



ÉCOLE RÉGIONALE POST-UNIVERSITAIRE D'AMÉNAGEMENT ET DE  
GESTION INTÉGRÉS DES FORÊTS ET TERRITOIRES TROPICAUX  
-ÉRAIFT-

---

# Thèse de Doctorat

*Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Docteur en Aménagement et  
gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux*

## Évolution des nutriments et du carbone organique du sol dans le système agroforestier du plateau des Bateke en République Démocratique du Congo

Par

**Blandine NSOMBO MOSOMBO**

Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS) (ÉRAIFT)

**Promoteur:** Professeur Raymond LUMBUENAMO SINSI

**Co-promoteurs:** Professeur Jean LEJOLY et

Professeur Jules ALONI KOMANDA

**Année académique 2015-2016**



ÉCOLE RÉGIONALE POST-UNIVERSITAIRE D'AMÉNAGEMENT ET DE  
GESTION INTÉGRÉS DES FORÊTS ET TERRITOIRES TROPICAUX  
-ÉRAIFT-

# Thèse de Doctorat

*Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Docteur en Aménagement et  
gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux*

## Évolution des nutriments et du carbone organique du sol dans le système agroforestier du plateau des Bateke en République Démocratique du Congo

Par

**Blandine NSOMBO MOSOMBO**

Diplôme d'Études Supérieures Spécialisées (DESS) (ÉRAIFT)

**Promoteur:** Professeur Raymond LUMBUENAMO SINSI

**Co-promoteurs:** Professeur Jean LEJOLY et

Professeur Jules ALONI KOMANDA

### Membres du Jury :

1. Pr. MICHEL Baudouin (ÉRAIFT), Président du Jury
2. Pr. NDEMBO LONGO Jean (UNIKIN), Secrétaire du Jury
3. Pr. LUMBUENAMO SINSI Raymond (UNIKIN), Promoteur
4. Pr. LEJOLY Jean (ULB), Co-promoteur
5. Pr. LUMANDE KASALI Joseph (UNIKIN)
6. Pr. MATE MWERU Jean-Pierre (UNIKIS), suppléant
7. Pr. MWEZE C. NKINGI Dominique (UPN), suppléant
8. Pr. BAERT Geert (Ugent), Rapporteur externe
9. Pr. COLINET Gilles (Ugent), Rapporteur externe

**Année académique 2015-2016**

A notre progéniture,

A nos neveux, nièces et cadets,

Que ce travail soit pour vous un exemple de courage et de détermination dans la poursuite et l'accomplissement des objectifs nobles de la vie.

**Blandine NSOMBO MOSOMBO**

## **Rémerciement**

Il nous a été si difficile de trouver des mots pour rédiger ce paragraphe que nous aurions voulu le passer sous silence. Mais hélas, la morale et l'éthique suggèrent une expression limpide pour les bienfaits reçus.

Ainsi, nous disons sincèrement merci :

A l'ERAIFT, pour nous avoir accordé l'opportunité mener jusqu'à termes nos recherches doctorales et nous avoir supportée toutes ces années ;

Au professeur Raymond LUMBUENAMO SINSI, pour l'assurance et la confiance que nous a procuré le travail sous sa direction ;

Au professeur Jean LEJOLY pour ses interventions éclairantes ;

Au Professeur Jules ALONI KOMANDA, pour sa figure paternelle rassurante ;

A vous tous, dont les noms souffrent de nos envies de nous exprimer sans mots, soyez rassurés que vous nous avez été réellement providentiel ; vos interventions sous quelques formes que ce soient, ont accompagné chacun de nos pas dans l'accomplissement de ce travail.

A toi Paul MAFUKA Mbe-Mpie, merci pour tout.

Enfin,

Merci Seigneur,

Ceux qui t'aiment, trouvent réellement de la joie.

**Blandine NSOMBO MOSOMBO**

## Résumé

L'agroforesterie à base d'*Acacia sp* préconisée et pratiquée depuis plus de 25 ans sur les sols savanicoles sableux du plateau des Bateke, souffre de l'insuffisance d'arguments scientifiques probants pour son évaluation. Parmi les questions restées en suspens, il y a celle relative à l'efficacité de l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols, notamment l'évolution chrono séquentielle des éléments de fertilité et le stockage du carbone organique dans le sol.

Les investigations ont été conduites sous 8 types de végétation, à Ibi village, à 4° 27' 47'' de latitude Sud et 16° 11' 47'' de longitude Est. Des échantillons composites ont été prélevés dans les premiers 120 cm des sols. Des enquêtes socio-économiques impliquant 330 fermiers chefs de ménage, ont été réalisées. Les résultats ont été analysés grâce aux logiciels SPSS 21 et Minitab 16.

Les observations pédologiques ont montré que tous les profils creusés sont du type ABC. La composition granulométrique du substrat est monotone, avec plus de 85 % de sable ; ces sols sont des Arenosols (Dystric) selon le système de classification WRB (World Reference Base, 2014).

Sous tous les couverts végétaux les sols sont acides avec des pH moyens inférieurs à 5.5. Ces pH s'accordent si bien avec la nature marginale et pauvre des sols du plateau des Bateke, qu'il est difficile malgré certaines différences statistiques significatives, de trouver des spécificités agro-pédologiques majeures pouvant différencier les sols échantillonnés sous différents couverts végétaux. Ceci permet d'entrevoir le rôle de la matière organique dans la production agricole, et ainsi la place de l'agroforesterie dans l'amélioration de la productivité des sols sableux de savane. Car, la quantité et la qualité de la matière organique, paraissent être la source majeure des différences dans la production agricole et dans la vie des exploitants agroforestiers.

En l'état actuel des recherches sur l'agroforesterie sur sol sableux du plateau des Bateke, 5 ans de jachère semblent être le minimum rationnel pour l'amélioration de la productivité des sols et des rendements des cultures. À défaut de trouver des alternatives à l'augmentation de la vitesse de décomposition de la litière d'*Acacia sp* ou d'encourager une utilisation rationnelle d'engrais chimiques pouvant déboucher sur l'augmentation des successions culturales sur le même espace et une décomposition graduelle de la litière avant la remise en jachère, l'incinération reste la pratique la plus facile pour la disponibilité des nutriments de la litière d'*Acacia sp*.

**Mots clés :** Agroforesterie, Fertilité des sols, Séquestration du carbone

## Summary

Agroforestry with *Acacia sp* experienced for at least 25 years in savanna sandy soil of plateau des Bateke suffers of deficient scientific evidences. One major question about it remains that of nutrients and organic carbon evolution into the soils, to inform the problematic of soil physico-chemical properties improvement after *Acacia sp* plantations.

Composites soils samples (342 in total) collected up to 120 cm deep of 8 sites and socioeconomic survey results from 330 farmers household heads, were analyzed using SPSS 21 and Minitab 16.

Pedologic observations show that all soils profiles are of ABC type. Soil texture is monotonous, sandy for more than 85 %; they are classified as Ferralic Arenosol (Dystric).

Under all vegetation types, the mean soil pH is less than 5.5. Despite some statistical significant differences, the marginal soils pH which reflect so well the marginal and poor plateau des Bateke soils, makes it difficult to get majors agro pedologic specifications that can differentiate soils between majors vegetations plots. This brings out the role of organic matter and the place of agroforestry in the system; because organic matter quantity and quality seems to be the major source of differences in agriculture production and farmers livelihood.

At the current stage of research on agroforestry in plateau des Bateke sandy soil, 5 years fallow seem to be the rational minimum for soil productivity improvement and yield increase. When there is no alternatives to increase *Acacia sp* litter decomposition rate; or a rational introduction of chemical fertilizers usage, burning remains the easiest and simplest way for litter nutrients release for crops production after fallow.

**Keys words:** *Agroforestry, Soil fertility, Carbone sequestration*

# Table des matières

|  |    |
|--|----|
| Résumé.....  | A  |
| Summary .....  | B  |
| Table des matières.....  | C  |
| Liste des figures .....  | E  |
| Liste des tableaux.....  | G  |
| I. Introduction .....  | 1  |
| I.1. Problématique et Hypothèses.....  | 1  |
| I.2. Objectifs.....  | 4  |
| I.3. Méthodologie du travail.....  | 5  |
| I.4. Résultats attendus .....  | 5  |
| I.5. Cadre théorique et lien de la recherche avec l’approche systémique..... | 6  |
| II. Revue de la littérature .....  | 8  |
| II.1. Gestion des Sols sableux .....   | 8  |
| II.1.1. Caractéristiques générales des sols sableux.....                     | 8  |
| II.1.2. Défis à l’utilisation des sols sableux pour l’agriculture.....       | 9  |
| II.1.3. Avantages agro-environnementaux offert par les sols sableux.....     | 10 |
| II.2. Agroforesterie et/ou jachères améliorées.....                          | 11 |
| II.2.1. Principe et domaines d’application.....                              | 11 |
| II.2.2. Limitations et bénéfices.....  | 12 |
| II.3. Carbone du sol.....  | 14 |
| II.3.1. Cadre conceptuel et Importance .....                                 | 14 |
| II.3.2. Méthodes de quantification et leurs limites .....                    | 17 |
| II.3.3. Carbone des sols des agro-écosystèmes .....                          | 19 |
| II.4. Évaluation socio-économique des actions de développement.....          | 20 |
| o III. Matériel et Méthodes.....   | 21 |
| III.1. Présentation du milieu d’étude.....                                   | 21 |
| III.1.1. Localisation géographique et population .....                       | 21 |
| III.1.2. Relief et Hydrographie .....  | 22 |

|   |     |
|---|-----|
| III.1.3. Climat.....  | 23  |
| III.1.4. Période de croissance des plantes.....                                     | 25  |
| III.1.5. Sol et végétation.....   | 26  |
| III.2. Matériel.....  | 28  |
| III.2.1. Matériel de l'étude du sol.....  | 28  |
| III.2.2. Matériel de l'évaluation socio-économique.....                             | 29  |
| III.3. Méthodes.....  | 32  |
| III.3.1. Structure de l'approche méthodologique.....                                | 32  |
| III.3.2. Description des profils pédologiques et Technique d'échantillonnage.....   | 34  |
| III.3.3. Collecte des données socio-économiques.....                                | 34  |
| III.3.4. Analyses physico-chimiques des sols.....                                   | 35  |
| III.3.5. Analyses statistiques.....   | 37  |
| IV. Résultats et discussion.....  | 40  |
| IV.1. Présentation des profils pédologiques.....                                    | 40  |
| IV.2. Propriétés physico-chimiques des sols.....                                    | 44  |
| IV.2.1. Granulométrie et composition physico-chimique des profils pédologiques..... | 44  |
| IV.2.2. Caractérisation des sols des différents points d'échantillonnages.....      | 49  |
| IV.2.4. Différentiations des sols sous les divers couverts végétaux.....            | 59  |
| IV.3. Effets des plantations d'Acacia sp sur les macronutriments primaires.....     | 72  |
| IV.3.1. Caractéristique des sols sous différents couverts végétaux.....             | 73  |
| IV.3.2. Comparaison des moyennes et groupement par la méthode de Tukey.....         | 75  |
| IV.3.3. Différentiation des couverts par l'analyse discriminante.....               | 77  |
| IV.4. Carbone du sol.....   | 79  |
| IV.5. Impact socio-économique de l'agroforesterie au plateau des Bateke.....        | 83  |
| IV. 6. Analyse critique.....  | 95  |
| V. Conclusion et perspectives.....  | 98  |
| Bibliographie.....  | 103 |
| Annexes.....  | i   |



## Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| Fig. 1. Cadre théorique de la recherche et lien avec l'approche systémique.....   | 6  |
| Fig. 2. La gamme de pH des sols rencontrés dans le monde (Brady et Weil, 2008).....   | 8  |
| Fig. 3. Relation existant entre le pH des sols, l'activité des microorganismes et la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes (Brady et Weil, 2008).....   | 9  |
| Fig. 4. Localisation de la Zone d'étude dans la commune de Maluku.....  | 22 |
| Fig. 5. Configuration annuelle de quelques paramètres climatiques au plateau des Bateke (données synthèse de 1986 à 2014 de la station météorologique de Mbankana)..... | 26 |
| Fig. 6. Résumé de l'approche méthodologique du travail.....   | 32 |
| Fig. 7. Résumé de la démarche suivie pour la composante sol.....  | 33 |
| Fig. 8. Différentes étapes de la démarche scientifique suivie.....  | 39 |
| Fig. 9. Texture des sols du plateau des Bateke sur le triangle textural international.....  | 44 |
| Fig. 10. $pH_{eau}$ moyen des horizons humifères sous différents couverts végétaux.....   | 45 |
| Fig. 11. Diagramme des contributions des variables.....   | 48 |
| Fig. 12. Variation des macronutriments primaires et du pH en fonction de la profondeur.....   | 50 |
| Fig. 13. Variation des macronutriments secondaires et de la CEC en fonction de la profondeur...   | 51 |
| Fig. 14. Variation des micronutriments en fonction de la profondeur.....  | 51 |
| Figs. 15. Variations significatives des nutriments et du pH avec la profondeur d'échantillonnage  | 55 |
| Fig. 16. Variation saisonnière significatives des pH (0 - 30 cm).....   | 56 |
| Figs. 17. Variation saisonnière significatives des nutriments (de 0 à 30 cm).....   | 57 |
| Fig. 18. Diagramme des interactions couvert végétal – profondeur pour les macronutriments secondaires et le pH sous savane et sous forêt.....                           | 62 |
| Fig. 19. Diagramme des interactions couvert végétal – profondeur pour les micronutriments sous savane et sous forêt.....  | 63 |
| Fig. 20. Variations des macronutriments et des pH.....  | 74 |
| Fig. 21a. Niveau d'instruction des fermiers.....  | 84 |
| Fig. 21b. Ancienneté de fermiers dans le site.....  | 85 |
| Fig. 21c. Projets d'avenir des fermiers.....  | 86 |
| Fig. 22a. Superficie emblavée annuellement.....   | 87 |

|   |    |
|---|----|
| Fig.22b. Type de jachère utilisée .....                           | 88 |
| Fig.22c. Arbres fruitiers par hectare.....                        | 89 |
| Fig. 22d. Cheptel de volaille .....                               | 90 |
| Fig. 22e. Cheptel de porcins et caprins .....                     | 90 |
| Fig. 22f. Cheptel de bovins .....                                 | 91 |
| Fig. 22g. Source d'aliments pour bétail .....                     | 92 |
| Fig. 23a. Contribution de l'agriculture au revenu du fermier..... | 93 |
| Fig. 23b. Type d'épargne des fermiers.....                        | 94 |

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1. Estimation des stocks de carbone dans les écosystèmes terrestres.....  | 14 |
| Tableau 2 : Estimation des impacts de changement d'usage des terres sur le stockage de carbone dans les sols.....             | 16 |
| Tableau 3. Résumé de la structure du questionnaire d'enquête .....  | 31 |
| Tableau 4. Seuil de signification de la variation des nutriments.....   | 52 |
| Tableau 5. Résultats d'Analyse discriminante Forêt – Savane en début de l'échantillonnage .....                               | 64 |
| Tableau 6. Résultats d'Analyse discriminante Forêt – Savane suivant les Périodes d'échantillonnage .....                      | 65 |
| Tableau 7. Résultat de l'analyse discriminante pour les sols sous savane plantée et non plantée ...                           | 67 |
| Tableau 8. Résultat de l'analyse discriminante pour les sols sous <i>A. mangium</i> et après jachère de 5 ans .....           | 69 |
| Tableau 9. Résultat de l'analyse discriminante pour les sols sous <i>A. auriculiformis</i> et <i>A. mangium</i> de 5 ans..... | 71 |
| Tableau 10. Test de covariance avec le pH et seuil de signification de la variabilité des macronutriments primaires.....      | 75 |
| Tableau 11. Teneurs des éléments dosés de 0 – 30 cm et groupement des moyennes.....   | 76 |
| Tableau 12. Teneurs des éléments dosés de 30 - 60 cm et groupement des moyennes .....   | 77 |
| Tableau 13. Statut du carbone organique du sol sous les différents couverts végétaux.....                                     | 82 |

# I. Introduction

## I.1. Problématique et Hypothèses

La République Démocratique du Congo (R.D. Congo) possède un peu plus de 50 % des forêts du bassin du Congo, et a plus de 65 % de sa population vivant de l'agriculture itinérante sur brûlis. Les terres présumées fertiles se trouvent essentiellement en zones forestières, comme c'est le cas dans toutes les régions tropicales.

La réduction de la pression de l'agriculture sur de bonnes terres forestières passe par une exploitation plus rentable et rationnelle des zones de savane, majoritairement à sols marginaux, qui représentent environ le tiers des terres arables du pays.

L'une des grandes étendues de ces zones de savane du pays est le plateau des Bateke, dans l'hinterland de Kinshasa, site d'étude de ce travail. Il constitue l'un des greniers de Kinshasa ; il est couvert d'un sol ayant une texture sableuse, assez homogène, avec une faible activité biologique et chimique, typique à tous les sols sableux de par le monde (Amando et al., 2001 ; Ellmer et al., 2000).

Il apparaît dès lors que l'un des problèmes majeurs à la production agricole des sols du plateau des Bateke est leur faible fertilité biologique et physico-chimique. Couplé à l'exode rural qu'a connu la ville de Kinshasa depuis l'indépendance du pays, amplifié par les guerres récurrentes et les problèmes de demande alimentaires accrue qui les accompagnent, l'amélioration de la fertilité et de la productivité de ces sols sableux est plus que d'actualité.

Dans la recherche de solutions pour nourrir une population à démographie croissante, tout en préservant l'environnement, particulièrement autour de grandes villes telle que Kinshasa, l'agroforesterie figure parmi les pratiques agricoles recommandées dans les zones savaniques. Elle présente des multiples avantages dont,

- l'amélioration de la fertilité et de la productivité des sols, dues entre autres à l'apport régulier de la matière organique, qui contribue à l'amélioration de la structure et de la capacité d'échange cationique du sol (Nair et Garrity, 2012, Kasongo, 2010) ;

- l'amélioration de la séquestration du carbone notamment dans le sol, pool qui représente la fraction la plus importante du carbone total séquestré dans les écosystèmes terrestres (Neil et al., 1997 ; Post et Mann, 1990). ;
- l'atténuation des émissions des gaz à effet de serre (GES) (notamment dans les agro-écosystèmes), dont plus de 20 % proviendraient de la déforestation sous toutes ses formes (Jose, 2009 ; GIEC, 2007 ; Post et Mann, 1990) ;
- l'atténuation de la vulnérabilité des populations face aux changements climatiques, grâce à ses impacts positifs sur l'amélioration des revenus, particulièrement des petits fermiers (Nair et Garrity, 2012 ; Jose, 2009 ; Nair et al., 2009 ; Bakele-Tesemma, 2007 ; FAO, 2007b ; Marland et al., 2003 ; Sanchez et al., 1997).

Le système agroforestier mis en place au plateau des Bateke est une série spatio-temporelle avec *Acacia auriculiformis* et/ou *A. mangium*, alternant avec les cultures vivrières, essentiellement le manioc associé au maïs. La caractéristique principale de ce système est que la mise en culture du sol passe toujours par l'incinération des brindilles et de la litière d'*Acacia sp.* Cette pratique est justifiée par le fait que les feuilles de ce dernier sont coriaces, leur décomposition est lente et prend plus de six mois, à cause de leur teneur élevée (plus de 60 %) en lignine, cellulose et hémicellulose (N'Goran, 2005 ; Bernard-Reversat et al., 1993).

En effet, N'Goran (2005) a trouvé qu'à peine 10 % de l'azote total des feuilles et brindilles d'*Acacia sp.* sont libérés dans les six mois suivant la chute de celles-ci et, la quantité restante est plutôt immobilisée. Tandis que le phosphore, le potassium et le magnésium sont libérés progressivement en une année. Ainsi, une culture ayant un cycle de vie d'environ 12 mois, ne saurait profiter pleinement des éléments fertilisants issus de la décomposition de la litière.

Or, l'agriculture y pratiquée dépend pour beaucoup de la matière organique pour améliorer les propriétés physico-chimique et biologique du sol. C'est ainsi que, pour accélérer la disponibilité des éléments minéraux après une jachère d'*Acacia sp.*, les agriculteurs du plateau des Bateke font recours à l'incinération.

De par la nature essentiellement sableuse et filtrante du sol et du type du climat dans lequel se trouve le plateau des Bateke, où pendant les six premiers mois de la culture (pour une mise en place en fin septembre ou début octobre), le sol reçoit en moyenne 1060 mm de pluies, soit environ 68,5 % de la pluviométrie annuelle totale, les éléments minéraux ainsi

libérés en une fois sont vite entraînés en profondeur, en dehors de la zone exploitée par les racines des cultures (Nsombo, 2005).

Les études scientifiques sur les impacts de l'agroforesterie pourtant pratiquée depuis plus de 25 ans et de ses activités connexes sont plutôt rares, malgré les évidences des avantages collatéraux (Kasongo, 2010).

De ce fait, plusieurs questions restent encore en suspens, notamment celle ayant trait à l'évolution chrono-séquentielle de la fertilité chimique et des concentrations / stocks de carbone organique du sol, qui a motivé cette recherche. Cette question soulève plusieurs sous-questions nécessaires pour apprécier si l'agroforesterie a un impact sur la fertilité du sol. Il s'agit notamment de savoir :

- Après combien d'années de plantation est-il possible de quantifier et de différencier les propriétés des sols sous plantations d'*Acacia sp* de ceux sous une végétation naturelle ?
- Si en moins de 10 ans on peut quantifier l'effet des plantations d'*Acacia sp* sur la séquestration du carbone dans le sol en utilisant les méthodes classiques de dosage ?
- S'il est indispensable de passer par l'incinération avant toute mise en culture après une jachère avec *Acacia sp* ?
- Quels sont les avantages sociaux perceptibles chez les fermiers pratiquant et vivant de l'agroforesterie au plateau des Bateke ?

Les premières réponses possibles apportées à ces questions et qui constituent les hypothèses de travail sont formulées comme suit :

- La pratique de l'incinération des litières constituées essentiellement des feuilles et des brindilles d'*Acacia sp*, contribue à l'amélioration de la fertilité des sols par la cendre produite ; mais la durabilité de cette fertilité est faible à cause de l'action des précipitations et du caractère filtrant du sol, de l'importance du vent et d'autres phénomènes climatiques ; cette incinération réduit la teneur en carbone séquestré dans le sol, notamment dans la couche superficielle.
- Les plantations d'*Acacia sp* dans une savane herbeuse sur sol sableux, contribuent non seulement à la séquestration du carbone dans les parties vivantes des arbres, mais aussi dans le sol.
- Les stocks de carbone dans le sol et les quantités stockées sur 120 cm de profondeur, dépendent de la durée de la plantation, et diminuent avec la profondeur

- La contribution en éléments minéraux et en matière organique (carbone organique) des plantations d'*Acacia sp*, augure un système durable d'exploitation des sols sableux du plateau des Bateke.
- Étant donné les différences dans leur réponse écologique et dans leur morphologie, la fertilité des sols sableux du plateau des Bateke est améliorée différemment selon qu'il s'agit d'*A. auriculiformis* ou d'*A. mangium*.
- Enfin, parce que l'agroforesterie avec *Acacia sp* améliore les propriétés des sols et partant les rendements des cultures - et qu'elle conduit à l'émergence d'autres sources de revenu pour les fermiers - elle influe nécessairement de manière positive sur les aspects socio-économiques de la vie des fermiers, notamment la stabilisation de l'exploitation agricole, appréciable par la sédentarisation des exploitants et la mise en place des cultures pérennes.

## I.2. Objectifs

Cette étude se propose d'évaluer la contribution des plantations d'*Acacia sp* dans :

- l'amélioration de la fertilité des sols sableux ;
- la séquestration du carbone organique dans le sol ; et
- l'amélioration des conditions socio-économiques des fermiers.

Cette évaluation passe par la détermination de la dynamique spatio-temporelle des éléments fertilisants essentiels et des apports du carbone au cours de la jachère et pendant un cycle des cultures vivrières pratiquées. De façon spécifique, il s'agit de :

- Déterminer les concentrations des éléments minéraux majeurs et mineurs intervenant dans la fertilité des sols
  - Déterminer la variation des concentrations avec la profondeur
  - Déterminer les tendances saisonnières de l'évolution des nutriments
  - Évaluer l'influence de la mise en culture sur les concentrations des éléments minéraux
  - Identifier les éléments minéraux les plus discriminants des couverts végétaux.
- Quantifier le carbone séquestré dans le sol (sous *Acacia sp*), comme moyen d'atténuation des effets des changements climatiques
- Caractériser l'agroforesterie par rapport aux écosystèmes naturels
- Évaluer les impacts socio-économiques de l'afforestation avec *Acacia sp*

En effet, pour cette première expérience à l'échelle nationale, avec l'existence des plantations de plus de 20 ans, un suivi scientifique en faveur de l'utilisation des sols sableux marginaux est un atout important dans la mesure où, l'intensification de l'exploitation des zones savanicoles à travers le pays, permettra une atténuation de la pression humaine sur les forêts naturelles, aussi bien pour l'agriculture que pour la recherche du bois énergie, dans ce deuxième poumon mondial que sont les forêts du bassin du Congo.

En plus, la fertilité des sols du plateau des Bateke venant quasiment de l'extérieur, les mesures des quantités apportées par la pratique de l'agroforesterie et la dynamique des éléments fertilisants essentiels dans des chronoséquences, sont des préalables de recherche pour l'extension de ce système sur tous les sols sableux du pays.

### **I.3. Méthodologie du travail**

Mis à part la recherche bibliographique, le travail s'est fait en deux étapes majeures. La première a consisté en une série de descentes sur terrain pour (essentiellement) prélever des échantillons des sols et collecter les données socio-économiques nécessaires ; et la deuxième, aux analyses des paramètres de la fertilité des sols, au dépouillement des fiches d'enquêtes socio-économiques et aux analyses statistiques des résultats obtenus.

### **I.4. Résultats attendus**

Les résultats majeurs attendus à la fin de cette étude sont ceux listés ci-dessous :

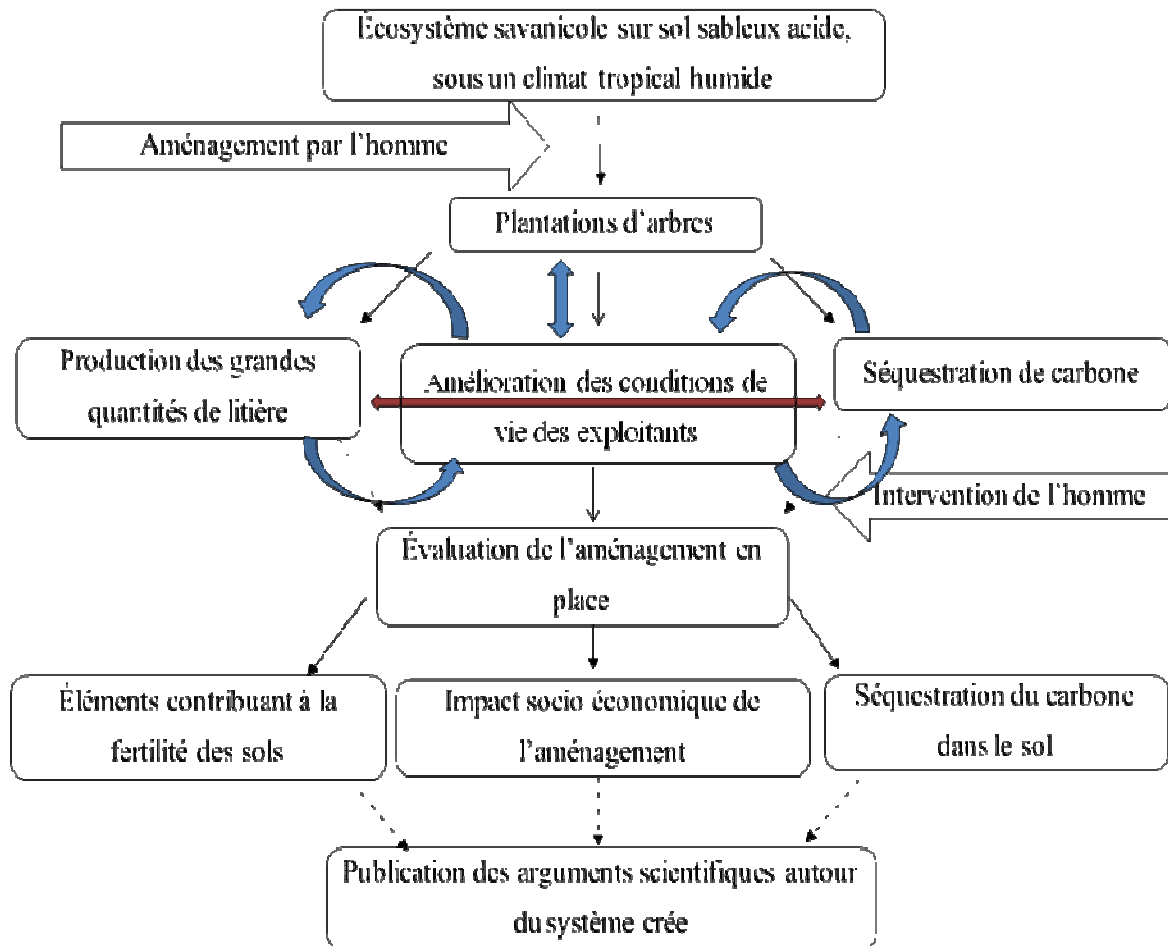
- Les éléments fertilisants se trouvant dans le sol sous *Acacias sp* de différents âges, en terrains mis en culture, sous savane et sous forêt de régénération naturelle sont quantifiés ;
- Les différences de comportement des sols sous *A. auriculiformis* et *A. mangium* sont établies ;
- Les quantités de carbone organique du sol sont déterminées ;
- Les impacts socio-économiques des plantations d'*Acacia sp* sont mis en évidence.

Ainsi, une base de données sur les apports en éléments fertilisants, et en carbone organique du sol sous plantation d'*Acacia sp* dans les sols sableux tropicaux du plateau des Bateke, est établie et rendue disponible pour les recherches futures dans les domaines et les écosystèmes apparentés.



## I.5. Cadre théorique et lien de la recherche avec l'approche systémique

Sur le plan théorique, cette étude peut être conceptualisée comme sur la figure 1 ci-dessous :



*Fig. 1. Cadre théorique de la recherche et lien avec l'approche systémique*

Suivant les différentes définitions d'un système tel que compilés par Maldague (2003), en intégrant les interactions et les interrelations mutuelles entre les différentes composantes tel que illustré dans la figure 1, il ressort que la stratégie utilisée dans cette recherche est une analyse systémique.

Celle-ci a été choisie car elle offre plusieurs possibilités pour traiter des questions de développement rural à l'instar de l'agroforesterie sur sol sableux, qui est au centre de la présente étude. Ces possibilités qui constituent les 4 concepts clés de la systémique, peuvent être adaptés à cette recherche tel que :

La **globalité** ; plus que la simple somme des parties, la globalité traduit l'interdépendance des composantes du système et la cohésion de l'ensemble. Si l'amélioration des propriétés des sols par exemple, peut être à priori considérée comme indépendante de l'amélioration des revenus des fermiers, il apparaît évident qu'elles sont intimement liées dans la mesure où de la première découlera l'augmentation de la production agricole suite à l'amélioration de la productivité des terres. Ainsi, ces différentes composantes sont à la fois indépendante et harmonieusement corrélées.

La **complexité** ; se référant au nombre d'éléments qui composent un système, et à la nature et le nombre des relations et interactions entre ces éléments, un système ne peut qu'être complexe. Dans le cas de l'étude des impacts de l'agroforesterie au plateau des Bateke, l'examen de la question est d'autant plus complexe qu'elle comporte plusieurs facettes dont la réponse du sol et de l'environnement immédiat, la réponse des spéculations agricoles, la réponse du marché local et d'autres besoins créés par le nouveau système agraire, etc.

L'**interaction** ; elle traduit les relations entre les différentes composantes pris deux à deux ou dans l'ensemble, au-delà des simples causes à effets. En effet, en considérant par exemple les interactions entre la séquestration du carbone et les conditions socio-économiques, il apparaît qu'en ligne de compte il y a la production de la biomasse vivante aérienne et souterraine, le carbone du sol issu de la matière organique en décomposition, la prise de conscience des fermiers pour la bonne gestion de leur exploitation, etc.

Le **système** ; qui est l'ensemble de toutes les composantes du monde rural qui sont en interaction dynamique, évoluant vers un but commun. Dans le cadre de la présente étude, en incluant le chercheur comme l'une des composantes du système, le but commun poursuivi est de trouver des arguments scientifiques en faveur du système agraire mis en place. Dans le cas contraire, il s'agirait de la recherche de l'amélioration des conditions de vie des exploitants agroforestiers.

## II. Revue de la littérature

### II.1. Gestion des Sols sableux

#### II.1.1. Caractéristiques générales des sols sableux

Les sols sableux sont reconnus comme ayant des propriétés physiques marginales (Ceballos et al., 2002 ; Marshall et al., 1996 ; Mullins et Panayiotopoulos 1984), parmi lesquelles Brady et Weil (2008) font mention : des faibles capacités de rétention d'eau ; une grande perméabilité et sensibilité au travail du sol non approprié, et aux conditions adverses. Selon WRB (IUSS Working Group WRB, 2014), les sols sableux sont des sols ayant moins de 20 % d'argile dans leur composition granulométrique. À cause de la nature du substratum de départ et de sa capacité limitée d'augmenter les quantités de matière organique ainsi que la réserve nutritive du sol, leurs fertilités biologiques et chimiques restent aussi marginales. Ce sont des sols essentiellement acides, ayant un pH moyen < 5.5 ; ce dernier a une influence plutôt négative sur les paramètres biologique et chimique de fertilité des sols, comme le montre les figures 2 et 3 de Brady et Weil (2008) qui résument les relations existants entre le pH et les paramètres biologiques et chimiques des sols. En effet, l'expression optimale de la majorité de la faune et de la flore du sol, tout comme celle des macronutriments, n'est possible qu'aux gammes de pH à acidité ou alcalinité modérés, entre 6 et 8.

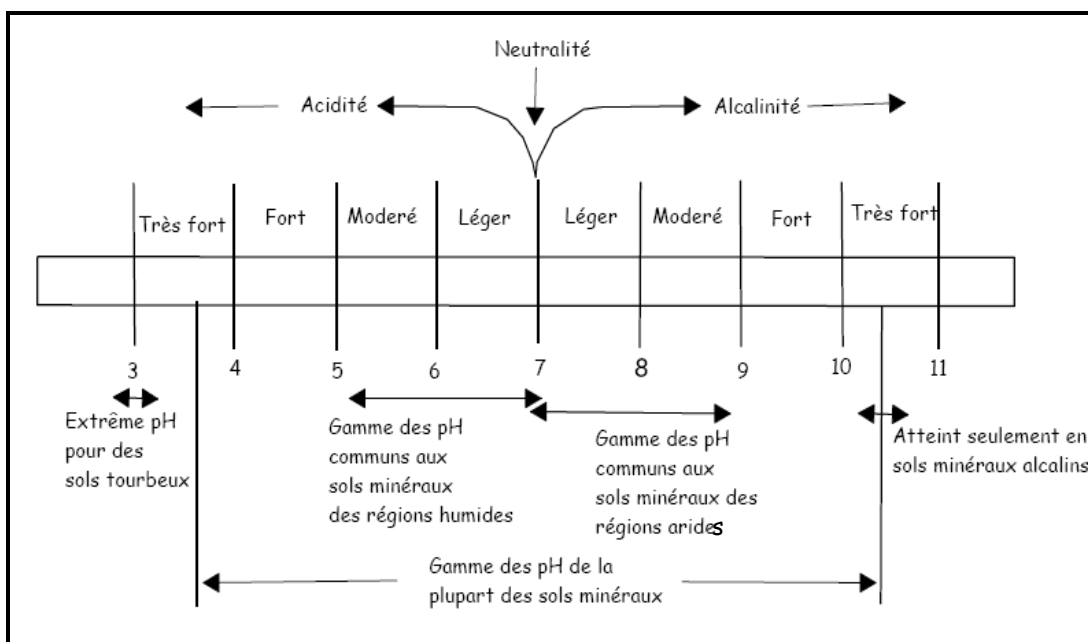
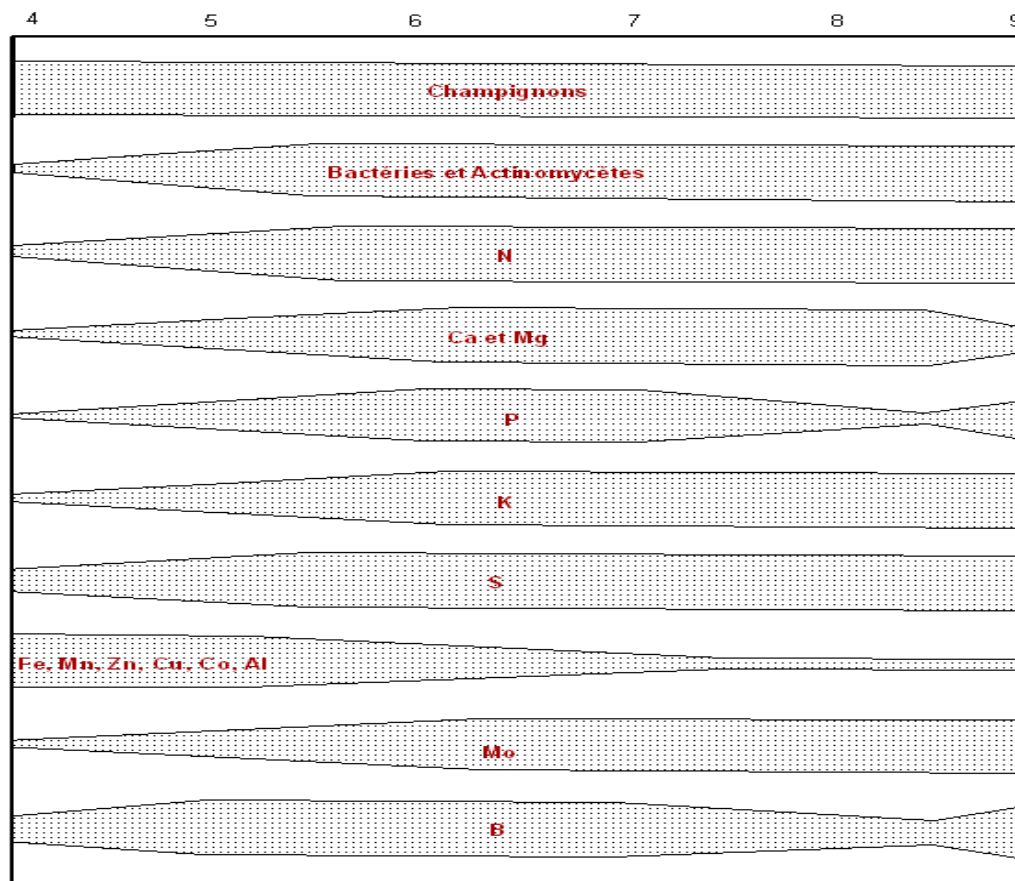


Fig. 2. La gamme de pH des sols rencontrés dans le monde (Brady et Weil, 2008)



*Fig. 3. Relation existant entre le pH des sols, l'activité des microorganismes et la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes (Brady et Weil, 2008)*

### **II.1.2. Défis à l'utilisation des sols sableux pour l'agriculture**

Beaucoup d'études ont montré la complexité des problèmes de fertilité des sols sableux et les défis à relever dans le développement des options de leur utilisation durable (Kruger et al., 2010 ; Gardner et al., 1999), en particulier chez les petits fermiers (Mapfumo et Mtambanengwe, 2004 ; Guiller et al., 1997). Les problèmes de gestion en adéquation avec les propriétés des sols en présence (Masse, 2007 ; Pansu, 2005), deviennent d'autant plus importants au niveau des petits exploitants agricoles, s'ils sont couplés aux mythes existant autour des questions de la gestion de la fertilité des sols tropicaux (Vanlauwe et Giller, 2006).

Il est par exemple établi qu'à moins de 20 % d'argile, les sols ont une influence très limitée sur la rétention d'eau (Mullins et Panayiotopoulos 1984). Il est reconnu que le pH influence l'absorption des éléments minéraux et partant la croissance des plantes, par l'effet direct de la concentration des ions hydrogène qui augmentent l'acidité du milieu ; ou

de façon indirect, au travers de son influence sur la disponibilité des éléments nutritifs et la présence des ions toxiques tel que l'aluminium (Brady et Weil, 2008).

### **II.1.3. Avantages agro-environnementaux offert par les sols sableux**

Les sols sableux pauvres (même des zones semi-arides et arides) offrent des opportunités à leurs utilisateurs dans la mesure où ils sont faciles à travailler (Angers et al., 1999 ; Asai et al., 2009) et répondent positivement aux pratiques de gestions appropriées à leur nature telles, l'agroforesterie (Nair et Garrity, 2012 ; Steiner et al., 2008), la fertilisation et l'irrigation localisée (El-Nesr et al., 2014 ; El-Hady et al., 2008 ; Dukes et Scholberg, 2005 ; Pronk, 2004 ; Fares et Alva, 2000), les cultures de couvertures (N'Goran et al., 2012 ; Njaimwe, 2010 ; Ball-Coelho et al., 2000 ; Schröder, 1998), le zéro labour (Paustian et al. 2000) ou un labour minimum (Aikins et Afuakwa, 2012 ; Fasinmirin et Reichert, 2011; Cadavid et al., 1998), répondant ainsi aux critères de viabilité écologique et socio-économique des agro-écosystèmes.

En plus, les sols sableux, particulièrement des savanes, qui sont considérés comme marginaux pour l'agriculture, offrent des opportunités à la création de nouveaux écosystèmes, servant de réservoir de carbone pour l'adaptation aux changements climatiques du moment (Corsi et al., 2012 ; Maquere, 2008 ; Zomer et al., 2008).

## **II.2. Agroforesterie et/ou jachères améliorées**

### **II.2.1. Principe et domaines d'application**

Par définition, l'agroforesterie recouvre l'ensemble des systèmes d'utilisation des terres où des plantes ligneuses vivaces sont délibérément associées aux cultures ou à la production animale. Cette association se fait sous la forme d'un arrangement spatial ou d'une séquence temporelle sur une même unité de gestion de terre. Elle doit de ce fait, concilier la satisfaction des besoins des populations et les équilibres naturels (Magne et al., 2014) ; apporter des réponses appropriées aux questions de choix des techniques et des modèles de production et mettre en œuvre des stratégies de nature à rompre le cercle vicieux, croissance démographique -pauvreté - dégradation de l'environnement (Wani et al., 2013 ; DSCR, 2011).

L'agroforesterie est vieille de plusieurs siècles. Elle a commencé au même moment que la pratique de l'agriculture. C'est donc une réémergence récente des bases anciennes sous la pression des circonstances. C'est un concept à caractère interdisciplinaire visant à harmoniser les actions de l'agriculture et de la foresterie (Ali et al., 2013 ; Rivest, 2008). Elle s'impose comme une nécessité et une stratégie prioritaire pour le développement agricole. La question qui se pose à ces jours avec acuité, est celle de savoir comment accroître la productivité des terres, la stabiliser à long terme et préserver l'environnement local et global pour cette génération et pour les générations futures (Nair et Garrity, 2012 ; Deheuvels, 2011).

L'introduction d'arbres dans les terres agricoles est désormais perçue comme un moyen de répondre aux besoins en produits forestiers ligneux et non ligneux des communautés rurales et urbaines. Les arbres hors forêt intéressent particulièrement les pays en développement pour parer aux besoins d'une population dont la croissance et les mouvements migratoires qui en sont les corollaires sont accompagnés du développement de fronts pionniers agricoles. Ces derniers empiètent sur la forêt pour nourrir les ruraux et les citadins, sans qu'il y ait en échange de mise en friche suffisante pour reconstituer la fertilité des terres (Hauser et al., 2006 ; McNeely et Schroth, 2006 ; Bellefontaine et al., 2002).

Pour les sols dégradés et/ou marginaux qui sont les supports d'une proportion importante des biomes tropicaux, l'agroforesterie se présente comme une alternative à la valorisation de ces terres. Elle présente une large gamme de systèmes intégrés spécifiques à chaque site

et une opportunité mondiale à la réduction de l'accumulation des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère grâce à l'amélioration de la séquestration du carbone, notamment dans le sol (Nair et al., 2009 ; Schoeneberger, 2008 ; Dixon et al., 1994).

### **II.2.2. Limitations et bénéfiques**

L'agroforesterie ne doit pas être considérée comme une panacée ; elle n'est pas non plus applicable d'une manière uniforme dans tous les terrains (Schroth et al., 2001). Elle est utile dans de domaines bien définis (Huxley et Westley, 1989). Elle est pleine d'embûches (Mosquera-Losada et al., 2012 ; Franzel, 1999) et son rôle dans l'amélioration du niveau de vie des populations est souvent surestimé.

Elle a suscité un grand intérêt à la suite de sérieuses dégradations des écosystèmes, résultant entre autres du déboisement sous toutes ses formes (Rockwood et al., 2004 ; Duguma et al., 2001 ; Schroth, 1999 ; Sanchez, 1995 ; Schroth, 1995). Néanmoins, l'évaluation de l'impact des recherches sur la gestion intégrée des ressources naturelles dans un écosystème dans lequel l'agroforesterie est pratiquée, pose un certain nombre de défis scientifiques, à cause entre autres de la complexité des aspects environnementaux et de leurs interactions avec les aspects socio-économiques (Moreno-Calles et al. 2010 ; Gottret et White. 2003 ; Thangata et Alavalapati, 2003 ; Ringius, 2002).

Les trois dernières décades ont vu une augmentation des données scientifiques en faveur de l'agroforesterie, l'indiquant comme pouvant être une option viable d'utilisation des terres car, en plus de réduire la pauvreté par la diversification des sources de revenu, elle propose un certain nombre de services et avantages éco-systémiques et environnementaux, dont la conservation de la biodiversité (Kalaba et al. 2010 ; McNeely et Schroth, 2006 ; Sonwa, 2004), et en offrant à l'agriculture traditionnelle d'autres alternatives à la déforestation pour la recherche de bonnes terres (Jose, 2009 ; Garrity, 2004 ; Montagnini et Nair, 2004 ; Garrity et al., 2003).

D'autres études plus spécifiques, notamment sur les améliorations des propriétés des sols ont abordées les questions de la production totale de la biomasse, de la séquestration du carbone dans les écosystèmes agroforestier et de l'évolution des nutriments dans le sol. De ces études, il y a celle de Bernhard-Reversat et al. (1993) qui a trouvé que la biomasse totale (120 - 130 t/ha) est approximativement la même sous *Acacia sp* et *Eucalyptus* après 7 ans de plantation.

