarju A., Sene M., Traore K., Yost R., Kablan R. *et al.*, 2008. Sequestration of organic carbon in West African soils by Aménagement en Courbes de Niveau. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 267-275.
- [12]- Rice R.A., Greenberg R. 2000. Cacao Cultivation and the Conservation of Biological Diversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(3), 167-173.
- [13]-Sonwa, D.J., Weise S.F., et Janssens M.J.J. 2002. Conservation et gestion durable des écosystèmes des forêts tropicales humides de l'Afrique centrale, étude de cas d'aménagement forestier exemplaire en Afrique centrale: Les systèmes agroforestiers cacaoyers Cameroun.; 49 p.
- [14] Adou, Y.Y.C. Kpangui, K., Vroh, B.T.A. et Djakaridja O. 2016. Pratiques culturelles, valeurs d'usage et perception des paysans des espèces compagnes du cacaoyer dans des agrosystèmes traditionnelles au centre de la Côte d'Ivoire, *Revue d'ethnoécologie*, 9 : 20p

- [15]- Vaast P., Somarriba C E. 2014. Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry Systems*, 88 (6): 947-956.
- [16]- Vroh, B.T.A, Ouattara, D. et Kpangui, K.B. 2014. Disponibilité des espèces végétales spontanées à usage traditionnel dans la localité d'Agbaou, Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 76 : 6386-6396.
- [17]. N'ganzoua Kouamé René, Kouamé Amany Guillaune, Voui Bi Bianuvrin Noel Boue and Bakayoko Sidiky 2021. Impact of Agroforestry Systems on Mineral Fertility of Soils under Cocoa Trees in Toumodi (Côte D'ivoire), *International Journal of Plant & Soil Science*, 33(17): 10-22
- [18]. Diarra A, Dali GC et Sekongo L.G (2016). Crise de l'eau potable en milieu urbain : cas de la ville de Daloa. *Revue de Géographie de l'Université Ouaga I*, 2 (5) : 134-135.
- [19]. Koffie-bikpo Y et Kra S (2013). La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire. *Revue de Géographie tropicale et d'environnement*, 2 :95-103
- [20]. N'guessan AH, N'Guessan KF, Kouassi KP, Kouamé NN et N'Guessan PW. 2014. Dynamique Des Populations Du Foreur Des Tiges Du Cacaoyer, *Eulophonotus Myrmeleon Felder* (Lépidoptère: Cossidae) Dans La Région Du Haut-Sassandra En Côte d'ivoire." *Journal of Applied Biosciences*, 83: 147–.606.
- [21]. Zro FGB, Guéi AM, Nangah YK, Soro D & Bakayoko S 2016. Statistical approach to the analysis of the variability and fertility of vegetable soils of Daloa (Côte d'Ivoire). *African Journal of Soil Science*, 4 (4) : 328-338.
- [22]- Yéboué K.E, Kouadio K.P, Blé L.O et Yao-Kouamé A. 2018.Caractéristiques Morphopédologiques et Géochimiques des Sols Brunifiés de Anikro et de Kahankro (Centre-Sud de la Côte d'Ivoire), *European Scientific Journal*, 14(3) :281-300
- [23]. Beaudou AG et Chatelin Y 1977. Méthodologie de la représentation des volumes pédologiques : typologie et cartographie dans le domaine ferrallitique africain. *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie*, 15 (1):3-18
- [24] CPCS, 1967. Classification des sols. Travaux CPCS 1963-1967, 100 p.
- [25] Boulet R, Chauvel A, Humbel FX, Lucas Y, 1982. Structural analysis and cartography in pedology: taking into account the two-dimensional organization of the pedological cover: studies of toposequences and their main contributions to knowledge of soils . *Cah. ORSTOM, ser. Pedol*, 19(4): 309-321.
- [26] ORSTOM, 1983. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre -Mer. Centre d'Adiopodoumé-Côte d'Ivoire. Etude pédologique et représentation cartographique A 1/10000 d'une zone représentative des savanes du Centre – Nord – ouest de la Côte d'Ivoire (partie nord de la coupure IGN de Mankono à 1/200000 Sous -Préfecture de Dianra). 135 p.
- [27] Delaunois A 2006. Guide simplifié pour la description des sols. Disponible à <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Fertilisation-des-Terres-et-des-Sols/p%C3%A9dologie/physique-des-sols/guide-simplifi%C3%A9-pour-la-description-des-sols.pdf>. Consulté le 23-06-2022. 37 p.
- [28] Baize D et Abiol B. 2011. Guide pour la description des sols. Nouvelle édition. Quae éditions. 448p
- [29] Delaunois A, Ferrie Y, Bouche M, Colin C et Rionde C, 2013. Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols destiné aux agriculteurs et aux agronomes des sols. Chambre d'agriculture du Tarn et INRA de Montpellier. 39 p.
- [30] STIPA, 2000. UMR. Sol et Environnement-INRA-Montpellier. Fiche de description d'une fosse pédologique selon le modèle STIPA. 6 P.