Celle de Whalen et al. (2003) a trouvé qu'en général, les sols remaniés sous plantation contiennent moins de carbone et d'azote que les sols sous végétation naturelle ; sous couverture permanente, l'augmentation des quantités de carbone et d'azote serait sûrement due à la composition chimique des espèces en place et à la vitesse de décomposition de leur litière, plus qu'à la production de la biomasse nette. Ainsi, la production agricole annuelle fait sensiblement décroître les quantités de carbone et d'azote dans le sol, tandis que l'établissement d'une couverture permanente stabilise ou du moins diminue la vitesse des pertes (Barthès et al., 2004 ; Okalebo et Woomer, 2003) ; et cette stabilisation ou diminution de perte est dépendant des facteurs climatiques tels que la température et l'humidité du sol et de la nature et la quantité des résidus produits.

Une étude menée par Szott et Palm (1996), sur les jachères améliorées avec des légumineuses non ligneuses (*Centrosema macrocarpum* (Centrosema), *Pueraria phaseoloides* (Pueraria), *Stylosanthes guianensis* (Stylosanthes), *Desmodium ovalifolium* (Desmodium), *Cajanus cajan* (Cajanus), et *Inga edulis* (Inga)) sur un Acrisol en Amazonie a montré qu'après 53 mois, dans les 45 premiers cm du sol, des stocks en macronutriments primaires pouvaient être significativement améliorés, allant d'environ 10 % pour N à 40 – 80 % pour le P et K, alors que les stocks en Ca et Mg diminuaient de 25 à 40 %, limitant ainsi la durabilité de ces jachères sur des sols acides et peu fertiles.

Au plateau des Bateke, l'étude de Kasongo (2010) montre que les jachères d'*Acacia sp* d'âge supérieur ou égal à 10 ans améliorent significativement les teneurs en carbone organique, et en azote, diminuant ainsi le rapport C/N jusqu'au niveau optimal, entre 10 et 14 ; la somme des cations basiques et la capacité d'échange cationique sont aussi améliorées.

Jusqu'à un passé récent, seuls les légumineuses ligneuses étaient utilisées dans les différentes variantes de l'agroforesterie (Garrity, 2004 ; Huxley et Westley, 1989). De plus en plus l'introduction d'arbres fruitiers dans les champs est une autre variante du concept qui en grandissant, remplit toutes les fonctions des systèmes agroforestiers (production de la matière organique et du bois énergie, séquestration du carbone, etc.), avec un plus qui est celui de la production assurée des fruits alimentaires (Jiofack et al., 2013 ; Garrity, 2004)



## II.3. Carbone du sol

### II.3.1. Cadre conceptuel et Importance

Lorsqu'on parle du carbone du sol dans un agro-écosystème, il s'agit essentiellement du carbone organique issu de la décomposition de la matière organique fraîche, aussi bien d'origine végétale qu'animale, macro que microscopique, que du carbone inorganique contenu dans les carbonates tels que la calcite, la dolomite, etc.

On estime que le carbone du sol constitue la partie la plus importante des stocks de carbone dans les écosystèmes terrestres (Walker et Desanker, 2004 ; GIEC, 2000). Les estimations faites par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) (2000) sont telles que repris dans le tableau 1.

**Tableau 1. Estimation des stocks de carbone dans les écosystèmes terrestres**

| Biome                       | Surface<br>(en 10 <sup>9</sup> ha) | Végétation<br>(en Gt C) | Sol (en Gt C)                 |                    |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------|
|                             |                                    |                         | (jusqu'à 1m de<br>profondeur) | Total<br>(en Gt C) |
| Forêt tropicale             | 1.76                               | 212                     | 216                           | 428                |
| Forêt tempérée              | 1.04                               | 59                      | 100                           | 159                |
| Forêt boréale               | 1.37                               | 88                      | 471                           | 559                |
| Savane tropicale            | 2.25                               | 66                      | 264                           | 330                |
| Prairie tempérée            | 1.25                               | 9                       | 295                           | 304                |
| Déserts et semi-<br>déserts | 4.55                               | 8                       | 191                           | 199                |
| Toundra                     | 0.95                               | 6                       | 121                           | 127                |
| Zones humides               | 0.35                               | 15                      | 225                           | 240                |
| Terres cultivées            | 1.60                               | 3                       | 128                           | 131                |
| Total                       | 15.12                              | 466                     | 2011                          | 2477               |

Source : GIEC (2000)

Le carbone du sol est composé de trois pools majeurs ; le pool récalcitrant (stable) (Rumpel et Kögel-Knabner, 2011 ; Barré et al., 2010), le pool semi-récalcitrant (intermédiaire) et le pool labile. Ce dernier est celui présent dans la matière organique en décomposition et se trouvant essentiellement en surface, dans les 30 premiers centimètres

du sol (Kolář et al., 2011 ; Wang et Wang, 2011 ; Strosser, 2010 ; Ahn et al., 2009 ; Kolář et al., 2009). Le carbone semi-récalcitrant et récalcitrant est essentiellement celui des composés humiques plus ou moins stables, qui opposent une certaine résistance à la décomposition ; et celui enfoui dans les couches profondes du sol (Lehmann et al., 2007 ; Six et al., 2002). La détermination des proportions de chacun de ces deux derniers pools relève des techniques d'hydrolyse acide (Collins et al., 2000) ou de datation au  $^{14}\text{C}$  (Jenkinson et al., 2008) ou autres méthodes impliquant des dispositifs expérimentaux de longue durée (>30 ans) (Barré et al., 2010). Toutes ces techniques sont encore onéreuses et à utilisation limitée dans les pays en développement, comme la RD Congo. Le travail de Collins et al. (2000) dans des agro-écosystèmes à base de maïs, avec des précédents historiques connus aux USA, a trouvé que dans le carbone organique du sol, le pool labile représentait 3 à 8 % avec un temps moyen de résidence dans le sol de 100 jours ; le pool intermédiaire représentait 50 % en surface et environ 65 % en profondeur. Il a un temps moyen de 12 à 28 ans (pour les  $\text{C}_4$ ) ou de 40 à 80 ans (pour les  $\text{C}_3$ ) ; alors que le pool récalcitrant représente 50 à 30 %, allant de la surface en profondeur.

Cependant, quelle que soit sa forme et la profondeur à laquelle il se trouve, le carbone organique du sol reste sensible aux activités anthropiques, particulièrement au travail de la terre qui peut augmenter son exposition entre autres aux paramètres climatiques (van de Steeg et al., 2009 ; Xu et al., 2008 ; GIEC, 2007 ; FAO, 2002). En effet, les expériences de longue durée de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), en France, ayant utilisé 19 000 données géo-référencées sur le carbone des sols des 30 premiers cm, ont prouvé que la mise en culture des terres sous un précédent prairie ou forêt libère deux fois plus de carbone que ne stockerait une terre de culture recolonisée par l'un ou l'autre type de végétation (tableau 2) (Arrouays et al., 2002).

Une étude publiée par Fang et al. (2014), ayant analysé des sols de surface (0 – 10 cm) à Changbai, au nord de la Chine, a conclu que le carbone organique du sol décroît de 21 et 26 % après conversion des écosystèmes forestiers en culture de maïs, ou en plantation de *Panax ginseng* (C.A. Meyer), 8 et 5 ans après coupe de la forêt. Alors que, la reconversion des terres occupées par *Panax ginseng* en plantation de chêne de Mongolie donnait un accroissement de l'ordre de 47 % en 6 ans.

**Tableau 2 : Estimation des impacts de changement d'usage des terres sur le stockage de carbone dans les sols**

| <b>Conversion de terre</b>     | <b>Flux de stockage / déstockage annuel</b><br><i>(moyenne / ha) (scénario à 20 ans) (en tonne C / ha / an)</i> |
|--------------------------------|---|
| Culture - prairie permanente   | + 0,49 ± 0,26   |
| Culture – Boisement            | + 0,44 ± 0,24   |
| Prairie permanente – Boisement | + < à 0,1 ± 0,2   |
| Prairie permanente – Culture   | - 0,95 ± 0,3<br><i>(soit, l'émission d'environ 2,38 à 4,58 t CO<sub>2</sub> / ha / an)</i>                      |
| Bois – Culture                 | - 0,75<br><i>(soit, l'émission d'environ 2,75 t CO<sub>2</sub> / ha / an)</i>                                   |
| Bois – Prairie                 | - 0,1 ± 0,1<br><i>(soit, l'émission d'environ 0 à 0,73 t CO<sub>2</sub> / ha / an)</i>                          |

*Source : Arrouays et al., (2002)*

L'importance de la composante organique du carbone du sol dans le fonctionnement global se justifie de différentes manières. La végétation terrestre est une des clés de son stockage ou de sa libération ; celle-ci dépend de la gestion que l'homme veut en faire. Ainsi, plus que pour les autres systèmes, l'homme a un grand rôle à jouer dans la séquestration du carbone dans le sol (Marland et al., 2003 ; Chapin et al. 2002 ; Batjes, 1999).

Une étude de Schleuß et al. (2014) sur les forêts plantées mono ou poly spécifique des régions tempérées en donne aussi des preuves. En effet, ils sont arrivés à démontrer que le carbone organique des 30 premiers centimètres du sol était à 30 - 35 % supérieurs en plantation mixte par rapport à celles mono spécifique.

Il est d'autant plus important dans le contexte climatique actuel, qu'il peut constituer la composante la plus durable et la plus stable en termes de nombre d'années de stockage. Bien que reconnus d'importance non négociable, les stocks de carbone dans le sol nécessitent encore beaucoup d'investigations pour proposer des quantités plus fiables suivant les conditions pédoclimatiques concernées (Zhang et al., 2013 ; Fontaine. et Barot, 2005 ; Arrouays et al., 2002) ; car, le stockage du carbone dans le sol dépend d'un certain nombre de facteurs dont le climat qui influe sur les végétaux et la dynamique des processus édaphiques et le type d'utilisation des terres (Zhang et al., 2013 ; Hernández et Hobbie, 2010 ; Fontaine. et Barot, 2005 ; Ogle et al., 2005).

Dans les agro-écosystèmes, l'intensité des gains ou des pertes dépend de la texture du sol et des pratiques culturales (Fließbach et al., 2007 ; Ouattara et al., 2006 ; Lorenz et Lal, 2005 ; Montagnini et Nair, 2004 ; Schimel, 1995). Il serait alors logique de voir que pour les mêmes essences engagées dans l'agroforesterie ou les cultures de couverture par exemple, un site argileux présente un stockage de carbone supérieur par rapport à un site plutôt sableux.

### **II.3.2. Méthodes de quantification et leurs limites**

La quantification directe du carbone dans le sol reste une question d'actualité (Panagos et al., 2013 ; Janik et al., 2007) dans la mesure où à l'heure actuelle, il n'existe pas de mesure indirecte fiable des stocks de carbone des sols (Petrokofsky et al., 2012 ; Aynekulu et al., 2011 ; Arrouays et al., 2003).

Une revue faite par Arrouays et al. (2003) sur les méthodes de dosage du carbone organique du sol et leur limites renseigne par exemple que les méthodes d'oxydation par voie humide comme celle de Walkley et Black (Sato et al., 2014 ; Krishan et al., 2009 ; De Vos et al., 2007 ; Breitbart, 1988 ; Walkley, 1947) utilisée aussi pour ce travail n'arrivent à extraire que 70 % du carbone total lorsqu'on a des sols tropicaux typiques et 95 % pour des sols sableux (proche des valeurs trouvées après combustion sèche pour les sols tempérés). Ces méthodes, du reste parmi les plus communes utilisées dans la littérature (Razafimahatratra, 2011 ; Bayer al., 2000) ne donnent pas toujours des indications quant aux quantités des différents pools de carbone présents dans le sol sous étude (Petrokofsky et al., 2012 ; McCarty et al., 2010 ; Ahn et al., 2009).

Avec le développement et l'application de la spectrométrie infrarouge dans les études des sols, la recherche est arrivée (à moindre coût, les réactifs n'étant plus nécessaires, et en des temps record) à séparer de façon plus certaine les différents compartiments du carbone organique pour différents types de sol (Razafimahatratra, 2011 ; Stenberg et al., 2010 ; Janik et al., 2007).

Ces méthodes consistent à un traitement de données spectrales collectées après passage des échantillons dans un spectromètre, et grâce au couplage de la réponse spectrale des molécules spécifiques, avec des calculs mathématiques (statistiques), pour sortir les quantités de chaque composante sous étude. L'utilisation de l'infrarouge moyen (longueur

d'onde 2.5 à 20 microns) par exemple qui permet d'exciter toutes les bandes vibrationnelles des composés organiques, sert à des analyses qualitatives de caractérisation des constituants minéraux et organiques des signatures spectrales des sols (Madari et al., 2010 ; Bardy et al., 2008 ; Madari et al., 2006), et pour la prédiction des propriétés des sols, tels que les différents pools du carbone organique (Xie et al., 2011 ; Janik et al., 2007) ; ou soit, pour classer et caractériser les principaux groupes de sol et ensuite prédire leurs propriétés physico-chimiques (Razafimahatratra, 2011).

Les études de Friedel et al. (1996), Anderson et Domsch, (1989), Powlson et al. (1987), et Jenkinson et Ladd, (1981), suggèrent qu'à court terme, la perception des changements dans les quantités de carbone n'est pas évidente suite entre autres, au faible taux d'accumulation saisonnier et à la grande variabilité naturelle des sols. Néanmoins, ils proposent la quantification de la partie la plus active du carbone organique qui est le carbone de la biomasse microbienne (Kuzyakova et Bol, 2006 ; Fontaine et al., 2004 a et b) ; celle-ci pouvant donner des indications de changement dès la 1<sup>ère</sup> ou la 2<sup>ème</sup> année.

Une revue de Fontaine et al., (2003), sur le comportement des différents groupes des micro-organismes (nommés à stratégie r et à stratégie k) du sol suggère une abondance différenciable et sûrement mesurable en présence de matière organique fraîche ou en présence unique des polymères plutôt stables de l'humus du sol.

Cependant, pour une étude basée sur des analyses des sols, le coût supplémentaire occasionné par une étude plutôt complexe de la biomasse microbienne en place, limite les investigations dans ce domaine pour les recherches menées dans les institutions à faibles allocations ; ces études peuvent demander l'utilisation des isotopes (Gleixner, 2013) et autres nouvelles technologies de la biologie moléculaire (Lagomarsino et al. 2009 ; Schloter et al., 2003).

### **II.3.3. Carbone des sols des agro-écosystèmes**

Le contexte actuel des changements climatiques conduit l'humanité à repenser ses activités (McKenzie, 2010 ; Sherman et Adams, 2010 ; van de Steeg et al., 2009 ; Keenan et al. 2000) ayant des impacts majeurs ou même mineurs dans les émissions des gaz à effet de serre. La gestion des terres en général et celle des terres agricoles en particulier a bénéficié d'une attention plus soutenue depuis le protocole de Kyoto (1998), car l'agriculture est pointée comme contribuant à l'émission d'au moins 13 % des gaz à effet de serre (Kaonga, 2012 ; Schoeneberger, 2008).

Jusqu'à présent, le travail de la terre constitue la source majeure de nourriture pour l'humanité ; la recherche des systèmes de culture ayant un réel bénéfice environnemental reste donc d'actualité. Le domaine le plus visé étant l'augmentation de la productivité des terres et des cultivars, qui soit couplée d'une augmentation de la séquestration du carbone, particulièrement dans le sol. Ainsi, la recherche scientifique n'a cessé de publier des résultats d'investigations des systèmes de culture et leurs empreintes écologiques (Franzese et al., 2013 ; FAO, 2011 ; Wang et Bian, 2008 ; Cuadra et Björklund, 2007 ; Zhaoa et al., 2005 ; Lal, 2004).

Dans les agro-écosystèmes, Batjes et Sombroek (1997) et Schnitzer (1991), confirment que, bien que représentant moins de 5 % du poids total du sol, la matière organique est l'une des composantes essentielles à une agriculture durable. Les pools labile et intermédiaire du carbone organique sont parmi les moteurs existentiels des organismes vivants, ainsi que du comportement d'un grand nombre d'éléments minéraux du sol.

Selon Banerjee et al., 2006, l'application d'amendements organiques augmente les quantités du carbone organique du sol d'environ 0.75 % déjà dans la deuxième année. La transformation des terres arables à faible productivité en des séquences agroforestiers est estimée tripler les stocks de carbone dans l'agro-écosystème endéans 20 ans, donnant ainsi matière à réflexion aux décideurs politiques pour l'entrée de petits exploitants dans le marché carbone (Murthy et al., 2013 ; Dolman et al., 2001 ; Sanchez, 2000).

## **II.4. Évaluation socio-économique des actions de développement**

Le milieu rural agricole des pays en développement a toujours une connotation de milieu des pauvres. Les actions y conduites telles l'introduction de nouvelles technologies de gestion des exploitations agricoles visent en premier lieu l'amélioration du niveau de vie des populations. L'évaluation de l'impact de ces derniers ne peut se limiter à la seule évaluation des retombées à caractère technique telle que l'amélioration de la fertilité des sols ou des rendements des cultures. Mais, elle aborde aussi les aspects socio-économiques qui sont l'expression du bien-être amélioré des populations ciblées par l'intervention (Haggblade et al. (eds.), 2007).

Une évaluation socio-économique dans ce monde rural suppose de ce fait, la prise en compte des piliers de la vie rurale en général, avec des adaptations sur les réalités du milieu concerné. Elle demande ainsi la considération des ressources primaires essentielles, autrement appelées des capitaux à disposition de la communauté rurale que sont, le capital humain (santé, nutrition, éducation, etc.), social (relation inter humaine, leadership, association communautaire, etc.), physique (infrastructure, outils et équipement de travail, etc.), financier et économique (épargne, accès aux crédits bancaires, etc.) et enfin, le capital naturel (terre et eau, ressources végétales et animales, etc.) (Ellis, 2000).

Elle a pour finalité la compréhension du bien-être social suite à une intervention humaine donnée. Ceci n'est pas une tâche aisée à priori, étant donnée la nature assez subjective des faits censés être mesurés et la complexité des interactions entre les piliers susmentionnés.

Il est ainsi courant, de rechercher les indices qui ensemble, font la preuve du bien-être sociale amélioré d'une communauté d'exploitants agricoles (World Bank, 2008 ; Toner., 2003 ; Dixon et al., 2001).

Selon Haggblade et al. (eds.), (2007), Ellis et Freeman (2004) ainsi que Allison et Ellis (2001), de ces indices il y a :

- la présence des associations communautaires viables, expression d'une organisation communautaire transformée ;
- la réduction de la pénibilité des tâches liées à l'exploitation ;
- la diversification des sources de revenu ;
- la transformation in situ des produits des récoltes ;
- l'accès au marché et l'existence de l'épargne.

### **III. Matériel et Méthodes**

#### **III.1. Présentation du milieu d'étude**

##### **III.1.1. Localisation géographique et population**

Situé entre 4° et 5° de latitude sud et entre 15°30' et 16°30' de longitude Est, le plateau des Bateke en R.D. Congo couvre une superficie d'environ 21.823 Km<sup>2</sup>; il constitue la frontière Est entre la ville de Kinshasa et la province de Kwango. Il est borné au nord par le fleuve Congo qui constitue la frontière entre la R.D. Congo et la République du Congo et s'étend au sud dans la province du Bas-Congo, jusqu'à la frontière avec l'Angola.

La partie qui se trouve administrativement dans la ville de Kinshasa, couvre une superficie avoisinant 7.000 Km<sup>2</sup>, soit environ 79 % de la superficie totale de la ville. Elle appartient à la commune urbano-rurale de Maluku, et est traversée par l'axe routier Kinshasa-Kikwit. Le point repère de la zone d'étude est situé à 4° 27' 47'' de latitude Sud et 16° 11' 47'' de longitude Est, à Ibi village, à 10 Km de la cité de Mbankana (carte 1).

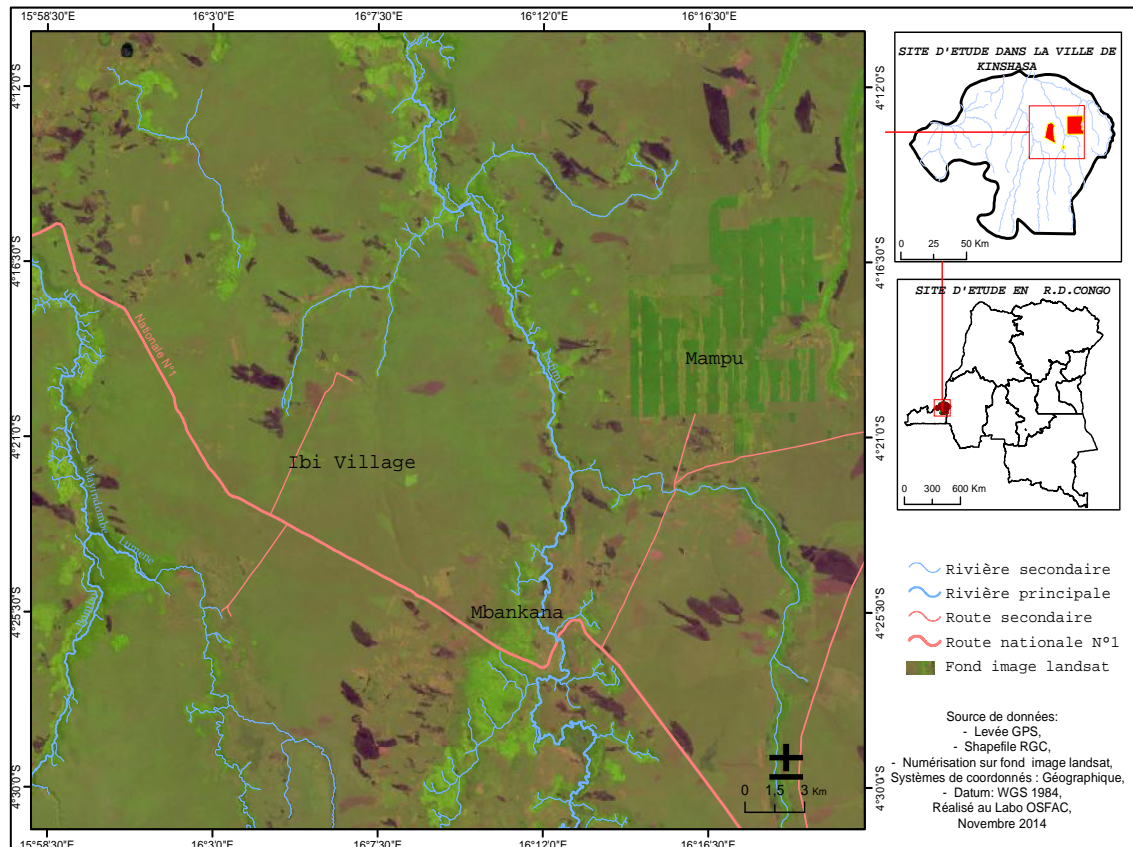
Situé dans l'hinterland de la ville de Kinshasa, le plateau des Bateke regroupe pratiquement toutes les ethnies de la R.D. Congo. Selon les données de la zone de santé de Maluku 2, au premier semestre de l'année 2014, sa population s'élevait à 70 305 habitants, dont 22 702 habitants (soit 32,3 %) dans l'aire qui fait l'objet de cette étude.

Le peuple Teke, autochtone du milieu se trouve disséminé dans des villages à l'intérieur de la zone, tandis que les non Teke sont principalement dans des centres à l'instar du Centre d'Appui au Développement Intégré de Mbankana (CADIM) et le centre agroforestier de Mampu, ainsi que le long des grandes routes.



### III.1.2. Relief et Hydrographie

D'une manière générale, le relief du plateau des Bateke est monotone, résultant d'une lithologie peu variée. C'est un dépôt de sable d'origine tertiaire, plus ou moins argileux par endroit avec une prédominance des ubiquistes (zircon, rutile, tourmaline, disthène) (Sys, 1972). Ce paysage monotone est parsemé de dépressions et de vallées encaissées.



**Fig. 4. Localisation de la Zone d'étude dans la commune de Maluku**

Le plateau des Bateke fait partie de l'immense bassin du fleuve Congo. Outre le fleuve, cette région est drainée par quelques rivières qui coulent du Sud vers le Nord dans des vallées souvent très encaissées avant de se jeter dans le fleuve Congo. C'est dans les grès polymorphes qui apparaissent à l'Ouest que les rivières sont les plus encaissées. A l'Est se trouve la Lufimi dont les principaux affluents sont la Wue (à l'Est) et la Limbimi (à l'Ouest). La rivière Mayi Ndombe qui se situe dans la partie Ouest est le prolongement de la confluence des rivières Bombo et Lumene, qui entourent le domaine de chasse qui porte leurs noms (Bombo-Lumene) (PNUD/UNOPS, 1998).

### **III.1.3. Climat**

#### ***III.1.3.1. Quelques éléments du Climat***

Dans son ensemble, le climat du plateau des Bateke, comme celui de la ville de Kinshasa est du type Aw<sub>4</sub> suivant la classification de Köppen (1931). C'est un climat tropical humide soudanien avec deux saisons bien contrastées ; une saison sèche qui s'étend de mi-mai à mi-septembre et une saison humide qui débute à la mi-septembre pour s'achever à la mi-mai (Bultot, 1950).

***Température*** : la température moyenne annuelle est de 26°C. Elle diminue durant la saison sèche de juin-août, avec une moyenne de 24°C ; et elle augmente de 0.5°C pendant la saison des pluies. La température maximale moyenne mensuelle est de 30°C, avec un maximum absolu de 39°C; tandis que la température minimale moyenne mensuelle est de 19,5°C durant la saison sèche avec un minimum absolu de 14,5°C (relevés de terrain).

***Insolation*** : L'insolation est suffisamment élevée avec une durée annuelle atteignant 1 838 heures. Elle est basse en saison sèche à cause de la couverture nuageuse et est la plus élevée au début de la saison de pluie, avec 194 heures en octobre ; la moyenne mensuelle est de 116 heures.

***Pluviométrie*** : les précipitations ont une double périodicité avec des maxima aux mois d'avril et de novembre et une courte sécheresse entre janvier et février. La période la plus sèche est le mois de juillet où souvent on enregistre zéro mm de pluie ; tandis que novembre est le mois le plus pluvieux avec des hauteurs des pluies atteignant facilement 242 mm. La moyenne annuelle est de 1561 mm.

***Humidité relative*** : L'humidité relative moyenne atteint 90 % pendant la nuit et décroît à 50 % durant le temps chaud de la journée. La moyenne journalière oscille autour de 80 % ; cette humidité atmosphérique élevée se maintient au cours de la saison sèche à cause des brouillards qui règnent pendant cette période aux petites heures matinales.

***Évapotranspiration*** : L'évapotranspiration annuelle varie entre 1237 et 1340 mm. La variation mensuelle saisonnière observée est maximale à la fin de la saison des pluies avec 119 mm au mois de mars. Elle est la plus faible pendant la saison sèche avec 88.8 mm au mois de juillet, consécutive à la diminution de la température et de l'insolation.

### **III.1.3.2. Pédoclimat**

**Régime de température** : au plateau des Bateke, le brûlis de la végétation naturelle ou de défrichage est une pratique très courante qui, selon les paysans, est la plus facile et la plus économique pour la préparation des terrains ou pour l'obtention des jeunes repousses dans les pâturages.

Les hautes températures qui découlent des brûlis de défrichage et autres, modifient les températures de l'air qui atteignent souvent 100°C, affectant ainsi les propriétés de la couche superficielle du sol (Brady et Weil, 2008).

Comme les autres sols des régions tropicales de basse altitude, les sols du plateau des Bateke sont caractérisés par des faibles fluctuations saisonnières de température.

A 50 cm de profondeur, la température moyenne annuelle varie entre 26 et 28°C. Elle est de 2 à 4°C supérieure à la température moyenne annuelle de l'air. La moyenne pendant la saison des pluies est de 2 à 3°C supérieure à celle de la saison sèche. Ainsi, le régime thermique du sol à 50 cm de profondeur est iso-thermique (Crabbe, 1980)

**Humidité du sol** : Les pluies et les nappes aquifères sont les deux sources principales naturelles de l'eau du sol. Au plateau des Bateke, la seconde source ne joue pratiquement aucun rôle, car elle se situe à des très grandes profondeurs (environ 140 m). Les rivières étant très encaissées, il en résulte que le problème d'eau se pose avec acuité dans cette contrée, à l'exception de quelques dépressions (Nieuwolt, 1977).

La capacité des sols à retenir l'eau est dépendante des propriétés telles que la texture, la structure et la teneur en matière organique. Au plateau des Bateke, le sol étant sableux friable, le seul élément capable de retenir l'eau, de garder l'humidité dans le sol est la matière organique (Morin et Todor, 1975 ; CodeCongo-Socinco, 1963). Sous les plantations d'*Acacia sp* ou sous les galeries forestières, la teneur en matière organique est relativement élevée et la litière forme une couche de plus de 5 cm ; par contre sous formation herbeuse, où les feux de brousse sont quasi annuels, la litière est presque inexistante.

### III.1.4. Période de croissance des plantes

La période de croissance de référence est définie comme une période continue où les précipitations sont supérieures à la moitié de l'évapotranspiration potentielle. La fin de cette période est déterminée par le temps nécessaire à évaporer 100 mm d'eau, correspondant à l'humidité accumulée disponible au-delà de la durée de la saison des pluies. Ces 100 mm (d'eau) d'humidité proviennent du surplus des précipitations sur l'évapotranspiration potentielle à la fin de la période humide (qui est la période continue pendant laquelle les précipitations sont supérieures à l'évaporation et à l'évapotranspiration). Les 100 mm d'eau représentant l'humidité accumulée sont supposés disponibles aux cultures (Inthavonga et al., 2011 ; Allen et al., 1998).

La longueur de la période de croissance est définie sur base de données climatiques sans référence à une culture spécifique, ni au sol et encore moins au paysage.

Des deux paramètres servant à la détermination de la période de croissance des plantes, les précipitations sont données par les relevées météorologiques, tandis que l'évapotranspiration potentielle est le plus souvent calculée à partir des données existantes et des abaques. Suivant la méthode de Penman-Monteith (Gong et al. 2006 ; Chen et al., 2005 ; Sumnera et Jacobs, 2005 ; Allen et al., 1998), l'évapotranspiration potentielle se calcule suivant la formule ci-après :

$$ET_0 = ET_{aero} + ET_{rad}.$$

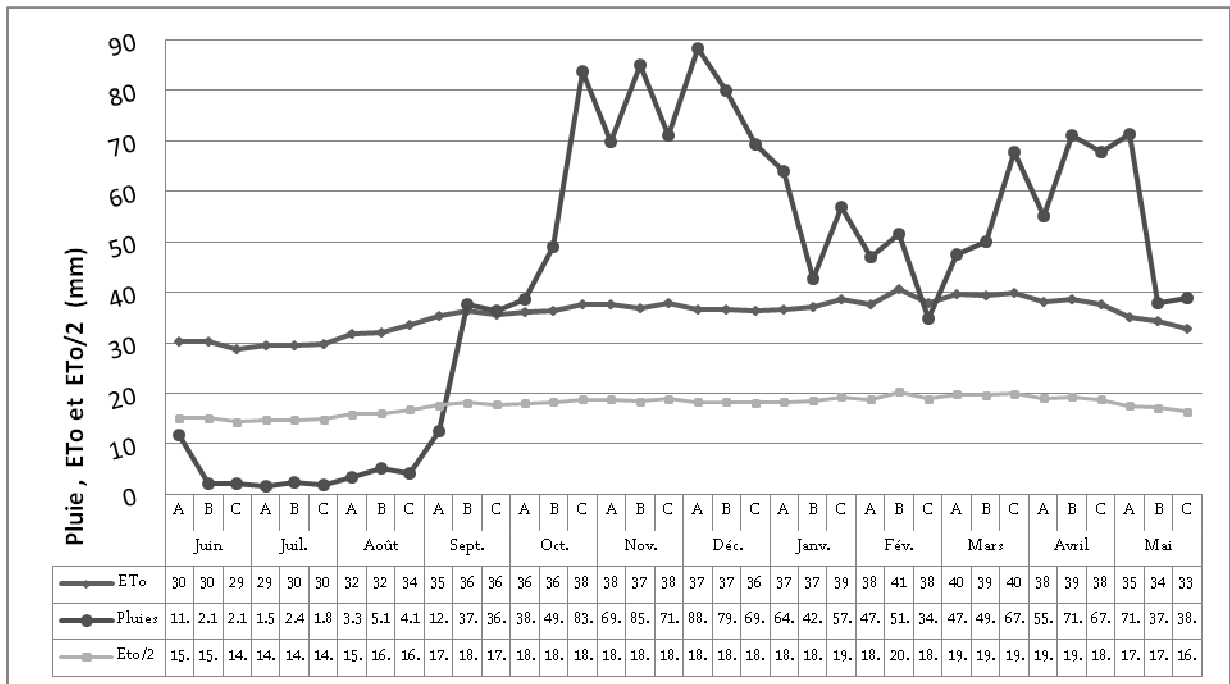
Où,

$ET_0$  = évapotranspiration potentielle journalière en mm

$ET_{aero}$  = évapotranspiration aérodynamique (liée à l'effet vaporisant du vent) et

$ET_{rad}$  = évapotranspiration radiale (liée à l'effet vaporisant du rayonnement solaire)

Le développement et l'utilisation de toutes ces formules étant fastidieux, le logiciel DSSAT 45 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) a servi aux calculs de l'évapotranspiration potentielle. Ainsi, la période de croissance des plantes pour le plateau des Bateke se présente comme sur la figure 5 ci-dessous :



**Fig. 5. Configuration annuelle de quelques paramètres climatiques au plateau des Bateke (données synthèse de 1986 à 2014 de la station météorologique de Mbankana)**

### III.1.5. Sol et végétation

Les sols du plateau des Bateke ont été très peu étudiés ; la contrée a été ignorée entre autre par les études de l'INEAC à cause de son faible potentiel agricole dû surtout aux caractéristiques physiques de son sol et à son faible système hydrographique.

Selon CodeCongo-Socinco (1963), les sols du plateau des Bateke sont constitués de sables de recouvrement de la série des « sables ocre » de Kalahari, impropres à l'agriculture. Ce sont des sables acides, lessivés, profonds et secs, car bien drainés. La nappe phréatique s'y trouve à plus de 150 m de profondeur. Selon la classification WRB, ce sont des Arenoferralsols (Dystric) (IUSS Working Group WRB., 2014 ; Baert et al., 2009 ; Ngongo et al., 2009).

La végétation herbeuse et arbustive du genre guinéo-congolaise représente la formation dominante du paysage du plateau des Bateke. La structure verticale comprend deux strates d'inégale importance : la strate arbustive et la strate herbacée. Saisonnièrement, le feu de brousse détruit cette végétation, l'empêchant ainsi d'évoluer vers d'autres structures.

La strate herbacée qui constitue la formation végétale la plus étendue est dominée par plusieurs espèces dont les plus représentatives sont *Loudetia demeusei* (De Wild.) C.E.

Hubb sur le plateau et *Loudetia simplex* (Nees) C.E. Hubb. sur les sols des vallées alluvionnaires.

La strate arbustive est très discontinue, les arbustes se mêlant aux arbres. Parmi les arbustes les plus communs on peut citer, *Hymenocardia acida* Tul., *Pterocarpus angolensis* DC. et *Combretum psidioides* Welw. (Pauwels, 1993 ; Lubini et al., 1988).

On trouve aussi au plateau des Bateke, des forêts galeries semi-sempervirentes et des forêts édaphiques liées aux sols hydromorphes occupant les berges des cours d'eau, les vallées et les pentes des collines.

Les forêts initiales qui recouvraient essentiellement les pentes des versants sont fortement réduites aux jachères de différents âges en dégradation continue. Des petits îlots subsistent avec des espèces reliques telles que *Millettia laurentii* De Wild., *Dracaena nitens* Welw., *Pentaclethra eetveldeana* De Wild et Th. Dur et bien d'autres (Lubini et al., 1988).

## III.2. Matériel

### III.2.1. Matériel de l'étude du sol

Le matériel de l'étude du sol est constitué d'échantillons composites des sols d'Ibi Village prélevés en 8 points, retenus sur la base de leur couvert végétal. Ce site offre les avantages de se trouver dans un même type d'écosystème que le centre agro-forestier de Mampu, d'utiliser les mêmes essences que celles utilisées en jachère améliorée, et d'offrir à la recherche un cadre assez permanent à opportunités diversifiées.

Étant donné que l'*A. auriculiformis* et *A. mangium* sont les deux espèces utilisées dans la jachère améliorée ; le premier critère du choix d'un site était que celui-ci devait porter les arbres de l'une ou de l'autre de ces deux espèce. Le centre agro-forestier de Mampu préconise un temps de jachère de 8 ans, durée jugée suffisante pour avoir de bonnes tiges pour la fabrication du charbon de bois et pour avoir assez de litière et autres améliorations dans le sol pour des rendements satisfaisant des cultures. Dans la perspective de réduction de ce temps de jachère, la présente étude est basée sur les *Acacia sp* d'âge inférieur à 8 ans et considère 5 ans comme l'optimum de durée de jachère. Le plateau des Bateke étant une zone de savane portant des galeries forestières, une savane non plantée depuis au moins 10 ans et une forêt de régénération naturelle de même âge ont servi à l'appréciation de l'impact des plantations d'*Acacia sp*. Ainsi, sur la base du couvert végétal, quatre paysages pour un total de 8 points de prélèvement ont été retenus ; il s'agit de :

1. PROVACO\_2, ce site porte une parcelle de 2.2 ha d'*A. auriculiformis* (04,32542° de latitude sud ; 16,11095° de longitude est), une parcelle de 2.2 ha d'*A. mangium* (04,32594° de latitude sud ; 16,11219° de longitude est) et 1 ha des parcelles expérimentales de cultures associées manioc – maïs (04,32532° de latitude sud ; 16,11415° de longitude est). Les parcelles d'*Acacia sp* ont été plantées en janvier 2007, aux écartements de 3 x 3 m ; celle portant les cultures associées manioc – maïs a été mise en place après coupe et brûlis des *A. mangium* de 5 ans en novembre 2012 (sites 1, 2,3) ;
2. Musia Bikwi, ce puits de carbone, porte également des *A. auriculiformis* (04,39594° de latitude sud ; 16,12879° de longitude est) et *A. mangium* (04,39788° de latitude sud ; 16,13071° de longitude est) de 2 ans mise en place en janvier 2010 (sites 4, 5) aux écartements de 3 x 3 m constitué de blocs mono spécifiques de 25 ha chacun ;

3. Source Ibi, la source d'Ibi porte une forêt de régénération naturelle (04,33022° de latitude sud; 16,12401° de longitude est) d'au moins 10 ans (site 6)
4. PROVACO\_1, ce terrain est une savane naturelle (04,32617° de latitude sud ; 16,11630° de longitude est) d'au moins 10 ans (site 7), dont une partie venait d'être mise en culture (04,32603° de latitude sud; 16,11611° de longitude est) (site 8).

Le sol était échantillonné en 2 phases. La première, en février 2012, concernait l'étude des profils pédologiques sous les grands ensembles végétaux retenus. Étant donné que les terrains mis en culture faisaient partie des parcelles à *A. mangium* et savane naturelle, 6 profils ont été creusés dont 2 sous *Acacia sp* de 2 ans, 2 sous *Acacia sp* de 5 ans, 1 sous la forêt naturelle et 1 sous savane. La deuxième phase consistait au suivi temporel des sols des 8 points sus mentionnés. Pendant celle-ci, l'échantillonnage se faisait à la tarière Edelman sur base du profil pluviométrique de la zone.

### **III.2.2. Matériel de l'évaluation socio-économique**

Pour l'évaluation socio-économique, un questionnaire d'enquête adapté aux réalités du terroir et élaboré selon la méthode proposée par Ellis (2000) a été utilisé, en considérant les jachères avec *Acacia sp* comme la principale stratégie de vie autour de laquelle les fermiers organisent leurs activités.

Le principe de choix des sites d'enquête était basé sur la pratique de l'agroforesterie avec *A. auriculiformis* et/ou *mangium*. Étant donné que la végétation dominante du plateau des Bateke est une savane et que le grand centre agroforestier y situé est occupé par des fermiers implantés à la suite d'un projet de boisement, d'autres sites occupés aussi par des fermiers implantés ont servi de repère de comparaison. Ainsi, en plus d'Ibi village, endroit d'échantillonnage des sols, et ses environs, les villages des fermiers implantés qu'encadre le Centre d'Appui au Développement Intégré de Mbankana (CADIM) et le centre agroforestier de Mampu ont servi de sites d'enquête socio-économique. Ces deux sites additionnels sont brièvement présentés ci-après :

*CADIM (S 4.581°, E 16.314° à 641 m d'altitude)* : le Centre d'Appui au Développement Intégré de Mbankana (CADIM) est une organisation non gouvernementale de développement née au plateau des Bateke en 1986, à la fin du projet d'Implantation des Fermiers de Kinshasa (PIFK). Il a bénéficié des infrastructures de PIFK et avait pour mission, à ses débuts, de sauvegarder les acquis du projet et de continuer à assurer l'encadrement des fermiers. Étant un centre d'encadrement, son action ne s'est pas



seulement limitée aux huit villages des fermiers créés par le PIFK ; elle s'est étendue aux villages Teke sur un rayon dépassant 50 Km autour du centre.

Aujourd'hui, il est devenu le partenaire privilégié des organisations nationales internationales œuvrant dans le domaine du développement au plateau des Bateke ; il intervient de ce fait au-delà de ses limites initiales.

Situé dans le quartier Mbankana, au centre de la région d'étude, ce site est essentiellement couvert d'une végétation herbeuse. Il comporte quelques îlots de forêts galeries situés le long des cours d'eau, et des plantations d'*Acacia*, fruit du travail de quelques fermiers.

Pour ce travail, le site CADIM représente les huit villages de l'ancien projet PIFK, habités à majorité par des fermiers implantés en 1982, disposant chacun de 22 hectares.

*Mampu (S 4.420°, E 16.292° à 660 m d'altitude)* : le centre agroforestier de Mampu, situé à l'Est du centre CADIM, dans le quartier Kinzono, est né en 1986 d'un projet de partenariat entre le Gouvernement Zaïrois et l'Union Européenne. Ce projet avait pour mission de produire du bois énergie pour approvisionner le centre-ville de Kinshasa.

Dans les années 1993- 1995, lorsque la fondation Hanns Seidel, alors structure de suivi, distribua des blocs de 25 hectares aux fermiers sélectionnés, ceux-ci, pour assurer leur alimentation et subvenir aux autres besoins économiques, ont commencé à pratiquer l'agroforesterie où l'*Acacia sp* fait partie intégrante de la rotation des cultures.

La structure du questionnaire d'enquête est telle que résumée dans le tableau 3 ci-après :

**Tableau 3. Résumé de la structure du questionnaire d'enquête**

| Identification de l'enquêté        | Conduite de l'exploitation   | Le flux financier mensuel (approximatif)           |
|------------------------------------|--|--|
| Sexe; Niveau d'instruction;        | Rendement à l'ha des principales spéculations                        | La part de l'agriculture dans le revenu du fermier |
| Tranche d'âge;                     | (Le manioc ; Le maïs; Le charbon de bois)                            | Revenu mensuel                                     |
| État civil;                        |  | Existence d'une épargne                            |
| Statut migratoire;                 |  |  |
| Taille de ménage (nbre personnes); | Les dépenses liées aux différentes activités de                      |  |
| Type d'habitat (& nbre de pièces); | mise en culture  |  |
| Ancienneté dans le site (années);  |  |  |
| Nombre d'ha à disposition;         | Durée de la jachère  |  |
| Projet d'avenir;                   | La pratique de l'élevage   |  |
| Propriété foncière                 | Type de cheptel  |  |
| Surface habitée (m <sup>2</sup> ); | Principale source d'aliments   |  |
| Nombre d'hectares exploités par an | La pratique de l'apiculture  |  |
|                                    | Nombre des ruches  |  |
|                                    | Production annuelle par ruche  |  |
|                                    | Prix d'achat d'une ruche   |  |
|                                    | Durée de vie de la ruche ( <i>années</i> )                           |  |
|                                    | Autres espèces ligneuses cultivées en plus d' <i>Acacia</i>          |  |
|                                    | Possibilité ou idées de remplacement / combinaison des <i>Acacia</i> |  |

### III.3. Méthodes

#### III.3.1. Structure de l'approche méthodologique

Les figures 6 et 7 résument l'approche méthodologique du travail en général, et celle de la composante sol en particulier.