- [31] WRB, 2022. World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.4<sup>th</sup> Edition, 234 p.
- [32] Munsell Color (Firm). 1975. Munsell soil color charts 1975th ed. Baltimore Md: Munsell Color

- [33] Dürr M, Urech K., Boller T, Wiemken A, Schwencke J, Nagy M 1979. Sequestration of arginine by polyphosphate in vacuoles of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Arch. Microbiol.* 121 :169-175
- [34] CEAEQ, 2015. Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec. Détermination de la granulométrie, MA. 100 – Gran. 2.0, rév. 1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, 11 p.
- [35]- Boa D 1989. Caractérisation des propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialités des sols gravillonnaires : cas de Boro-Borotou. Thèse de Doctorat-Ingénieur. Université Nationale de Côte d'Ivoire. 186 p.
- [36]. Chamayou P et Legros JP, 1989. Les bases chimiques et minéralogiques de la science du sol. Techniques vivantes. 389 p.
- [37]- Rawls WJ et Brakensiek DL 1982. Estimating Soil Water Retention from Soil Properties." *Journal of the Irrigation and Drainage Division* 108 (2): 71-166
- [38]Diack, M. et Loum, M. 2014. Caractérisation par approche géostatistique de la variabilité des propriétés du sol de la ferme agropastorale de l'Université Gaston Berger (UGB) de Saint Louis. Dans le bas delta du fleuve Sénégal". *Revue de géographie du laboratoire Leïdi*. 12: 15 p.
- [39] Nelson, D.W. et Sommers, L.E. 1996. *Total carbon, organic carbon, and organic matter*. In Sparks, D.L., et al., Eds., *Methods of Soil Analysis*. Part 3, SSSA Book Series, Madison, 961-1010.
- [40] Bemmelen V.J.M. 1890. Ueber die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloïdalen Silikaten gebundenen Kieselsäure, des Mangans u.s.w. im Ackerboden. *Landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen*, 37 : 279-290
- [41] Gianello C. et Bremner J. M. 1986. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 17:2, 195-214
- [42] Olsen, S.R. and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In: Page, A.L., Ed., *Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, 403-430.
- [43] Boyer J 1982. Les sols ferrallitiques, tome X. Facteurs de fertilité et utilisation des sols. Initiation-Documentations techniques N°52 ORSTOM, 396 p
- [44] Sys C, 1978. Evaluation of land limitations in the humid tropics. *Pédologie*, XXVIII, 3 : 307-335.
- [45] Sys C, Van R.E, Debaveye J, Beernaert F. 1993. Land Evaluation. Part III: crop requirements. *Agricultural Publications n° 7*, G.A.D.C., Brussels, Belgium, 191 p.
- [46] Bitom L.D 1988. Organisation et évolution d'une couverture ferrallitique en zone tropicale humide(Cameroun). Genèse et transformation d'ensembles ferrugineux indurés profonds. Thèse Doct. Univ. Poitiers, 164 p.
- [47] Ben M, Salem B, Hassine H, Bonin G, et Braudeau E, 2002, Réserve utile des sols du Nord-Ouest tunisien, évolution sous culture. Tunisie: Etude et Gestion des sols, volume10, 1. 16p.
- [48] Van Wambeke A. 1974. Management Properties of Ferralsols. *FAO Soils Bulletin 23* Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, Italy.
- [49] Diome F. 1996. Rôle de la structure du sol dans son fonctionnement hydrique. Sa quantification par la courbe de retrait. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 131 p.
- [50] Tossou RC, Vodouhe SD, Fanou JA, Babadankpodji PA, Kouevi AT et Aholoukpe H, 2006. Caractéristiques physico-chimiques et aptitudes culturales de sols de la conurbation Abomey-Bohicon, Bénin ; UAC, Abomey-Calavi, FSA, document de travail Ecocité n°9, [www.ecocite.org](http://www.ecocite.org), 23 p

- [51] Buol S, Southard R, Graham R, McDaniel P. 2011. Morphology and Composition of soils. soil Genesis and Classification, Sixth Edition, 35-87.
- [52] Pypers P, Sanginga JM, Kasereka B, Walangululu M, Vanlauwe B. 2011. Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava-legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo. *Field crops research* 120: 76-85.
- [53] **Duchaufour P, 1977.** Pédologie; t. I, Pédogenèse et classification, Paris, Masson, XVI et 477 p.
- [54] Kouadio K.P., Kouadio E.Y, Konan-K.H.K., Yao Y.P.B. & YAO-K.A. 2010. Caractéristiques morphopédologiques des sols d'Ahoué dans la Sous-Préfecture de Brofodoumé, Sud-Est Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 15 (5): 140–50.