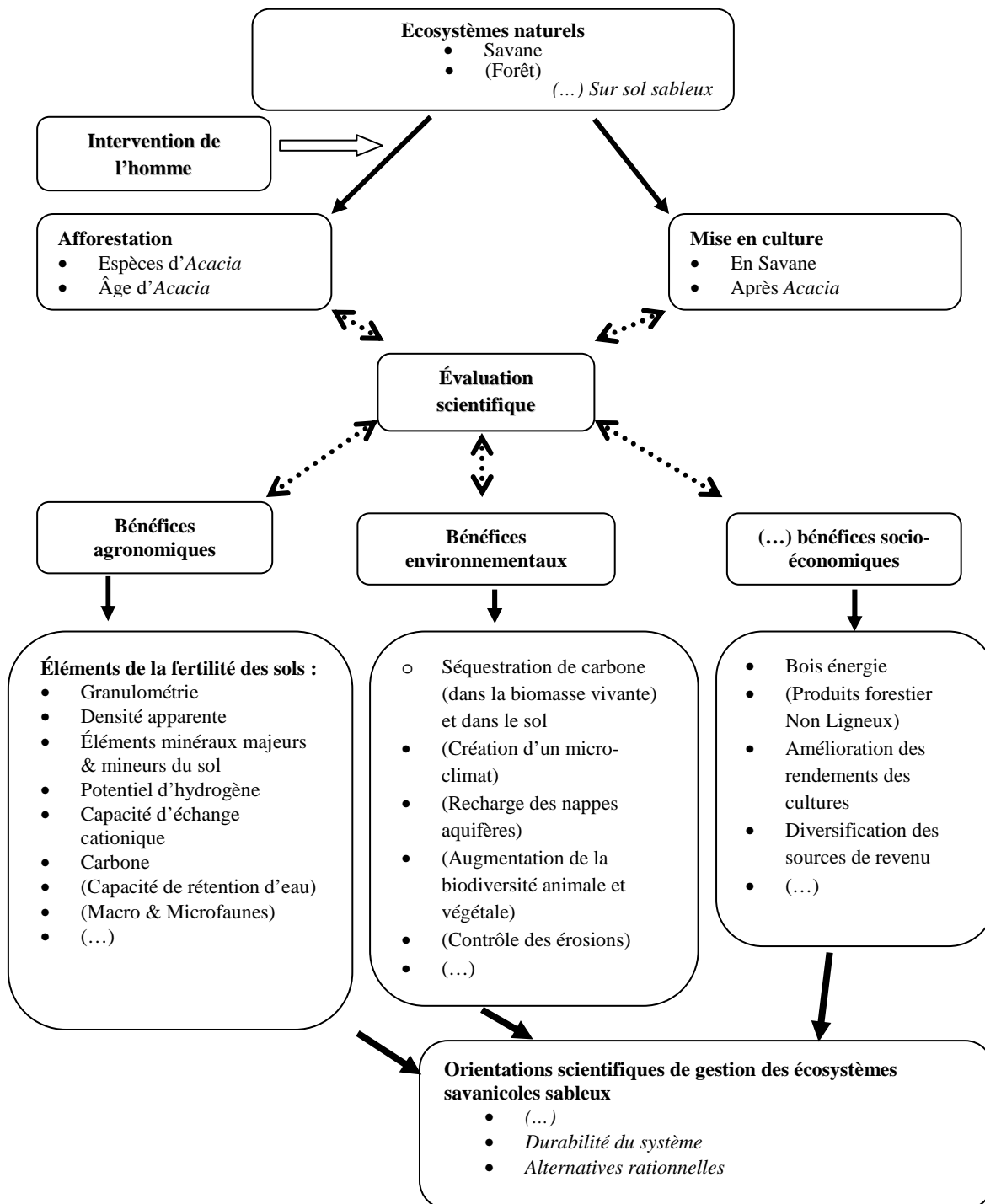


Fig. 6. Résumé de l'approche méthodologique du travail

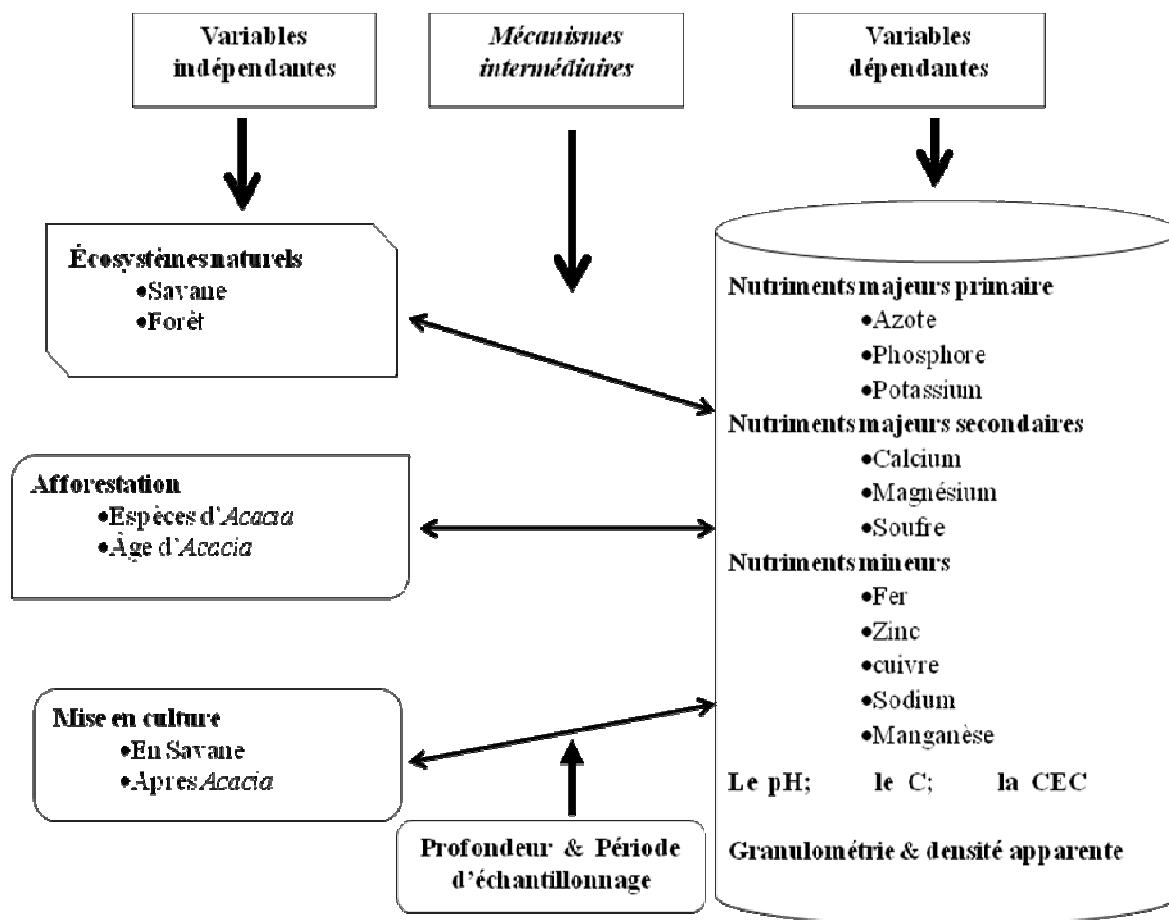


Fig. 7. Résumé de la démarche suivie pour la composante sol

### **III.3.2. Description des profils pédologiques et Technique d'échantillonnage**

Après les prospections de terrain, des profils pédologiques ont été creusés jusqu'à 120 cm de profondeur sous les six couverts végétaux indiqués dans le paragraphe précédent, et décrits selon les directives édictées par la FAO (2006). La délimitation des horizons dans lesquels les premiers échantillons ont été prélevés a été faite macroscopiquement sur la base de la différence de coloration et de la consistance du sol au toucher.

La prise des autres échantillons des sols s'est faite à la tarière Edelman en trois répétitions spatiales et en 5 périodes (*Février 2012 (T<sub>0</sub>)*, *Juillet 2012 (T<sub>1</sub>)*, *Novembre 2012 (T<sub>2</sub>)*, *Février 2013 (T<sub>3</sub>)* et *Juillet 2013 (T<sub>4</sub>)*), suivant les pics des saisons pluvieuses et sèches ; les profondeurs retenues étaient de 0 - 30 cm (Pr<sub>1</sub>), 30 - 60 cm (Pr<sub>2</sub>) et 60 - 120 cm (Pr<sub>3</sub>). Tous les échantillons étaient des composites de quatre prélèvements. Sous les plantations d'*Acacia sp*, les prélèvements étaient effectués au milieu de 4 arbres plantés sur 2 lignes contigües à l'exclusion de ceux situés en bordure. Le nombre d'échantillons était de 342, plus les 25 échantillons issus des horizons pédologiques des sols, soit un total de 367 échantillons.

Deux raisons majeurs ont milité en faveur de cette technique d'échantillonnage ; d'abord, les résultats d'analyses devaient servir à un suivi vertical et temporel pour un même site ; et ensuite à une comparaison des sites entre eux. Les échantillons sous savane et sous forêt devaient servir de témoins pour les plantations d'*Acacia sp*, censées apporter des améliorations par rapport aux conditions de savane, pour ainsi tendre vers les conditions sous forêt, qui sont présumées être l'idéal pour la mise en culture.

Comme décrit par Hartemink (2006 et 2003), cet échantillonnage était conforme à la prise des données chrono-séquentielles (données de type I) pour une période relativement courte (18 mois) et à l'échelle d'un agro-écosystème ; combinées à des données bio-séquentielles (données de type II) servant à des comparaisons entre différents usages de terres sur un substrat présumé de même nature.

### **III.3.3. Collecte des données socio-économiques**

La collecte des données socio-économiques auprès de 330 interviewés à raison de 110 par site, était possible grâce à des entretiens interpersonnels utilisant un questionnaire semi-structuré auprès des personnes ressources que sont les encadreurs des fermiers ; et des chefs des ménages vivant essentiellement de l'agriculture et habitant le terroir. Elle a servi

à la récolte des données socio-économiques concernant les effets des plantations d'*Acacia sp* dans la vie des communautés riveraines. La clef d'information autour des données collectées était l'appréciation des effets (positifs) attribuables aux jachères avec *Acacia sp*, aussi bien sur les rendements des cultures que sur le bien-être socio-économique des fermiers.

Loin de vouloir faire une étude complexe avec toutes les interactions pouvant exister dans un système aussi complexe qu'un agro-écosystème, la méthode adoptée ici était celle de présenter un état de lieu aussi détaillé que possible, qui pourra servir de soubassement à des futures études dans ce domaine. Elle a concerné le profil du fermier chef de ménage, la conduite de son exploitation et quelques aspects de ses revenus.

### **III.3.4. Analyses physico-chimiques des sols**

Pour cette étude, des analyses de laboratoire ont visé la mesure des paramètres chimiques (pH, N, P, K, Ca, Mg, S et Fe, Cu, Zn, Mn, CEC ainsi que le carbone organique du sol) de fertilité des sols, et la détermination des paramètres physiques (granulométrie et densité apparente). L'envoi des échantillons des sols au laboratoire a été précédé d'un séchage à l'ombre et à l'aire libre pendant une semaine, suivant le protocole décrit par Okalebo et al. (2002).

Les méthodes de dosage des nutriments et de mesure des paramètres physiques utilisées par le laboratoire Crop Nutrition laboratory services de Nairobi sont celles décrites par Faithfull (2002), Okalebo et al (2002) Anderson et Ingram (1993), Mehlich, (1984) et Morgan (1941) ; telles que synthétisées ci-après :

**La granulométrie (%)**, Il s'agit de la détermination des différentes classes de particules minérales suivant les 3 classes détaillées habituellement (Baize, 2000), à savoir,

- Fraction argileuse : 0 à 2  $\mu\text{m}$
- Fraction limoneuse : 2 à 50  $\mu\text{m}$
- Fraction sableuse : 50  $\mu\text{m}$  à 2 mm.

L'analyse commence par la destruction de la matière organique par oxydation avec de l'eau oxygénée suivie de l'attaque à l'acide chlorhydrique et d'un lavage à l'eau distillée pour la destruction d'éventuel calcaire et la désagrégation des ciments notamment ferrique pour les sols tropicaux, qui lient les fractions granulométriques. La séparation des différentes classes s'effectue par sédimentation gravitaire et séparation au moyen de la pipette de Robinson – Köhn, après dispersion de la suspension colloïdale à l'aide d'un

réactif dispersant (l'hexametaphosphate de sodium) pour les fractions fines (< 50 µm), et par tamisage pour les fractions supérieures.

**L'azote** a été dosé par la méthode Kjeldahl qui a consisté en une minéralisation à l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), en présence du sulfate de potassium (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), pour augmenter la température d'ébullition de l'acide sulfurique ; et d'un catalyseur (à l'instar du sulfate de cuivre (CuSO<sub>4</sub>)). Une distillation par entraînement à la vapeur s'en est suivie et enfin une titration par l'acide chlorhydrique (HCl) 0.05 N en présence de l'ammonium (NH<sub>4</sub>) qui a fait office d'indicateur.

**Le phosphore** a été dosé au spectrophotomètre d'absorption atomique par la méthode de Olsen dans un rapport sol/ solution d'extraction de Olsen de 1:10. La quantité finale du phosphore de l'échantillon analysé est obtenue par la formule suivante :

$$P = (P_{\text{sol}} - P_{\text{contrôle}}) * (V_{\text{solvant}}) / p_{\text{éch.}} \text{ où,}$$

P = quantité de phosphore présent dans l'échantillon (mg/kg ou ppm)

P<sub>sol</sub> = concentration du phosphore dans d'extrait du sol (µg/ml)

P<sub>contrôle</sub> = concentration du phosphore dans la solution test (contrôle)

V<sub>solvant</sub> = volume du solvant (ml)

p<sub>éch.</sub> = poids de l'échantillon (g)

Le **potassium**, le **calcium**, le **magnésium**, le **fer**, le **soufre**, le **zinc**, le **manganèse**, et le **cuivre** ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique en utilisant l'extrait de Mehlich 3 qui est composé d'acide acétique (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>) 0.2N, de nitrate d'ammonium (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) 0.25 N, de fluorure d'ammonium (NH<sub>4</sub>F) 0.015N, d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) 0.013N et d'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA) (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) 0.001M.

La **CEC** a été mesurée par spectrophotométrie d'absorption atomique après percolation dans une solution d'acétate d'ammonium (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>NH<sub>4</sub>) 1M à pH 7.

Le **carbone** organique, a été dosé selon la méthode de Walkley et Black qui a consisté d'abord en une oxydation par voie humide, par le dichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) en présence de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentré, puis en un titrage de bichromate de potassium en excès par le sulfate ferreux (FeSO<sub>4</sub>) en présence d'un indicateur d'oxydoréduction, le diphenylamine. Pour ce qui est de l'estimation des stocks de carbone dans le sol, la formule utilisée dans ce travail est une adaptation de celle proposée par Aynekulu et al. (2011). Elle se présente comme suit :

$$SCoS \left( \frac{t}{h_a} \right) = C * DA * Ep$$

Dans laquelle :

SCoS = stock de carbone organique du sol (en kg/m<sup>2</sup>)

C = concentration de carbone telle que dosée au laboratoire (en %)

DA = densité apparente du sol de l'horizon concerné (g/cm<sup>3</sup>)

Ep = épaisseur de l'horizon concerné (cm)

Le **pH** a été mesuré dans l'eau distillée dans un rapport sol/eau de 1:2 (poids/volume), après une agitation magnétique et un temps d'équilibrage de 10 minutes.

La **densité apparente** a été calculée selon le principe masse (g) sur volume (cm<sup>3</sup>) par ajout d'eau à une quantité de sol sec pesée et contenue dans un volume connu.

### **III.3.5. Analyses statistiques**

L'analyse statistique des résultats de laboratoire et des enquêtes de terrain s'est faite grâce aux logiciels SPSS 21 (Stands for Statistical Product and Service Solutions) et Minitab 16.

Pour les données du sol, les analyses statistiques ont consistées à :

- la réduction de la dimension des données en termes de moyennes, écarts type et coefficients de variation.
- La comparaison des moyennes de deux ou plusieurs types de couverts végétaux suivant les sources de variation et,
- La recherche des spécificités des sols sous différents couverts végétaux sur base des teneurs en nutriments dosés et suivant les différentes sources de variation.

Pour ce faire, les analyses statistiques ont consisté à des analyses descriptives qui ont servi à ressortir la tendance générale des données à différentes périodes d'échantillonnage. Les comparaisons des moyennes ont été faites selon les cas en utilisant différents tests statistiques ci après :

- Test T de Student pour les données des analyses des sols des horizons des profils pédologiques ;
- L'analyse multi-variée, afin d'avoir un aperçu global de la variabilité des teneurs en nutriments suivant les trois présumés sources de variation : le couvert végétal, la profondeur et la période d'échantillonnage ;



- L'analyse de la variance uni-variée, utilisant le pH comme co-variable des macronutriments primaires sous un groupe de couverts végétaux ;
- L'analyse de variance à un facteur pour comparer les différentes moyennes ; celle-ci complétée par les tests post hoc de Tukey, servant au groupement des moyennes similaires ;
- le test non paramétrique de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants, afin de chercher les détails des différences significatives de la variation verticale des nutriments, sous un couvert végétal et à une saison donné ;
- Des analyses discriminantes entre groupes de couverts végétaux qui ont servis à rechercher des teneurs en nutriments et des valeurs de pH les plus spécifiques sous un couvert végétal donné afin de les différencier les uns des autres.

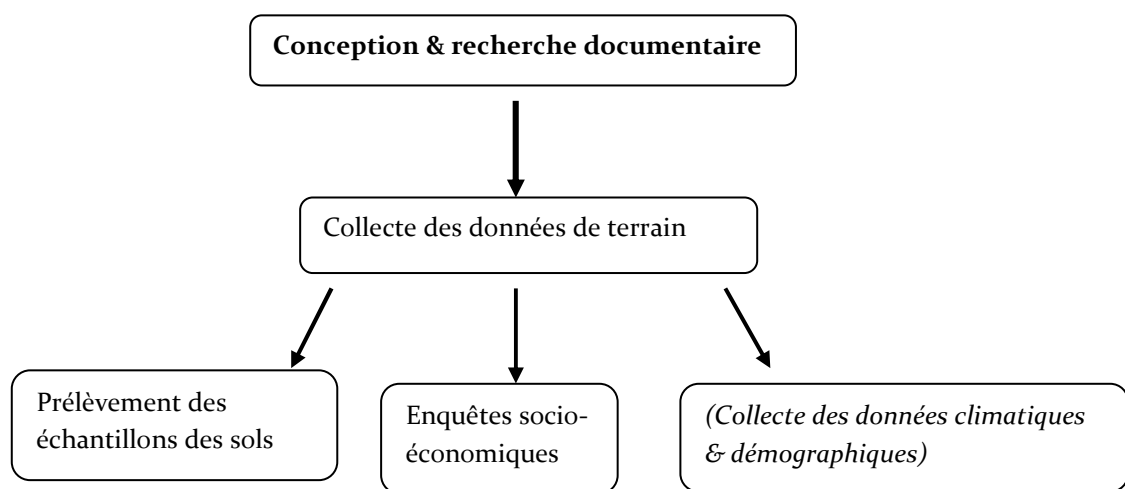
Toutes ces analyses ont été effectuées au seuil de confiance de 95 % ; ainsi, les résultats ayant des  $P_{\text{value}} < 0.05$  étaient considérés statistiquement différents.

Certains résultats des analyses statistiques ont été représentés graphiquement par des diagrammes, notamment pour:

- Les contributions de variables issus de l'analyse factorielle en composantes principales ;
- Les interactions, couvert végétal - profondeur pour certains nutriments ;
- Les Variations de certains nutriments et du pH.

Pour les aspects socio-économiques, les statistiques ont consistées à des rapports des tableaux croisés utilisant le site d'enquête comme la variable indépendante.

Les différentes étapes allant de la conception à la génération des rapports sur les résultats sont telles que synthétisées dans la figure 9 ci-après :



*Fig. 8. Différentes étapes de la démarche scientifique suivie*

## IV. Résultats et discussion

### IV.1. Présentation des profils pédologiques

Les sols d'Ibi village comme ceux du plateau des Bateke en général, n'ont que peu de données scientifiques. La connaissance détaillée des profils pédologiques fait partie des soubassements à la masse d'informations nécessaire à la bonne mise en valeur et à la bonne gestion de ce terroir. Les travaux de Kasongo (2010), Baert et al. (2009), Nsombo (2005) et Baert (1995) ont fait la description et la classification de ces sols après des études sur quelques profils pédologiques.

Comme eux, cette étude a trouvé que ces sols ont en général un profil du type ABC. L'horizon C étant en général très profond, les descriptions des profils pédologiques s'arrêtent à la partie supérieure de l'horizon B. Ils sont classés parmi les Oxisols selon la classification américaine et parmi les Arenosols selon la classification de la FAO (IUSS Working Group WRB, 2014 ; Sys, 1983 ; Van Wambeke, 1974).

Les profils des sites d'échantillonnage d'Ibi village ont les mêmes caractéristiques morphologiques et sont classés dans le même groupe des Arenosols. Les détails de la description morphologique des profils sous savane et sous *A. auriculiformis* de 5 ans se trouvent dans les lignes qui suivent ; ceux sous les autres couverts végétaux se trouvent en annexe 1.

Le profil de savane présente moins d'horizons, trois au total ; ceux sous *Acacia sp* en ont 4 chacun, alors que celui de la forêt en a 5. La caractéristique visuelle la plus frappante est que le sol sous forêt reste de couleur sombre jusqu'à plus de 60 cm de profondeur, alors que dans les autres l'horizon humifère ( $A_1$ ) s'arrêtent à 30 - 40 cm de profondeur.

***Information concernant la station des profils.***

Date de description : le 13 – 14 janvier 2012

Auteur : Blandine NSOMBO MOSOMBO

***Localisation***

Ville de Kinshasa : R.D. Congo

Localisation : quartier Mbankana, Ibi village

Altitude : 593 à 678 m

***Géomorphologie.***

Physiographie du paysage : large plateau des Bateke profondément disséqué dans la partie Nord (exemple de la rivière Mayi-Ndombe) et peu disséqué dans la partie Sud.

Position topographique des profils : sommet du plateau

Microrelief : quelques termitières de *Macrotermes bellicosus* et de *Cubitermes sp.*

Pente : < 5 %

***Utilisation du sol et végétation***

Utilisation du sol : plantation d'*A. auriculiformis* et *A. mangium* de 2 et 5 ans, savane non mise en culture depuis 10 ans et forêt de régénération naturelle de plus de 10 ans.

Végétation naturelle : savane herbeuse parsemée d'*Hymenocardia acida*

Couverture végétale : > 80 %

Roche mère (matériel parental) : sable de la série des « sables ocre » de Kalahari.

***Caractéristiques de surface***

Cailloux et affleurement de surface : néant

Érosion : imperceptible

Climat (Köppen) : Aw<sub>4</sub>

Profondeur de la nappe phréatique : très profond

Drainage : bien drainé

État hydrique durant la description : frais avec détermination des couleurs à l'état sec.

***Profil S<sub>10</sub>***

Emplacement : Ibi village en savane naturelle (S) d'environ 10 ans

Coordonnées : S 04,32617° ; E 16,11630°

Altitude : 639 m

## Description

| <b>Horizon</b>  | <b>Profondeur<br/>(cm)</b> | <b>Description</b>   |
|-----------------|----------------------------|--|
| Ah <sub>1</sub> | 0 – 30                     | Sable brun foncé (7,5 YR 3/2) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique ; sol tassé et friable ; horizon parsemé de quelques radicelles et racines ; transition nette et régulière                   |
| Ah <sub>2</sub> | 30 – 50                    | Sable brun (7,5 YR 4/4) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique ; sol friable ; présence de quelques radicelles  |
| Bw <sub>t</sub> | 50 – 120                   | Sable brun claire (7,5 YR 5/6) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique ; sol bien tassé tout au long de l'horizon, avec la présence de taches sombres longitudinales et quelques rares radicelles, |

## Profil A<sub>5</sub>

Emplacement : Ibi village sous *A. auriculiformis* de 5 ans (**Aa<sub>2</sub>**)

Coordonnées : S 04,32542° ; E 16,11095

Altitude : 657 m

### Description

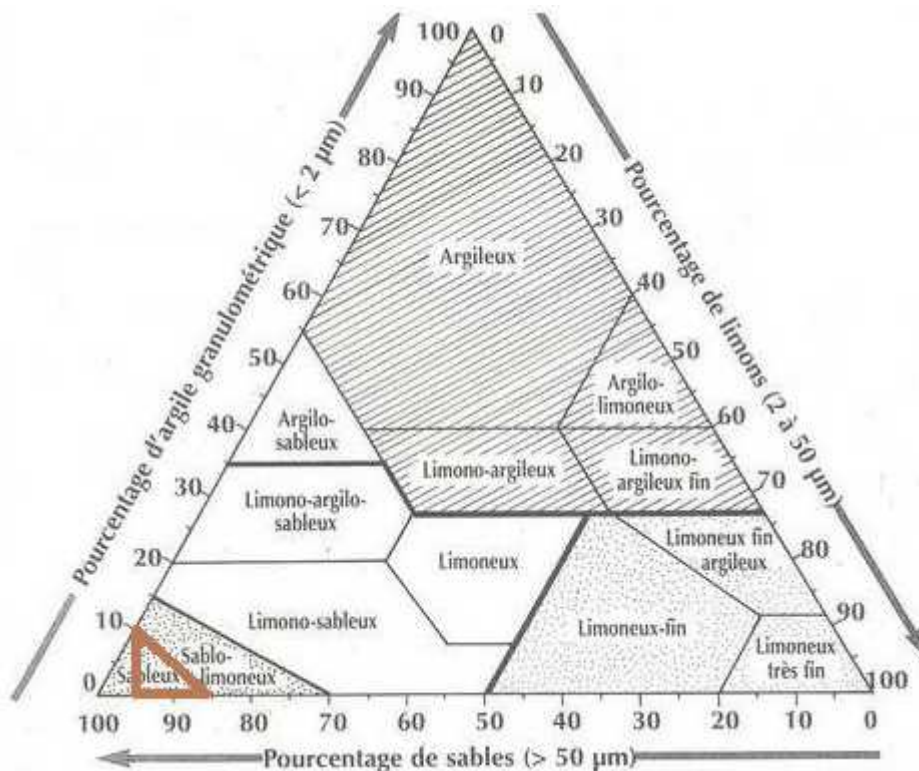
| Horizon         | Profondeur<br>(cm) | Description   |
|-----------------|--------------------|---|
| A <sub>h1</sub> | 0 – 22             | Sable humifère (7,5 YR 2.5/2) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique et meuble ; beaucoup de radicelles, quelques racines ; transition nette et régulière  |
| A <sub>h2</sub> | 22 – 59            | Sable brun vif (7,5 YR 4/3) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, plus ou moins compacte ; pas de radicelles, très peu de racines ; transition nette et régulière  |
| B <sub>w1</sub> | 59 – 79            | Sable brun claire (7,5 YR 5/3) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, et plus compacte que les horizons A ; pas de racines ni radicelles, transition diffuse mais régulière   |
| B <sub>w2</sub> | 79 – 120           | Sable brun vif (7,5 YR 5/4) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, compact (plus ou moins de même consistance que l'horizon B <sub>w1</sub> mais le sol est plus agrégé que les 3 horizons précédents) ; pas de racines ni radicelles |

## IV.2. Propriétés physico-chimiques des sols

### IV.2.1. Granulométrie et composition physico-chimique des profils pédologiques

*Les résultats de ce paragraphe ont fait l'objet d'une publication à paraître dans la revue Journal of Oriental and African Studies intitulée, "État nutritionnel des sols sous les grandes parcelles végétales d'Ibi village au plateau des Bateke en République Démocratique du Congo"*

La composition granulométrique du substrat (tableau 1 en annexe 1) est monotone dans toute la zone d'étude, avec quelques poches plus argileuses ( $\geq 13\%$  d'argile), au-delà de 50 cm de profondeur. Les sols sont composés à plus de 85 % de sable, quel que soit le couvert végétal. La teneur en argile et limon est en général de moins de 10 %. Ainsi se référant au triangle textural (figure 9) qui permet de classer les sols suivant leur composition granulométrique, les sols sous étude sont tous classés dans la même case des sols sableux tel que souligné (encadré) dans la figure 9.

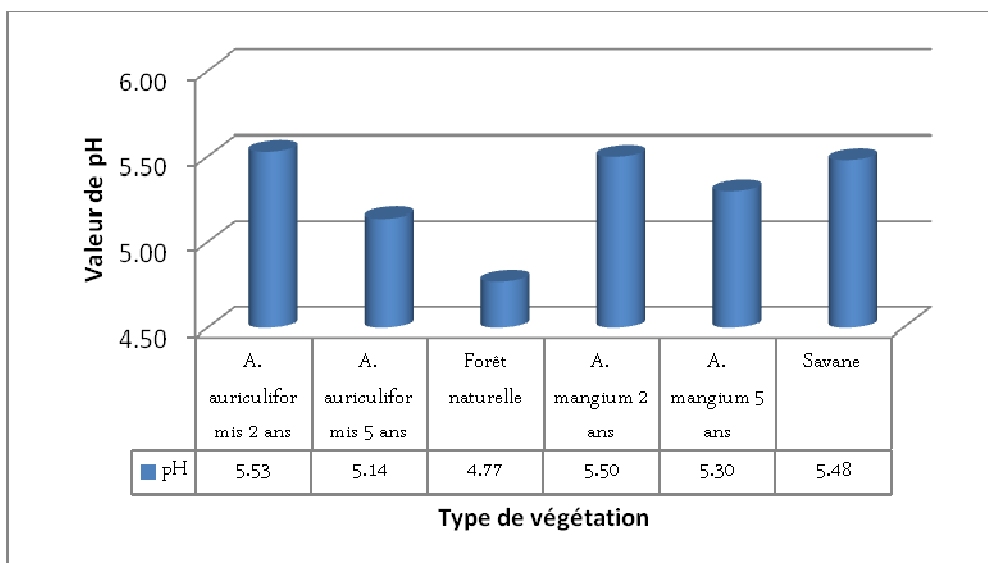


**Fig. 9. Texture des sols du plateau des Bateke sur le triangle textural international**

Les résultats d'analyses sur les caractéristiques physico-chimiques des sols (tableaux 3 à 7 en annexe 1) montrent que tous les sols de la zone d'étude sont acides, avec des valeurs de

**pH** comprises entre 4.8 et 5.9. Cette acidité est normale pour un sol tropical humide. En plus, le substrat sableux filtrant, affecte directement le degré d'acidité du sol en présence, suite au lessivage des cations basiques échangeables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$ ), et leur remplacement par les ions acidifiant  $\text{H}^+$  et/ou  $\text{Al}^{3+}$  (Brady et Weil, 2008; Amando et al., 2001). Elle reflète également la nature de la roche mère, le sable de Kalahari, qui a donné naissance à ce sol.

Les résultats des analyses montrent aussi que le pH du sol de la forêt naturelle est le plus bas sur toute l'épaisseur du profil, et particulièrement dans les horizons supérieurs du sol, comme le montre la figure 10. Par conséquent, suite à l'augmentation des quantités de litière et partant de la production des acides organiques issues de la décomposition de cette dernière, il apparaît logique de voir un site de savane converti en plantation d'arbres, devenir au fil des temps plus acide (Kasongo et al., 2012 ; Kasongo, 2010 ; Kasongo et al., 2009 ; N'Goran, 2005 ; Some, 1994). Par ailleurs, les deux espèces d'*Acacia sp* n'influencent pas l'acidité du sol de la même façon.



**Fig. 10.**  $pH_{eau}$  moyen des horizons humifères sous différents couverts végétaux

Sur l'épaisseur de tous les profils, la concentration des nutriments semble ne suivre aucune loi de distribution verticale. Il est difficile d'assigner une direction quelconque aux différentes concentrations, ceci est probablement dû au lessivage intensif et continu des éléments minéraux du profil, favorisé par la faible capacité de rétention des cations, elle-



même due à la faible teneur en éléments colloïdaux, à la nature et à la texture sableuse filtrante du substrat.

En prenant comme référence des quantités de nutriments proposées par Wolf (2000), tel que synthétisé dans le tableau 2 en annexe 1, et en se limitant aux horizons de surface (tableaux 6 et 7 en annexe 1), il ressort ce qui suit :

Les teneurs en **azote** sont justes au-dessus des minima requis (0.2 %) pour la bonne croissance des plantes. Du fait des apports atmosphériques par les eaux des pluies, même la savane ne manque pas de cet élément.

Le **phosphore** se trouve par ordre décroissant de teneurs comme suit : *Acacia sp* de 5 ans > *Acacia sp* de 2 ans > forêt > savane. Ceci peut être expliqué par l'influence du type et de l'âge du couvert végétal, étant donné que c'est essentiellement sous forme organique que le phosphore se retrouve dans ce sol.

La teneur en **potassium** est plus élevée en surface sous savane (37.2 ppm) que sous d'autres couverts végétaux. La quantité la plus faible se trouve particulièrement sous forêt naturelle. Le potassium étant un élément monovalent, et le sol étant filtrant, ce dernier est vraisemblablement très vite récupéré par les racelles des arbres ou lessivé. En savane herbeuse où il y a ralentissement de la vitesse de l'infiltration à cause de l'enracinement des herbes qui reste touffu en surface et surtout aussi à cause des feux de brousse antérieurs, ce couvert végétal est mieux fourni que les autres, bien que les quantités mesurées restent dans la limite inférieure des valeurs proposée par Wolf (2000).

Des macronutriments secondaires, seul le **calcium**, se trouve en bonnes proportions (> 40 ppm) dans tous les profils.

Avec des valeurs respectives de l'ordre de 15 ppm, le **magnésium** et le **soufre** sont déficitaires. C'est aussi le cas pour certains oligoéléments, dont le **zinc**, le **cuivre**, et le **manganèse** dosant respectivement 1.2, 0.3 et 3.9 ppm.

Le **sodium** est plutôt excessif (15.5 % contre 0 à 5 % recommandés) ; le **fer**, avec une moyenne de 219 ppm est le seul micronutriment se trouvant dans les proportions (60 à 350 ppm) recommandés.

Parmi les oligoéléments contribuant à la bio-fortification des tubercules ou des céréales (**Cu**, **Fe** et **Zn**), seul le fer est en quantité suffisante.

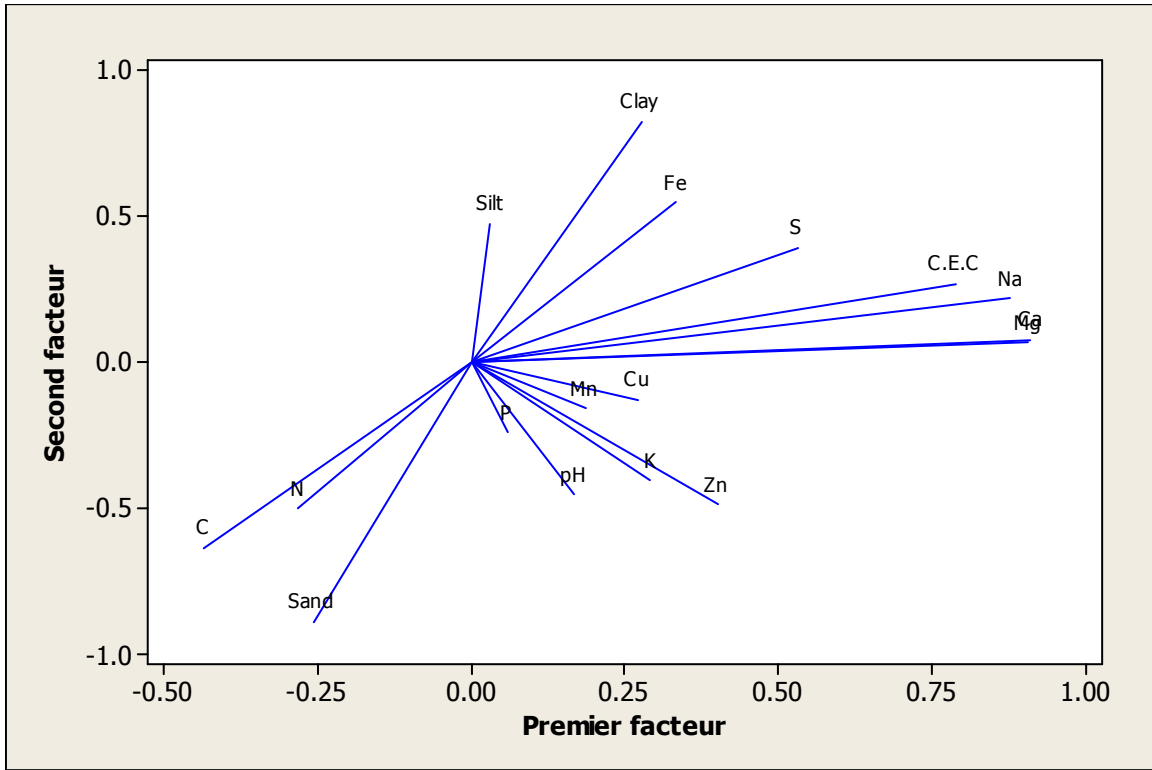
Toutes les valeurs observées concernant les éléments majeurs et les oligoéléments, reflètent la nature du substratum ayant donné naissance au sol sableux en présence.

Concernant les horizons de surface, il ressort de la figure 10 que l'acidité des sols augmente de la savane vers la forêt naturelle (le pH varie de 5.48 à 4.77). Les jeunes plantations d'*Acacia sp* gardent encore les valeurs similaires à celle de la savane, en grande partie à cause des faibles quantités de litières tombées 2 ans après plantation et de la faible vitesse de décomposition de celle-ci (N'Goran, 2005). Les valeurs élevées de carbone (3.64 %) sous savane peuvent se justifier par l'accumulation de la matière organique du système racinaire, qui ne brûle pas nécessairement au passage des feux de brousse annuelle et aussi à par la présence bien connue des résidus de charbon de bois dans cet horizon.

Le test T de Student révèle que les concentrations d'azote sous forêt sont significativement différentes de celles sous les autres couverts végétaux. Ceci peut s'expliquer par l'abondance de la litière en décomposition, favorisé par l'humidité du sol, et la grande activité biologique qui en découle (Nair et Garrity, 2012 ; FAO, 2007a ; Hauser et al., 2006 ; Schroth et Sinclair, 2003). Cette différence apparait aussi au travers du rapport C/N qui est  $< 12.0$ , configurant une meilleure décomposition sous forêt, contre 17.3 sous savane. La capacité d'échange cationique est  $< 2$  méq./100g de sol dans tous les sites, conséquence directe du type d'argile dominante en présence qui est la kaolinite (Sys, 1972) et de la teneur très faible en argile.

De manière générale, les quantités des autres éléments (K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn, Na et Fe) sont plus faibles en forêt comparées aux autres couverts végétaux. Une explication à ce constat est qu'en plus de la récupération plus intense des nutriments par les racelles sous forêt, l'enracinement plus profond dans ce sol sableux favorise aussi un lessivage plus rapide (Juo et Franzluebbbers, 2003 ; Schjonning et al., 2002). Ceci confirme bien qu'en forêt, la minéralomasse est dans les organes aériens et non dans le sol.

Enfin, le diagramme des contributions des variables issu de l'analyse factorielle en composantes principales se présente comme résumé à la figure 11. Par ordre décroissant d'influence, les éléments les plus déterminants sont : - Ca - CEC - Mg - Fe - S - Na. Ils confirment la nature marginale et pauvre des sols en présence et les passages des feux de brousse. En effet, le calcium et le magnésium seraient des reliquats des cendres des feux de brousse antérieurs. La faible capacité d'échange cationique et le fer sont caractéristiques des sols tropicaux dégradés ; alors que le soufre et le sodium seraient des reliques de la roche mère, le sable de Kalahari.



*Fig. 11. Diagramme des contributions des variables*

## IV.2.2. Caractérisation des sols des différents points d'échantillonnages

Ce paragraphe vise à faire la photographie détaillée des sites au début de l'étude et pour les différentes périodes d'échantillonnage. Il s'agit d'abord d'une analyse descriptive se servant des données des deux premières descentes de terrain tel que détaillée dans le tableau 8 en annexe 2 ; et ensuite d'une analyse multi-variée considérant le couvert végétal, la profondeur et la saison d'échantillonnage comme étant des sources de variation des teneurs en nutriments et des valeurs de pH, comme c'est présenté dans le tableau 4.

Considérant les recommandations des teneurs en nutriments d'un sol agricole tel que donné par Brady et Weil (2008) et par Wolf (2000) (tableau 2 en annexe 1), les sols d'Ibi village se présentent comme suit :

**De 0 – 30 cm de profondeur** ; tous les sols sont acides, ils ont des pH moyens variant entre 4.89 en forêt et 5.60 sous *A. mangium* de 2 ans.

Des macronutriments primaires et sous tous les couverts végétaux, l'azote ( $0.20 \pm 0.01$  % sous savane à  $0.23 \pm 0.01$  % sous *A. auriculiformis* de 2 ans) et le phosphore ( $40.17 \pm 6.04$  ppm sous savane à  $54.12 \pm 8.17$  ppm sous *A. auriculiformis* de 5 ans) ont en moyenne des teneurs se trouvant dans les intervalles préconisés ; le potassium est déficitaire partout, sauf sous savane ( $23.73 \pm 8.71$  ppm) ; ses coefficients de variations ( $5.21$  sous *A. mangium* de 2 ans à  $59.10$  sous *A. mangium* de 5 ans) sont plus grands et plus éparse que ceux de l'azote ( $3.60$  sous *A. auriculiformis* de 2 ans à  $7.38$  sous forêt) et du phosphore ( $15.03$  sous savane à  $28.42$  sous *A. auriculiformis* de 2 ans).

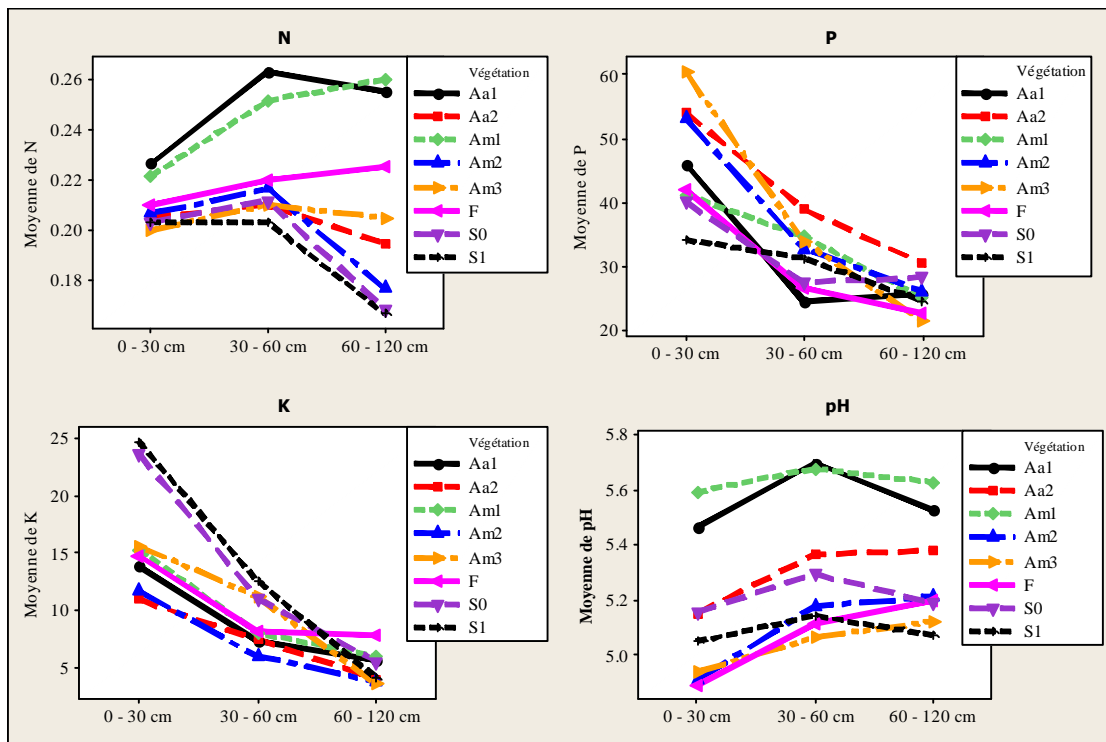
Des macronutriments secondaires, le calcium n'est pas (*en moyenne*) déficitaire, excepté sous forêt ( $36.80 \pm 28.70$  ppm), le magnésium (des valeurs  $\ll 25$  ppm) et le soufre (des valeurs  $< 20$  ppm) le sont partout. La CEC est plus que faible sous tous les couverts végétaux, ses valeurs moyennes  $< 2$  méq/100g de sol, sont de loin  $< 15$  méq/100g de sol, qui est la valeur minimale des bonnes terres agricoles.

Tous les micronutriments excepté le fer ont des teneurs en deçà des marges agricoles. Le zinc ( $< 2$  ppm), le cuivre ( $\ll 2$  ppm) et le manganèse ( $\ll 60$  ppm) sont plus que déficitaires.

Les coefficients de variation  $\leq 33\%$  sont trouvés pour les valeurs du pH, les teneurs en azote et en phosphore, ainsi qu'en fer. Ainsi le pH, l'azote, le phosphore et le fer sont les éléments fertilisants les plus caractérisant des sols de surface de la zone d'étude.

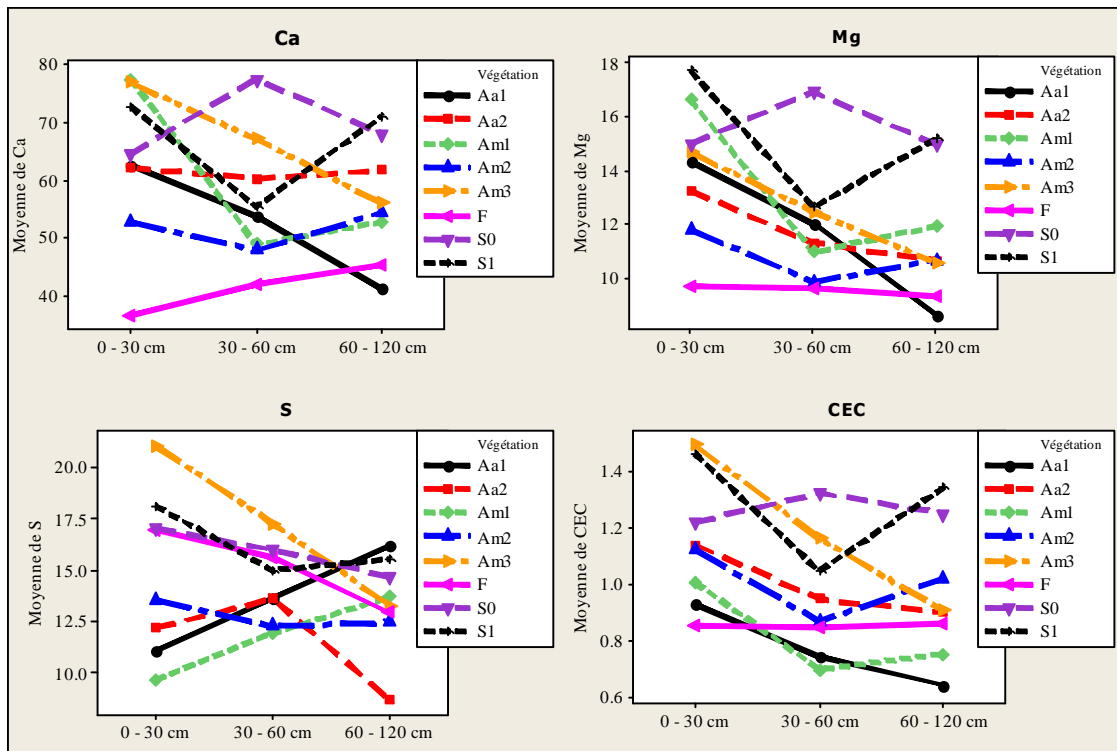
Les teneurs en nutriments et les valeurs de pH telles qu'elles évoluent avec la profondeur sont présentées dans les figures 12, 13 et 14. En général, le pH augmente avec la profondeur, le N s'accumule entre 30 et 60 cm de profondeur, le P, le K et le Mn montrent une diminution nette avec la profondeur, les autres nutriments exceptés le fer qui s'accumule entre 60 – 120 cm de profondeur, ont des allures variables d'un couvert végétal à un autre.

De manière générale, la zone comprise entre 30 – 60 cm de profondeur se présente dans toutes les figures comme une zone de rupture et un niveau de fléchissement ou d'accumulation des nutriments dosés. Elle semble ainsi être en relation direct avec la limite des racines et radicules de la plupart des plantes de la zone d'étude.



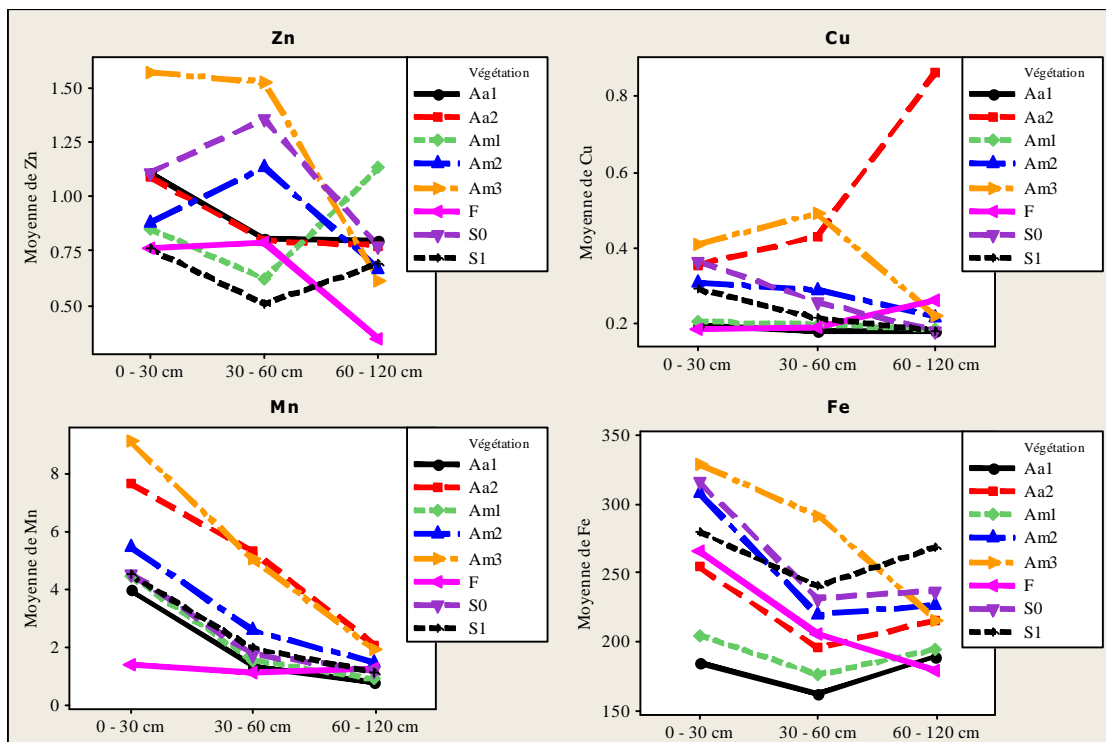
**Fig. 12. Variation des macronutriments primaires et du pH en fonction de la profondeur**

$S_0$  = Savane mise en défend depuis 10 ans ;  $S_1$  = Culture après jachère savanicole de 10 ans ;  $Aa_1$  = *Acacia auriculiformis* de 2 ans ;  $Aa_2$  = *Acacia auriculiformis* de 5 ans ;  $Am_1$  = *Acacia mangium* de 2 ans ;  $Am_2$  = *Acacia mangium* de 5 ans ;  $Am_3$  = Culture après 5ans de jachère avec *Acacia mangium* ; F = Forêt mise en défend depuis 10 ans



**Fig. 13.** Variation des macronutriments secondaires et de la CEC en fonction de la profondeur

$S_0$  = Savane mise en défend depuis 10 ans ;  $S_1$  = Culture après jachère savanicole de 10 ans ;  $Aa_1$  = Acacia auriculiformis de 2 ans ;  $Aa_2$  = Acacia auriculiformis de 5 ans ;  $Am_1$  = Acacia mangium de 2 ans ;  $Am_2$  = Acacia mangium de 5 ans ;  $Am_3$  = Culture après 5 ans de jachère avec Acacia mangium ; F = Forêt mise en défend depuis 10 ans



**Fig. 14.** Variation des micronutriments en fonction de la profondeur

$S_0$  = Savane mise en défend depuis 10 ans ;  $S_1$  = Culture après jachère savanicole de 10 ans ;  $Aa_1$  = *Acacia auriculiformis* de 2 ans ;  $Aa_2$  = *Acacia auriculiformis* de 5 ans ;  $Am_1$  = *Acacia mangium* de 2 ans ;  $Am_2$  = *Acacia mangium* de 5 ans ;  $Am_3$  = Culture après 5ans de jachère avec *Acacia mangium* ;  $F$  = Forêt mise en défend depuis 10 ans

L'agriculture au plateau des Bateke reste pluviale ; la périodicité des pluies est ainsi le principal régulateur de la disponibilité et / ou de la mobilité des nutriments du sol sous un couvert végétal et à une profondeur donnée. Ces trois facteurs sont ainsi considérés comme des sources de variation autour desquelles se base une analyse multi-variée servant à déterminer la sensibilité des nutriments dosés par rapport aux sources de variation considérées tel que présenté au tableau 4. Les données utilisées pour cette analyse concernent les 5 saisons (*Février 012, Juillet 012, Novembre 012, Février 013, Juillet 013*) d'échantillonnage des sols aux profondeurs 0 – 30 cm, 30 – 60 cm et 60 – 120 cm.

**Tableau 4. Seuil de signification de la variation des nutriments**

| Sources de variation            | $P_{value}$ (au niveau de signification de 0.05) |       |         |         |          |          |         |                |          |          |          |          |
|---------------------------------|--|-------|---------|---------|----------|----------|---------|----------------|----------|----------|----------|----------|
|                                 | pH   | N (%) | P (ppm) | K (ppm) | Ca (ppm) | Mg (ppm) | S (ppm) | CEC (meq/100g) | Mn (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Fe (ppm) |
| <b>Couvert végétal</b>          | 0.001  | 0.001 | 0.446   | 0.001   | 0.227    | 0.151    | 0.001   | 0.355          | 0.084    | 0.073    | 0.305    | 0.001    |
| <b>Profondeur</b>               | 0.006  | 0.006 | 0.001   | 0.001   | 0.072    | 0.029    | 0.149   | 0.053          | 0.001    | 0.675    | 0.184    | 0.001    |
| <b>Saison</b>                   | 0.001  | 0.003 | 0.031   | 0.319   | 0.001    | 0.001    | 0.001   | 0.001          | 0.520    | 0.001    | 0.103    | 0.016    |
| <b>R<sup>2</sup> ajusté (%)</b> | 32.91  | 19.44 | 14.51   | 16.70   | 47.80    | 50.48    | 21.26   | 38.44          | 15.48    | 17.82    | 2.94     | 17.89    |

Les nutriments qui varient significativement suivant tous les trois sources de variation considérées sont le pH, l'N et le Fe ; ces derniers ont des pourcentages de R<sup>2</sup> ajustés > 30 pour le pH et < 20 pour l'N et le Fe (tableau 4). Le comportement quasi similaire de ces trois variables semble être dû à leur étroite liaison avec la matière organique. En effet, le fer est complexé par la matière organique dont l'azote est l'un des composants essentiels, et subit ainsi la même variabilité que ce dernier, alors que le pH du sol est étroitement lié au cycle de décomposition de la matière organique et à la libération des acides organiques qui s'en suit. Le potassium et le soufre différemment sensibles à la profondeur et à la saison d'échantillonnage, sont tous sensibles au type de couvert végétal.

En considérant les détails des données reprises aux tableaux 11, 15 et 19 en annexe 3, les variations de pH les plus prononcées sous un couvert donné et suivant les saisons sont à la

profondeur d'échantillonnage 30 – 60 cm, sauf sous les savanes. Tandis que les différences dans les valeurs de pH les moins prononcées sont à la profondeur 60 – 120 cm où, seuls les deux premières prises d'échantillons ont des pH différents d'un couvert végétal à un autre, et où seuls les sols sous les *Acacia* sp de 2 ans et la savane plantée ont des pH significativement différents d'une saison à une autre. Ceci suggère que la litière du sol a une influence différente sur son pH, suivant la composition chimique des espèces végétales en présence.

De 30 – 60 cm de profondeur, ce serait l'effet du type d'enracinement qui peut expliquer l'absence de variation avec la saison d'échantillonnage sous savane, dont l'enracinement est plus touffu en surface, limitant ainsi l'infiltration des eaux des pluies et le lessivage des nutriments.

Bien que le N varie globalement de façon significative avec toutes les sources de variation, dans les détails repris aux tableaux 9, 13 et 17 en annexe 3, il n'y a pratiquement pas de différences d'un couvert végétal à l'autre sauf après la grande saison des pluies aux profondeurs 30 – 60 cm et 60 – 120 cm, ainsi que sous *A. mangium* de 5 ans à la première profondeur. L'augmentation de la vitesse de décomposition ainsi que le transport vers les profondeurs par les eaux des pluies pendant la saison chaude et humide, peuvent expliquer le comportement global de l'azote.

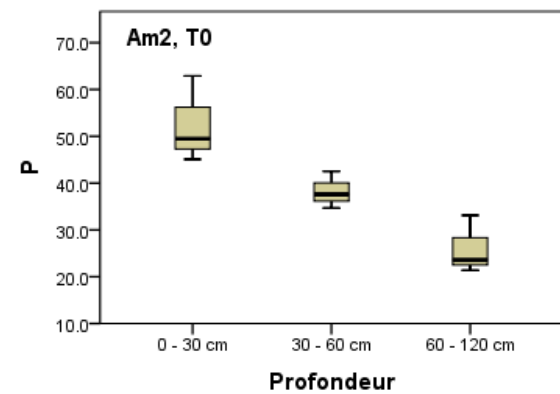
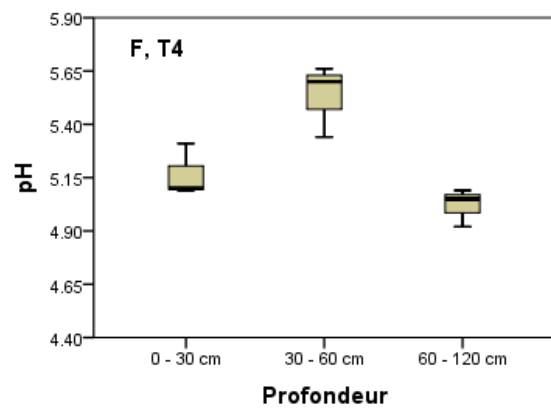
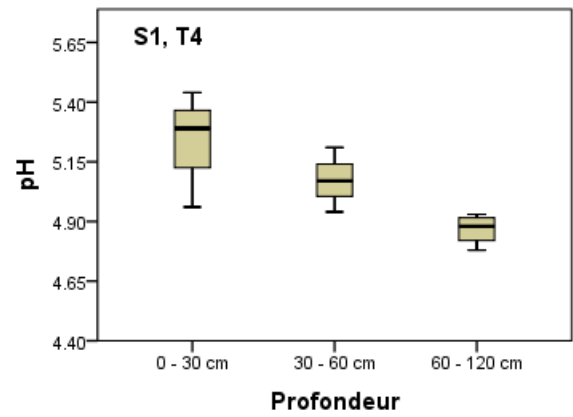
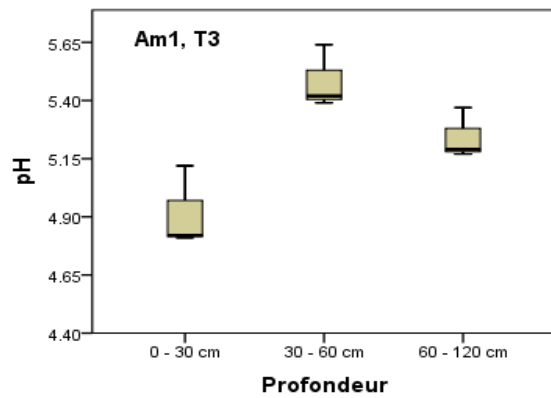
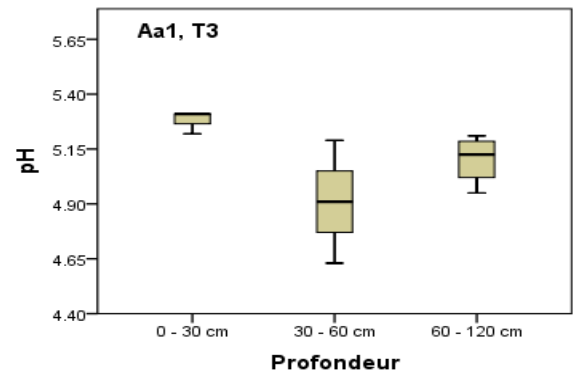
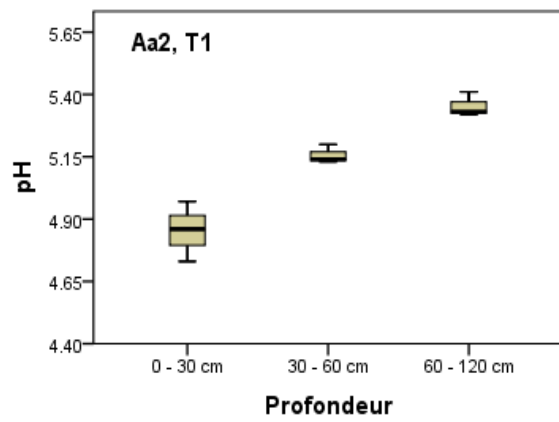
Le fer (tableaux 11, 15 et 19 en annexe 3) ne présente globalement des différences substantielles qu'à la profondeur 0 – 30 cm sous les *Acacia* sp de 5 ans et la forêt, ainsi que pour les trois premières saisons d'échantillonnage. La libération (décomplexations) de cet élément suite à l'augmentation de la décomposition de la matière organique de surface semble être la raison de ces variations des quantités mesurées de fer.

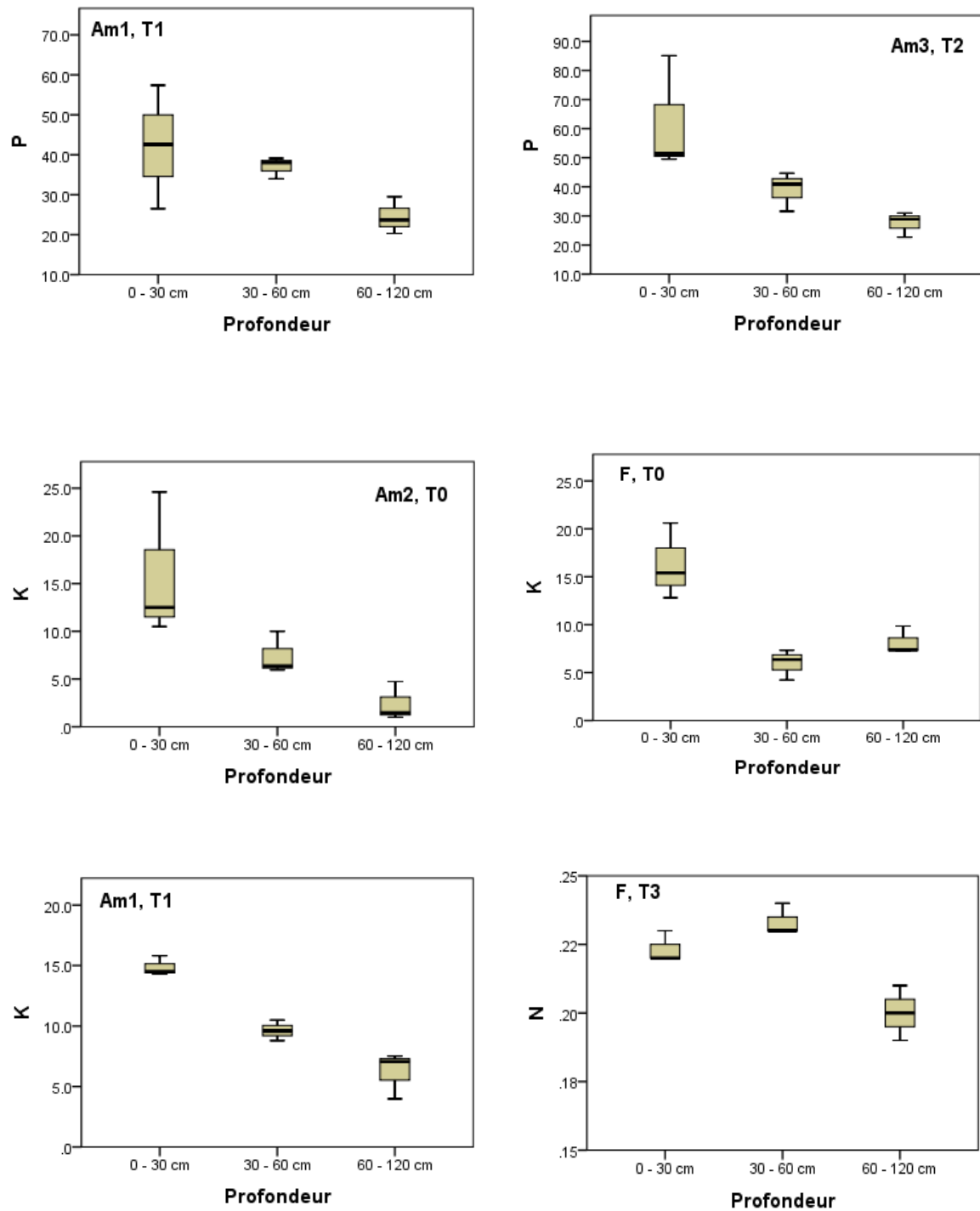
En prenant en détails les variations statistiquement significatives des concentrations des nutriments liées à la profondeur d'échantillonnage (pour les différents couverts végétaux et saisons d'échantillonnage), le test non paramétrique de Kruskal-Wallis à échantillons indépendants donne les résultats dont les variations significatives sont résumées dans les figures 15 ci-après.

Ces détails sur la variation verticale des nutriments confirment le caractère homogène et pauvre des sols sous études. Jusqu'à 120 cm de profondeur, même la forêt, écosystème naturel présumé plus fertile que la savane et les *Acacia* sp, ne présente qu'une variation



verticale aléatoire, les teneurs de nutriments (K, N et pH) se trouvant sensiblement dans les mêmes ordres de grandeur sous tous les couverts végétaux et à différentes profondeurs.





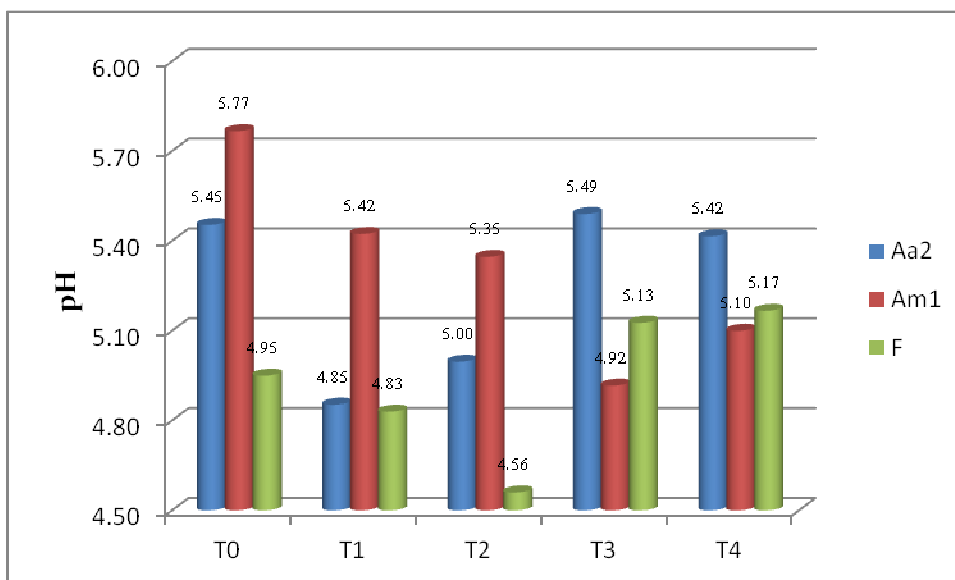
**Figs. 15. Variations significatives des nutriments et du pH avec la profondeur d'échantillonnage**

$T_0$  = Février 2012 ;  $T_1$  = Juillet 2012 ;  $T_2$  = Novembre 2012 ;  $T_3$  = Février 2013 ;  $T_4$  = Juillet 2013

$S_0$  = Savane mise en défend depuis 10 ans ;  $S_1$  = Culture après jachère savanicole de 10 ans ;  $Aa_1$  = Acacia auriculiformis de 2 ans ;  $Aa_2$  = Acacia auriculiformis de 5 ans ;  $Am_1$  = Acacia mangium de 2 ans ;  $Am_2$  = Acacia mangium de 5 ans ;  $Am_3$  = Culture après 5ans de jachère avec Acacia mangium ;  $F$  = Forêt mise en défend depuis 10 ans

De façon générale et en considérant l'ensemble de toutes les sources de variation, seuls le potassium, le manganèse et le zinc n'ont pas une variabilité saisonnière significative. Cela suggère qu'en plus du rôle de transport de l'eau dans ses interactions avec l'argile dominant du sol et avec la matière organique en décomposition, il y a des légers apports de certains nutriments, par les eaux des pluies (Soltner, 2011).

Cependant, ces variations saisonnières restent aléatoires quant à leur pertinence. En considérant les détails qui sont repris aux tableaux 9 à 20 en annexe 3, même la variabilité du pH de 0 – 30 cm n'est significative que pour 3 couverts, qui du reste n'ont pas nécessairement de points communs car il s'agit de la forêt, des *A. auriculiformis* de 5 ans et des *A. mangium* de 2 ans (figure 16).



**Fig. 16. Variation saisonnière significatives des pH (0 - 30 cm)**

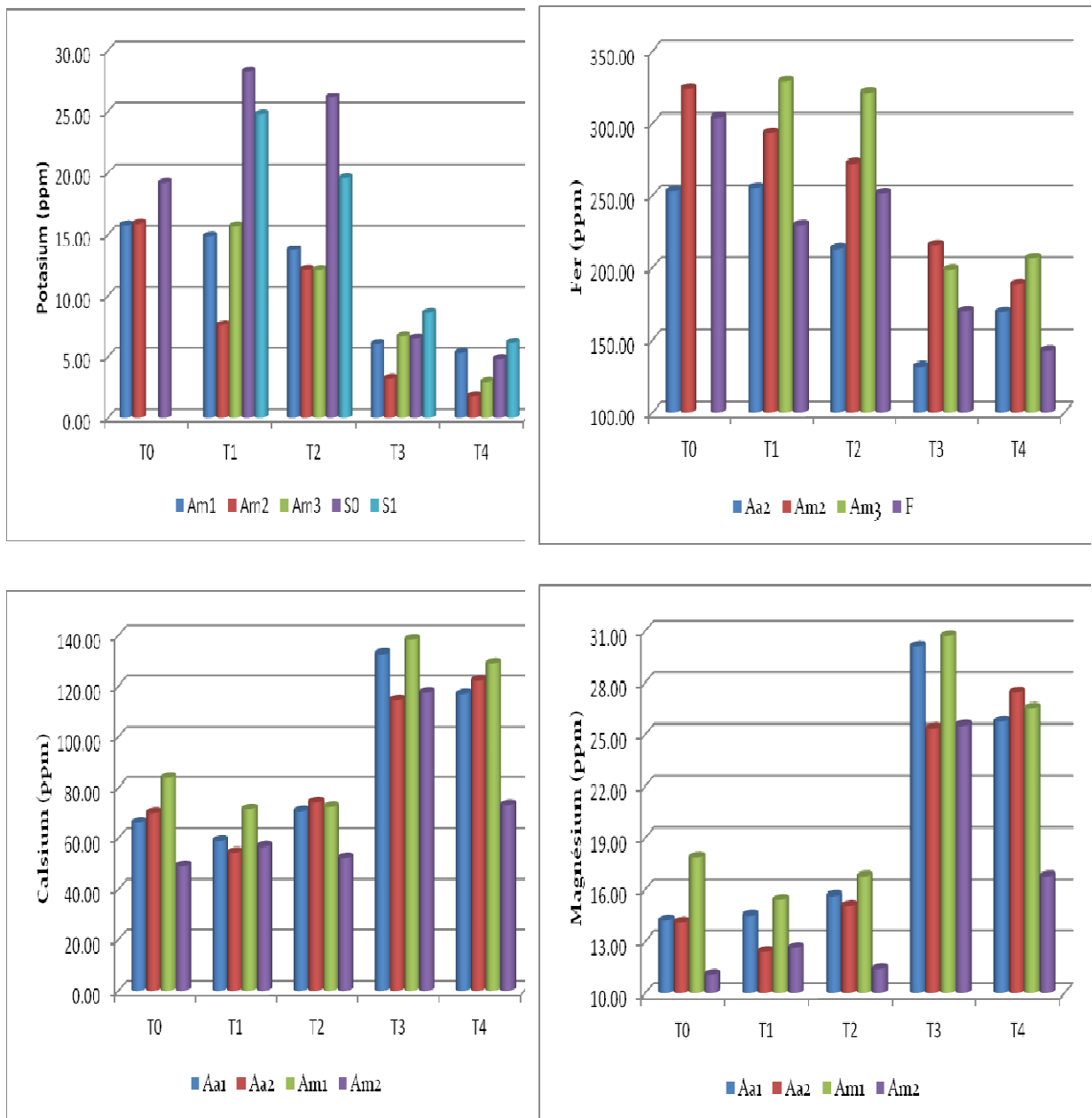
$T_0$  = Février 2012 ;  $T_1$  = Juillet 2012 ;  $T_2$  = Novembre 2012 ;  $T_3$  = Février 2013 ;  $T_4$  = Juillet 2013

$Aa_2$  = *Acacia auriculiformis* de 5 ans ;  $Am_1$  = *Acacia mangium* de 2 ans ; F = Forêt mise en défend depuis 10 ans

De ces trois couverts végétaux qui ont des variations significatives de pH avec la saison d'échantillonnage, les valeurs les plus basses sont éparpillées entre la grande saison sèche de la première année et la petite saison sèche de l'année suivante, ce qui rend aléatoire d'assigner au pH une direction donnée. En effet, le pH du sol étant aussi tributaire de la

matière organique en présence, l'abondance et la nature de celle-ci impactent différemment la valeur du pH dans la couche supérieure du sol.

Les détails sur les variations saisonnières des doses des nutriments (tableaux 9 à 20 en annexe3) renseignent qu'en surface (de 0 – 30 cm), zone grandement exploitée par les racines et radicelles des plantes, les variations significatives qui impliquent au moins 4 des 8 couverts végétaux étudiés concernent le potassium pour les macronutriments primaires, le calcium et magnésium pour les macronutriments secondaire, ainsi que le fer pour les micronutriments. Ces détails sont consignés dans les figures 17 ci-après.



**Figs. 17. Variation saisonnière significatives des nutriments (de 0 à 30 cm)**

$T_0 = \text{Février 2012}$  ;  $T_1 = \text{Juillet 2012}$  ;  $T_2 = \text{Novembre 2012}$  ;  $T_3 = \text{Février 2013}$  ;  $T_4 = \text{Juillet 2013}$

$S_0 = \text{Savane mise en défend depuis 10 ans}$  ;  $S_1 = \text{Culture après jachère savanicole de 10 ans}$  ;  $Aa_1 = \text{Acacia auriculiformis de 2 ans}$  ;  $Aa_2 = \text{Acacia auriculiformis de 5 ans}$  ;  $Am_1 = \text{Acacia mangium de 2 ans}$  ;  $Am_2 = \text{Acacia mangium de 5 ans}$  ;  $Am_3 = \text{Culture après 5ans de jachère avec Acacia mangium}$  ;  $F = \text{Forêt mise en défend depuis 10 ans}$

Le potassium et le fer présentent une tendance générale à la baisse partant des teneurs du début vers la fin de l'échantillonnage. Le calcium et le magnésium présentent plutôt une allure contraire, présentant une tendance générale à la hausse.

## **IV.2.4. Différentiations des sols sous les divers couverts végétaux**

### **IV.2.4.1. Différentiation des sols sous les écosystèmes naturels**

*Les résultats de ce paragraphe ont fait l'objet d'une publication à parue dans la revue Tropicultura intitulée « Nsombo BM., Lumbuenamo RS., Lejoly J., Aloni JK., Mafuka PMM, 2016. Caractéristiques des sols sous savane et sous forêt naturelle sur le plateau des Batéké en République Démocratique du Congo. Vol. 34 / 1. 87-97 pp».*

Le sol sableux qui couvre le plateau des Bateke, est issu des sables de recouvrement du groupe de Kalahari (> 85 % de sable). C'est un sol acide (*pH moyen inférieur à 5.5*), sec, totalement lessivé, et à faible pouvoir de sorption. Les problèmes majeurs à la reconstitution naturelle de sa fertilité sont dus au raccourcissement continu des jachères et au système traditionnel de culture sur brûlis, entraînant à brève échéance la dégradation de l'environnement productif (*on y pratique que 2 cultures successives au maximum*).

Pour relever le niveau de fertilité en vue d'une agriculture durable, plusieurs solutions ont été tentées. Parmi celles-ci figure l'usage des engrais chimiques qui, dans le contexte actuel de l'agriculture rurale paysanne, est fortement limité d'une part, par les coûts élevés d'acquisition et donc l'inaccessibilité pour les agriculteurs ; et d'autre part, l'irrégularité de l'approvisionnement en intrants agricoles (FAO, 2007a ; Bekunda et al., 1997). C'est ainsi que l'utilisation des plantes améliorantes à usages multiples telles que les légumineuses ligneuses, figure aussi parmi les alternatives de premier ordre (Mlambo et al., 2005 ; Mboukou-Kimbatsa et al., 1998).

Les plantations d'*Acacia sp* sont ainsi établies au plateau des Bateke en remplacement de la savane, afin de créer plus ou moins les conditions de fertilité des sols sous forêt, qui constituent la cible des agriculteurs qui les préfèrent aux sols de savane, à cause des rendements moins élevés de ces derniers.

La caractérisation des sols sous ces deux couverts végétaux naturels, développés sur un même substratum et sous les mêmes conditions climatiques, par l'évaluation préliminaire du cortège de minéraux du sol, peut être un atout à la gestion de ce terroir et des espaces apparentés. Elle permet entre autres de vérifier l'opportunité de développer l'agroforesterie avec *Acacia sp* dont les effets sont diversement interprétés (Nsombo et al., 2013 ; Kasongo, 2010), quant à leur potentiel dans l'amélioration de la fertilité des sols sableux du plateau des Bateke. De ces effets, il y a l'augmentation des rendements agronomiques

des cultures et la diversification des sources de revenus pour les exploitants (Kalaba et al. 2010 ; Nsombo, 2005) ; l'augmentation substantielle de la quantité de litière (Kasongo, 2010 ; N'Goran, 2005) ; l'augmentation de l'acidité des sols sous les plantations d'*Acacia sp* d'au moins 10 ans d'âge (Kasongo, 2010) et ; la création d'un micro climat aux effets positifs sur l'environnement (Nsombo et al., 2013 ; Nair et Garrity, 2012).

Les lignes qui suivent sont une analyse comparative des sols sous savane et sous forêt de même âge, mis en défens depuis environ 10 ans et qui évoluent pratiquement côte à côte à Ibi village.

Les éléments de comparaison sont les nutriments majeurs (N, P, K, Ca, Mg et S) et mineurs (Fe, Cu, Zn, Na et Mn), ainsi que le pH et la CEC.

Les données utilisées sont des moyennes issues des résultats d'analyses des échantillons de sols prélevés en février et juillet 2012.

### ***Comparaison des écosystèmes savane et forêt***

Les résultats d'analyses statistiques correspondant à la caractérisation des écosystèmes et à la comparaison des moyennes des teneurs des nutriments sont consignés dans le tableau 21 en annexe 4. L'examen de ce tableau permet de constater ce qui est repris dans les lignes qui suivent :

**De 0 à 30 cm de profondeur (Pr<sub>1</sub>)**, seuls le manganèse ( $P_{\text{value}} = 0.001$ ) et le cuivre ( $P_{\text{value}} = 0.004$ ) présentent des moyennes statistiquement différentes entre la savane et la forêt, les valeurs trouvées en forêt étant les plus basses.

Les pH des sols sous les deux couverts sont de même ordre de grandeur, et doivent avoir la même influence sur la disponibilité des nutriments et sur les organismes vivants du sol. En effet, les valeurs moyennes des pH en savane (5.10) et en forêt (4.96), se retrouvent dans la gamme des pH autour de 5, donc en dehors de la gamme optimale qui est de 6 à 7 (Brady et Weil, 2008) pour la mobilité de tous les macronutriments et pour un bon développement et une bonne activité d'un bon nombre de bactéries et d'actinomycètes du sol (fig.2). À l'instar de tous les sols tropicaux, le fer est abondant dans les Arenosols-Ferralsols qui forment les sols du plateau des Bateke.

Comme pour les pH, les valeurs des macronutriments (N, P, K, Ca, Mg, S et C), sont de même ordre de grandeur en savane comme en forêt. Cependant, les sols sous ces deux couverts végétaux sont carencés en K (< 20 ppm ; avec des carences plus prononcées sous

forêt), Mg (< 25 ppm) et S (< 20 ppm), mais suffisant en N (> 2 %), P (> 30 ppm), et Ca (> 40 ppm) ; alors que la CEC (<< 15 méq/100g) et les micronutriments excepté le fer, ont des valeurs déficitaires.

Selon Brady et Weil (2008) (fig.2), aux pH inférieurs à 5.5, les micronutriments (Zn, Cu et Mn) se retrouvent en abondance dans la solution du sol, pouvant devenir toxiques pour les cultures. Cependant, bien que les pH soient faibles dans les sols étudiés, les micronutriments excepté le fer, sont en quantités inférieures aux valeurs minimales recommandées (tableau 2 en annexe 1). Les déficits ainsi notés, pour les sols sous savane et sous forêt, confirment la pauvreté chimique des Arenosols du plateau des Bateke, quel que soit le couvert végétal naturel sous lequel ils se trouvent.

**De 30 à 60 cm (Pr<sub>2</sub>) et de 60 à 120 cm (Pr<sub>3</sub>)**, les résultats obtenus semblent confirmer les ressemblances et les différences observées de 0 - 30 cm de profondeur (Pr<sub>1</sub>). En effet, les diagrammes des interactions (fig. 18, et 19) entre le couvert végétal et la profondeur d'échantillonnage présentent des allures quasi similaires entre la savane et la forêt.

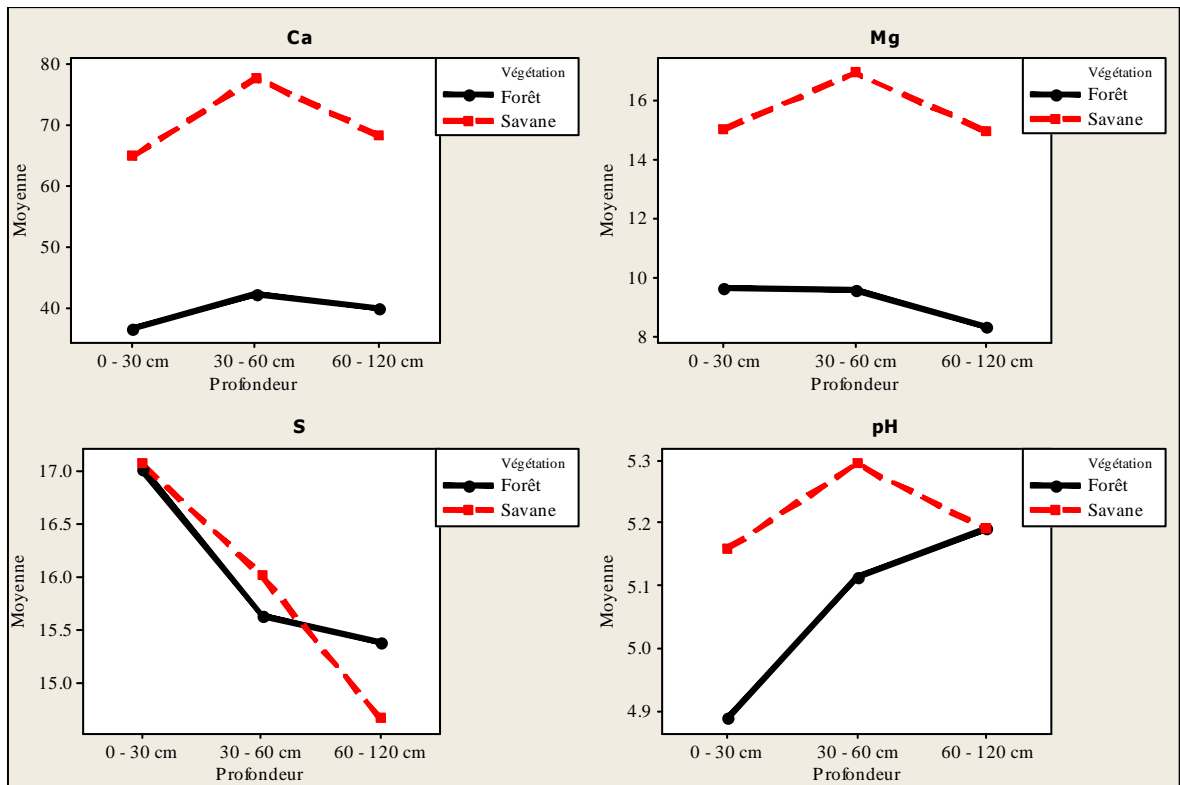
Les valeurs de N, P et K diminuent avec la profondeur, le N diminuant plus vite en savane qu'en forêt et, les quantités de P et de K sont plus élevées au Pr<sub>3</sub> en savane qu'en forêt parce que surement mieux récupérés en profondeur par les racines des arbres de la forêt. La même tendance est observée pour le Ca, Mg et S ; les teneurs en profondeur sont relativement plus élevées en savane qu'en forêt.

Les diagrammes des interactions, couvert végétal et profondeur d'échantillonnage pour les macronutriments secondaires (fig. 18) et les micronutriments (fig. 19) montrent une tendance générale des valeurs moyennes plus élevées sous savane que sous forêt. Les racelles plus abondantes et plus actives dans les horizons supérieurs sous forêt peuvent expliquer en partie la consommation plus grande des nutriments rendus disponibles après minéralisation de la matière organique. Ainsi les quantités libérées par la décomposition de la matière organique sont immédiatement récupérées par le système racinaire comme cela a lieu dans toutes les forêts tropicales humides.

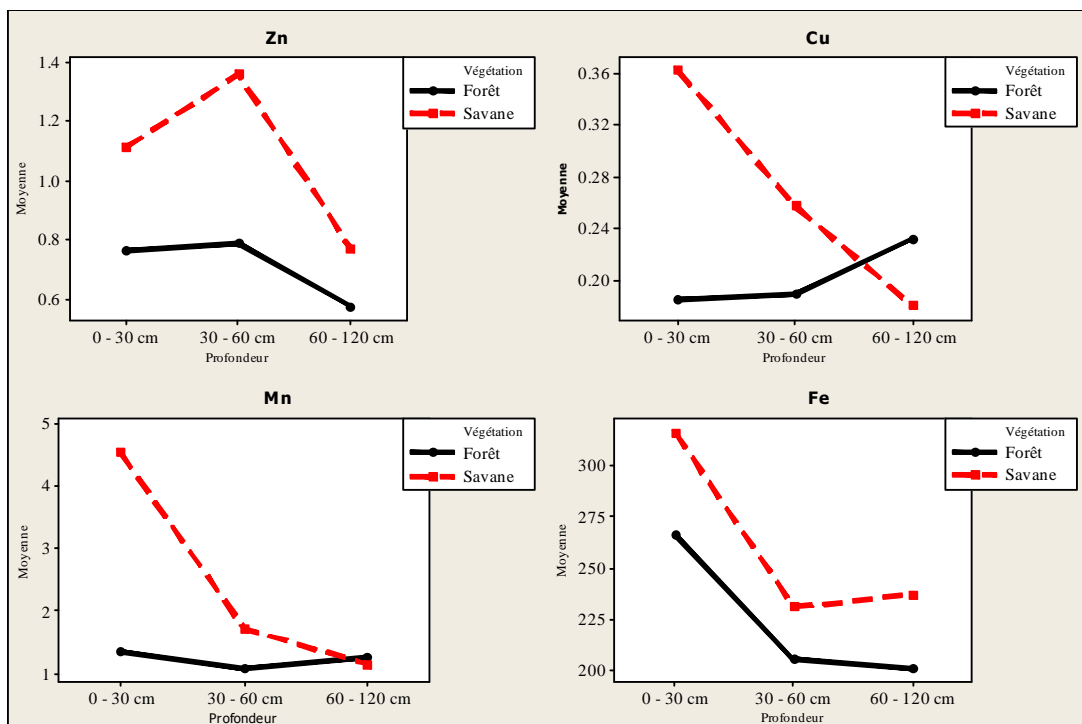
Les quantités d'azote sont plus élevées à toutes les profondeurs sous forêt. Ceci est dû aux grandes quantités de matières organiques produites et en décomposition sous forêts ; et à cause de la nature sableuse et filtrante du sol, une partie migre vers les profondeurs.

Pour ce qui est de la densité apparente, elle est pratiquement la même sous savane et sous forêt, et d'une profondeur à une autre ; elle est de l'ordre de  $1.29 \pm 0.14 \text{ g/cm}^3$ .





*Fig. 18. Diagramme des interactions couvert végétal – profondeur pour les macronutriments secondaires et le pH sous savane et sous forêt*



***Fig. 19. Diagramme des interactions couvert végétal – profondeur pour les micronutriments sous savane et sous forêt***

Pour tous les éléments, les teneurs en forêt sont inférieures à celles en savane ; les allures des courbes sont cependant les mêmes avec une diminution en profondeur, à l'exception de celle du cuivre, pour des raisons difficiles à expliquer.

***Distinction des sols sous savane de ceux sous forêt***

L'analyse discriminante pour les sols sous ces deux écosystèmes naturels s'est faite de deux façons ; d'abord en utilisant les données ayant permis de faire la description générale des sites ; et ensuite, afin de comprendre la dynamique saisonnière, elle a été plus détaillée en utilisant les données des différentes saisons d'échantillonnage, une à une. Ayant ainsi étalé les saisons d'échantillonnage, celles-ci sont considérées comme source de variation à l'instar du couvert végétal et de la profondeur d'échantillonnage.

Les résultats de l'analyse rapportés au tableau 5 indiquent que de 0 – 30 cm de profondeur, le magnésium, le phosphore et soufre différencient les sols sous savane de ceux sous forêt. Cependant, l'observation de ces données montre des concentrations du phosphore quasi identiques, et dans les intervalles requis pour l'agriculture. De même, le soufre et le magnésium ont des valeurs similaires et sont déficitaires sous les deux couverts végétaux. Le même constat est fait pour les nutriments discriminant les sols sous les deux couverts végétaux de 30 – 60 cm et de 60 – 120 cm de profondeur. C'est le cas pour l'azote qui, quoi que de teneur supérieure sous forêt, il ne présente pas d'accumulation majeure par rapport aux quantités trouvées sous savane.

**Tableau 5. Résultats d'Analyse discriminante Forêt – Savane en début de l'échantillonnage**

| Profondeur d'échantillonnage | Éléments discriminants | Valeurs en savane | Valeurs en forêt |
|------------------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| 0 – 30 cm                    | Mn                     | 4.53 ± 0.24       | 1.37 ± 0.37      |
|                              | P                      | 40.17 ± 6.04      | 42.05 ± 11.84    |
|                              | S                      | 17.07 ± 3.41      | 17.03 ± 2.62     |
| 30 – 60 cm                   | N                      | 0.21 ± 0.03       | 0.22 ± 0.01      |
|                              | Zn                     | 1.36 ± 0.65       | 0.79 ± 0.34      |
| 60 – 120 cm                  | N                      | 0.17 ± 0.04       | 0.23 ± 0.03      |
|                              | Ca                     | 68.18 ± 8.34      | 45.45 ± 15.48    |
|                              | CEC                    | 1.25 ± 0.22       | 0.86 ± 0.29      |
|                              | S                      | 14.68 ± 1.14      | 12.94 ± 2.40     |
|                              | Mn                     | 1.16 ± 0.14       | 1.24 ± 0.29      |

En se référant dans un second temps à une autre analyse discriminante basée sur les données détaillées de toutes les saisons d'échantillonnage, les prenant une à une, les résultats consignés dans le tableau 6 donnent les informations suivantes :

En surface, le nutriment le plus différenciant la forêt de la savane semble être le manganèse. En effet, celui-ci est retenu parmi les éléments les discriminants pour quatre des cinq saisons d'échantillonnage considérées dans ce travail. Il est suivi du fer qui se retrouve comme l'un des nutriments discriminant pendant les grandes saisons sèches.

De 30 – 60 cm de profondeur ; l'azote est le nutriment qui imprime plus de différence entre ces deux couverts végétaux, alors que de 60 – 120 cm de profondeur le P, le Ca et le Zn reviennent deux fois comme discriminant.

La lecture de ce tableau montre aussi qu'en surface pendant la grande saison des pluies, il y a plus de P sous savane que sous forêt, alors que la valeur de la CEC est plus élevée sous forêt. Ceci peut s'expliquer en grande partie par la grande quantité de matière organique en décomposition sous forêt, qui fixe le phosphore, diminuant ainsi sa concentration dans la solution du sol.

**Tableau 6. Résultats d'Analyse discriminante Forêt – Savane suivant les Périodes d'échantillonnage**

| Profondeur  | Éléments discriminants suivant Périodes d'échantillonnage |                |                |                |                |
|-------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
|             | T <sub>0</sub>  | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4</sub> |
| 0 – 30 cm   | Mn, K   | Mn, Fe         | P, CEC         | pH, Mn, Mg     | Fe, Mn         |
| 30 – 60 cm  | N, Zn   | N, P           | Fe, Zn         | N              | pH, K, Mn      |
| 60 – 120 cm | Zn  | P, K           | Zn             | Ca, Cu, Fe, N  | Ca, S, P       |

*T<sub>0</sub> = Février 2012 ; T<sub>1</sub> = Juillet 2012 ; T<sub>2</sub> = Novembre 2012 ; T<sub>3</sub> = Février 2013 ; T<sub>4</sub> = Juillet 2013*

La lecture des résultats issus des différentes analyses a permis de constater qu'il est difficile à partir des analyses des sols au laboratoire, de trouver des différences significatives sur le plan agronomique, sous des couverts végétaux naturels évoluant sur le même substrat sableux, au plateau des Bateke.