- [55] Mondain MJF, 1993. Diagnostic rapide pour le développement agricole, Collection, LPS, GRET, Ministère de la coopération-ACCT Paris, 128p
- [56] Tron G., Carole I. & Pierre C. (2013). *La Tensiométrie Pour Piloter Les Irrigations: Une Utilisation Raisonnée de La Ressource En Eau*. Educagri éditions. Dijon : 87-239
- [57] Idso S.B., Jackson R.D., Reginato R.J., Kimball B.A. & Nakayama F.S. 1975. The dependence of bare soil albedo on soil water content, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 14(1) : 109-13
- [58] Baize D, 2016. Petit lexique de pédologie, éditions, p.15
- [59] Al-majou H, Bruand A, Duval O & Cousin I. 2007. Comparaison de fonctions de pédotransfert nationales et européennes pour prédire les propriétés de rétention en eau des sols. *Etude et Gestion des Sols*, 14(2) : 103-116
- [60] Anaïs S. 2013. Caractérisation et stabilité de la matière organique du sol en contexte montagnard calcaire : proposition d'indicateurs pour le suivi de la qualité des sols à l'échelle du paysage. Autre. Université de Grenoble, 269 p.
- [61] Akanza P, N'zué B, Anguete K, 2002. Influence de la fumure minérale et de la litière de volaille sur la production du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) en Cote d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 14 : 79-89.
- [62] Zadi F, Koné B, Gala BTJ, Akassimadou EF, Konan KF, Traoré MJ, N'ganzoua KR, Yao-Kouamé A. 2014. Lowland rice yield as affected by straw incorporation and inorganic fertilizer over cropping seasons in fluvisol. *Journal of advances in agriculture*, 3(1) : 129-141.
- [63] Estrade J R. 2013. Le sol, patrimoine vivant Dans Pour 2013, 4(220) :53-63.
- [64] Mathieu C, 2009. Les principaux sols du monde, voyage à travers l'épiderme vivant de la planète Terre, Lavoisier, Paris, coll. Tec et Doc, 233 p.
- [65] Mbonigaba JJM, Nzeyimana I, Bucagu C, Culot M. 2009. Caractérisation physique, chimiques et microbiologique de trois sols acides tropicaux du Rwanda sous jachères naturelles : contraintes à leur productivité. *Rwanda Journal*, 17(1): 34-63.
- [66] Menzies NW. 2003. Toxic Elements in Acidic Soils: chemistry and measurement. In *Hand Book of Soil Acidity*, Rengel Z (ed). Marcel Dekker: New-York, USA; 267-296.
- [67] Pernes-Debuyser A, Tessier D. 2002. Influence du pH sur les propriétés des sols: l'essai de longue durée des 42 parcelles à Versailles. *Revue des Sciences de l'eau/Journal. Water Sciences*, 15: 27-39.
- [68] Ye, L. 2007. Caractérisation des déchets urbains solides utilisables en agriculture urbaine et périurbaine : cas de Bobo-Dioulasso, mémoire de DEA, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), 48 p.
- [69] Alexandre M, Hansrudolf O, Raphaël C, Vincent B, Sokrat S. 2012. Effet à long terme des engrais organiques sur les propriétés du sol. *Recherches Agronomiques. Suisse*, 3 (3): 148-155.

- [70] Koull N, et Halilat MT. 2016. Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie). *Etudes de la Gestion des Sols*, 23.
- [71] Temgoua, E., Ntangmotsafack, H., Njine, T. and Serve, M.A. 2012. *Vegetable production systems of swamp zone in urban environment in West Cameroon: case of Dschang city*. *Universal Journal Research Technology*, 2(2): 83-92.
- [72] Brady NC, Weil RR. 2002. *The Nature and Properties of Soils* (13th edn). Upper Saddle River, NJ, Pearson Education Inc: USA; 960 p.
- [73] Turner BL. 2008. Resource partitioning for soil phosphorus: a hypothesis. *Journal Ecology*, 96: 698-702.
- [74] Ballot CSA, Mawussi G, Atakpama W, Moita-Nassy M, Yangakola TM, Zinga I, Silla S, Kperkouma W, Dercon G, Komlan B, Koffi A. 2016. Caractérisation physico-chimique des sols en vue de l'amélioration de la productivité du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans la région de Damara au centre-sud de Centrafrique. *Agronomie Africaine*, 28 (1): 9-23.
- [75] Rabetokotany R. 2007. Effets d'une fertilisation phosphatée par le Bat Guano et Triple Super Phosphate sur un sol ferrallitique malgache. Cas de Ferralsol de « Tanety » sis à Lazaina. Mémoire de DEA en Chimie, Université d'Antananarivo, p. 87
- [76] Parent, L.E. et L. Khiari. 2003. Nitrogen and phosphorus indicators of organic soil quality. Chap. 6 dans: L.E. Parent and P. Ilnicki (Éditeurs). *Organic soils and peat materials for sustainable agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL.105-136p
- [77] Tchabi V, Azocli D, et Biaou GD. 2012. Effet de différentes doses de bouse de vache sur le rendement de la laitue (*Lactuca sativa* L.) à Tchatchou au Bénin. *International Journal of Biology and Chemistry Science*, 6(6): 5078-5084.