Ainsi, en considérant la disponibilité en nutriments des sols sous savane et sous forêt, les teneurs moyennes de tous les macronutriments et de la majorité des micronutriments sont similaires dans la couche allant de 0 à 30 cm de profondeur. Les différences minimales des teneurs, par ailleurs statistiquement non significatives dans la majorité des cas, ne peuvent justifier les différences des rendements observées dans les cultures pratiquées en savane ou en forêt, après la coupe et l'incinération de l'un ou l'autre couvert végétal.

L'obtention des meilleurs rendements après la coupe de la forêt pourrait être attribuable à une présence plus abondante de la matière organique dans et au-dessus du sol (N'Goran et al., 2012 ; Bakele-Tesemma, 2007 ; FAO, 2005), libérant dans la cendre, les nutriments qui contenaient la litière et autres débris venant de l'abattage des arbres.

L'agroforesterie sous toutes ses formes, les cultures de couverture, etc., sont autant d'alternatives à la production de grandes quantités de matière organique (N'Goran et al., 2012 ; N'Goran, 2005 ; Schroth et Sinclair, 2003) pour compenser la pauvreté chimique des sols, sur des vastes étendues des sols arables mais pauvres de savane.

#### **IV.2.4.2. Variation des nutriments après mise en culture en savane et après jachère améliorée**

Afin de suivre les variations dans la composition en nutriments du sol dans les systèmes de culture au plateau des Bateke, des prélèvements des échantillons des sols ont été effectués sur des terrains mis en cultures associées manioc – maïs, après un temps de jachère naturelle de 10 ans d'une part et d'autre part, après une jachère améliorée avec *A. mangium* âgée de 5 ans. Les échantillons ont été prélevés à la tarière jusqu'à 120 cm de profondeur, de la même manière que les précédents.

Les mises en cultures étaient faites après brûlis selon les habitudes au plateau des Bateke, et l'échantillonnage a été conduit suivant la pluviométrie du terroir, en cinq séries de prélèvements (*février (avant la mise en culture), juillet et novembre 2012, février et juillet 2013*).

Les sols sont comparés deux à deux suivant la végétation précédant la mise en culture : les sols sous la culture suivant la jachère naturelle sont comparés avec les sols restés sous savane et les sols après coupe d'*A. mangium de 5 ans* sont comparés avec ceux sous *A. mangium* de même âge.

Les résultats de l'analyse discriminante des sols sous *savane plantée* et sous *savane naturelle* se présentent comme suit :

De 0 – 30 cm, les nutriments différenciant les sols sont ceux retenus dans le tableau 7. Au début de la mise en culture, malgré le brûlis censé apporter la cendre, il y a plus de potassium dans le sol resté sous couvert savanicole. Ceci laisse penser que la cendre issue du brûlis de la litière lors de la préparation du terrain a dû être emportée par le vent et / ou par les eaux des pluies avant la prise des racines et la couverture du sol par la culture mise en place. Pendant la grande saison sèche par contre, il y a plus de phosphore dans le sol mis en culture que dans celui resté sous le couvert naturel. Élément peu mobile, le phosphore libéré après brûlis de la matière organique reste sûrement plus longtemps dans le complexe absorbant et est utilisé progressivement par les cultures. Cette augmentation des teneurs en phosphore et des valeurs de pH dans le sol de savane mis en culture, suggère que le brûlis améliore sensiblement la disponibilité du phosphore et rectifie le pH dans les 30 premiers cm du sol.

**Tableau 7. Résultat de l'analyse discriminante pour les sols sous savane plantée et non plantée**

| Profondeur d'échantillonnage | Période d'échantillonnage | Éléments discriminants | Savane naturelle       | Après mise en culture |
|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
|                              |                           |                        | (Moyenne ± Écart type) |                       |
| 0 – 30 cm                    | Novembre 012              | K                      | 27.70 ± 0.85           | 18.80 ± 38            |
|                              |                           | pH                     | 4.92 ± 0.12            | 5.36 ± 0.07           |
|                              | Janvier 013               | Ca                     | 91.50 ± 19.75          | 99.53 ± 11.77         |
|                              |                           | Mg                     | 21.30 ± 2.62           | 21.9 ± 3.85           |
|                              | Juillet 013               | P                      | 26.47 ± 18.06          | 53.80 ± 10.67         |
|                              |                           | Cu                     | 0.43 ± 0.14            | 0.35 ± 0.14           |
| 30 – 60 cm                   | Juillet 012               | Mn                     | 1.49 ± 0.063           | 1.95 ± 0.063          |
|                              |                           | P                      | 23.45 ± 5.44           | 29.25 ± 3.04          |
|                              | Novembre 012              | CEC                    | 1.26 ± 0.028           | 1.52 ± 0.01           |
|                              |                           | Cu                     | 0.23 ± 0.06            | 0.20 ± 0.03           |
|                              | Janvier 013               | pH                     | 5.23 ± 0.13            | 4.83 ± 0.23           |
| 60 – 120 cm                  | Novembre 012              | P                      | 12.80 ± 1.70           | 19.85 ± 2.19          |
|                              |                           | Mn                     | 1.24 ± 0.24            | 0.94 ± 0.28           |
|                              | Janvier 013               | N                      | 0.21 ± 0.02            | 0.17 ± 0.00           |
|                              |                           | Mn                     | 3.08 ± 2.16            | 1.05 ± 0.17           |
|                              | Juillet 013               | K                      | 15.69 ± 9.20           | 4.37 ± 1.63           |
|                              |                           | pH                     | 5.32 ± 0.10            | 4.87 ± 0.10           |

En ce qui concerne les sols sous *A. mangium* sur pieds et ceux après coupe, brulis et mise en culture, l'analyse discriminante synthétisée au tableau 8 révèle ce qui suit :

Le potassium qui est le premier discriminant des sols de surface (0 – 30 cm), a des teneurs < 20 ppm sous les deux couverts végétaux. Cependant, sa teneur a plus que triplée dans les sols sous culture que sous *A. mangium* sur pied. De même, les teneurs en soufre et en cuivre, sont plus élevées dans le sol cultivé que sous *A. mangium* sur pieds.

Suivant les saisons d'échantillonnage, et dans toutes les profondeurs, les nutriments discriminants ne sont pas les mêmes et n'ont vraisemblablement aucune corrélation direct.

En surface, les différences s'arrêtent à la grande saison des pluies, à peine deux mois après la mise en culture. Cela fait penser que, malgré les apports des cendres issues du brûlis de la litière, les propriétés du sol ne change pas nécessairement de manière durable dans le temps de la culture.

En profondeur, bien que les teneurs les plus élevées soient trouvées dans le sol cultivé, il y a toujours un nutriment différent d'une saison à l'autre. L'observation de ces nutriments présente un caractère aléatoire et rends incertain une quelconque orientation scientifique de l'évolution des teneurs des nutriments avec la croissance des cultures.

**Tableau 8. Résultat de l'analyse discriminante pour les sols sous *A. mangium* et après jachère de 5 ans**

| Profondeur d'échantillonnage | Période d'échantillonnage | Éléments discriminants | <i>A mangium</i> de 5 ans | Après mise en culture |
|------------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 0 – 30 cm                    | Juillet 012               | K                      | 5.73 ± 0.21               | 18.80 ± 0.85          |
|                              | Novembre 012              | S                      | 9.06 ± 0.28               | 13.75 ± 0.35          |
|                              |                           | Cu                     | 0.35 ± 0.06               | 0.44 ± 0.07           |
| 30 – 60 cm                   | Juillet 012               | Cu                     | 0.23 ± 0.01               | 0.49 ± 0.01           |
|                              | Novembre 012              | S                      | 7.96 ± 0.07               | 12.20 ± 0.14          |
|                              |                           | Zn                     | 0.88 ± 0.21               | 0.78 ± 0.12           |
|                              | Janvier 013               | Fe                     | 146.67 ± 8.39             | 277.67 ± 67.24        |
|                              | Juillet 013               | Ca                     | 102.68 ± 15.62            | 131.50 ± 4.95         |
| 60 – 120 cm                  | Juillet 012               | Mn                     | 1.50 ± 0.06               | 1.88 ± 0.02           |
|                              | Novembre 012              | pH                     | 5.28 ± 0.00               | 5.31 ± 0.01           |
|                              |                           | Zn                     | 0.76 ± 0.06               | 1.06 ± 0.66           |
|                              | Janvier 013               | Fe                     | 216.67 ± 9.07             | 246.33 ± 14.43        |
|                              | Juillet 013               | Zn                     | 0.46 ± 0.08               | 0.62 ± 0.06           |



#### IV.2.4.3. Différenciation des sols sous *A. auriculiformis* et *A. mangium*

L'agroforesterie au plateau des Bateke se pratique sur des surfaces plus étendues avec *A. auriculiformis* qu'avec *A. mangium*. Ces deux espèces d'*Acacia* ont des morphologies et des vitesses de croissance différentes. Il est supposé que leurs utilisations en jachère améliorée laissent des empreintes différentes dans le sol.

Ce paragraphe qui cherche ces différences éventuelles dans la composition chimique des sols sous ces deux espèces, a utilisé les moyennes des données des deux dernières descentes de terrain (*février et juillet 2013*). L'analyse discriminante par la méthode pas à pas a donné les résultats consignés dans le tableau 9, d'où il ressort ce qui suit ;

- En surface, de 0 – 30 cm de profondeur, ce sont essentiellement les micronutriments (Zn, Fe, Mn, Cu) qui sont significativement différents sous les deux couverts ; les teneurs les plus élevées pour le Zn et le Mn se trouvent sous *A. auriculiformis*, tandis que pour le Fe et le Cu c'est sous *A. mangium* qu'il y a les teneurs les plus élevées.
- À la profondeur 30 – 60 cm, ces deux espèces ont quasi la même signature ;
- Au-delà de 60 cm il y a aussi le soufre et le potassium qui différencient significativement les sols sous les deux espèces. Les teneurs les plus élevées pour les deux macronutriments sont trouvées sous *A. mangium*.

Néanmoins, malgré les différences significatives du point de vue statistiques, tous les nutriments différenciant les sols sous les deux espèces sont quasi de même ordre de grandeur aussi bien en surface qu'en profondeur. À l'exception du Fe, tous ces nutriments sont déficitaires. De ce fait, il n'est pas encore possible de différencier la signature pédologique éventuelle de ces deux espèces d'*Acacia* à partir des analyses des sols, du moins 6 ans après la mise en place des plantations.

**Tableau 9. Résultat de l'analyse discriminante pour les sols sous *A. auriculiformis* et *A. mangium* de 5 ans**

| Profondeur d'échantillonnage | Éléments discriminants | <i>A. auriculiformis</i> de 5 ans | <i>A. mangium</i> de 5 ans |
|------------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 0 – 30 cm                    | Zn                     | 1.04 ± 0.57                       | 0.69 ± 0.20                |
|                              | Fe                     | 204.40±54.80                      | 249.00±61.00               |
|                              | Mn                     | 4.57 ± 3.15                       | 3.89 ± 2.17                |
|                              | Cu                     | 0.35 ± 0.11                       | 0.39 ± 0.14                |
|                              | S                      | 11.78 ± 1.64                      | 10.55 ± 3.09               |
| 60 – 120 cm                  | S                      | 9.58 ± 3.37                       | 12.36 ± 2.58               |
|                              | Mn                     | 2.34 ± 1.21                       | 1.66 ± 0.95                |
|                              | K                      | 5.23 ± 2.13                       | 6.38 ± 5.05                |
|                              | Zn                     | 0.78 ± 0.23                       | 0.63 ± 0.17                |

### **IV.3. Effets des plantations d'*Acacia sp* sur les macronutriments primaires**

*Les résultats de ce paragraphe ont fait l'objet d'une publication à paraître dans la revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo intitulée « Effet des plantations d'*Acacia* sur les macronutriments primaires des sols sableux d'Ibi village au plateau des Bateke (Kinshasa, République Démocratique du Congo) ».*

Les sols des tropiques sont dans leur grande majorité lessivés et pauvres (Gachene et Kimaru, 2003 ; Juo et Franzluebbbers, 2003 ; Van Wambeke et Nachtergaele, 2003). L'agriculture itinérante sur brûlis avec des périodes de jachère dépassant 15 ans ne répond plus aux exigences de la sécurité alimentaire dans les pays du tiers monde, où la population augmente en nombre et en espérance de vie. La transition vers une agriculture raisonnée, durable et sédentaire s'impose. Celle-ci passe par la recherche des technologies bon marché adaptées aux conditions locales et à la portée des petits exploitants majoritaires dans le secteur agricole des pays en développement (Nair et Garrity, 2012; Ringius, 2002 ; Sanchez et al., 1997).

L'agroforesterie est l'une de ces technologies en expansion plus particulièrement dans les zones tropicales et semi arides (Nair et Garrity, 2012 ; Jose, 2009; Kasongo et al., 2009; N'Goran, 2005 ; Ringius, 2002 ; Dixon et al., 1994), à cause entre autres de ses apports dans l'amélioration de l'équilibre nutritionnel pour les cultures succédant aux jachères améliorées.

Lorsqu'on parle des nutriments pour les cultures, un accent particulier est mis sur les macronutriments primaires que sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K), ainsi qu'à leur disponibilité et accessibilité par rapport à l'acidité (pH) du sol (Schroth et Sinclair, 2003 ; Wolf, 2000; Bekunda et al., 1997 ; Sanchez et al., 1997). Ainsi, après une intervention humaine visant à améliorer la productivité agricole d'un sol, il est important de faire une évaluation de l'efficacité de ladite intervention par rapport à certains indicateurs de la fertilité, tels que les macronutriments primaires (FAO, 2007a ; Amando et al., 2001 ; Palm et al., 2001; Schjonning, 2002 ; Ellmer et al., 2000 ; Some, 1994).

Dans ce cadre, les plantations d'*A. auriculiformis* et *A. mangium* qui ont modifié la morphologie du plateau des Bateke, suscitent un certain nombre de questions parmi lesquelles celles relatives à leurs effets sur les macronutriments primaires du sol.

En effet, dans cette monoculture forestière, les sols sous ces plantations d'arbres devraient évoluer rapidement vers la forêt, que ceux restés sous savane naturelle.

Du fait de la fixation symbiotique d'azote par les *Acacias sp* et de l'importance de la litière qu'ils produisent, malgré leur décomposition lente (N'Goran, 2005 ; Bernard-Reversat et al., 1993), le dosage des macronutriments primaires des sols sous *Acacia sp* d'au moins 5 ans devrait montrer des différences significatives avec la savane originelle et donnerait des valeurs qui les rapprocheraient des sols de forêt.

Les lignes qui suivent font une évaluation des changements apportés par les *A. auriculiformis* et *A. mangium*, sur les teneurs en N, P, K et sur le pH du sol.

Cette évaluation est faite en utilisant les résultats d'analyses des 120 échantillons des sols prélevés en 5 temps différents (*février, juillet et novembre 2012 – Février et juillet 2013*), sous savane, *A. auriculiformis*, *A. mangium* et forêt, sur 60 cm de profondeur, subdivisé en 2 tranches (*de 0 – 30 cm (Pr<sub>1</sub>) ; 30 – 60 cm (Pr<sub>2</sub>)*).

Les statistiques utilisées ont consisté en une analyse de la variance uni-variée utilisant le pH comme co-variable, complétée par les tests post hoc de Tukey pour comparer les différentes moyennes afin de les grouper.

Pour différencier les couverts deux à deux, l'analyse discriminante a été conduite. Les sources de variation considérées pour les analyses statistiques étaient le type de couvert végétal, la profondeur et la période d'échantillonnage.

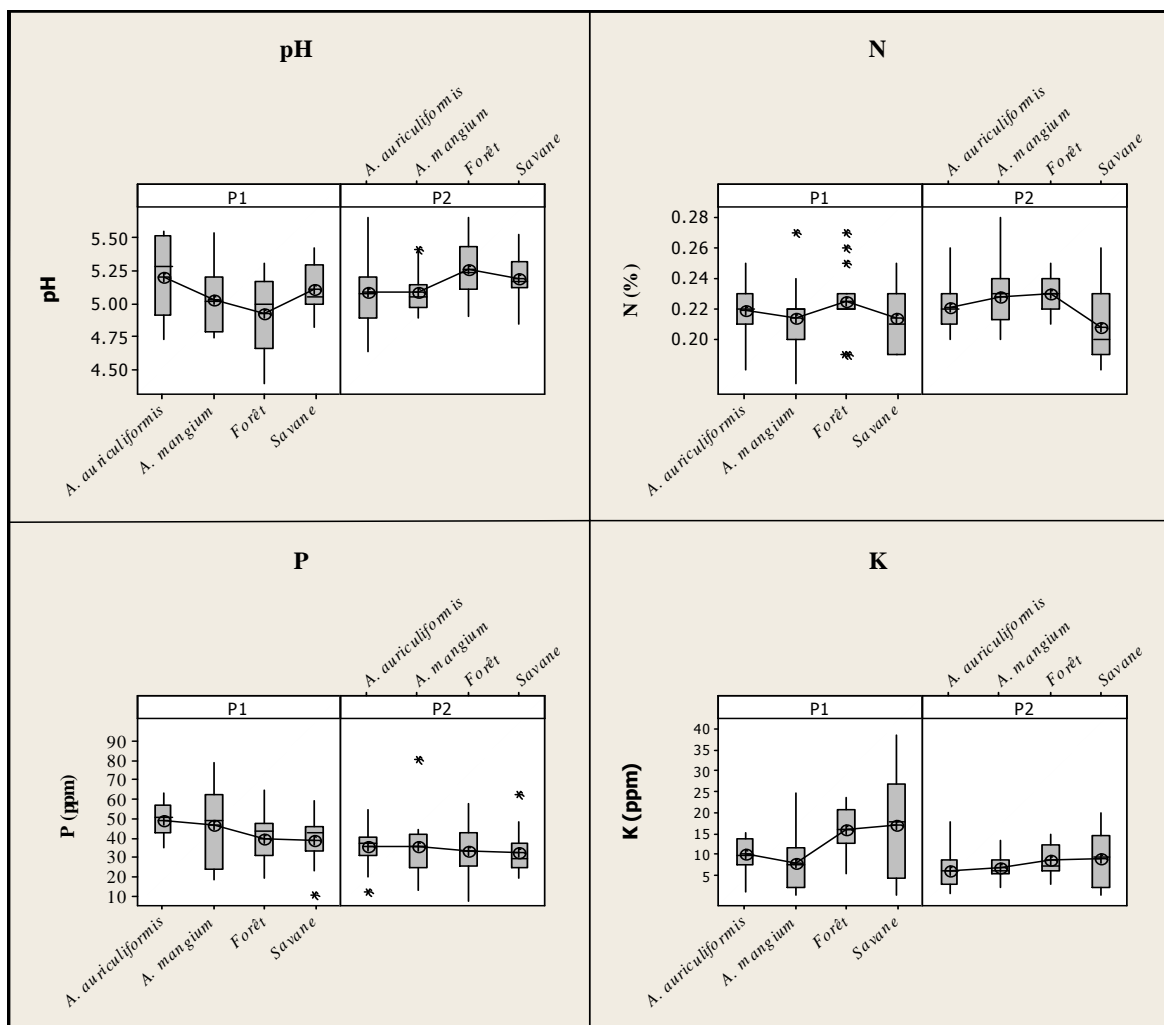
#### **IV.3.1. Caractéristique des sols sous différents couverts végétaux**

En moyenne, les sols sont acides (pH moyen < 5.5), et sont déficitaires en potassium ( $9.00 \pm 6.80$  ppm) (20 - 200 ppm, recommandé). Le phosphore ( $35.92 \pm 14.70$  ppm) est en moyenne dans la gamme recommandée (30 – 100 ppm). Cependant, la valeur élevée de l'écart type dénote d'une forte dispersion des teneurs de cet élément, avec des déficiences plus ou moins prononcée par endroits. L'azote ( $0.21 \pm 0.03$  %), avec une moyenne  $\geq 0.20$  %, se trouve à la limite des gammes de disponibilité recommandées (0.2 – 0.5 %) ; la faible valeur de son écart type indique que sa moyenne générale peut caractériser l'agro-éco système concerné

En analysant les variations des macronutriments et du pH entre le couvert végétal et la profondeur d'échantillonnage (fig. 20), on constate que les quantités de tous les macronutriments primaires diminuent avec la profondeur. La quantité d'azote la plus

élevée est observée au Pr<sub>2</sub> sous la forêt ; celle de P au Pr<sub>1</sub> sous *A. auriculiformis* ; et celle de K, au Pr<sub>1</sub> sous savane. L'analyse uni-variée de la variance (tableau 10) indique que dans l'ensemble, les teneurs des macronutriments ne co-varient pas avec le pH ( $P_{\text{value}} \gg 0.05$ ). La période d'échantillonnage n'affecte significativement que l'azote N ( $P_{\text{value}} = 0.001$ ), probablement à cause des apports des pluies.

Il y a des différences significatives dans les quantités des macronutriments en passant d'une profondeur à l'autre. Alors qu'en mettant les quatre couverts végétaux ensemble, ceux-ci n'affectent pas significativement les quantités de P ( $P_{\text{value}} = 0.199$ ).



**Fig. 20. Variations des macronutriments et des pH**

**Tableau 10. Test de covariance avec le pH et seuil de signification de la variabilité des macronutriments primaires**

| Source de variation | Degré de Liberté | N     | P     | K     |
|---------------------|------------------|-------|-------|-------|
| pH                  | 1                | 0.847 | 0.120 | 0.276 |
| Temps               | 4                | 0.000 | 0.357 | 0.168 |
| Profondeur          | 2                | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Végétation          | 3                | 0.000 | 0.199 | 0.000 |
| Erreur              | 169              |       |       |       |
| Total               | 179              |       |       |       |

#### **IV.3.2. Comparaison des moyennes et groupement par la méthode de Tukey (au seuil de 0.05)**

**De 0 à 30 cm de profondeur** (tableau 11) ; le pH ( $P_{\text{value}} = 0.032$ ) et K ( $P_{\text{value}} = 0.005$ ) montrent en moyenne, des différences significatives entre les couverts végétaux. Le groupement des moyennes pour le pH indique que cette différence est marquée entre la plantation d'*A. auriculiformis* ( $5.21 \pm 0.31$ ) et la forêt ( $4.93 \pm 0.28$ ). Pour K, c'est l'*A. mangium* ( $8.12 \pm 6.88$ ) qui présente la plus petite moyenne, significativement différente des autres couverts.

Les coefficients de variation (CV) du pH diminuent avec la profondeur et sont tous  $< 6\%$ , indiquant un bon groupement autour de sa valeur moyenne. Aux profondeurs considérées, l'agro-écosystème peut ainsi être caractérisé par le pH moyen sans risque de s'écarter de la réalité.

Le fait que de 0 – 30 cm sous savane, le pH soit légèrement plus acide que sous *Acacia sp*, indiquerait que la litière d'*Acacia sp* âgé de 5 – 6 ans n'aurait qu'une influence limitée sur l'acidification de la couche superficielle du sol.

En général, les teneurs en K diminuent avec la profondeur, et la variabilité est  $> 30\%$  déjà de 0 – 30 cm. La déficience générale en K est caractéristique du substratum sur lequel reposent tous les couverts végétaux. Toutefois, les teneurs relativement élevées des

couches superficielles indiquent que le K de ces sols est essentiellement d'origine organique.

Bien que statistiquement non différentes, les teneurs en K sont plus élevées sous les couverts naturels que sous *Acacia sp.* Ceci peut s'expliquer par l'âge des couverts, les *Acacia sp* étant relativement jeune ; par la lente vitesse de décomposition de la litière d'*Acacia sp* qui se fait en deux ans (N'Goran, 2005) ; et par le lessivage assez intense dans ces sols sableux.

**Tableau 11. Teneurs des éléments dosés de 0 – 30 cm et groupement des moyennes**

| Couvert                  | Éléments dosés                      |               |                 |                |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------|-----------------|----------------|
|                          | moyenne ± écart type<br>(min – max) |               |                 |                |
|                          | CV                                  |               |                 |                |
|                          | pH                                  | N (%)         | P (ppm)         | K (ppm)        |
| <i>A. auriculiformis</i> | 5.21 ± 0.31b                        | 0.22 ± 0.02a  | 49.65 ± 8.47a   | 10.15 ± 4.22ab |
|                          | (4.73 - 5.56)                       | (0.18 - 0.25) | (35.20 - 63.40) | (0.91 - 15.40) |
|                          | 5.86                                | 8.11          | 10.06           | 41.52          |
| Forêt                    | 4.93 ± 0.28a                        | 0.23 ± 0.02a  | 40.17 ± 13.04a  | 15.85 ± 5.21b  |
|                          | (4.39 - 5.31)                       | (0.19 - 0.27) | (19.30 - 65.40) | (5.62 - 23.80) |
|                          | 5.72                                | 9.62          | 32.46           | 32.85          |
| <i>A. mangium</i>        | 5.04 ± 0.23ab                       | 0.21 ± 0.02a  | 46.81 ± 18.28a  | 8.12 ± 6.88a   |
|                          | (4.74 - 5.55)                       | (0.17 - 0.27) | (18.50 - 79.40) | (0.18 - 24.60) |
|                          | 4.62                                | 11.28         | 39.06           | 84.68          |
| Savane                   | 5.11 ± 0.18ab                       | 0.21 ± 0.02a  | 39.26 ± 11.80a  | 16.98 ± 11.60b |
|                          | (4.83 - 5.43)                       | (0.19 - 0.25) | (10.20 - 59.50) | (0.18 - 38.50) |
|                          | 3.48                                | 9.14          | 30.05           | 68.33          |

*Les valeurs ayant une lettre en commun ne sont pas significativement différents au seuil de 5 % selon le test de Tukey*

**De 30 à 60 cm de profondeur** (tableau 12) ; seul l'azote ( $P_{\text{value}} = 0.010$ ) montre des différences significatives entre les couverts, particulièrement entre la savane ( $0.21 \pm 0.02$ ) et les autres couverts (bien qu'au dixième près, toutes les moyennes ont quasiment la même valeur). Le fait que l'azote du sol provienne aussi de sources extérieures, comme les eaux des pluies qui l'apportent sous forme d'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ), pourraient expliquer les teneurs similaires l'azote sous tous les couverts (Esteban et Robert, 2000 ; Sanchez et al., 1997).

**Tableau 12. Teneurs des éléments dosés de 30 - 60 cm et groupement des moyennes**

|                          | Éléments dosés                            |                                |                                   |                                |
|--------------------------|---|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|                          | moyenne ± écart type<br>(min - max)<br>CV |                                |                                   |                                |
|                          | pH  | N (%)                          | P (ppm)                           | K (ppm)                        |
| Couvert                  |   |                                |                                   |                                |
| <i>A. auriculiformis</i> | 5.08 ± 0.29a<br>(4.64 - 5.66)             | 0.22 ± 0.02ab<br>(0.20 - 0.26) | 33.95 ± 12.38a<br>(6.92 - 54.50)  | 6.09 ± 4.43a<br>(0.69 - 17.80) |
|                          | 5.74                                      | 7.36                           | 29.65                             | 70.19                          |
| Forêt                    | 5.27 ± 0.22a<br>(4.91 - 5.66)             | 0.23 ± 0.01b<br>(0.21 - 0.25)  | 33.72 ± 12.73a<br>(7.56 - 57.70)  | 8.83 ± 3.84a<br>(2.79 - 15.00) |
|                          | 4.20                                      | 5.93                           | 37.75                             | 43.47                          |
| <i>A. mangium</i>        | 5.09 ± 0.15a<br>(4.90 - 5.42)             | 0.23 ± 0.02b<br>(0.20 - 0.28)  | 35.84 ± 15.51a<br>(12.80 - 81.10) | 6.74 ± 3.02a<br>(2.33 - 13.60) |
|                          | 2.92                                      | 8.80                           | 43.29                             | 44.77                          |
| Savane                   | 5.20 ± 0.17a<br>(4.85 - 5.54)             | 0.21 ± 0.02a<br>(0.18 - 0.26)  | 32.97 ± 10.94a<br>(19.60 - 62.70) | 9.06 ± 6.34a<br>(0.18 - 20.00) |
|                          | 3.22                                      | 11.94                          | 33.19                             | 69.97                          |

Les valeurs ayant une lettre en commun ne sont pas significativement différents au seuil de 5 % selon le test de Tukey

### IV.3.3. Différentiation des couverts par l'analyse discriminante

Les résultats de l'analyse discriminante montrent que,

- les concentrations des macronutriments et le pH ne présentent aucune différence significative entre les deux espèces d'*Acacia*.
- En considérant les moyennes des sols sous *Acacia sp* et celles sous savane, l'analyse discriminante présente des éléments de différenciation seulement au Pr<sub>1</sub> qui se présentent comme suit par ordre décroissant de puissance ; le K (P<sub>value</sub> = 0.015) est le plus élevé en savane (16.98 ± 11.60 contre 9.14 ± 5.55) et le P (P<sub>value</sub> = 0.001), a augmenté sous *Acacia sp* (48.23 ± 13.38 contre 39.26 ± 11.80). La discriminante retient aussi le pH (P<sub>value</sub> = 0.001) comme la troisième variable de classification (bien qu'au dixième près, les valeurs mesurées soient sensiblement les mêmes) (5.11 ± 0.18 en savane contre 5.12 ± 0.27 sous *Acacia sp*).
- La probabilité de distinguer les *Acacia sp* de la savane en utilisant ces 3 éléments (K, P, et pH) est de 58.1 %.



Le fait que le P soit l'un des éléments discriminant les plantations d'*Acacia sp* de la savane originale (5 – 6 ans après la plantation des *Acacia sp*) peut être attribué aux effets des jachères améliorées avec *Acacia sp* sur les sols sableux. En fait, l'amélioration de la disponibilité du P est sans doute l'une des indications du bénéfice apporté par une technique culturale donnée (Ikerra et al., 2011 ; Evans et Condon, 2009 ; Mafongoya et al., 2006 ; Oberson et al., 2006 ; Rao et al., 2004).

Par contre, l'analyse discriminante entre les *Acacia sp* et la forêt montre qu'à 51.2 % il n'y a que le K ( $9.14 \pm 5.55$  contre  $15.85 \pm 5.21$ ) qui les différencie de 0 – 30 cm ( $P_{\text{value}} = 0.002$ ).

En effet, au dixième près, les concentrations d'azote et de phosphore restent quasi les mêmes et les différences statistiques indiquées pour les quantités d'azote restent dès lors des indicateurs faibles de différenciation entre ces couverts.

La comparaison des sols sous forêt et sous savane indique que le pH ( $P_{\text{value}} = 0.041$ ) les différencie au Pr<sub>1</sub> et l'N ( $P_{\text{value}} = 0.006$ ) au Pr<sub>2</sub>. Le pH le plus acide se trouve en forêt, la quantité d'N la plus grande se trouve en forêt et celle de K en savane.

#### IV.4. Carbone du sol

Parmi les mesures d'atténuation et ou d'adaptation aux changements climatiques, il y a l'amélioration de la séquestration du carbone dans les écosystèmes terrestres, notamment dans les agro-écosystèmes. Les travaux des experts (IPCC, 2007) ont démontré que l'agriculture et la déforestation sous toutes ses formes contribuent pour environ 31 % des émissions des gaz à effet de serre. L'amélioration de la séquestration du carbone dans l'un des piliers de la déforestation qu'est l'agriculture sous les tropiques est d'un grand impact dans la résolution des problèmes des changements climatiques liés au travail de l'homme.

L'agroforesterie figure parmi les méthodes réputées aptes à cette fin, car elle améliore la séquestration du carbone non seulement dans les parties vivantes des plantes ligneuses, mais aussi dans le sol. Les plantations d'*A. auriculiformis* et *A. mangium* sont ainsi supposées augmenter significativement les quantités de carbone organique du sol, comparativement à la savane herbeuse qui domine sur l'étendue du Plateau des Bateke.

Les données utilisées dans ce paragraphe sont les moyennes des deux dernières campagnes d'échantillonnage, en février et juillet 2013.

Sous tous les couverts végétaux et dans toutes les profondeurs, le carbone organique total est de l'ordre de 3 % (tableau 13). Cette quantité se retrouve dans l'intervalle de 2 à 4 % préconisés par Wolf (2000) pour les bonnes terres agricoles.

Les teneurs en carbone diminuent avec la profondeur, cependant il y a une certaine accumulation entre 30 et 60 cm, qui représente la zone où les racines de la plupart des végétaux sont concentrées (Grant et al., 2012 ; Nadezhdina et Cermák, 2003; Schenk et Jackson, 2002 ; Schroth, 1999 ; Jackson et al., 1996). Le rapport carbone – azote est de l'ordre de 15.5. En surface, le plus grand rapport C/N (17) se trouve dans le sol cultivé après une jachère avec *A. mangium*.

Les quantités moyennes de stocks de carbone obtenues varient entre 124.75 et 268.08 t C/ha.

En considérant les deux premières couches qui ont la même épaisseur de 30 cm chacune, en général les stocks de carbone sont plus élevés en profondeur ; ceci reste en conformité avec le fait que les teneurs en carbone y présentent une certaine accumulation.

D'une couche à une autre, tout comme d'une végétation à l'autre en général, les coefficients de variation pour les stocks de carbone sont inférieurs à 20 %. Cependant, il

est difficile d'assigner une direction à la variabilité des stocks de carbone dans le sol, justifiant ainsi les difficultés liées à l'extrapolation des données à l'hectare (Dirocco et al., 2014 ; Houghton, 2004).

En considérant les différentes saisons d'échantillonnage (tableau 28 en annexe 5), les seules différences significatives sont trouvées à la quatrième descente de terrain (*en février 2013*), qui a coïncidé avec la fin de la grande saison des pluies. Ces différences du reste minimales ont conduit au groupage des données présentées au tableau 13. De ce tableau, les différences significatives n'apparaissent que de 60 à 120 cm de profondeur pour le pourcentage de carbone et le rapport C/N.

Ainsi, la lecture attentive du tableau 13 montre qu'il est difficile de faire une différenciation nette entre les couverts végétaux partant des quantités de carbone trouvées dans les sols. Ceci corrobore ce qui a été souligné par certains chercheurs qui ont démontré qu'en plus du type de végétation, le matériau parental (Jiménez et al., 2008 ; Lal, 2005 ; Rasmussen et al., 2005) et le climat (Thornton et al., 2002 ; Davidson et al., 2000), sont les facteurs les plus déterminants dans la vitesse d'accumulation ou de pertes de carbone du sol après une conversion donnée (Wagai et al., 2008 ; Callesen et al., 2003 ; Jobbagy et Jackson, 2000).

Certains travaux ont fait état d'une diminution des stocks de carbone dans le sol, les premières années suivant la conversion d'un terrain savanicole en une plantation de ligneux (Zhou et al., 2013 ; Fontaine et al., 2004b).

Cette diminution est une conséquence d'un accroissement substantiel des microorganismes décomposeurs à la recherche de l'énergie vitale ; et de l'utilisation de la partie labile du carbone par les ligneux pour leur croissance avant la production d'une biomasse nécessaire à restituer et à accumuler le carbone dans le sol.

Un autre phénomène évoqué est le « priming effect » (Blagodatskaya et Kuzyakov, 2008 ; Bader et Cheng, 2007 ; Fontaine et al., 2007 ; Fontaine et al., 2004a ; Hamer et al., 2004 ; Fontaine et al., 2003) qui est une revitalisation des micro-organismes en dormance dans le sol, suite à un apport de la matière organique fraîche.

Le fait que la teneur en carbone sous *Acacia sp* ne soit pas significativement inférieure à celle sous les couverts végétaux naturels, est un aspect positif en faveur de leur utilisation dans l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols sableux du plateau des Bateke.

En effet, en considérant une accumulation substantielles de la litière sous *Acacia sp* dès la troisième année de plantation (Rathod et Devar, 2004 ; Turnbull, 1991) ; et l'observation de

N'Goran (2005) qui affirme qu'en sol sableux, les feuilles d'*Acacia sp* finissent leur décomposition en 2 ans, il y a lieu de penser que les *Acacia sp* de 5 ans, malgré leur feuilles coriaces fournissent assez de litière pour réveiller les microorganismes décomposeurs en dormance dans le sol (Fontaine et al., 2004b ; Houghton, 2004 ; Post et Kwon, 2000). Les produits issus de cette décomposition servent en premier lieu à la construction de la biomasse des *Acacia sp* eux-mêmes (Maraseni et Pandey, 2014 ; Zhou et al., 2013).

Par ailleurs, la prise en compte du carbone du sol ou celui séquestré par la biomasse aérienne ne sont pas les seuls services environnementaux à répertorier après plantation d'arbres dans un écosystème marginal (Dirocco et al., 2014 ; Kipkoech et al., 2011 ; Bauhus et al., 2002), à l'instar des savanes herbeuses du plateau des Bateke.

**Tableau 13. Statut du carbone organique du sol sous les différents couverts végétaux**

| Couvert Végétal    | Moyenne ± Écart Type<br>Coefficient de variation |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | Densité apparente                                |                 |                 |
|--------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|
|                    | C (%)  |                 |                 | C/N             |                 |                 | C (t/ha)        |                 |                 | Moyenne ± Écart Type<br>Coefficient de variation |                 |                 |
|                    | Pr <sub>1</sub>                                  | Pr <sub>2</sub> | Pr <sub>3</sub> | Pr <sub>1</sub> | Pr <sub>2</sub> | Pr <sub>3</sub> | Pr <sub>1</sub> | Pr <sub>2</sub> | Pr <sub>3</sub> | Pr <sub>1</sub>                                  | Pr <sub>2</sub> | Pr <sub>3</sub> |
| S0                 | 3.38 ± 0.45a                                     | 3.24 ± 0.44a    | 3.08 ± 0.34abc  | 15.85 ± 2.27a   | 15.58 ± 0.82a   | 16.48 ± 1.76b   | 129.22 ± 18.35a | 126.42 ± 22.84a | 230.68 ± 27.92a | 1.28 ± 0.11a                                     | 1.30 ± 0.14a    | 1.25 ± 0.15a    |
|                    | 13.21  | 13.45           | 11.14           | 14.31           | 5.25            | 10.70           | 14.95           | 16.22           | 11.24           | 9.20   | 7.71            | 10.03           |
| S1                 | 3.40 ± 0.38a                                     | 3.35 ± 0.41a    | 2.90 ± 0.43a    | 15.52 ± 1.92a   | 15.55 ± 1.37a   | 16.21 ± .99ab   | 124.75 ± 18.04a | 133.85 ± 15.26a | 212.87 ± 47.58a | 1.22 ± 0.13a                                     | 1.33 ± 0.07a    | 1.22 ± 0.18a    |
|                    | 11.38  | 12.20           | 14.72           | 12.39           | 8.80            | 12.27           | 17.19           | 13.21           | 20.46           | 11.33  | 5.32            | 11.87           |
| Aa1                | 3.58 ± 0.45a                                     | 3.64 ± 0.68a    | 3.50 ± 0.51bc   | 15.14 ± 1.30a   | 14.73 ± 0.83a   | 14.66 ± 1.30a   | 145.25 ± 15.49a | 147.61 ± 33.34a | 267.81 ± 56.53a | 1.36 ± 0.14a                                     | 1.35 ± 0.18a    | 1.27 ± 0.19a    |
|                    | 12.94  | 18.64           | 14.66           | 8.65            | 5.64            | 8.87            | 12.17           | 24.48           | 21.07           | 10.17  | 12.96           | 13.68           |
| Aa2                | 3.43 ± 0.38a                                     | 3.49 ± 0.38a    | 3.17 ± 0.40abc  | 15.81 ± 2.35a   | 15.89 ± 1.55a   | 15.63 ± 1.30ab  | 140.04 ± 14.93a | 125.52 ± 19.63a | 243.18 ± 44.61a | 1.36 ± 0.08a                                     | 1.20 ± 0.12a    | 1.28 ± 0.14a    |
|                    | 11.05  | 10.92           | 12.55           | 14.87           | 9.78            | 8.32            | 11.62           | 15.28           | 19.08           | 5.54   | 10.16           | 11.25           |
| Am1                | 3.37 ± 0.43a                                     | 3.65 ± 0.61a    | 3.57 ± 0.45c    | 15.14 ± 1.34a   | 15.01 ± 1.46a   | 15.12 ± 1.33ab  | 131.83 ± 21.12a | 151.10 ± 21.79a | 268.08 ± 57.90a | 1.31 ± 0.18a                                     | 1.39 ± 0.12a    | 1.25 ± 0.22a    |
|                    | 12.74  | 16.73           | 12.77           | 8.83            | 9.72            | 8.90            | 18.97           | 18.59           | 16.59           | 14.08  | 7.97            | 11.11           |
| Am2                | 3.30 ± 0.45a                                     | 3.56 ± 0.32a    | 3.06 ± 0.41ab   | 15.48 ± 1.88a   | 15.60 ± 0.81a   | 16.37 ± 1.46b   | 126.73 ± 18.48a | 138.57 ± 17.73a | 236.08 ± 39.01a | 1.29 ± 0.14a                                     | 1.30 ± 0.11a    | 1.28 ± 0.13a    |
|                    | 13.53  | 9.11            | 13.52           | 12.17           | 5.17            | 8.95            | 16.78           | 12.32           | 16.76           | 11.00  | 5.96            | 10.01           |
| Am3                | 3.41 ± 0.39a                                     | 3.53 ± 0.36a    | 3.27 ± 0.40abc  | 15.98 ± 2.65a   | 15.81 ± 1.98a   | 15.46 ± 0.84ab  | 130.71 ± 14.52a | 132.00 ± 20.36a | 246.46 ± 36.69a | 1.28 ± 0.08a                                     | 1.25 ± 0.15a    | 1.26 ± 0.17a    |
|                    | 12.01  | 10.36           | 12.57           | 16.72           | 12.48           | 5.48            | 14.40           | 15.00           | 12.11           | 6.68   | 10.62           | 5.95            |
| F                  | 3.61 ± 0.41a                                     | 3.72 ± 0.42a    | 3.37 ± 0.41abc  | 16.14 ± 2.46a   | 16.24 ± 2.25a   | 15.64 ± 0.82ab  | 142.20 ± 16.36a | 146.65 ± 15.64a | 254.96 ± 46.15a | 1.32 ± 0.08a                                     | 1.32 ± 0.10a    | 1.26 ± 0.19a    |
|                    | 11.46  | 11.41           | 12.20           | 15.22           | 13.85           | 5.25            | 12.74           | 10.84           | 13.80           | 6.14   | 7.82            | 7.70            |
| P <sub>value</sub> | 0.477  | 0.117           | 0.001           | 0.845           | 0.148           | 0.007           | 0.984           | 0.940           | 0.970           |  |                 |                 |

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont sensiblement différentes au seuil de 0.05

Pr<sub>1</sub> = de 0 – 30 cm, Pr<sub>2</sub> = de 30 – 60 cm, Pr<sub>3</sub> = 60 – 120 cm ;

S<sub>0</sub> = Savane mise en défend depuis 10 ans ; S<sub>1</sub> = Culture après jachère savanicole de 10 ans ; Aa<sub>1</sub> = Acacia auriculiformis de 2 ans ; Aa<sub>2</sub> = Acacia auriculiformis de 5 ans ;

Am<sub>1</sub> = Acacia mangium de 2 ans ; Am<sub>2</sub> = Acacia mangium de 5 ans ; Am<sub>3</sub> = Culture après 5ans de jachère avec Acacia mangium ; F = Forêt mise en défend depuis 10 ans

## **IV.5. Impact socio-économique de l'agroforesterie au plateau des Bateke**

L'évaluation de l'impact socio-économique de l'agroforesterie s'est basée sur des indices de stabilisation des exploitants et des exploitations, du développement de nouvelles filières, des possibilités d'épargnes et de la réduction de la pénibilité des tâches agricoles.

Les principaux concepts mis en exergue dans cette évaluation sont la viabilité et la stabilité des exploitations agro-forestières du plateau des Bateke, en s'appuyant sur les paramètres ci-après :

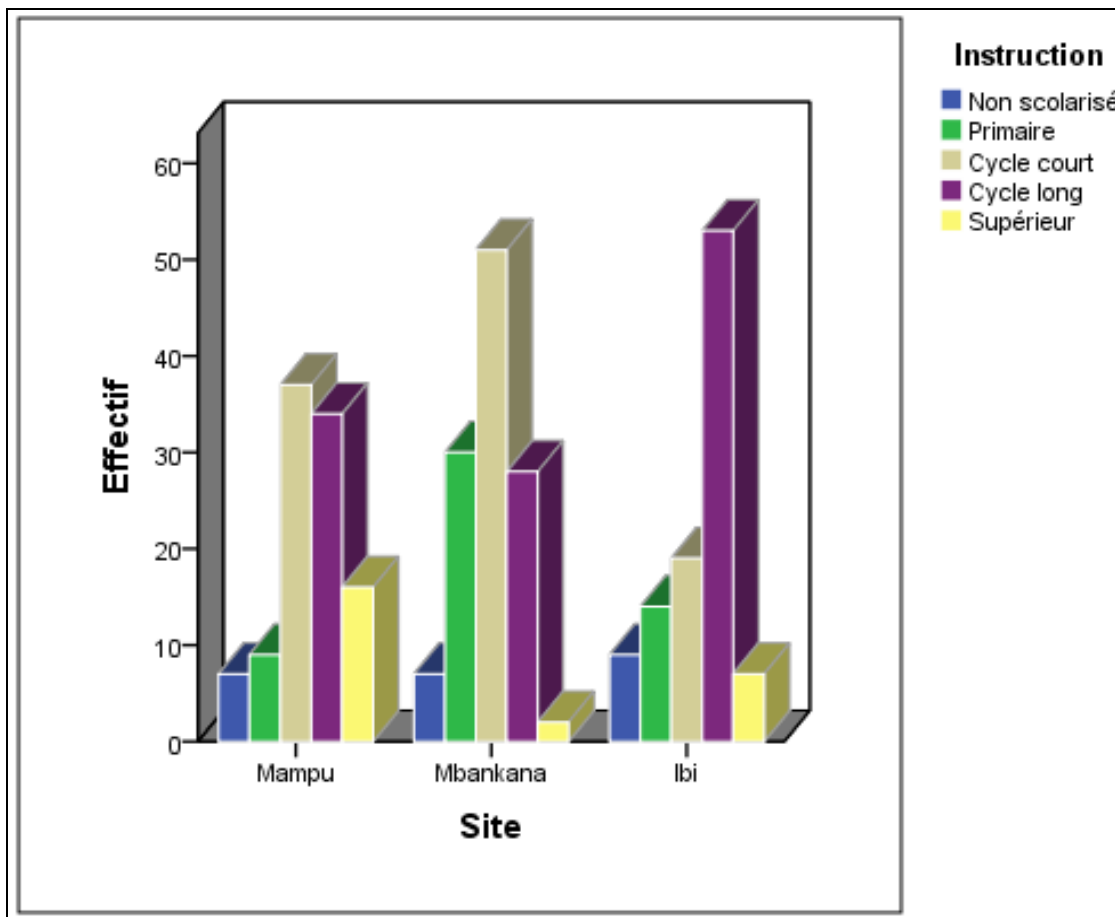
1. *l'ancienneté de l'exploitant dans le site*. Ce fait est considéré comme une preuve que l'exploitant est satisfait de son travail et en a fait l'activité de sa vie ;
2. *le développement des nouvelles filières*. La plantation des arbres fruitiers (*Dacryodes edulis*, *Persea americana*, *Mangifera indica*, etc.) et d'autres espèces ligneuses forestières (comme le *Maesopsis eminii* et le *Millettia laurentii*) qui incite à croire que le fermier se sédentarise car, ces arbres forestiers exploitables principalement pour leur bois d'œuvre ne peuvent en principe être coupés qu'environ 40 ans après plantation ;
3. *le développement de l'élevage* pour la disponibilisation des protéines animales et pour le marché ; comme indice de la diversification de sources de revenus et de l'amélioration du paquet nutritionnel ;
4. *L'épargne*. L'existence d'une épargne est preuve d'une meilleure organisation, d'un niveau de vie amélioré et d'une augmentation des revenus avec des surplus à économiser.

Les figures 21, 22 et 23 présentent les éléments ci-hauts mentionnés en comparant les trois sites d'enquête, le centre agroforestier de Mampu, les cités de CADIM à Mbankana et les villages autour d'Ibi village. Les autres éléments de l'enquête sont résumés dans le tableau 29 en annexe 6.

### ***Identification des enquêtés***

Ce paragraphe présente les fermiers, leur niveau d'instruction, leur ancienneté dans le site ou dans le métier, et leur projets sur leur activité agricole.

La figure 21a illustre le niveau d'instruction des fermiers.



**Fig. 21a. Niveau d’instruction des fermiers**

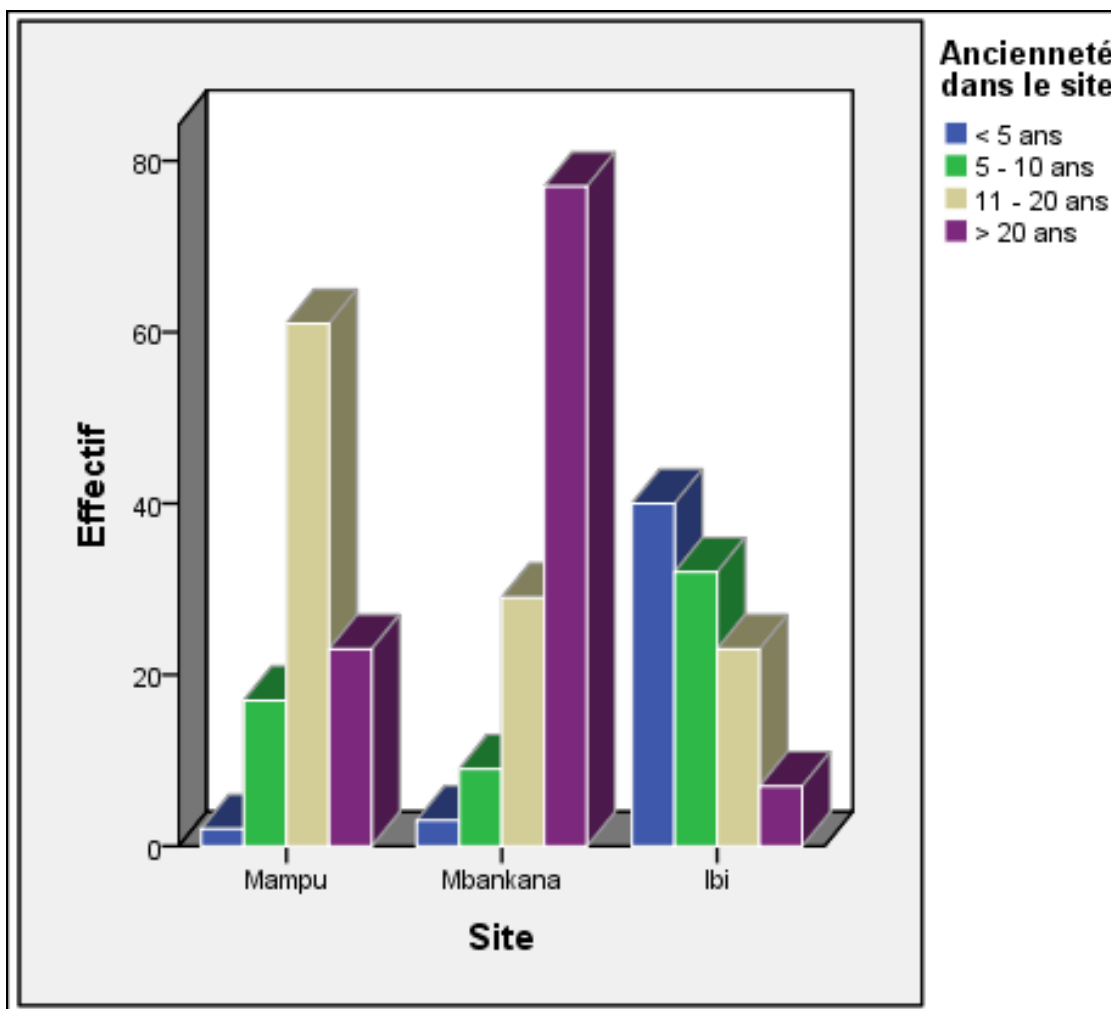
Il ressort de la figure 21a que les fermiers qui ont fréquenté l’école secondaire (comprenant le cycle court et long) sont les plus nombreux dans les trois sites, soit, 69 % des fermiers de Mampu ; 67 % à Mbankana, et 71 % à Ibi. La proportion la plus grande de ceux qui ont fait les études universitaires se trouve à Mampu (16 %), tandis qu’à Mbankana et Ibi ce groupe représente respectivement 2 et 7 %.

La proportion la plus importante des fermiers non instruits ou n’ayant atteint que le niveau primaire se trouve à Mbankana (31 %) ; à Ibi et Mampu ils représentent respectivement 23 et 16 %.

En faisant un rapprochement entre le niveau d’instruction et la compréhension et la réceptivité des fermiers face aux innovations, ces données permettent de comprendre et d’expliquer les écarts entre les fermiers d’un même site, disposant des mêmes atouts et faisant face aux mêmes défis.

La figure 21b qui illustre le temps que le fermier a séjourné dans le site permet d’expliquer d’une manière générale l’ancienneté de l’implantation du site. C’est ainsi que les fermiers

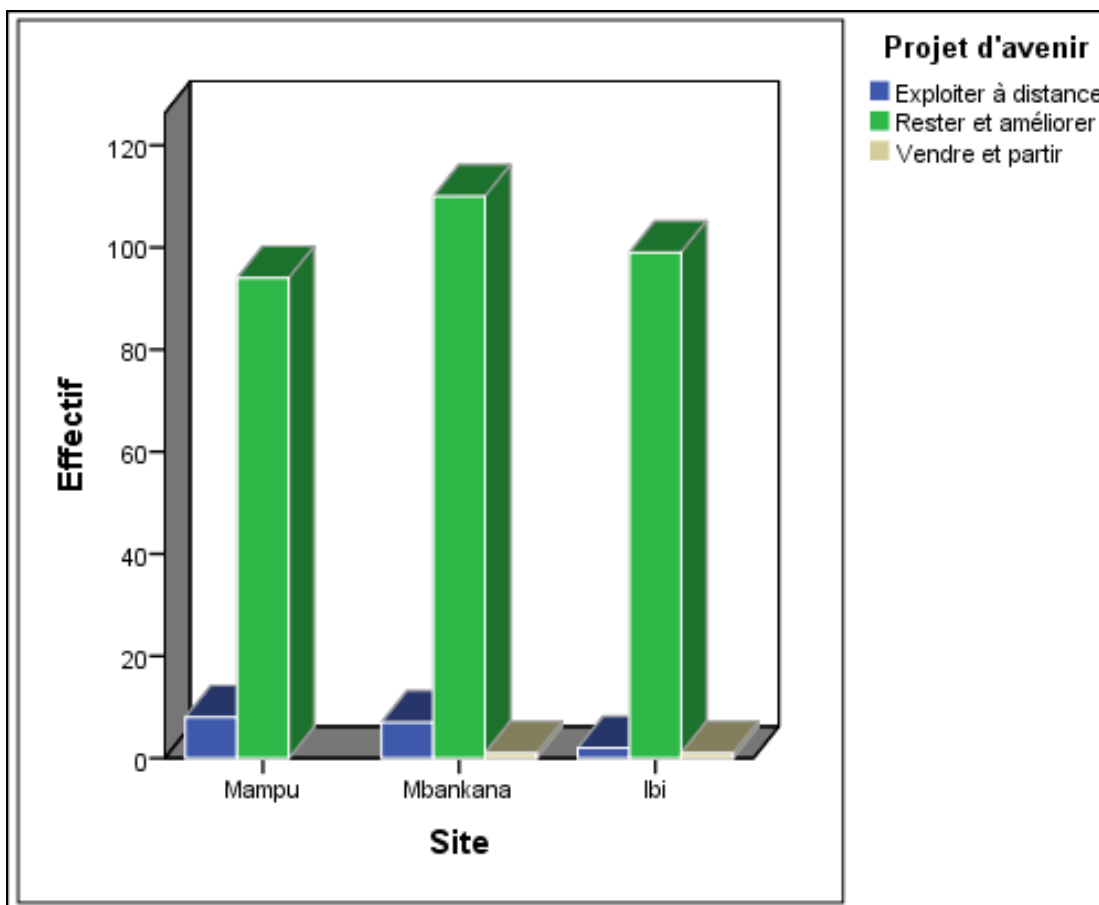
de Mbankana qui ont déjà fait plus de 20 ans dans ce site représentent 65 % ; tandis qu'à Mampu c'est plutôt ceux qui y séjournent depuis au maximum 20 ans qui représentant 59 % ; à Ibi, la majorité de fermiers (71 %) ont fait moins de 10 ans dans le site.



*Fig. 21b. Ancienneté de fermiers dans le site*

Dans ces sites sur sols sableux marginaux, les projets d'avenir des fermiers sont une des composantes essentielles dans la durabilité des exploitations car ils témoignent de la prise en charge effective de l'avenir même des fermiers. Ainsi, la figure 21c qui résume les types des projets d'avenir des fermiers montre que plus de 92 % d'entre eux dans chaque site, préfèrent continuer leurs activités agricoles car elles leur procurent nourriture, revenus et confort matériel.





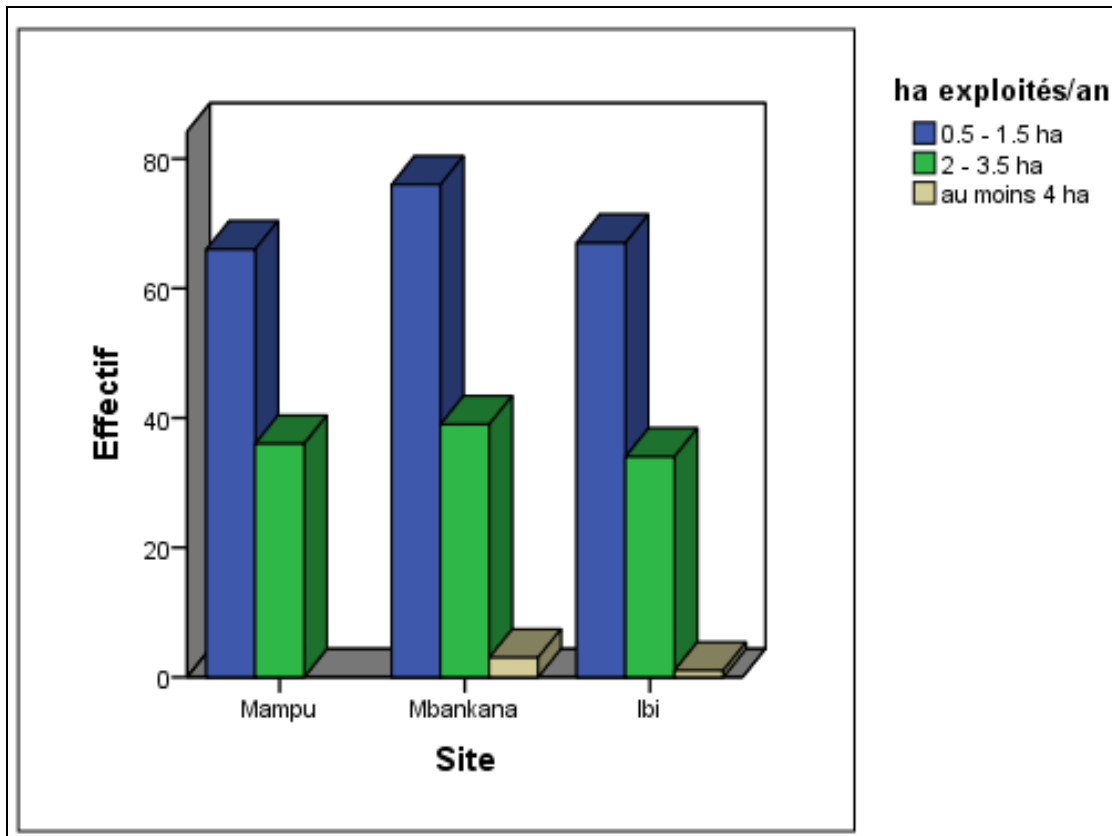
*Fig. 21c. Projets d'avenir des fermiers*

### *Conduite de l'exploitation*

Les figures 22 présentent quelques aspects de la conduite de l'exploitation agricole dans les trois sites. La figure 22a illustre les étendues moyennes de terrain cultivées annuellement par les fermiers.

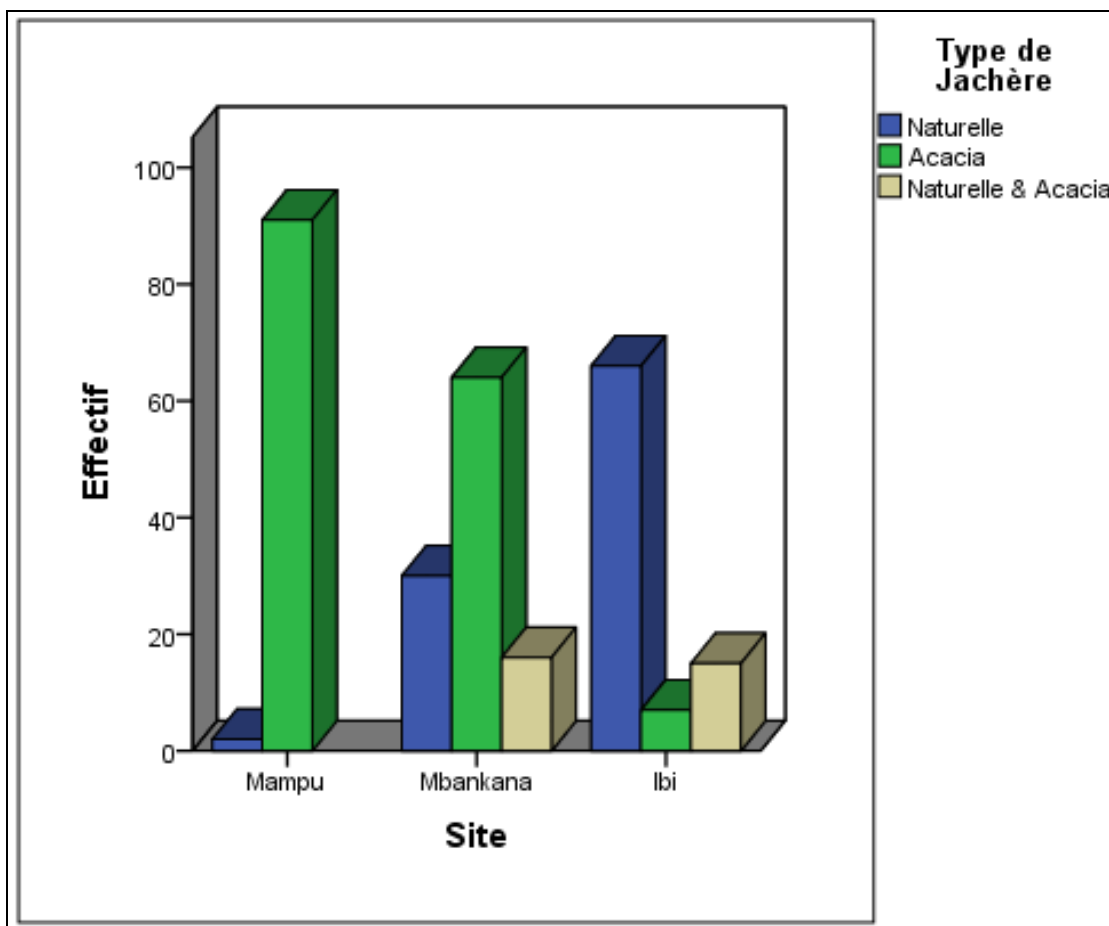
La majorité des exploitants (64 %) dans tous les sites emblave moins de deux hectares. Le travail étant encore essentiellement manuel, il s'ensuit que le suivi et l'entretien des plantations ne permettent pas d'emblaver des superficies plus grandes pour une exploitation rentable et viable.

Il n'y pas de différence palpable entre les sites ; néanmoins, les exploitants qui emblavent 2 à 3,5 hectares représentent 33 %. Les quelques rares fermiers (3 %) qui atteignent 4 hectares se retrouvent au site de Mbankana, entre autre à cause de la présence sporadique des tracteurs pour le labour et hersage.



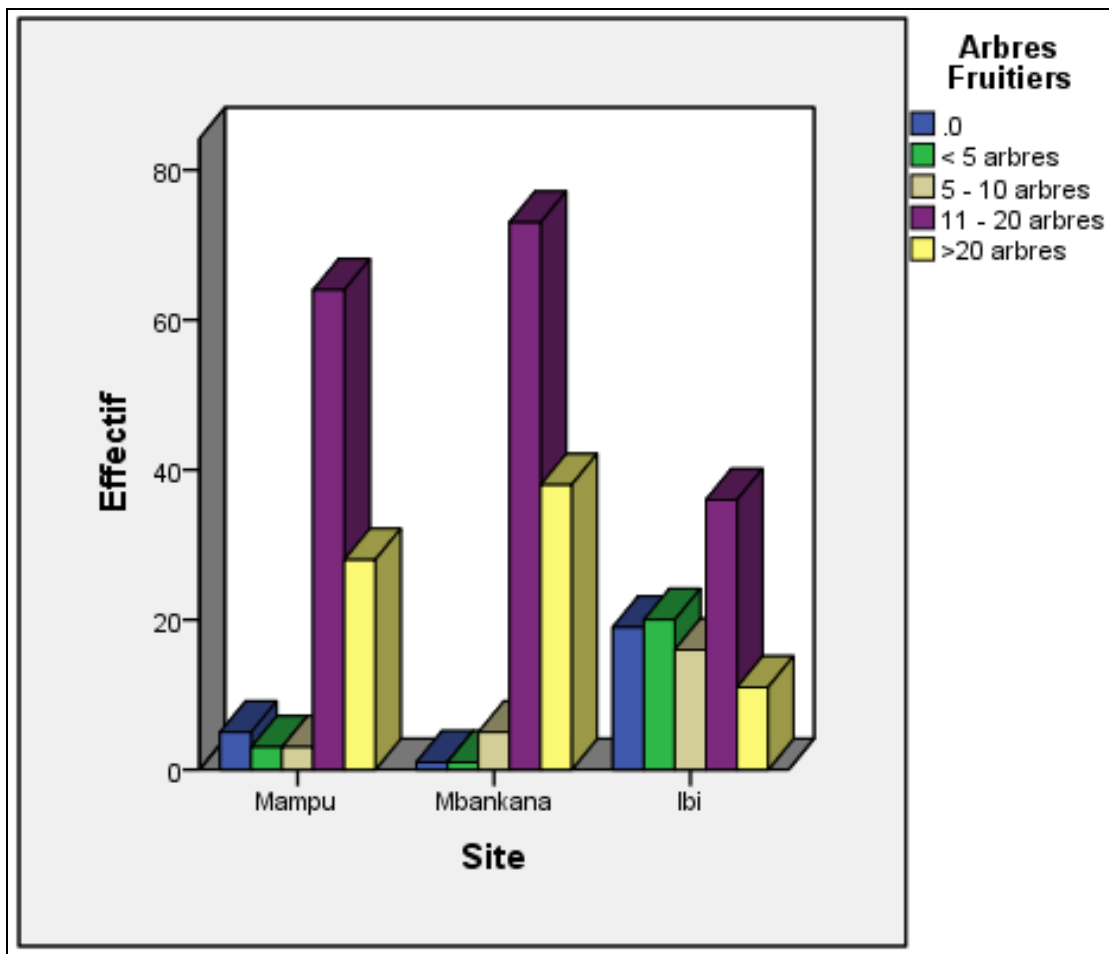
**Fig. 22a. Superficie emblavée annuellement**

Afin d’apprécier la durabilité de la pratique de l’agroforesterie spatio-temporelle avec *Acacia sp*, une investigation a été faite sur le type de jachère pratiquée par les fermiers. La figure 22b montre qu’à Mampu et Mbankana, la jachère à *Acacia sp* est utilisée respectivement par 98 et 58 % des exploitants. Quant à la jachère naturelle, la majorité des fermiers qui la pratiquent sont dans le site d’Ibi (75 %). Ce résultat explique l’évolution de l’agroforesterie au plateau des Bateke, Mampu étant le premier site où les *Acacias sp* ont été plantés et les fermiers implantés.



*Fig.22b. Type de jachère utilisée*

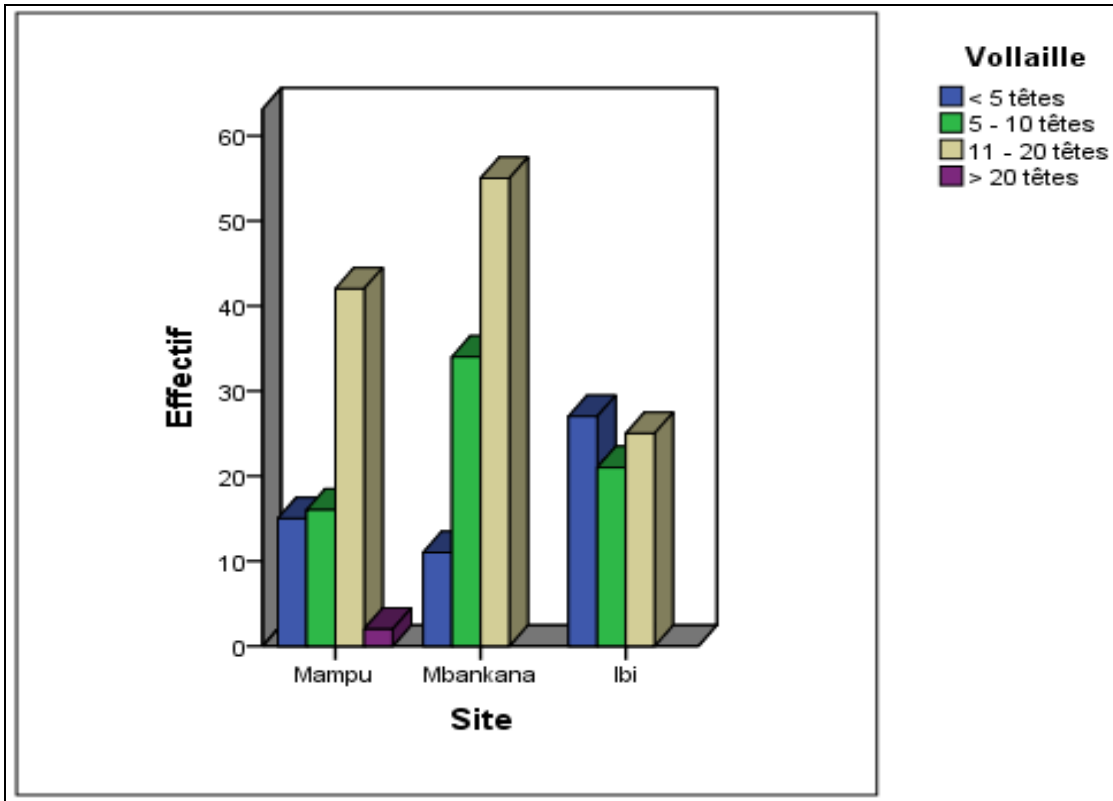
La plantation des cultures pérennes à l’instar des arbres fruitiers et la pratique des élevages, sont autant d’indices de maturation des exploitations et de diversification des sources de revenu. Les figures 22d à 22f résument les tailles des cheptels présents dans les fermes suivant leurs types ; tandis que la figure 23c résume le nombre d’arbres fruitiers à maturité plantés dans les fermes. Elle montre que dans tous les sites il y a des fermes qui en comptent au moins 20 (soit 27.2 % à Mampu, 32.2 % à Mbankana et 10 % à Ibi). Et à Mampu tout comme à Mbankana, il y a de moins en moins de fermes qui n’ont pas d’arbres fruitiers, soit seulement 4.9 % des fermes de Mampu et 0.8 % de Mbankana.



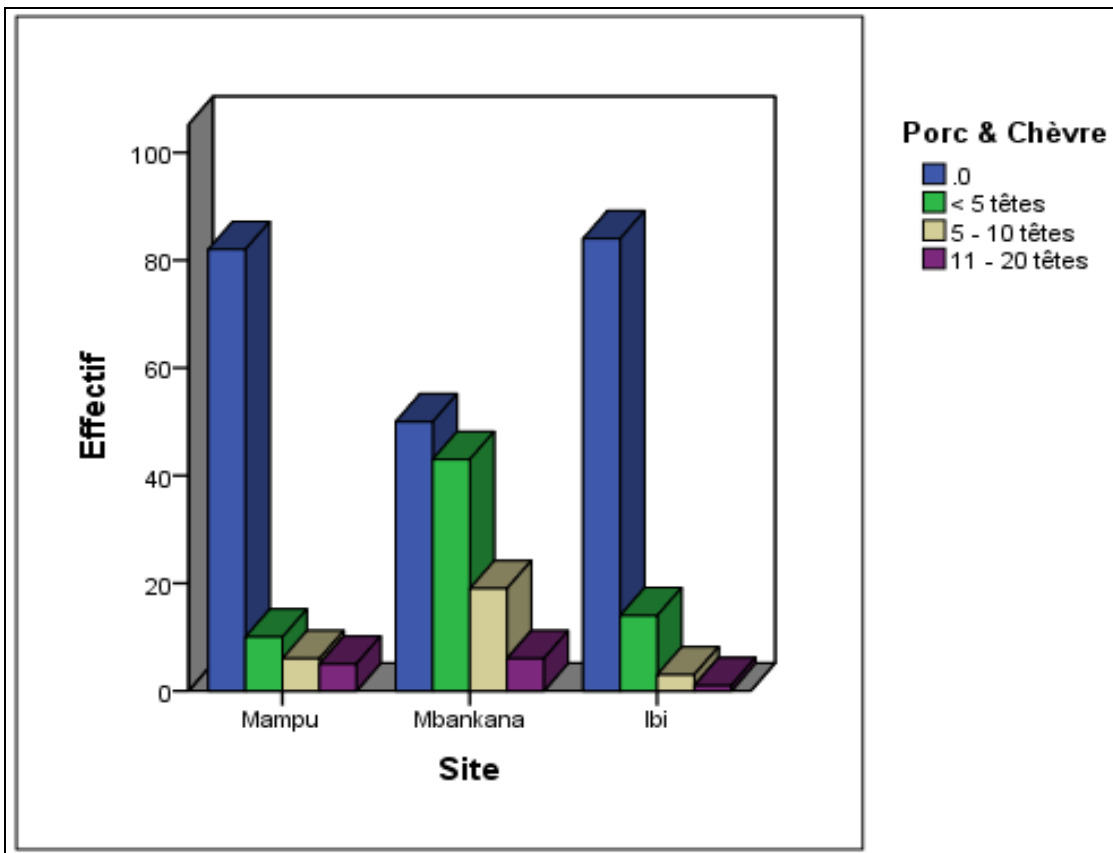
**Fig.22c. Arbres fruitiers par hectare**

Des figures 23d à 22f il apparaît qu'en termes de nombre, le cheptel porc et chèvre est le plus présent dans tous les sites, avec la distribution la plus grande à Mbankana où, 22.2 % des fermiers possèdent au moins 5 têtes. Il en est de même pour l'élevage de bœufs ; environ 12 % des fermiers de Mbankana en possède au moins 5 têtes. Cela peut se justifier par la présence plus étendue et plus rapprochée des sites savanicole et des cours d'eau, favorable à l'élevage. En effet, dans les cités implantées, il y a au moins un cours d'eau non tarissable qui le traverse (dont les plus grands sont la Lufumi, la Limbimi et la Vue), ce qui n'est pas le cas pour Mampu et Ibi. En plus, le nombre relativement élevé de bœufs à Mbankana est aussi attribuable au développement et à la pratique de la culture attelée et de la traction animale en général, grâce à l'encadrement du CADIM.

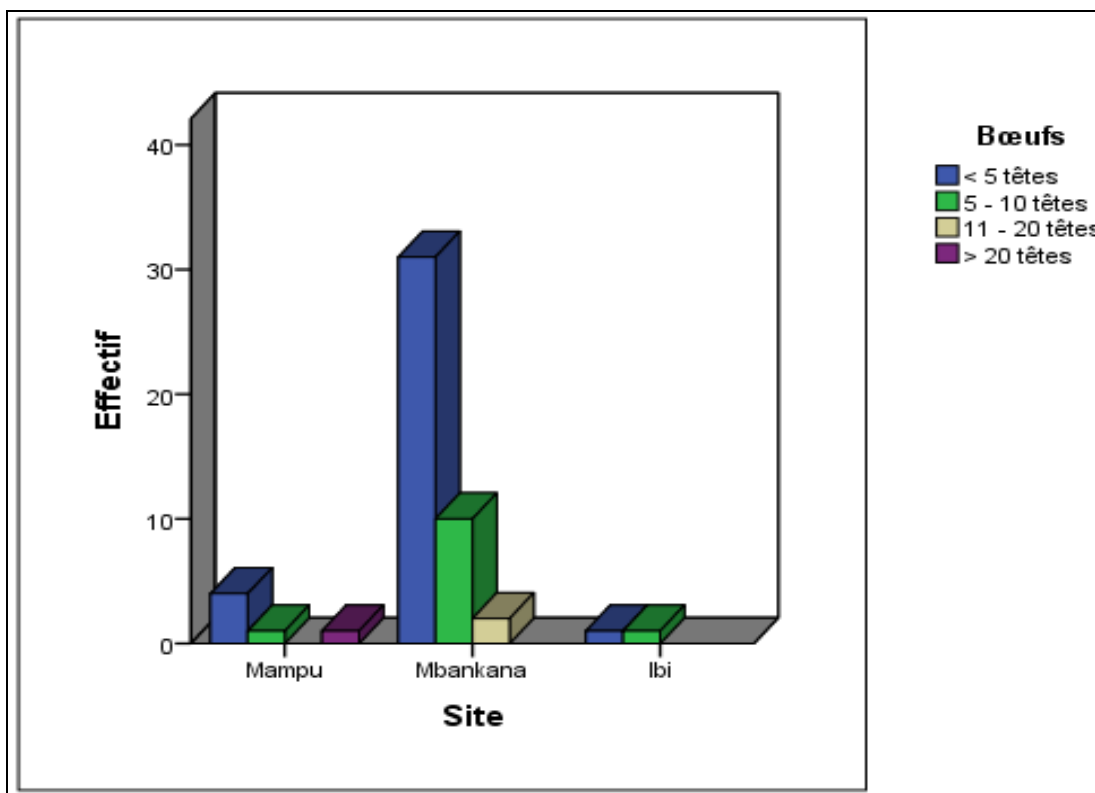
Pour ce qui est de la volaille, les résultats d'enquête laissent penser à un élevage de plaisance car, à peine 2 % des fermiers de Mampu en possèdent plus de 20, le nombre le plus trouvé étant entre 11 et 20 têtes.



*Fig. 22d. Cheptel de volaille*



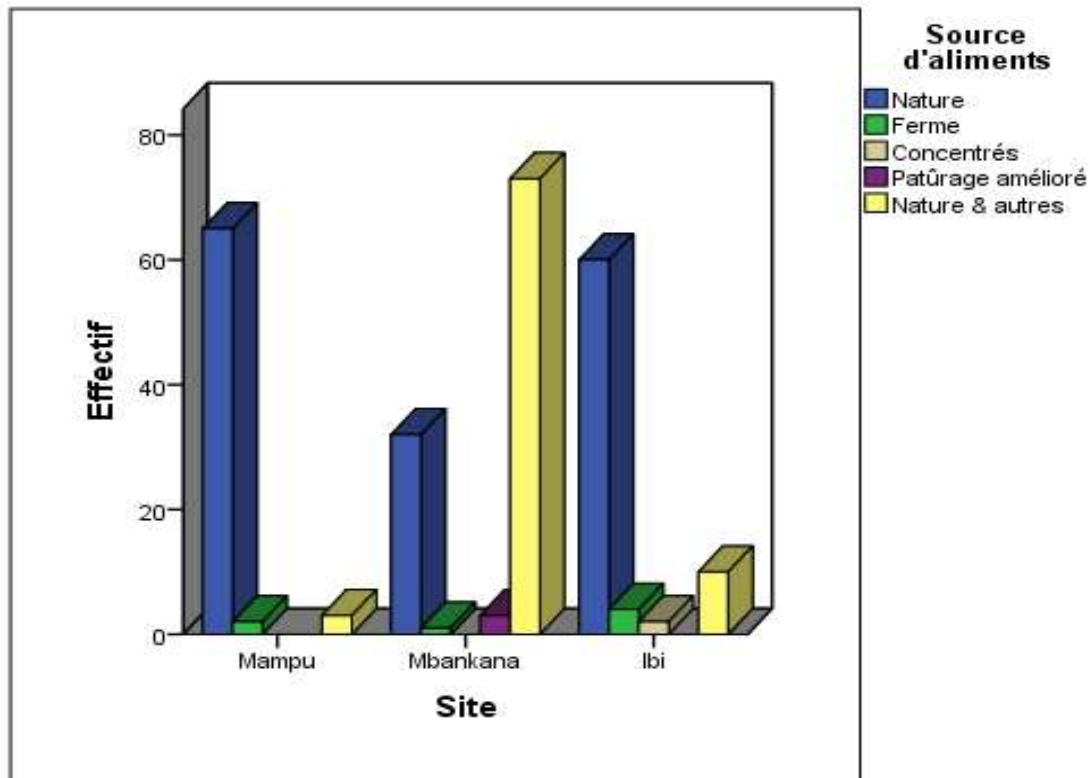
*Fig. 22e. Cheptel de porcins et caprins*



*Fig. 22f. Cheptel de bovins*

La figure 22g résume les sources d'aliments pour les élevages. Dans tous les sites et quel que soit le type de cheptel, la source principale d'aliment reste la nature, ce qui sous-entend que les bêtes sont pratiquement en divagation, avec tout ce que ça peut engendrer comme conflits avec les cultures.

La mention de l'existence des pâturages améliorés à Mbankana corrobore la supériorité numérique des tailles de cheptels dans ce site, indiquant aussi que c'est le site le plus évolué dans cette activité.

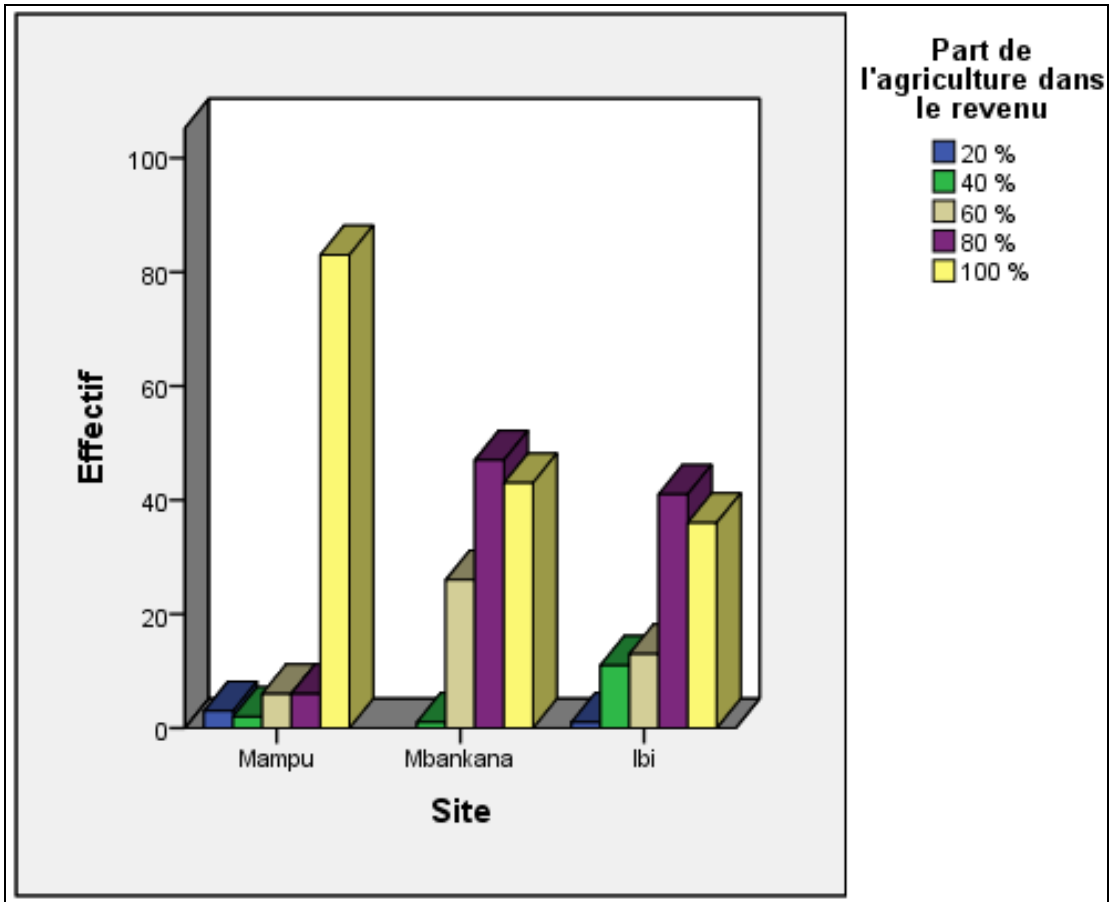


*Fig. 22g. Source d'aliments pour bétail*

### *Quelques aspects financiers*

Les figures 23 présentent la part de l'agriculture dans le revenu du fermier et l'existence ou non d'une épargne pour celui-ci.

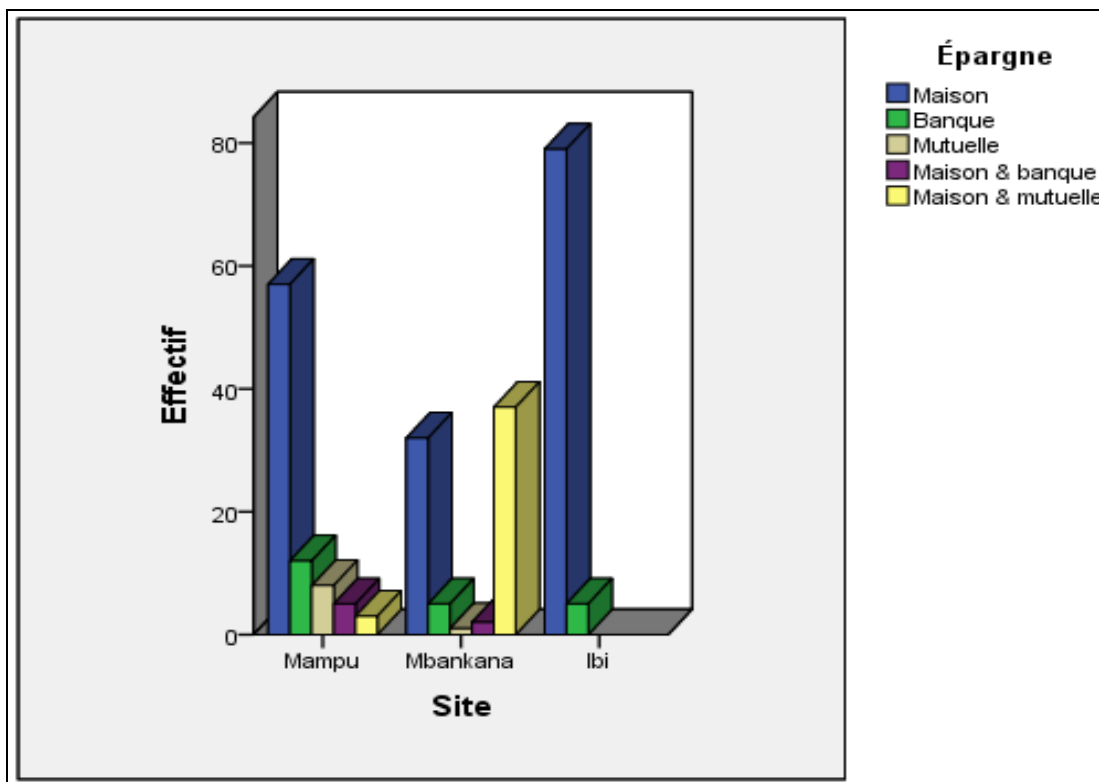
De la figure 23a, il ressort que 83 % des fermiers de Mampu ne tirent leur revenu que de l'agriculture, alors qu'à Mbankana et Ibi, ils représentent respectivement de 43 et 36 %. Le fait saillant qui ressort de cette étude est que dans tous les sites, les exploitants enquêtés vivent à plus ou moins 80 % de l'activité agricole, signe que les sites visités sont réellement à vocation agricole et ainsi nécessite une attention particulière de la part de recherche scientifique du domaine.



*Fig. 23a. Contribution de l'agriculture au revenu du fermier*

La lecture de la figure 23b qui présente l'existence ou pas de l'épargne montre que l'épargne maison domine chez les fermiers du plateau des Bateke, avec 79, 46 et 36 % des cas respectivement pour Ibi, Mampu et Mbankana. La mention de l'épargne bancaire bien que marginale, est plutôt un signal positif de l'évolution des mentalités des fermiers et des structures de gestions des fermes, évoluant vers des entités économiques de plus en plus complexes.





**Fig. 23b. Type d'épargne des fermiers**

Ainsi, l'agriculture qui est principalement axé sur la production végétale vivrière ne représente plus la seule source de revenu pour les fermiers ; les cultures pérennes comme les arbres fruitiers et la production animale (petit et gros bétail) s'installent graduellement, elles sont surtout liées à l'ancienneté du site et aux possibilités en ressources naturelles qui se présentent aux fermiers. Ces retombés positifs de l'afforestation avec *Acacia sp* ont aussi été signalés par Biloso (2008).

L'utilisation des *Acacia sp* en rotation avec les cultures annuelles présente entre autres comme avantage, la réduction du temps des jachères et ainsi un début d'intensification de l'agriculture.

La prise de conscience de la nécessité d'épargner du fruit de l'agriculture laisse penser à une certaine professionnalisation de l'agriculture dans les sites visités.

#### IV. 6. Analyse critique

Plus de 80 % des habitants du plateau des Bateke travaillent dans le secteur agricole (Nsombo et al, 2013). De ce fait, seul un accroissement de la productivité des terres et des cultures, ainsi que leur rentabilité agro-économique pourra être le point de départ d'un développement durable.

Les conditions agro-écologiques déterminent dans une large mesure les potentiels agricoles d'une région et même d'un site à un autre, parfois sur des très courtes distances. Les opportunités et les contraintes dans la production agricole varient dans le même sens et selon le type de système de production (Wezel et Soldat, 2009 ; Franzel et al., 2004 ; Altieri, 2002 ; Wood et al., 1999).

Au plateau des Bateke, les contraintes à la production agricole sont essentiellement d'ordre édapho-climatique et anthropique (*particulièrement celles liées à la pression démographique, et au savoir-faire humain*). La question qui se pose est celle de savoir comment gérer les différentes contraintes afin de rendre à cet hinterland son rôle de grenier pour la mégapole de Kinshasa.

Dans ce travail, il était question d'évaluer les effets de l'agroforesterie sur certaines composantes de la fertilité des sols sableux du plateau des Bateke, et sur les conditions socio-économiques des exploitants. Les informations obtenues ont conduit aux constats qui sont consignés dans lignes qui suivent :

Le *climat* constitue la variable la plus importante mais la moins contrôlable dans la production agricole inféodée au régime pluvial. Ses effets sur les rendements des cultures sont souvent difficilement quantifiables in situ (Smit et Skinner, 2002 ; Obatolu et al., 2001). Les principaux éléments du climat qui entrent en ligne de compte pour une bonne production végétale sont la température, la pluviométrie, l'humidité relative de l'air, l'évaporation ainsi que le vent. Chacun d'eux intervient à des degrés différents durant les phases successives de la vie des plantes (Baker et al., 1993).

Sur la végétation, l'effet de la température se fait sentir à deux niveaux : celui du seuil de végétation et celui de la croissance. Pour les deux, la température moyenne journalière du plateau des Bateke variant entre 18 et 34,2°C, avec une moyenne annuelle de 26°C (tableau 30 en annexe 7), se situe dans une gamme optimum pour la croissance et la production de toutes les cultures des régions tropicales.

Concernant la pluviométrie, la moyenne annuelle des pluies au plateau des Bateke se situe autour de 1500 mm repartis sur 8 mois. Les mois d'avril et de novembre sont les plus

pluvieux (fig. 5) ; ils correspondent à la phase de végétation active pour les cultures mises en place au plus tard en mi-octobre pour la saison A et en mi-mars pour la saison B. Pendant ces mois, il pleut en moyenne tous les deux jours (tableau 30 en annexe 7). Cette abondance pluviométrique sur un sol sableux induit des effets pas toujours positifs surtout en termes de disponibilité des éléments nutritifs pour les cultures. En elle-même, cette pluviométrie annuelle convient pour les différentes spéculations agricoles pratiquées dans la région. Cependant, cette quantité d'eau qui est adéquate pour la dilution et le transport des éléments nutritifs vers les racines et radicelles des plantes, s'avère élevée pour le sol du plateau des Bateke qui est sableux et déficitaire en humus.

L'évapotranspiration potentielle dans la contrée se situe autour de 1279 mm par an (tableau 30 en annexe 7). La différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle (*le bilan hydrique*) est de l'ordre de 300 mm par an. Par ailleurs l'humidité relative qui oscille autour de 80 % toute l'année avec des pointes > 90 % en période de croissance végétale active, supplée au déficit d'eau en atténuant les effets négatifs de l'évapotranspiration.

L'intensité du vent dans la région est faible,  $0,8 \text{ m s}^{-1}$  (soit  $2,88 \text{ Km h}^{-1}$ ) en moyenne ; elle ne peut entraîner une réduction substantielle de rendement dû à une évaporation et une évapotranspiration excessive des plantes (Anten et al., 2005 ; Doaré et al., 2004 ; Cleugh et al., 1998 ; Cleugh, 1998 ; Heisler et Dewalle, 1988).

Ainsi dans l'ensemble, les éléments du climat n'influencent pas négativement la production végétale dans la contrée.

Les *sols* du plateau des Bateke sont constitués des sables de Kalahari. Toutes les caractéristiques générales des sols sableux tropicaux s'y trouvent au maximum de leur expression ; ce sont des sols marginaux, quel que soit le couvert végétal qu'ils portent.

En plus, le plateau des Bateke est parcouru par quelques rivières exploitables pouvant servir de points de captage pour l'irrigation. Cependant, elles coulent dans des vallées encaissées profondes et la nappe phréatique se situe pour la plupart des cas, à plus de 150 m en dessous de la surface cultivable.

Dans ces conditions, l'influence de la *matière organique* sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, constitue l'un des piliers à une production agricole soutenue.

En effet, incorporée dans le sol, la matière organique améliore l'état nutritionnel des plantes ; elle relie les particules du sol en agrégats, donnant au sol une bonne porosité, caractère important pour le développement des racines et radicelles, les échanges gazeux

et, la rétention et le mouvement de l'eau dans le sol. Laissée en surface comme paillage, elle contribue entre autre à la réduction de la température, de la compaction ainsi qu'au maintien de l'humidité dans le sol.

Les sols du plateau des Bateke portent une végétation naturelle peu diversifiée, composée essentiellement de *Loudetia spp* et d'*Hymenocardia acida*, qui sont des indicateurs biologiques de l'acidité et de la faible fertilité naturelle des sols (Some et Alexandre, 1997, Sharland, 1991). Cette végétation marginale subit chaque année des feux de brousse anthropique non contrôlés, qui ont un impact plutôt négatif sur la biomasse utile à la fin de la jachère. L'agroforesterie avec des légumineuses ligneuses trouve ainsi sa justification première dans la production de la matière organique, indispensables aux sols agricoles. Car, ces plantations des ligneux étant fruit des efforts humains, elles sont mieux protégées des feux de brousse non contrôlés et donc plus productives en terme de biomasse totale à incorporer dans le sol.

Les conditions **socio-économiques** et les réalités biophysiques affectent la production agricole (Pender et al. 2006 ; Pender, 2004 ; Pender et al., 1999). La population du plateau des Bateke est encore pauvre et les outils aratoires utilisés pour les activités agricoles sont encore rudimentaires. Les exploitants agricoles se servent essentiellement de la houe et de la machette ; il est alors difficile d'emblaver plus de trois hectares par an. Néanmoins, la pratique de la jachère améliorée avec *Acacia sp* a conduit à l'émergence d'autres sources de revenu pour les fermiers et une grande confiance dans l'avenir, faisant que la grande majorité de ceux-ci trouve en l'agriculture leur métier pour aujourd'hui et pour l'avenir. De ce fait, ces fermiers sont plus ouverts à la collaboration avec les scientifiques pour les innovations bénéfiques à l'exercice de leur métier.

## V. Conclusion et perspectives

Cette étude a portée sur l'évolution des nutriments et du carbone organique du sol dans le système agroforestier du plateau des Bateke. Elle s'est proposé d'évaluer les apports des plantations d'*A. auriculiformis* et *A. mangium* dans l'amélioration de la fertilité des sols sableux ; dans la séquestration du carbone organique dans le sol ; et dans l'amélioration des conditions de vie des exploitants agroforestier.

Il s'agissait :

- d'estimer les teneurs des nutriments majeurs et mineurs intervenants dans la fertilité des sols ;
- d'établir le niveau de séquestration du carbone dans le sol ;
- de caractériser l'agroforesterie par rapport aux écosystèmes naturels que sont la savane et le lambeau forestier ; et
- de déterminer les indices d'amélioration des conditions socio-économiques des exploitants suite à l'afforestation avec *Acacia sp.*

Le site d'échantillonnage des sols était Ibi village, alors que les données socio-économiques ont été collectées outre à Ibi village, à Mbankana dans les cités implantées par le Projet d'Implantation des Fermiers de Kinshasa (PIFK) et au centre agroforestier de Mampu.

Différents logiciels statistiques ont été utilisés afin d'avoir une appréciation objective des résultats de terrain et de laboratoire ; il en a découlé les conclusions ci-après :

### ***Concernant l'apport des plantations d'Acacia sp dans l'amélioration de la fertilité des sols sableux du plateau des Bateke***

L'interprétation des résultats issus des différentes analyses a permis de dégager le fait qu'il est difficile à partir des analyses des sols au laboratoire, de trouver des différences majeures sous des couverts végétaux naturels entre eux, sous les *Acacia sp* de 5 ans entre eux et même sous tous les couverts végétaux pris ensemble. Néanmoins, il y a lieu de souligner certains indices marquant les effets de l'afforestation avec *Acacia sp* sur les sols sableux du plateau des Bateke :

Les résultats des analyses des échantillons des sols issus des horizons des profils pédologiques ont confirmé la nature sablonneuse des sols étudiés. Ils ont montré que, quel que soit le couvert végétal, les sols restent acides (pH moyen < 5.5), avec cependant une

acidité plus prononcée sous forêt naturelle. L'acidité des sols sous plantation d'*A. auriculiformis* évoluant plus vite vers celle de la forêt naturelle que sous *A. mangium*, il y a lieu de s'investir sur les deux espèces, étant donné que la production de leur biomasse et la coriacité de leurs feuilles sont différentes. Sur l'épaisseur des profils, les sols sous plantations d'*Acacia sp* de 5 ans présentent des caractéristiques intermédiaires entre la savane et la forêt naturelle, entre autre par l'extension de l'épaisseur de l'horizon sombre (A<sub>1</sub>) qui atteint 40 cm d'épaisseur contre 30 cm en savane, pendant que celui sous forêt mesure jusqu'à 60 cm.

L'étude a montré que les teneurs en phosphore différencient aux 30 premiers cm du sol, les deux *Acacia sp* de 5 ans de la savane ( $48.23 \pm 13.38$  ppm sous *Acacia sp* de 5 ans contre  $39.26 \pm 11.80$  ppm sous savane). Des macronutriments primaires, le potassium ( $< 20$  ppm) est le plus limitant, mais les quantités les plus élevées sont trouvées sous savane ( $16.98 \pm 11.60$  ppm contre  $9.14 \pm 5.55$  ppm sous *Acacia sp* de 5 ans et  $15.85 \pm 5.21$  ppm sous le lambeau forestier).

Ainsi, il y a lieu de considérer toute la question autour de la production et de la disponibilisation des grandes quantités de matière organique par rapport aux augmentations des rendements d'au moins 40 et 60 % pour le maïs et le manioc respectivement, obtenus après culture sur brulis après coupe de la forêt sur ce substrat sableux.

Si l'agriculture reste sur brûlis, les grandes quantités de cendre produite, améliore la balance en éléments fertilisants du sol, du moins pour les premières semaines, avant que le lessivage et le ruissellement n'interviennent suite aux fortes pluies de la saison culturale. Il faut y ajouter le rôle même de la matière organique sur les propriétés biologiques et physiques du sol. L'agroforesterie avec les espèces ligneuses à croissance rapide et à grande production de biomasse trouve alors toute sa justification car non seulement qu'elle constitue une source sûre de matière organique, mais elle permet aussi grâce à la litière produite, d'écourter le temps de la jachère à 5 - 8 ans au lieu de 10 à 15 ans.

***Pour ce qui est de la séquestration du carbone dans le sol comme service environnemental***

L'abondante litière produite par les plantations d'*Acacia sp* ne semble pas imprimer des modifications substantielles dans les quantités de carbone du sol. Il y a lieu de considérer un « priming effect » possible et logique, qui du reste va justifier la bonne croissance des arbres sur ces sols sableux et pauvres.

Comme pour les autres paramètres de fertilité des sols, il est difficile de trouver une différenciation nette entre les couverts végétaux concernés par l'étude sur base des analyses des échantillons des sols. Par ailleurs, la prise en compte du carbone du sol ou celui de la biomasse vivante ne sont pas les seuls services environnementaux à répertorier après plantation d'arbres dans cet écosystème savanicole marginale.

***En ce qui concerne les indices d'amélioration des conditions de vie des exploitants agroforestier***

La plantation d'espèces ligneuses au plateau des Bateke a conduit à l'émergence des communautés humaines multi-facettes. Dans les trois sites enquêtés, il y a des fermiers des différents niveaux de scolarité, allant des non alphabétisés aux universitaires ; à Mampu et à Mbankana, les plus anciens sites, la majorité des fermiers pratiquent l'agriculture dans la contrée depuis au moins 10 ans et ne projettent que des améliorations dans l'exercice de leur métier, ce qui justifie la prédominance des jachères améliorées avec *Acacia sp*, cette pratique étant la meilleure sur ces types de sol.

En plus des simples jachères améliorées, au moins 10 et 40 % des fermiers de Mampu et de Mbankana respectivement, ont planté des essences forestières dont le *Millettia laurentii* et *Maesopsis eminii*, pour une exploitation future du bois d'œuvre ; ceci constitue un autre indice de sédentarisation et de professionnalisation des fermiers concernés.

Cette étude a aussi mise en lumière le fait que l'agriculture qui était essentiellement vivrière ne représente plus la seule source de revenu pour les fermiers ; les cultures pérennes dont les arbres fruitiers et l'élevage (petit et gros bétail) s'installent progressivement avec l'ancienneté des fermiers dans les sites ; et renforce la diversification des sources de revenu des exploitants.

Un autre indice notable de la professionnalisation des exploitants agricoles est la prise de conscience et la pratique de l'épargne dans les structures bancaires, pouvant à la longue faciliter l'accès aux crédits financiers.

Ainsi, les analyses des sols pour le sol ne suffisent pas à l'appréciation de l'agroforesterie pratiquée au plateau des Bateke. La prise en compte des autres composantes de l'agro-écosystème dont la présence de la litière et autres débris végétaux disponibles après abattage des arbres de la jachère améliorée ; les autres activités rendues possibles grâce à la présence des arbres (dont les produits forestiers non ligneux, comme le miel, les champignons, et autres lianes comestibles qui n'ont pas été développées dans ce travail) ; le développement d'autres filières agro économiques grâce à la sédentarisation des exploitants agricoles ; la création d'un microclimat ; etc., sont autant d'avantages qui dépassent l'augmentation ou pas des teneurs en éléments fertilisants des sols comme unité de mesure de la valeur de cette intervention humaine.

En l'état actuel des recherches sur l'agroforesterie sur sol sableux du plateau des Bateke, 5 ans de jachère semblent être le minimum raisonnable pour l'amélioration de la fertilité des sols et des rendements des cultures.

À défaut de trouver des alternatives à l'augmentation de la vitesse de décomposition de la litière d'*Acacia sp* ou d'introduire une utilisation rationnelle d'engrais chimique pouvant déboucher à l'augmentation du nombre de mise en cultures sur le même espace et une décomposition graduelle de la litière avant la remise en jachère, l'incinération reste la pratique facile à la disponibilisation des nutriments de la litière d'*Acacia sp*.

La prise en compte par des décideurs politiques et la recherche scientifique des atouts dans l'utilisation du tiers sableux des terres arables du pays afin d'un encadrement plus efficace et plus efficaces, semble devoir être dans les priorités des politiques agraires dès maintenant.

Afin de trouver des alternatives au brûlis et ainsi augmenter le nombre des cycles et les rendements des cultures sur le même terrain, l'intégration de l'utilisation des engrais chimiques et autres techniques de gestion intégrées de la fertilité des sols, dont l'introduction des microorganismes spécialisés dans l'accélération de la vitesse de décomposition des feuilles coriaces d'*Acacia sp*, sont des pistes de recherche.

En outre, la fertilité des sols du plateau des Bateke étant liée à la matière organique, une attention particulière doit être donnée à cette dernière pour y tirer le plus de bénéfices. Il serait ainsi intéressant de pouvoir quantifier la litière produite par les *Acacia sp* aux différents âges, d'en suivre la vitesse de décomposition in et ex situ et d'évaluer la nature et la forme des éléments minéraux qui y seront libérés afin d'apporter plus de lumière à la problématique de l'incinération.





## Bibliographie

- Ahn M-Y., Zimmerman A.R., Comerford N.B., Sickman J.O. & Grunwald S., 2009. Carbon Mineralization and Labile Organic Carbon Pools in the Sandy Soils of a North Florida Watershed. *Ecosystems* 12, Springer. 672–685 pp
- Aikins S.H.M. & Afuakwa J.J., 2012. Effect of four different tillage practices on soil physical properties under cowpea. *Agriculture and biology journal of North America*, 3 (1). 17 - 24 pp
- Ali E-A.H., Ibrahim A.M. & Ismail A.A., 2013. Effect of *Acacia sp* on soil properties in the highlands of Saudi Arabia. *Life Science Journal* 10 (4). 100 - 105 pp
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. & Smith M., 1998. Crop evapotranspiration. FAO - Irrigation and drainage; paper 56. FAO, Rome
- Allison E.H. & Ellis F., 2001. The livelihoods approach and management of small-scale fisheries. *Marine Policy* 25; Elsevier. 377 - 388 pp
- Altieri M.A., 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*; Elsevier. 1 – 24 pp
- Amando T.J.C., Reinert D.J. & Rechert J.M., 2001. Soil quality of very fragile sandy soil from southern Brazil pp 564 - 568. In: D.E. Statt, R.H. Mohtar & G.C. Steinhardt (eds). *Sustaining the global farm. Selected papers from the 10<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Meeting*, West Lafayette. 1169 p
- Anderson J.M. & Ingram J.S.I., 1993. *Tropical soil biology and fertility: A Handbook of methods*. CABI International, Wallingford, Oxon, England. 240 p
- Anderson T.H. & Domsch K.H., 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 21 (4). Elsevier. 471 - 479 pp
- Angers D.A., Edwards L.M., Sanderson J.B. & Bissonnette N., 1999. Soil organic matter quality and aggregate stability under eight potato cropping sequences in a fine

sandy loam of Prince Edward Island. *Canadian Journal of Soil Science* 79. 411 - 417 pp

Anten N.P.R., Casado-Garcia R. & Nagashima H., 2005. Effects of Mechanical Stress and Plant Density on Mechanical Characteristics, Growth, and Lifetime Reproduction of Tobacco Plants. *The American naturalist* 166. 650 – 660 pp

Arrouays D., Balesdent J., Germon J.C., Jayet P.A., Soussana J.F. & Stengel P., 2002. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Rapport d'expertise collective, réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable. 334 p

Arrouays D., Feller C., Jolivet C., Saby N., Andreux F., Bernoux M. & Cerri C., 2003. Estimation de stocks de carbone organique des sols à différentes échelles d'espace et de temps. *Étude et Gestion des Sols* 10 (4). 347 - 355 pp

Asai H., Samson B.K., Stephan H.M., Songyikhangsuthor K., Homma K., Kiyono Y., Inoue Y., Shiraiwa T. & Horie T., 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in northern Laos 1. soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research* 111; Elsevier. 81 - 84 pp

Aynekulu E., Vagen T-G., Shephard K. & Winowiecki L., 2011. A protocol for modeling, measurement and monitoring soil carbon stocks in agricultural landscapes. Version 1.1. ICRAF, Nairobi. 19 p

Bader N.E. & Cheng W., 2007. Rhizosphere priming effect of *Populus fremontii* obscures the temperature sensitivity of soil organic carbon respiration. *Journal of Soil Biology & Biochemistry* 39; Elsevier. 600 - 606 pp

Baert G., Van Ranst E., Ngongo M.L., Kasongo E.L., Verdoodt A., Mujinya B.B. & Mukalay J.M., 2009. Guide des sols en R.D. Congo. Tome II : Description et données physico-chimiques de profils types. Imprimerie Salama Don-Bosco, Lubumbashi, R.D. Congo. 321pp

Baert, G., 1995. Properties and chemical management aspects of soils in different parent rocks in the Lower Congo. Ph.D. Thesis in Earth Sciences, Ghent University, Belgium

- Baize D., 2000. Guide des analyses en pédologie. 2<sup>ème</sup> édition revue et augmentée. Editions Quae. 257 p
- Bakele-Tesemma A., 2007. Profitable agroforestry innovation for Eastern Africa: Experiences from 10 agroclimatic zones of Ethiopia, India, Kenya, Tanzania and Uganda. World Agroforestry Center (ICRAF), Eastern Africa region. 358p
- Baker D.G., Ruscky D.L. & Skaggs R.H., 1993. Agriculture and the recent “Benign climate” in Minesota. American Meteorological Society Bulletin (74). 1035 - 1040 pp
- Ball-Coelho B.R., Roy R.C. & Swanton C.J., 2000. Tillage and cover crop impacts on aggregation of a sandy soil. Canadian journal of soil science 80 (2). 363 – 366 pp
- Banerjee B., Aggarwal P. K., Pathak H., Singh A. K. & Chaudhary A., 2006. Dynamics of organic carbon and microbial biomass in alluvial soil with tillage and amendments in rice-wheat systems. Environmental Monitoring and Assessment 119. Springer. 173 - 189pp
- Bardy M., Fritsch E., Derenne S. Allard T., do Nascimento N.R. & Bueno G.T., 2008. Micromorphology and spectroscopic characteristics of organic matter in waterlogged podzols of the upper Amazon basin. Geoderma 145 (3); Elsevier. 222 - 230 pp
- Barré P., Eglin T., Christensen B. T., Ciais P., Houot S., Kätterer T., van Oort F., Peylin P., Poulton P. R., Romanenkov V. & Chenu C., 2010. Quantifying and isolating stable soil organic carbon using long-term bare fallow experiments. Biogeosciences, 7; published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. 3839 – 3850 pp
- Barthès B., Azontonde A., Blanchart E., Girardin C., Villenave C., Lesaint S., Oliver R. & Feller C., 2004. Effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on soil carbon in an Ultisol under maize cultivation in southern Benin. Soil Use and Management 20; DOI: 10.1079/SUM2004235. 231 - 239 pp
- Batjes N.H., 1999. Management options for reducing CO<sub>2</sub> concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. Report 410-200-031, ISRIC; Wageningen. 114 p

- Batjes N.H. & Sombroek W.G., 1997. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Global Change Biology* (3). 161 – 173 pp
- Bauhus J., Khanna P.K., Hopmans P. & Weston C., 2002. Is soil carbon a useful indicator of sustainable forest soil management? a case study from native eucalypt forests of south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management* 171. 59 - 74
- Bayer C., Martin-Neto L., Mielniczuk J. & Ceretta C.A., 2000. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil & Tillage Research* 53 ; Elsevier. 95 - 104 pp
- Bekunda M.A., Bationo A. & Ssali H., 1997. Soil fertility management in Africa : A review of selected research trials. 63 -79 pp. In: R. J. Buresh, P. A. Sanchez, and F. Calhoun (eds.). *Replenishing Soil fertility in Africa*. SSSA Special publication 51. 251 p
- Bellefontaine R., Petit S., Pain-Orcet M., Deleporte P. & Bertault J. 2002. *Trees Outside Forests: Towards Better Awareness*. FAO., Rome. 216 pp
- Bernhard-Reversat F., Diangana D. & Tsatsa M., 1993. Biomasse, minéralomasse et productivité en plantation d'*Acacia mangium* et *A. auriculiformis* au Congo. *Bois et forêts des tropiques* 238 ; 4<sup>e</sup> trimestre. 35 - 44 pp
- Biloso M. A. 2008. Valorisation des produits forestiers non ligneux des plateaux de Batéké en périphérie de Kinshasa (RD Congo), thèse de doctorat en économie agricole et de l'environnement, EIB, Université libre de Bruxelles. 252 pp
- Blagodatskaya E. & Kuzyakov Y., 2008. Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review. *Journal of Biology and Fertility of Soils* 45 (2); Springer. 115 - 131 pp
- Brady N.C. & Weil R.R., 2008. *The Nature and Properties of Soils*. 14<sup>e</sup> ed. Upper Saddle River, N.J. Pearson-Prentice Hall. 965 pp
- Breitbart R., 1988. Soil testing procedures for soil survey Part 1: Theoretical background and modifications of standard procedures. *Soil Mapping and Advisory Services Botswana*. FAO Gaborone. 53 p

- Bultot F., 1950. Carte des régions climatiques du Congo belge, I.N.E.A.C., Bruxelles. 15p
- Cadavid L.F., El-Sharkawy M.A., Acosta A. & Sanchez T., 1998. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. *Field Crops Research* 57; Elsevier. 45 – 56 pp
- Callesen I., Liski J., Raulund-Rasmussen K., Olsson M. T., Tau-Strand L., Vesterdal L. & Westman C.J., 2003. Soil carbon stores in Nordic well-drained forest soils: relationships with climate and texture class. *Global Change Biology* (9). 358 - 370 pp
- Ceballos A., Martinez-Fernandez J., Santosw F. & Alonso P., 2002. Soil-water behavior of sandy soils under semi-arid conditions in the Duero Basin (Spain). *Journal of Arid Environments* 51; Elsevier. 501–519 pp
- Chapin III F.S., Matson P.A. & Mooney H.A., 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer-Verlag New York, Inc. 398 p
- Chen D., Gao G. , Xu C-Y., Guo J. & Ren G., 2005. Comparison of the Thornthwaite method and pan data with the standard Penman-Monteith estimates of reference evapotranspiration in China. *Climate research* 28. 123 - 132 pp
- Cleugh H.A., Miller J.M. & Böhm M., 1998. Direct mechanical effects of wind on crops. *Agroforestry Systems* 41(1) ; Kluwer Academic Publishers. 85 – 112 pp
- Cleugh H.A., 1998. Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. *Agroforestry Systems*41 ; Kluwer Academic Publishers. 55 – 84 pp
- CodeCongo-Sicinco. 1963. Rapport intérimaire de la phase B de la prospection systématique des sols situés à l’Ouest de la rivière Kwango. C.E.E., Kinshasa. 59 p
- Collins H.P., Elliott E.T., Paustian K., Bundy L.G., Dick W.A., Huggins D.R., Smucker A.J.M. & Paul E.A., 2000. Soil carbon pools and fluxes in long-term corn belt Agro ecosystems. *Soil Biology & Biochemistry* 32; Elsevier. 157 – 168 pp
- Corsi S., Theodor Friedrich T., Amir Kassam A., Michele Pisante M. & Sà J-M., 2012. Soil Organic Carbon Accumulation and Greenhouse Gas Emission Reductions from Conservation Agriculture: A literature review. *Integrated Crop Management* 16; FAO, Rome. 89 p

Crabbe M., 1980. Le climat de Kinshasa. AGCD, Bruxelles. 120 p

Cuadra M. & Björklund J., 2007. Assessment of economic and ecological carrying capacity of agricultural crops in Nicaragua. *Ecological Indicators* 7; Elsevier. 133- 149 pp

Davidson E.A., Trumbore S.E. & Amundson R., 2000. Biogeochemistry: Soil warming and organic carbon content. *Nature* 408. 789 - 790 pp

de Vos B., Lettens S., Muys B. & Deckers J.A., 2007. Walkley-Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. *Journal of Soil Use and Management*, 23. doi: 10.1111/j.1475-2743.2007.00084.x. 221 - 229 pp

Deheuvels 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. Thèse de doctorat en sciences agronomiques ; École Doctorale Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydro sciences, Environnement ; Montpellier. 152 p

Dirocco T.L., Ramage B.S., Evans S.G. & Potts M.D., 2014. Accountable Accounting: Carbon Based Management on Marginal Lands. doi:10.3390/f5040847; *Forests* 5. 847 - 861 pp

Dixon J., Gulliver A. & Gibbon D., 2001. Systèmes d'exploitation agricole et pauvreté: Améliorer les moyens d'existence des agriculteurs dans un monde changeant. FAO & World Bank, Rome, Italy & Washington, DC, USA. 458 p

Dixon R.K., Winjum J.K., Andrasko K.J., Lee J.J. & Schroeder P. E., 1994. Integrated Land-Use Systems: Assessment of Promising Agroforest and Alternative Land-Use Practices to Enhance Carbon Conservation and Sequestration. *Climate Change* 27. 71 - 92 pp

Doaré O., Moulia B. & de Langre E., 2004. Effect of Plant Interaction on Wind-Induced Crop Motion. *Journal of Biomechanical Engineering* 126. 146 – 151 pp

Dolman H., Nabuurs G.J., Kuikman P., Vleeshouwers L., Verhagen J., Kruijt B. & Brinkman S., 2001. Terrestrial carbon sinks and the Kyoto protocol: the scientific issues Report no. 410200068. 40 p

DSCR 2, 2011. Document de la stratégie de croissance et de réduction de la pauvreté de seconde génération (DSCR 2), 2011. Rapport du FMI No. 13/226 / Ministère du Plan. 127 p

Duguma B., Gockowski J. & Bakala J., 2001. Smallholder Cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agroforestry Systems* 51; Kluwer Academic Publishers. 177 - 188 pp

Dukes M.D. & Scholberg J.M., 2005. Soil moisture controlled subsurface drip irrigation on sandy soils. *Applied Engineering in Agriculture* 21(1), American Society of Agricultural Engineers. 89 - 101 pp

El-Hady O.A., Ghaly N.F. & Wanas Sh.E., 2008. Hydrophobic-Hydrophilic Combination for Sandy Soil Conditioning and Plantation 1-Growth Response and Water and Fertilizers use Efficiency by Casuarina Trees. *American-Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Sciences*, 4 (3); 332-342 pp

Ellis F. & Freeman H.A., 2004. Rural Livelihoods and Poverty Reduction Strategies in Four African Countries. *The Journal of Development Studies* 40 (4); Taylor & Francis. 1 - 30 pp

Ellis F., 2000. Rural Livelihoods and Diversity in Developing Countries. Oxford University Press; Oxford, New York. 273 pp

Ellmer F., Peschke H., Köhn W., Chmielewski F-M. & Baumcker M., 2000. Tillage and fertilizing effects on sandy soils. Review and selected results of long term experiments at Humboldt-University of Berlin. 267-272 pp

El-Nesr M.N., Ismail S.M., Zien El-Abedin T.K. & Wassif M.A., 2014. Micro Irrigation in Egyptian Sandy Soil: Hydraulic Barrier Technique. 55 - 67 pp; in Goyal M.R. (eds). Sustainable practices in surface and subsurface micro irrigation. *Research Advances in Sustainable Micro Irrigation* 2; Apple Academic Press; Toronto, New Jersey. 392 p

Esteban G. J. & Robert B. J., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* Volume 10 (2); by the Ecological Society of America. 423–436 pp



- Evans J. & Condon J., 2009. New fertiliser options for managing phosphorus for organic and low-input farming systems. *Crop & Pasture Science* (60); CSIRO Publishing. 152 - 162 pp
- Faithfull N.T., 2002. *Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook*. CABI publishing Wallingford UK. 206 p
- Fang X., Wang Q., Zhou W., Zhao W., Wei Y., Niu L. & Dai L., 2014. Land use effects on soil organic carbon, microbial biomass and microbial activity in Changbai Mountains of Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 24(3). 297 - 306 pp
- FAO, 2002. La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. 96<sup>e</sup> Rapport sur les ressources en sols du monde. 59 p
- FAO, 2005. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food and production. FAO, Rome. 95 p
- FAO, 2006. Guidelines for soil description. FAO, Rome. 109 p
- FAO, 2007a. Management of tropical sandy soils for sustainable agriculture. A holistic approach for sustainable development of problem soils in the tropics. 536 p
- FAO, 2007b. State of Food and Agriculture Report. FAO Economic and Social Development Department, Corporate Document Repository. 240 p
- FAO, 2011. Produire plus avec moins : Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne. Rome. 102 p
- Fares A. & Alva A.K., 2000. Soil Water Components Based on Capacitance Probes in a Sandy Soil. *Soil Science Society of America* 64. 311 - 318 pp
- Fasinmirin J.T. & Reichert J.M., 2011. Conservation tillage for cassava (*Manihot esculenta* crantz) production in the tropics. *Soil & Tillage Research* 113. Elsevier. 1-10 pp
- Fließbach A., Oberholzer H-R., Gunst L. & Mäder P., 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118 ; Elsevier. 273 - 284 pp

- Fontaine S. & Barot S., 2005. Size and functional diversity of microbe populations control plant persistence and long-term soil carbon accumulation. *Ecology Letters* 8; Blackwell Publishing. 13 p
- Fontaine S., Bardoux G., Abbadie L. & Mariotti A., 2004b. Carbon input to soil may decrease soil carbon content. *Ecology Letters* 7; Blackwell Publishing. 314 - 320 pp
- Fontaine S., Bardoux G., Benest D., Verdier B., Mariotti A. & Abbadie L., 2004a. Mechanisms of the Priming Effect in a Savannah Soil Amended with Cellulose. *Soil Science Society of America Journal* 68 (1). 125 - 131 pp
- Fontaine S., Barot S., Barré P., Bdioui N., Mary B. & Rumpel C., 2007. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature* 450. 277 - 280 pp
- Fontaine S., Mariotti A. & Abbadie L., 2003. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? *Soil Biology & Biochemistry* 35; Elsevier. 837 – 843 pp
- Franzel S., 1999. Socioeconomic factors affecting the adoption potential of improved tree fallows in Africa. *Agroforestry Systems* 47; Kluwer Academic Publishers. 305 - 321 pp
- Franzel S., Denning G.L., Lillesø J.P.B. & Mercado A.R., 2004. Scaling up the impact of agroforestry: Lessons from three sites in Africa and Asia. *Agroforestry Systems* 61; Kluwer Academic Publishers. 329 - 344 pp
- Franzese P.P., Cavalett O., Häyhä T. & D'Angelo S., 2013. Integrated Environmental Assessment of Agricultural and Farming Production Systems in the Toledo River Basin (Brazil). UNESCO; Paris, France. 71 p
- Friedel J.K., Munch J.C. & Fischer W.R., 1996. Soil microbial properties and the assessment of available soil organic matter in a haplic Luvisol after several years of different cultivation and crop rotation. *Soil Biology and Biochemistry* 28 (4 - 5) ; Elsevier. 479 - 488.

- Füssel H.-M., 2007. Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. *Integrated Research System for Sustainability Science* (2); Springer. 265 – 275 pp
- Gachene C.K.K. & Kimaru G., 2003. Soil fertility and land productivity: A guide for extension workers in the eastern Africa region. Regional Land Management Unit (RELMA) technical Handbook Series 30. Nairobi, Kenya. 164 p
- Gardner C.M.K., Laryea K.B. & Unger P.W., 1999. Soil physical constraints to plant growth and crop production. Land and Water Development Division, FAO, Rome. 106 p
- Garrity D.P., 2004. Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals. *Agroforestry Systems* 61; Kluwer Academic Publishers. 5 - 17 pp
- Garrity D.P., Amoroso V.B., Koffa S., Catacutan D., Buenavista G., Fay P. & Dar W.D., 2003. Landcare on the poverty-protection interface in an Asian watershed. 195 - 210 pp. In: Campbell B.M. and Sayer J.A. (eds), *Integrated Natural Resource Management: Linking Productivity, the Environment, and Development*. CABI Publishing. 315 p
- GIEC, 2000. Résumé à l'intention des décideurs : L'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie. Rapport spécial du GIEC sur l'évolution du climat. 30 p
- GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat GIEC, Genève, Suisse. 103 p
- Gleixner G., 2013. Soil organic matter dynamics: a biological perspective derived from the use of compound-specific isotopes studies. *Ecological research* 28 (5) ; Springer. 683 - 695 pp
- Gong L., Xu C-Y, Chen D., Halldin S. & Chen Y.D., 2006. Sensitivity of the Penman–Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. *Journal of Hydrology* 329; Elsevier. 620 - 629 pp

Gottret, M.A.V.N. & White D., 2003. Assessing the impact of integrated natural resource management: challenges and experiences. 227 – 242 pp. in: Campbell B.M. and Sayer J., 2003. Integrated Natural Resource Management: Linking Productivity, the Environment and Development. CABI Publishing. 315 p

Grant J.C., Nichols J.D., Yao R.L., Smith R.G.B., Brennan P.D. & Vanclay J.K., 2012. Depth distribution of roots of *Eucalyptus dunnii* and *Corymbia citriodora subsp. variegata* in different soil conditions. Forest Ecology and Management 269; Elsevier. 249 - 258 pp

Guiller K.E., Cádiz J., Ehaloitis C., Sácala W.D. & Mafongoya P.L., 1997, Building soil nitrogen capital in Africa. 151 - 192 pp. In: R. J. Buresh, P. A. Sanchez, and F. Calhoun (eds.). Replenishing Soil fertility in Africa. SSSA Special publication 51. 251 p.

Haggblade S., Hazell P.B.R. & Reardon T. (eds.), 2007. Transforming the Rural Nonfarm Economy: Opportunities and Threats in the Developing World. IFPRI; The Johns Hopkins University Press ; Baltimore. 490 p

Hamer U., Marschner B., Brodowski S. & Amelung W., 2004. Interactive priming of black carbon and glucose mineralization. Organic Geochemistry 35; Elsevier. 823 - 830 pp

Hartemink A.E., 2003. Soil Fertility Decline in the Tropics: With Case Studies on Plantations. CABI publishing.360 p

Hartemink A.E., 2006. Assessing soil fertility decline in the tropics using soil chemical data. Advances in Agronomy 89; Elsevier. 179 – 225 pp

Hauser S., Nolte C. & Carsky R.J., 2006. What role can planted fallows play in the humid and sub-humid zone of West and Central Africa. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 297-318 pp

Hernández D.L. & Hobbie S.E., 2010. The effects of substrate composition, quantity, and diversity on microbial activity. Plant Soil 335; Springer. 397 - 411 pp

Heisler G.M. and Dewalle D.R., 1988. Effects of Windbreak Structure on Wind Flow. Agriculture, Ecosystems and Environment (22-23); Elsevier. 41 - 69 pp

Houghton R.A., 2004. Effects of Land-Use Change on the Carbon Balance of Terrestrial Ecosystems. *Ecosystems and Land Use Change; Geophysical Monograph* (153); The American Geophysical Union

Huxley P.A. & Westley S.B. (Eds), 1989. Multipurpose trees: selection and testing for agroforestry Published by the International Council for Research in Agroforestry (ICRAF) Nairobi, Kenya. 105 p

Ikerra S.T., Semu E. & Mrema J., 2011. The “secret” behind the better performance of *Tithonia diversifolia* on P availability as compared to other green manures. pp 235 – 243. In A. Bationo, B. Waswa, J.M. Okeyo, F. Maina, & M.J. Kihara (eds.). *Innovations as Key to the Green Revolution in Africa: Exploring the Scientific Facts*. Volume 1. Springer. 1429 p

Inthavonga T., Tsuboc M. & Fukai S., 2011. A water balance model for characterization of length of growing period and water stress development for rainfed lowland rice. *Field Crops Research* 121; Elsevier. 291 - 301 pp

IPCC, 2007. *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Solomon S., Quin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. and Miller H.L. (Eds)]. Cambridge University Press. 996 p.

IUSS Working Group WRB, 2014. *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome Italie. 191 p.

Jackson, R.B., Canadell J., Ehleringer J.R., Mooney H.A., Sala O.E. & Schulze E.D., 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108; springer. 389 - 411 pp

Janik L. J., Skjemstad J. O., Shepherd K. D. & Spouncer L. R., 2007. The prediction of soil carbon fractions using mid-infrared-partial least square analysis. *Australian Journal of Soil Research* 45 ; CSIRO publishing. 73 - 81 pp

Jenkinson D.S., Poulton P.R. & Bryant C., 2008: The turnover of organic carbon in subsoils. Part 1. Natural and bomb radiocarbon in soil profiles from the Rothamsted long-term field experiments. *European Journal of Soil Science* 59. 391 – 399 pp

- Jenkinson D.S. & Ladd J.N., 1981. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. p. 415-471. In Paul E.A. & Ladd J.N. (eds.), *Soil Biochemistry*, Volume 5. Marcel Dekker, New York
- Jiménez J.J., Lal R., Russo R.O. & Leblanc H.A., 2008. The soil organic carbon in particle-size separates under different regrowth forest stands of north eastern Costa Rica. *Ecological engineering* 34; Elsevier. 300 - 310 pp
- Jiofack T., Guedje N.M., Tchoundjeu Z., Fokunang C., Lejoly J. & Kemeuze V., 2013. Agroforestry typology of some cocoa based agroforests in the Mbam and Inoubou division: The importance for local population livelihoods. *Journal of Ecology and the Natural Environment*; Vol. 5(12), DOI: 10.5897/JENE12.085. 378-386 pp
- Jobbagy E.G. & Jackson R.B., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10 (2); Ecological Society of America. 423 - 436 pp
- Jose S., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* (76); Springer. 1 - 10 pp
- Juo A.S.R. & Franzluebbers K. 2003. *Tropics soils properties and management for sustainable agriculture*. Oxford University Press. 281 p
- Kalaba K.F., Chirwa P., Syampungani S. & Ajayi C.O., 2010. Contribution of agroforestry to biodiversity and livelihoods improvement in rural communities of Southern African regions. 461 – 476 pp. in Tschardt T., Leuschner C., Veldkamp E., Faust H., Guhardja E., Bidin A. (Eds.), *Tropical Rainforests and Agroforests under Global Change*, Environmental Science and Engineering, Springer. 519 p
- Kaonga M.L., 2012. *Agroforestry for Biodiversity and Ecosystem Services – Science and Practice*. InTech Janeza Trdine 9, Rijeka, Croatia. 164 p
- Kasongo K., 2010. Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau des Batéké (RD Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques industriels locaux. Thèse de doctorat en sciences de la terre ; Université de Gant. 400 p

Kasongo R.K., Van Ranst E., Verdoodt A., Kanyankagote P. & Baert G., 2009. Impact of *Acacia auriculiformis* on the chemical fertility of sandy soils on the Bateke plateau, D.R. Congo. *Soil Use and Management* (25). 21 - 27 pp

Kasongo, R. K., Van Ranst E., Kanyankagote P, Verdoodt A. & Baert G. 2012. Réponse du soja (*Glycine max*) à l'application de phosphate de Kanzi et de dolomie rose de Kimpese sur sol sableux en RD Congo. *Canadian Journal of Soil Science* (92). 905 – 916 pp

Keenan R., Bugg A.L. & Ainslie H. (eds), 2000. Management Options for Carbon Sequestration in Forest, Agricultural and Rangeland Ecosystems. Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting. Communications Office CRC for Greenhouse Accounting.; Commonwealth of Australia. 136 p

Kipkoech A., Hezron Mogaka H. & okeyo-Owuor JB, (Eds) 2011. Towards implementation of payments for environmental services in Eastern and Central africa: A collation linked to ASARECA funded activities. BoD Publishing. 393 p

Kolář L., Kužel S., Horáček J., Čechová V., Borová-Batt J. & Peterka J., 2009. Labile fractions of soil organic matter, their quantity and quality. *Plant Soil Environment* 55, (6). 245 - 251 pp

Kolář L., Vaněk V., Kužel S., Peterka J., Borová-Batt J. & Pezlarová J., 2011. Relationships between quality and quantity of soil labile fraction of the soil carbon in Cambisols after liming during a 5-year period. *Plant Soil Environment* 57 (5). 193 - 200 pp

Köppen W. 1931. *Grundriss der Klimakunde. Handbuch.* 2<sup>d</sup> eds., Berlin, Walter de Gruyter. 388 pp

Krishan G., Srivastav S.K., Kumar S., Saha S.K. & Dadhwal V.K., 2009. Quantifying the underestimation of soil organic carbon by the Walkley and Black technique- examples from Himalayan and Central Indian Soils. *Current Science* 96 (8). 1133 - 1136 pp

Kruger C., Yorgey G., Chen S., Collins H., Feise C., Frear C., Granatstein D., Higgins S., Huggins D., MacConnell C., Painter K. & Stöckle C., 2010. Climate friendly

farming: Improving the carbone footprint of agriculture in the Pacific Northwest. CSANR research report 2010-001. Washington State University.

Kuzyakova Y.& Bol R., 2006. Sources and mechanisms of priming effect induced in two grassland soils amended with slurry and sugar. *Soil Biology & Biochemistry* 38; Elsevier. 747 - 758 pp

Lagomarsino A., Moscatelli M.C., Di Tizio A., Mancinelli R., Grego S. & Marinari S., 2009. Soil biochemical indicators as a tool to assess the short-term impact of agricultural management on changes in organic C in a Mediterranean environment. *Ecological indicators* 9, Elsevier. doi:10.1016/j.ecolind.2008.07.003. 518 - 527 pp

Lal R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. doi:10.1016/j.Geoderma 123 ; Elsevier. 1 - 22 pp

Lal R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220; Elsevier. 242 - 258 pp

Lehmann J., Kinyangi J. & Solomon D., 2007. Organic matter stabilization in soil microaggregates: implications from spatial heterogeneity of organic carbon contents and carbon forms. *Biogeochemistry* 85, Springer. 45 – 57 pp

Lorenz K. & Lal R., 2005. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. *Advances in Agronomy* 88 ; Elsevier. 35 – 66 pp

Lubini A., Lisowski S. & Lejoly J., 1988. Étude de la végétation de la région de Mbankana (Kinshasa, République Démocratique du Congo). *Fondation Hans Seidel*. 47 p

Madari B.E., Reeves III J.B., Machado P.L.O.A., Guimarães C.M., Torres E. & McCarty G.W., 2006. Mid - and near-infrared spectroscopic assessment of soil compositional parameters and structural indices in two Ferralsols. doi:10.1016/j.Geoderma 136; Elsevier. 245 - 259 pp

Madari B.E., Reeves III J.B., Souza D.M., Machado P.L.O.A., & Benites V.M., 2010. IR assessment of C in tropical soils. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia. 4 p



- Mafongoya P.L., Bationo, Kihara A.J. & Waswa B.S., 2006. Appropriate technologies to replenish soil fertility in southern Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76; Springer. 137 - 151 pp
- Magne A.N., Nonga N.E., Yemefack M. & Robiglio V., 2014. Profitability and implications of cocoa intensification on carbon emissions in Southern Cameroun. *Agroforest System* ; Springer. 10 p
- Maldague M., 2004. *Traité de gestion de l'environnement tropical. Tome 1. Précis de développement intégré des régions tropicales. Note de cours ERAIFT.* 347 p
- Mapfumo P. & Mtambanengwe F., 2004. Base nutrient dynamics and productivity of sandy soils under maize-pigeon pea rotational systems in Zimbabwe. 225 - 238 pp. In: Bationo, A, (ed.) *Managing Nutrient Cycles to Sustain Soil Fertility in Sub-Saharan Africa.* Academy Science Publishers in association with the Tropical Soil Biology and Fertility Institute of CIAT. 608 p
- Maraseni T.N.& Pandey S.S., 2014. Can vegetation types work as an indicator of soil organic carbon? An insight from native vegetations in Nepal. *Ecological Indicators* 46, Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.038>; 315 - 322 pp
- Marland G , West T. O., Schlamadinger B. & Canella L., 2003. *Managing soil organic carbon in agriculture: the net Effect on greenhouse gas emissions.* Blackwell Munksgaard, UK. 613 - 621 pp
- Marshall T. J., Holmes J. W., & Rose C. W., 1996. *Soil Physics.* Third edition. Cambridge University press; UK. 453 p
- Masse D., 2007. *Changements d'usage des terres dans les agro-systèmes d'Afrique sub-saharienne. Propriétés des sols et dynamique des matières organiques. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches.* Institut National Polytechnique de Toulouse ; École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse. 82 p
- Maquere V., 2008. *Dynamics of mineral elements under a fast-growing eucalyptus plantation in Brazil. Implications for soil sustainability.* PhD thesis in forest sciences. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech). 375 p

- Mboukou-Kimbatsa I.M.C., Bernhard-Reversat F., & Loumeto J.J., 1998. Change in soil macro-fauna and vegetation when fast-growing trees are planted on savanna soils. *Forest Ecology and Management* 110. Elsevier. 1 – 12 pp
- McCarty G.W., Reeves III J.B., Yost R., Paul C., Doraiswamy P.C. & Doumbia M., 2010. Evaluation of methods for measuring soil organic carbon in West African soils. *African Journal of Agricultural Research* 5(16). 2169 - 2177 pp
- McKenzie D., 2010. Carbon Sequestration under Pasture in Southern Australia. Soil Carbon Report, Dairy Australia. 42 p
- McNeely J.A. & Schroth G., 2006. Agroforestry and biodiversity conservation – traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodiversity and Conservation* 15; Springer. 549 - 554 pp
- Mehlich A., 1984. Mehlich-3 soil test extractant. A modification of mehlich -2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15 (12) ; Taylor & Francis. 1409 – 1416 pp
- Mlambo D., Nyathi P., & Mapaure I., 2005. Influence of *Colophospermum mopane* on surface soil properties and understorey vegetation in a southern African savanna. *Forest Ecology and Management* 212. Elsevier. 394 - 404 pp
- Montagnini F. & Nair P.K.R. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforest systems. *Agroforestry Systems* 07 (61); Kluwer Academic. 281 - 295 pp
- Moreno-Calles A., Casas A., Blancas J., Torres I., Masera O., Caballero J., Garcia-Barrios L., Pérez-Negron E. & Rangel-Landa S., 2010. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacaín Valley, Central Mexico. *Agroforest Syst.*; Springer. 17 p
- Morgan M. F., 1941. Chemical soil diagnosis by the universal soil testing system. [New Haven] Connecticut Agricultural Experiment Station ; Bulletin 450. A Revision of Bulletin 392. 579 – 626 pp
- Morin W.J. & Todor P.C., 1975. Laterite and lateritic soils and other problem soils of the tropics. Volume II. USAID/DNER/Lyon. 96 p

- Mosquera-Losada M.R., Moreno G., Pardini A., McAdam J.H., Papanastasis V., Burgess P.J., Lamersdorf N., Castro M., Liagre F. & Rigueiro-Rodríguez A., 2012. Past, Present and Future of Agroforestry Systems in Europe. 285 - 312 pp in. Nair P.K.R & Garrity D. (eds.), Agroforestry - The Future of Global Land Use, Advances in Agroforestry 9, Springer. 541 p
- Mullins C.E. & Panayiotopoulos K.P., 1984. The strength of unsaturated mixtures of sand and kaolin and the concept of effective stress. Journal of soil science 35 (3). 459 - 468 pp
- Murthy I.K., Gupta M., Tomar S., Munsri M., Tiwari R., Hegde G.T. & Ravindranath N.H. 2013. Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems in India. Journal of Earth Science & Climatic Change.4 (1). doi:10.4172/2157-7617.1000131. 7 p
- Nadezhdina N. & Cermák J., 2003. Instrumental methods for studies of structure and function of root systems of large trees. A review article: field techniques. Journal of Experimental Botany 54 (387). 1511 – 1521 pp.
- N’Goran A., 2005. Amélioration de la fertilité chimique des sables quaternaires en Côte d’Ivoire dans l’association cocotier / *Acacia* spp. Thèse de doctorat en Bio – ingénierie ; Université de Gant, Faculté des sciences en Bio – ingénierie. 193 P
- N’Goran K.E., Kassin K.E., Zohouri G.P. & Yoro G.R., 2012. Gestion améliorée de la jachère dans le système de culture à base d’igname par l’utilisation de légumineuse de couverture. Journal of Applied Biosciences 52. 3716 - 3724 pp
- Nair P. K. R. & Garrity D., 2012. Agroforestry: The future of global land use. Advances in agroforstry 9. Springer. 541 p
- Nair P.K.R., Kumar B.M.& Nair V.D., 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. Journal of Plant Nutrition & Soil Sciences 172. 10 - 23 pp
- Neil C., Melillo J.M., Seudler P.A. & Cerrl C.C., 1997. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. Ecological Applications 7, 1216 - 1225 pp

- Ngongo M. L., Van Ranst E., Baert G., Kasongo E. L., Verdoodt A., Mujinya B. B., & Mukalay J. M. 2009. Guide des sols en R.D. Congo. Tome I: Étude et gestion. Imprimerie Salama Don-Bosco, Lubumbashi, R.D. Congo. 262 pp
- Nieuwolt S., 1977. Tropical Climatology. An Introduction to the Climates of the low latitudes, John Wiley & Sons, London. 256p
- Njaimwe A.Ng., 2010. Tillage and crop rotation impacts on soil quality parameters and maize yield in zanyokwe irrigation scheme, South Africa. PhD thesis in soil sciences. Department of Agronomy, University of Fort Hare, South Africa. 188 p
- Nsombo M.B., 2005. Utilisation actuelle des terres dans le Rayon du centre d'appui au Développement Intégré de Mbankana au Plateau des Bateke. Mémoire de DESS. 71 p
- Nsombo M.B., Timothy S.T., Kyotalimye M. & Waithaka M., 2013. East African Agriculture and Climate Change: A comprehensive analysis \_ Democratic Republic of Congo. 89 – 119 pp. In, Waithaka M., Nelson G.C., Timothy S.T. & Kyotalimye M. (eds.). East African Agriculture and Climate Change: A Comprehensive Analysis. IFPRI, Washington DC ; USA. 402 p.
- Obatulo, C.R., Fasina A.B. & Olaiya A.O., 2001. Effect of climatic changes on cocoa production in Nigeria, In Tenya J.S., Nampala P., Tusiime G. et Osinu M., (Eds). African Crop Science Conference Proceedings 5 (2). 957 – 961 pp
- Oberson A., Bünemann E.K., Friesen D.F., Rao I.M., Smithson P.C., Turne B.L., & Frossard E., 2006. Improving Phosphorus Fertility in Tropical Soils through Biological Interventions. 531 – 546 pp. in Uphoff N., Ball A.S., Fernandes E., Herren H., Husson O., Laing M., Palm C., Pretty J., Sanchez P., Sanginga N., & Thies J. (eds.) Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. CRC press, Taylor & Francis Group; Florida. 784 p
- Ogle S.M., Breidt F.J., & Paustian K., 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. Biogeochemistry 72. Springer. 87 - 121pp
- Okalebo J. R., Gathua K. W. & Woomer P. L., 2002. Laboratory methods of soil and plant analysis: A working Manual 2<sup>nd</sup> edition. TSBT-CIAT and SACRED Africa, Nairobi, Kenya. 128 p

- Okalebo J.R. & Woomer P.L., 2003, Organic Resources for Integrated Nutrient Management in Western Kenya pp 34-42. In: Organic Resources Management in Kenya, Perspectives and Guidelines, Savala C.E.N., Omare M.N. & Woomer P.L. (Eds.). Forum for Organic Resource Management and Agricultural Technologies, Nairobi, Kenya. 184 p
- Ouattara B., Ouattara K., Serpantié G., Mando A., Sédogo M.P., & Bationo A., 2006. Intensity cultivation induced effects on soil organic carbon dynamic in the western cotton area of Burkina Faso. *Nutrient Cycling in Agro ecosystems*, Volume 76 (2-3). 331-339 pp
- Palm C.A., Gahengeo C.N., Delve R.J., Cadish G. & Giller K.E., 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: Application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystems and environment* 83. 27 - 42 pp
- Panagos P., Hiederer R., Van Liedekerke M. & Bampa F., 2013. Estimating soil organic carbon in Europe based on data collected through an European network. *Ecological Indicators* 24; Elsevier. 439 - 450 pp
- Pansu M., 2005. Chimie du sol et cycle du carbone et de l'azote. Doctorat en Biologie Intégrative de l'Université Montpellier II ; Spécialité: Biologie Intégrative ; Procédure de Validation des Acquis de l'Expérience. 227 p
- Paustian K., Six J., Elliott E.T. & Hunt H.W., 2000. Management options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry* 48; Kluwer Academic Publisher. 147 – 163 pp
- Pauwels L., 1993 ; Nzayilu N'ti. Guide des arbres et arbustes de la région de Kinshasa – Brazzaville. Jardin Botanique national de Belgique. 495 p
- Pender J., Place F. & Ehui S. (eds), 2006. Strategies for Sustainable Land Management in the East African Highlands. IFPRI. 483 p
- Pender J., 2004. Development pathways for hillsides and highlands: Some lessons from Central America and East Africa. *Food Policy* 29 (4). 339 - 467 pp

- Pender J., Place F., & Ehui S., 1999. Strategies for sustainable agricultural development in east African highlands. Environment and Production Technology Division Discussion Paper 41. IFPRI. Washington, D.C. 89 p
- Petrokofsky G., Kanamaru H., Achard F., Goetz S.J., Joosten H., Holmgren P., Lehtonen A., Menton M.C.S., Pullin A.S. & Wattenbach M., 2012. Comparison of methods for measuring and assessing carbon stocks and carbon stock changes in terrestrial carbon pools. How do the accuracy and precision of current methods compare? A systematic review protocol. Environmental Evidence journal. doi:10.1186/2047-2382-1-6. 21 p
- PNUD/UNOPS, 1998 ; Monographies de la Province de Kinshasa. 345 p
- Post W.M. & Kwon K.C., 2000. Soil Carbon Sequestration and Land-Use Change: Processes and Potential. Global Change Biology (6). 317 - 328 pp
- Post W.M. & Mann L.K., 1990. Changes in soil organic carbon and nitrogen as a result of cultivation. In: Soils and the Greenhouse Effect (ed Bouwman AF). John Wiley & Sons, New York. 401 - 406 pp
- Powlson D.S., Prookes P.C. & Christensen B.T., 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biology and Biochemistry 19 (2); Elsevier. 159 - 164 pp
- Pronk A.A., 2004. Irrigation and nitrogen use efficiency of Thuja occidentalis grown on sandy soils. PhD thesis in agronomics sciences. Wageningen University. 130 p
- Rao I.M., Barrios E., Amézquita E., Friesen D.K., Thomas R., Oberson A. & Singh B.R., 2004. Soil Phosphorus Dynamics, Acquisition and Cycling in Crop–Pasture–Fallow Systems in Low Fertility Tropical Soils: a Review from Latin America. 126 – 134 pp. in, Delve R.J. & Probert, M.E. (eds.), 2004. Modelling nutrient management in tropical cropping systems. ACIAR Proceedings (114). 138 p
- Rasmussen C., Torn M.S., & Southard R.J., 2005. Mineral Assemblage and Aggregates Control Carbon Dynamics in a California Conifer Forest. Soil Science Society of America (69). 1711 - 1721 pp

Rathod R. & Devar K.V., 2004. Litter Production and Nutrient Return in Plantations of Four Tree Species in Karnataka State. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 17 (1). 68 - 71 pp

Razafimahatratra H.M., 2011. Sols Malgaches et spectroscopie dans le moyen infrarouge: classification, caractérisation et sensibilité au climat. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, École Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo. 214 P

Ringius L., 2002. Soil carbon sequestration and the CDM: Opportunities and challenges for Africa. UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Roskilde, Denmark. *Climatic Change* 54. Kluwer Academic Publishers. 471 - 495 pp

Rivest D., 2008. Cultures intercalaires avec arbres feuillus : effets sur la disponibilité de la lumière, la qualité du sol et la productivité des plantes associées. Thèse de doctorat en biologie végétale. Département de Phytologie, Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation ; Université Laval ; Québec. 123 p

Rockwood D.L., Naidu C.V., Carter D.R., Rahmani M., Spriggs T.A., Lin C., Alker G.R., Isebrands J.G. & Segrest S.A., 2004. Short-rotation woody crops and phytoremediation: Opportunities for agroforestry? *Agroforestry Systems* 61; Kluwer Academic Publishers. 51 - 63 pp

Rumpel C. & Kögel-Knabner I., 2011. Deep soil organic matter: a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant Soil* 338; DOI 10.1007/s11104-010-0391-5; Springer. 143 - 158 pp

Sanchez P A., 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems* 30; Kluwer Academic Publishers. 5 – 55 pp

Sanchez P.A., Shepherd K.D., Soule M.J., Place F.M., Buresh R.J. & Izac A-M.N., 1997. Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital. 1 – 46 pp. In: Buresh R. J., Sanchez P. A. & Calhoun F. (eds.). *Replenishing soil fertility in Africa*. SSSA special publication (51). 252 p

Sanchez P.A., 2000. Linking Climate Change Research with Food Security and Poverty Reduction in the Tropics. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82. 371 - 383 pp

- Sato J.H., de Figueiredo C.C., Marchão R.L., Madari B.E., Benedito L.E.C., Busato J.G. & de Souza D.M., 2014. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. *Scientia Agricola* 71 (4). 302 - 308 pp
- Schenk H.J. & Jackson R.B., 2002. The global biogeography of roots. *Ecological Monographs* 72(3), by the Ecological Society of America. 311 - 328 pp
- Schimel D.S., 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Biology Change* 1, *Global Change Biology* 1 (1). 77 – 91 pp
- Schjonning P., Elmholt S., Munkholm L.J. & Deboz K., 2002. Soil quality aspects of humid sandy loams as influenced by organic and convention long-term management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88 (3). 195-214 pp
- Schleuß P-M., Heitkamp F., Leuschner C., Fender A-C. & Jungkunst H.F.; 2014. Higher subsoil carbon storage in species-rich than species-poor temperate forests. *Environmental Research Letters* ; doi:10.1088/1748-9326/9/1/ ; IOP Publishing. 10 p
- Schlöter M., Dilly O. & Munch J.C., 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98; Elsevier. 255 - 262 pp
- Schnitzer M., 1991. Soil organic matter: the next 75 years. *Soil Science* 151 (1). Williams & Wilkins, Baltimore. 41 - 58 pp
- Schoeneberger M.M., 2008. Agroforestry: working trees for sequestering carbon on agricultural lands. *Agroforestry Systems* 75 (1); Springer. 27 - 35 pp
- Schröder, J.J., 1998. Towards improved nitrogen management in silage maize production on sandy soils. Ph.D. Thesis in agrobiolology and soil fertility, Wageningen Agricultural University. 223 p
- Schroth G. & Sinclair F.L., 2003, *Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods*; CABI Publishing. 437 p
- Schroth G., 1995. Tree root characteristics as criteria for species selection and systems design in agroforestry. 125 - 143 pp. in Sinclair F.L. (Ed) *Agroforestry: Science, Policy and Practice. Selected Papers from the Agroforestry Sessions of the IUFRO 20th World Congress, Tampere, Finland. Forestry Sciences* 47; Springer. 287 p



- Schroth G., 1999. A review of belowground interactions in agroforestry, focussing on mechanisms and management options. *Agroforestry Systems* 43; Kluwer Academic Publishers. 5 - 34 pp
- Schroth G., Lehmann J., Rodrigues M.R.L., Barros E. & Macêdo J.L.V., 2001. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems* 53. Kluwer Academic Publishers. 85 - 102 pp
- Sharland R.W., 1991 ; Arbres et cultures : Interactions entre végétation spontanée et agriculture chez les Moru du Sud du Soudan. *Aménagement des bassins versants. Unasylva* (164). 55 – 61 pp
- Sherman, K. & Adams S. (eds), 2010. Sustainable Development of the World's Large Marine Ecosystems during Climate Change: A commemorative volume to advance sustainable development on the occasion of the presentation of the 2010 Göteborg Award. IUCN, Switzerland. 232 p
- Smit B. & Skinner M.W., 2002. Adaptation options in agriculture to climate change: a typology *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (7); Kluwer Academic Publisher. 85 - 114 pp
- Six J., Conant R. T., Paul E. A. & Paustian K., 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241, Kluwer Academic Publishers. 155 - 176 pp
- Soltner D., 2011. Les bases de la production végétale. Tome 1. Le sol et son amélioration. 25<sup>e</sup> édition. Collection Sciences et techniques agricoles. 472 p
- Some N. A., 1994. Rôle de la jachère dans l'amélioration de la fertilité des sols en zone soudanienne: dynamique de la végétation et évolution des caractères pédologiques. Résultats préliminaires. 219 - 235 pp. In : *Systèmes agraires et agriculture durable en zone sub-sahélienne*. Stockholm, FIS.
- Some N.A. & Alexandre D.Y., 1997. Savoir paysan et lecture des indices de fertilité du sol en zone soudanienne. 159 - 166 pp. In : Bocker C. & Tersiguel P. (éds). *Développement durable au Sahel*. Karthala. 280 p

- Sonwa D., 2004. Biomass management and diversification within cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. PhD Thesis in agronomics sciences. Faculty of Agriculture. University of Bonn. Germany. Cuvillier Verlag Goettingen, 112 p
- Steiner C., Glaser B., Teixeira W.G., Lehmann J., Blum W.E.H. & Zech W., 2008. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of Plant Nutrition & Soil Science* 171. 893-899 pp
- Stenberg B., Rossel R.A.V., Mouazen A.M. & Wetterlind J., 2010. Visible and Near Infrared Spectroscopy in Soil Science. 163-215 pp. In Sparks D.L. (ed.). *Advances in Agronomy* 107; Elsevier. 232 p
- Strosser E., 2010. Methods for determination of labile soil organic matter: An overview. *Journal of Agrobiology* 27 (2). 49 - 60 pp
- Sumnera D. M. & Jacobs J.M., 2005. Utility of Penman–Monteith, Priestley–Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 308; Elsevier. 81 - 104 pp
- Sys C., 1972. Caractérisation morphologique et physico-chimique des profils types de l’Afrique centrale, I.N.E.A.C. Hors Série, Bruxelles. 497 pp
- Sys C., 1983. The Ferralsols of Zaire. Proceeding of the fourth International soil Classification workshop. Agricultural Edition 4, Part I: 76-110 pp
- Szott L.T. & Palm C.A., 1996, Nutrient stocks in management and natural humid tropical fallows. *Plant and soil* 186. Kluwer Academic Publishers. 293 – 309 pp
- Thangata P.H. & Alavalapati J.R.R., 2003. Agroforestry adoption in southern Malawi: the case of mixed intercropping of *Gliricidia sepium* and maize. *Agricultural Systems* 78; Elsevier. 57 – 71 pp
- Thornton P.E., Law B.E., Gholz H.L., Clark K.L., Falge E., Ellsworth D.S., Goldstein A.H., Monson R.K., Hollinger D., Falk M., Chen J. & Sparks J.P., 2002. Modeling and measuring the effects of disturbance history and climate on carbon and water budgets

in evergreen needleleaf forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 113; Elsevier. 185 - 222 pp

Toner A., 2003. Exploring sustainable livelihoods approaches in relation to two interventions in Tanzania. *Journal of International Development*; Volume 15, Issue 6; John Wiley & Sons. 771 - 781 pp

Turnbull J.W. (ed), 1991. Advances in tropical acacia research. Proceedings of an international workshop held in Bangkok, Thailand, ACIAR Proceedings Series. 234 pp

van de Steeg J.A., Herrero M., Kinyangi J., Thornton P.K., Rao K.P.C., Stern R. & Cooper P., 2009. The influence of climate variability and climate change on the agricultural sector in East and Central Africa - Sensitizing the ASARECA strategic plan to climate change. Research report 22. ILRI, ICRISAT & ASARECA. 114 p

Van Wambeke A., & Nachtergaele F., 2003. Properties of soils of the tropics, CD Rom FAO, Land and Water Digital Media Series 24

Van Wambeke A., 1974. Management properties of ferralsols; FAO, Soils Bulletin, n° 23. 129 p

Vanlauwe B. & Giller K.E., 2006. Popular myths around soil fertility management in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116 ; Elsevier. 34 - 46 pp

Wagai R., Mayer L.M., Kitayama K. & Knicker H., 2008. Climate and parent material controls on organic matter storage in surface soils: A three-pool, density-separation approach. *Geoderma* 147; Elsevier. 23 - 33 pp

Walkley A., 1947. A critical examination of a rapid method for determination of organic carbon in soils - effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science* 63. 251-257

Walker S.M., & Desanker P.V.; 2004. The impact of land use on soil carbon in Miombo Woodlands of Malawi. *Forest Ecology and Management* 203. Elsevier. 345 – 360 pp

Wang Q. & Wang S., 2011. Response of labile soil organic matter to changes in forest vegetation in subtropical regions. *Applied Soil Ecology* 47, Elsevier. 210 – 216 pp

Wang S. & Bian X., 2008. Improved method of ecological footprint – Funing County ecological economic system assessments. *Environ Dev Sustain* 10; Springer. 337 - 347 pp

Wani S.P., Khanwalkar S., Krishnapa K, Raju KV & Sarvesh KV., 2013. Bhoochetana: Process Documentation - A program that helped farmers in coming out from low productivity and poor economic status. *Resilient Dryland Systems Report N<sup>o</sup>. 60*; ICRISAT. 136 p

Wezel A. & Soldat V., 2009. A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology. *International journal of agricultural sustainability* 7(1), 3 - 18 pp

Whalen K.J., Willms D.W. & Dormaar F.J., 2003. Soil Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Modified Rangeland Communities. *Journal of Range Management* 56 (6); Allen Press. 665 - 672 pp

Wolf B., 2000. The fertile triangle: The Interrelationship of Air, Water, and Nutrients in Maximizing Soil Productivity. Food products press. 463 p

Wood S., Sebastian K., Nachtergaele F., Nielsen D., & Dai A., 1999; Spatial aspects of the design and targeting of agricultural development strategies. Environment and Production Technology Division ; Discussion paper 44. Washington, D.C. IFPRI. 84 p

World Bank, 2008. Agriculture for Development; World development report. The World Bank, Washington, DC. 365 p

Xie H. T., Yang X. M., Drury C. F., Yang J. Y. & Zhang X.D., 2011. Predicting soil organic carbon and total nitrogen using mid- and near-infrared spectra for Brookston clay loam soil in Southwestern Ontario, Canada. *Canadian Journal of Soil Science* 91. 53 - 63 pp

Xu Z., Ward S., Chen C., Blumfield T., Prasolova N. & Liu J., 2008. Soil Carbon and Nutrient Pools, Microbial Properties and Gross Nitrogen Transformations in Adjacent Natural Forest and Hoop Pine Plantations of Subtropical Australia. *Journal of Soils Sediments* 8 (2). 99 - 105 pp

- You L., Wood S. & Wood-Sichra U., 2009. Generating plausible crop distribution and performance maps for Sub-Saharan Africa using a spatially disaggregated data fusion and optimization approach. *Agricultural System* 99 (2 - 3). 126-140 pp
- Zhang W., Wang X. & Wang S., 2013. Addition of External Organic Carbon and Native Soil Organic Carbon Decomposition: A Meta-Analysis. *PloS One* 8 (2): e54779. doi:10.1371/journal.pone.0054779. 6 p
- Zhao S., Lib Z. & Li W., 2005. A modified method of ecological footprint calculation and its application. *Ecological Modelling* 185; Elsevier. 65 - 75 pp
- Zhou L., Wang S., Ju W., Xiong Z., Kindermann G., Chen J. & Shi H., 2013. Assessment of Carbon Dynamics of Forest Ecosystems in the Poyang Lake Basin Responding to Afforestation and Future Climate Change. *Journal of Resources and Ecology* 4 (1). 11 - 19 pp
- Zomer R.J., Trabucco A., Deborah A., Bossio D.A. & Verchot L.V., 2008. Climate change mitigation: A spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 126 ; Elsevier. 67 - 80 pp

# **Annexes**

## **Annexes 1. Données sur les profils pédologiques**

### **Information concernant la station des profils.**

Date de description : le 13 – 14 Février 2012

Auteur : Blandine NSOMBO MOSOMBO

### **Localisation**

Feuille de Kinshasa : R.D. Congo

Localisation : quartier Mbankana, Ibi village

Altitude : 593 à 678 m

### **Géomorphologie.**

Physiographie du paysage : large plateau des Bateke profondément disséqué dans la partie Nord (exemple de la rivière Mayi-Ndombe) et peu disséqué dans la partie Sud.

Position topographique du profil : plateau

Microrelief : régulier

Pente : < 5 %

### **Utilisation du sol et végétation**

Utilisation du sol : plantation d'*Acacia auriculiformis* et *mangium* de 2 et 5 ans, savane non mise en culture depuis 10 ans et forêt de régénération nationale de plus de 10 ans.

Végétation naturelle : savane herbeuse parcemée d'*Hymenocardia acida*

Couverture végétale : > 80 %

Roche mère (matériel parental) : sable de la série des « sables ocre » de Kalahari.

### **Caractéristiques de surface**

Cailloux et affleurement de surface : néant

Erosion : presque néant

Climat (Köppen) : Aw<sub>4</sub>

Profondeur de la nappe phréatique : très profond

Drainage : bien drainé

État hydrique durant la description : frais avec détermination des couleurs à l'état sec.

## Profil F<sub>10</sub>

Emplacement : Ibi village sous forêt de régénération naturelle (*F*) d'au moins 10 ans

Coordonnées : 04,33022° ; E 16,12401°

Altitude : 598 m

### Description

| Horizon        | Profondeur<br>(cm) | Description   |
|----------------|--------------------|---|
| A <sub>h</sub> | 1 - 10             | Couche de matière organique en décomposition et litière brun jaunâtre foncé (10 YR 4/4) à l'état sec ; structure granulaire non collant, non plastique, très friable ; tapissée de beaucoup de radicelles, pas de racines ; transition net et régulière |
| A <sub>1</sub> | 10 - 35            | Sable brun très foncé (10 YR 2/2) à l'état sec ; structure granulaire non collant, non plastique, très friable ; quelques racines et radicelles ; transition net et régulière   |
| B <sub>h</sub> | 35 - 80            | Sable brun (10 YR 4/3) à l'état sec ; structure granulaire non collant, non plastique, très friable ; rares racines et radicelles ; transition diffuse et régulière   |
| B <sub>t</sub> | 80 - 98            | Sable brun jaunâtre plus ou moins foncé (10 YR 3/6) à l'état sec ; structure granulaire non collant, non plastique, très friable ; pas de racines et radicelles ; transition net et régulière   |
| B <sub>c</sub> | 98 - 120           | Sable brun jaunâtre (10 YR 5/8) à l'état sec ; structure granulaire non collant, non plastique, friable ; sans racines ni radicelles  |

### ***Profil M<sub>5</sub>***

Emplacement : Ibi Village Sous *Acacia mangium* de 5 ans (**Am<sub>2</sub>**)

Coordonnées : S 04,32594°; E 16,11219

Altitude : 658 m

#### **Description**

| <b>Horizon</b> | <b>Profondeur</b><br>(cm) | <b>Description</b>  |
|----------------|---------------------------|---|
| A <sub>1</sub> | 0 - 20                    | Sable brun foncé (7,5 YR 3/2) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, friable ; très peu de radicelles, quelques racines ; transition net et régulière   |
| A <sub>B</sub> | 20 - 48                   | Sable brun vif (7,5 YR 4/3) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, compactée ; pas de radicelles, très peu de racines ; transition diffuse et régulière |
| B <sub>t</sub> | 48 - 88                   | Sable brun (7,5 YR 5/2) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, peu friable ; pas de racines ni radicelles ; transition diffuse et régulière             |
| B <sub>c</sub> | 88 - 120                  | Sable brun claire (7,5 YR 5/3) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, particules agrégés ; pas de racine ni radicelles                                  |



## Profil A<sub>2</sub>

Emplacement : Ibi Village sous *Acacia auriculiformis* de 2 ans

Coordonnées : S 04,39579° ; E 16,12871°

Altitude : 678 m

### Description

| Horizon        | Profondeur<br>(cm) | Description   |
|----------------|--------------------|---|
| A <sub>1</sub> | 0 - 18             | Sable brun foncé (7,5 YR 3/2) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique et friable ; quelques radicelles ; transition diffuse et régulière                                      |
| A <sub>B</sub> | 18 - 53            | Sable brun (7,5 YR 4/3) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, horizon très friables parsemé des tâches sombres ; quelques radicelles ; transition diffuse et régulière     |
| B <sub>1</sub> | 53 - 83            | Sable brun (7,5 YR 5/3) virant vers le brun claire à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique ; horizon agrégé et consistant ; quelques radicelles ; transition net et régulière |
| B <sub>c</sub> | 83 - 120           | Sable brun claire (7,5 YR 5/6) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique ; horizon plus agrégé, avec quelques radicelles  |

## Profil M<sub>2</sub>

Emplacement : Ibi Village sous *Acacia mangium* de 2 ans

Coordonnées : S 04,39772 ; E 16,13072

Altitude : 677m

### Description

| Horizon        | Profondeur<br>(cm) | Description  |
|----------------|--------------------|--|
| A <sub>1</sub> | 0 - 9              | Sable brun foncé (7,5 YR 3/2) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, très friable ; presque pas de racines & radicelles ; transition diffuse et régulière  |
| A <sub>B</sub> | 9 - 29             | Sable brun (7,5 YR 4/2) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, friable ; beaucoup de radicelles ; transition net et régulière  |
| B <sub>1</sub> | 29 - 73            | Sable brun (7,5 YR 3/3) apparemment plus sombre que le précédent à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, parsemé de tâches noirâtre, horizon à consistance plus dure que les 2 premiers ; transition net et régulière |
| B <sub>t</sub> | 73 - 96            | Sable brun (7,5 YR 4/3) plus vif que l'horizon précédent à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique ; quelques rares racines, pas de radicelles ; transition net et régulière   |
| B <sub>c</sub> | 96 - 120           | Sable jaune rougeâtre (7,5 YR 6/6) à l'état sec ; structure granulaire, non collant, non plastique, sol plus compact ; pas de racines et radicelles  |

**Tableau 1. Granulométrie des sols**

| <b>Profil</b>                             | <b>Horizon</b>  | <b>Profond.<br/>(cm)</b> | <b>Sable<br/>(%)</b> | <b>Limon<br/>(%)</b> | <b>Argile<br/>(%)</b> |
|---|-----------------|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| <b><i>A. auriculiformis</i> 2<br/>ans</b> | A <sub>1</sub>  | 0 18                     | 94.5                 | 0.56                 | 4.87                  |
|   | A <sub>B</sub>  | 18 53                    | 92.5                 | 2.92                 | 4.51                  |
|   | B <sub>w1</sub> | 53 83                    | 92.5                 | 2.92                 | 4.51                  |
|   | B <sub>w2</sub> | 83 120                   | 94.5                 | 0.56                 | 4.87                  |
| <b><i>A. auriculiformis</i> 5<br/>ans</b> | A <sub>h</sub>  | 0 22                     | 88.9                 | 2.20                 | 8.88                  |
|   | A <sub>1</sub>  | 22 59                    | 89.2                 | 1.84                 | 8.88                  |
|   | B <sub>w1</sub> | 59 79                    | 88.5                 | 0.56                 | 10.8                  |
|   | B <sub>w2</sub> | 79 120                   | 84.5                 | 2.92                 | 12.5                  |
| <b>Forêt naturelle</b>                    | A <sub>h</sub>  | 0 10                     | 89.2                 | 2.20                 | 8.51                  |
|   | A <sub>1</sub>  | 10 35                    | 90.9                 | 2.20                 | 6.87                  |
|   | B <sub>h</sub>  | 35 80                    | 89.2                 | 2.20                 | 8.51                  |
|   | B <sub>w1</sub> | 80 98                    | 87.2                 | 1.48                 | 11.2                  |
|   | B <sub>w2</sub> | 98 120                   | 85.2                 | 2.20                 | 12.5                  |
| <b><i>A. mangium</i> 2 ans</b>            | A <sub>1</sub>  | 0 9                      | 95.2                 | 0.20                 | 4.51                  |
|   | A <sub>B</sub>  | 9 29                     | 92.9                 | 2.56                 | 4.51                  |
|   | B <sub>w1</sub> | 29 73                    | 94.5                 | 0.56                 | 4.87                  |
|   | B <sub>w2</sub> | 73 96                    | 94.5                 | 0.92                 | 4.51                  |
|   | B <sub>w3</sub> | 96 120                   | 86.9                 | 4.20                 | 8.88                  |
| <b><i>A. mangium</i> 5 ans</b>            | A <sub>1</sub>  | 9 20                     | 92.9                 | 1.84                 | 5.24                  |
|   | A <sub>B</sub>  | 20 48                    | 88.5                 | 2.92                 | 8.51                  |
|   | B <sub>w1</sub> | 48 88                    | 86.9                 | 2.20                 | 10.8                  |
|   | B <sub>w2</sub> | 88 120                   | 88.9                 | 4.20                 | 6.87                  |
| <b>Savane</b>                             | A <sub>1</sub>  | 0 30                     | 89.2                 | 1.84                 | 8.88                  |
|   | A <sub>2</sub>  | 30 50                    | 86.5                 | 0.56                 | 12.8                  |
|   | B <sub>w</sub>  | 50 120                   | 84.5                 | 2.92                 | 12.5                  |

**Tableau 2. Quantités de nutriments pour des terres agricoles tel que proposées par Wolf (2000)**

|         | Variable |       |         |         |          |          |         |                 |       |          |          |          |          |     |
|---------|----------|-------|---------|---------|----------|----------|---------|-----------------|-------|----------|----------|----------|----------|-----|
|         | pH       | N (%) | P (ppm) | K (ppm) | Ca (ppm) | Mg (ppm) | S (ppm) | CEC (méq./100g) | C (%) | Zn (ppm) | Cu (ppm) | Mn (ppm) | Fe (ppm) | C/N |
| Minimum | 6        | 0.2   | 30      | 20      | 40       | 25       | 20      | 15              | 2.0   | 2        | 2        | 60       | 60       | 10  |
| Maximum | 7        | 0.5   | 100     | 200     | 400      | 400      | 200     | 30              | 4.0   | 20       | 10       | 250      | 350      | 14  |

**Tableau 3. Acidité, matière organique et CEC**

| Profil                               | Horizon         | Profond. (cm) |     | pH   | C.E.C. (méq/100g) | C (%) | N (%) | C/N   |
|--------------------------------------|-----------------|---------------|-----|------|-------------------|-------|-------|-------|
| A.<br><i>auriculiformis</i> 2<br>ans | A <sub>1</sub>  | 0             | 18  | 5.68 | 1,43              | 3.45  | 0.22  | 15.68 |
|                                      | A <sub>B</sub>  | 18            | 53  | 5.91 | 0,58              | 4.04  | 0.35  | 11.54 |
|                                      | B <sub>w1</sub> | 53            | 83  | 5.72 | 1,09              | 3.62  | 0.37  | 9.78  |
|                                      | B <sub>w2</sub> | 83            | 120 | 5.57 | 0,36              | 3.23  | 0.33  | 9.79  |
| A.<br><i>auriculiformis</i> 5<br>ans | A <sub>h</sub>  | 0             | 22  | 5.14 | 1,60              | 3.31  | 0.21  | 15.76 |
|                                      | A <sub>1</sub>  | 22            | 59  | 5.15 | 1,24              | 3.49  | 0.22  | 15.86 |
|                                      | B <sub>w1</sub> | 59            | 79  | 5.24 | 1,45              | 2.87  | 0.23  | 12.48 |
|                                      | B <sub>w2</sub> | 79            | 120 | 5.65 | 1,29              | 2.70  | 0.23  | 11.74 |
| Forêt naturelle                      | A <sub>h</sub>  | 0             | 10  | 4.77 | 0,90              | 3.50  | 0.31  | 11.29 |
|                                      | A <sub>1</sub>  | 10            | 35  | 5.28 | 1,11              | 3.77  | 0.21  | 17.95 |
|                                      | B <sub>h</sub>  | 35            | 80  | 5.02 | 0,91              | 3.74  | 0.26  | 14.38 |
|                                      | B <sub>w1</sub> | 80            | 98  | 4.82 | 2,34              | 3.29  | 0.25  | 13.16 |
|                                      | B <sub>w2</sub> | 98            | 120 | 5.70 | 1,35              | 2.87  | 0.21  | 13.67 |
| A. <i>mangium</i> 2<br>ans           | A <sub>1</sub>  | 0             | 9   | 5.50 | 1,57              | 3.52  | 0.23  | 15.30 |
|                                      | A <sub>B</sub>  | 9             | 29  | 5.58 | 0,97              | 3.79  | 0.26  | 14.58 |

|                            |                 |        |      |      |      |       |       |
|----------------------------|-----------------|--------|------|------|------|-------|-------|
|                            | B <sub>w1</sub> | 29 73  | 5.59 | 0,48 | 4.04 | 0.34  | 11.88 |
|                            | B <sub>w2</sub> | 73 96  | 5.84 | 0,76 | 3.62 | 0.38  | 9.53  |
|                            | B <sub>w3</sub> | 96 120 | 5.71 | 0,78 | 3.20 | 0.084 | 38.10 |
| <i>A. mangium</i> 5<br>ans | A <sub>1</sub>  | 9 20   | 5.30 | 1,28 | 3.27 | 0.18  | 18.17 |
|                            | A <sub>B</sub>  | 20 48  | 5.96 | 1,02 | 3.54 | 0.26  | 13.62 |
|                            | B <sub>w1</sub> | 48 88  | 5.65 | 1,09 | 3.00 | 0.24  | 12.50 |
|                            | B <sub>w2</sub> | 88 120 | 5.49 | 1,03 | 2.62 | 0.21  | 12.48 |
| Savane                     | A <sub>1</sub>  | 0 30   | 5.48 | 1,22 | 3.64 | 0.21  | 17.33 |
|                            | A <sub>2</sub>  | 30 50  | 5.36 | 0,61 | 3.31 | 0.24  | 13.79 |
|                            | B <sub>w</sub>  | 50 120 | 5.34 | 1,74 | 2.75 | 0.21  | 13.10 |

**Tableau 4. Autres macro nutriments**

| <b>Profil</b>                  | <b>Horizon</b>  | <b>P (ppm)</b> | <b>K (ppm)</b> | <b>Ca (ppm)</b> | <b>Mg (ppm)</b> | <b>S (ppm)</b> |
|--------------------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| <i>A. auriculiformis 2 ans</i> | A <sub>1</sub>  | 33.4           | 13.4           | 94.5            | 18.0            | 15.0           |
|                                | A <sub>B</sub>  | 24.6           | 12.1           | 44.2            | 8.50            | 10.9           |
|                                | B <sub>w1</sub> | 25.7           | 11.6           | 76.7            | 16.6            | 15.9           |
|                                | B <sub>w2</sub> | 17.0           | 1.30           | 23.8            | 5.36            | 11.5           |
| <i>A. auriculiformis 5 ans</i> | A <sub>h</sub>  | 60.5           | 13.0           | 93.4            | 19.1            | 18.6           |
|                                | A <sub>1</sub>  | 42.4           | 7.69           | 79.0            | 11.1            | 16.5           |
|                                | B <sub>w1</sub> | 30.1           | 12.6           | 76.5            | 15.0            | 14.8           |
|                                | B <sub>w2</sub> | 32.7           | 1.23           | 94.0            | 20.6            | 11.6           |
| <i>Forêt naturelle</i>         | A <sub>h</sub>  | 31.0           | < 0.2          | 38.6            | 10.5            | 15.4           |
|                                | A <sub>1</sub>  | 36.3           | 1.19           | 65.2            | 14.6            | 16.6           |
|                                | B <sub>h</sub>  | 23.2           | < 0.2          | 43.6            | 9.10            | 14.5           |
|                                | B <sub>w1</sub> | 11.9           | 1.61           | 98.5            | 22.0            | 19.6           |
|                                | B <sub>w2</sub> | 22.8           | < 0.2          | 91.5            | 25.6            | 19.3           |
| <i>A. mangium 2 ans</i>        | A <sub>1</sub>  | 52.2           | 22.1           | 110             | 26.5            | 15.0           |
|                                | A <sub>B</sub>  | 32.8           | 6.74           | 62.1            | 17.3            | 10.8           |
|                                | B <sub>w1</sub> | 27.1           | < 0.2          | 36.7            | 7.42            | 4.25           |
|                                | B <sub>w2</sub> | 20.9           | < 0.2          | 55.1            | 13.3            | 15.0           |
|                                | B <sub>w3</sub> | 25.7           | < 0.2          | 59.1            | 13.8            | 13.4           |
| <i>A. mangium 5 ans</i>        | A <sub>1</sub>  | 60.8           | 11.8           | 84.5            | 15.0            | 18.6           |
|                                | A <sub>B</sub>  | 23.0           | 3.96           | 86.7            | 17.0            | 17.3           |
|                                | B <sub>w1</sub> | 26.3           | 10.0           | 80.7            | 13.1            | 15.6           |
|                                | B <sub>w2</sub> | 20.0           | 4.78           | 68.9            | 12.9            | 14.5           |
| <i>Savane</i>                  | A <sub>1</sub>  | 24.4           | 37.2           | 73.4            | 14.5            | 19.3           |
|                                | A <sub>2</sub>  | 14.5           | 5.16           | 40.2            | 7.82            | 14.0           |
|                                | B <sub>w</sub>  | 21.3           | 2.95           | 101             | 23.1            | 19.6           |

**Tableau 5. Oligoéléments**

| <b>Profil</b>                     | <b>Horizon</b>  | <b>Zn<br/>(ppm)</b> | <b>Fe<br/>(ppm)</b> | <b>Cu<br/>(ppm)</b> | <b>Mn<br/>(ppm)</b> | <b>B<br/>(ppm)</b> | <b>Na<br/>(%)</b> |
|-----------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| <i>A. auriculiformis</i> 2<br>ans | A <sub>1</sub>  | 1,01                | 184                 | 0,20                | 5,84                | < 0.2              | 23,7              |
|                                   | A <sub>B</sub>  | 0,95                | 143                 | < 0.2               | 0,43                | < 0.2              | 21,3              |
|                                   | B <sub>w1</sub> | 0,66                | 151                 | < 0.2               | 0,56                | < 0.2              | 20,0              |
|                                   | B <sub>w2</sub> | 0,36                | 160                 | < 0.2               | 0,49                | < 0.2              | 20,6              |
| <i>A. auriculiformis</i> 5<br>ans | A <sub>h</sub>  | 1,05                | 302                 | 0,36                | 10,4                | < 0.2              | 11,0              |
|                                   | A <sub>1</sub>  | 0,49                | 192                 | 0,28                | 4,26                | < 0.2              | 11,7              |
|                                   | B <sub>w1</sub> | 0,28                | 207                 | 0,21                | 1,08                | < 0.2              | 18,1              |
|                                   | B <sub>w2</sub> | 1,01                | 270                 | < 0.2               | 0,87                | < 0.2              | 18,4              |
| Forêt naturelle                   | A <sub>h</sub>  | 0,37                | 257                 | < 0.2               | 0,99                | < 0.2              | 11,4              |
|                                   | A <sub>1</sub>  | 0,49                | 258                 | < 0.2               | 1,83                | < 0.2              | 15,9              |
|                                   | B <sub>h</sub>  | 0,45                | 189                 | 0,26                | 0,71                | < 0.2              | 15,9              |
|                                   | B <sub>w1</sub> | 0,46                | 281                 | 0,26                | 1,59                | < 0.2              | 14,6              |
|                                   | B <sub>w2</sub> | 0,56                | 276                 | 0,28                | 1,53                | < 0.2              | 20,3              |
| <i>A. mangium</i> 2 ans           | A <sub>1</sub>  | 6,71                | 208                 | 0,36                | 4,79                | < 0.2              | 11,2              |
|                                   | A <sub>B</sub>  | 0,26                | 202                 | < 0.2               | 3,02                | < 0.2              | 17,6              |
|                                   | B <sub>w1</sub> | 0,50                | 138                 | < 0.2               | 0,56                | < 0.2              | 15,8              |
|                                   | B <sub>w2</sub> | 0,34                | 167                 | < 0.2               | 0,36                | < 0.2              | 23,6              |
|                                   | B <sub>w3</sub> | 1,41                | 230                 | < 0.2               | 1,08                | < 0.2              | 18,1              |
| <i>A. mangium</i> 5 ans           | A <sub>1</sub>  | 0,99                | 334                 | 0,40                | 9,05                | < 0.2              | 12,2              |
|                                   | A <sub>B</sub>  | 0,66                | 181                 | 0,42                | 3,43                | < 0.2              | 21,0              |
|                                   | B <sub>w1</sub> | 0,98                | 221                 | < 0.2               | 1,85                | < 0.2              | 18,9              |
|                                   | B <sub>w2</sub> | 0,35                | 234                 | < 0.2               | 0,62                | < 0.2              | 18,5              |
| Savane                            | A <sub>1</sub>  | 0,46                | 231                 | 0,37                | 2,16                | < 0.2              | 15,1              |
|                                   | A <sub>2</sub>  | 0,34                | 140                 | < 0.2               | 0,54                | < 0.2              | 13,6              |
|                                   | B <sub>w</sub>  | 0,70                | 254                 | < 0.2               | 1,06                | < 0.2              | 18,1              |

**Tableau 6. Caractéristiques physico-chimiques des horizons de surface des différents couverts végétaux**

| Profil          | pH     | C (%) | N (%) | C/N    | Sable (%) | Limon (%) | Argile (%) | C.E.C (meq/100g) |
|-----------------|--------|-------|-------|--------|-----------|-----------|------------|------------------|
| <i>Aa 2 ans</i> | 5.53c  | 3.45b | 0.22a | 15.68b | 94.5 b    | 0.56a     | 4.87 a     | 1.43 b           |
| <i>Aa 5 ans</i> | 5.14b  | 3.31a | 0.21a | 15.76b | 88.9 a    | 2.20b     | 8.88 b     | 1.60 c           |
| <i>Forêt</i>    | 4.77 a | 3.50b | 0.31b | 11.29a | 89.2 a    | 2.20 b    | 8.51 b     | 0.90 a           |
| <i>Am 2 ans</i> | 5.50c  | 3.52b | 0.23a | 15.30b | 95.2 b    | 0.20a     | 4.51 a     | 1.57 c           |
| <i>Am 5 ans</i> | 5.30b  | 3.27a | 0.22a | 14.86b | 92.9 b    | 1.84 b    | 5.24 a     | 1.28 b           |
| <i>Savane</i>   | 5.48c  | 3.64c | 0.21a | 17.33c | 89.2 a    | 1.84 b    | 8.88 b     | 1.22 b           |
| Moy.            | 5.31   | 3.45  | 0.23  | 15.04  | 91.65     | 1.47      | 6.82       | 1.33             |
| <i>LSD</i>      | 0.23   | 0.11  | 0.03  | 1.61   | 2.32      | 0.70      | 1.72       | 0.21             |

*Les chiffres suivies de des mêmes lettres dans une colonne ne sont pas statistiquement différents.*

**Tableau 7. Caractéristiques physico-chimiques des horizons de surface des différents couverts végétaux**

| Profil          | P (ppm) | K (ppm) | Ca (ppm) | Mg (ppm) | Mn (ppm) | S (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Na (ppm) | Fe (ppm) |
|-----------------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| <i>Aa 2 ans</i> | 33.4a   | 13.4 b  | 94.5 c   | 18.0b    | 5.84 b   | 15.0 a  | 0.20 a   | 1.01 a   | 78.5 c   | 184a     |
| <i>Aa 5 ans</i> | 60.5 b  | 13.0 b  | 93.4 c   | 19.1b    | 10.4 c   | 18.6 b  | 0.36 b   | 1.05 a   | 40.7 b   | 302c     |
| <i>Forêt</i>    | 31.0 a  | 0.19a   | 38.6 a   | 10.5a    | 0.99 a   | 15.4 a  | 0.19a    | 0.37 a   | 24.0 a   | 257 b    |
| <i>Am 2 ans</i> | 52.2 b  | 22.1 b  | 110 c    | 26.5c    | 4.79 b   | 15.0 a  | 0.36 b   | 6.71 b   | 40.7 b   | 208a     |
| <i>Am 5 ans</i> | 60.8b   | 11.8 b  | 84.5 b   | 15.0b    | 9.05 c   | 18.6 b  | 0.40 b   | 0.99 a   | 36.1 a   | 334 c    |
| <i>Savane</i>   | 24.4 a  | 37.2 c  | 73.4 b   | 14.5a    | 2.16 a   | 19.3 b  | 0.37 b   | 0.46 a   | 42.6 b   | 231b     |
| Moy.            | 43.72   | 16.28   | 82.40    | 17.27    | 5.54     | 16.98   | 0.31     | 1.77     | 43.77    | 252.67   |
| <i>LSD</i>      | 12.84   | 9.93    | 19.71    | 4.35     | 2.97     | 1.64    | 0.07     | 1.95     | 14.65    | 45.61    |

*Les chiffres suivies de des mêmes lettres dans une colonne ne sont pas statistiquement différents.*



## Annexe 2. Composition chimique des sols sous différents couverts végétaux

Tableau 8. Description générale des sols sous les différents couverts végétaux

| Variable               | Végétation | Moyenne ± Écart Type<br>(Min – max)<br>(Coefficient de Variation) |                              |                              |
|------------------------|------------|---|------------------------------|------------------------------|
|                        |            | 0 – 30 cm   | 30 – 60 cm                   | 60 – 120 cm                  |
| pH<br>(6 -7)           | Aa1        | 5.47 ± 0.17<br>(5.25 - 5.69)                                      | 5.70 ± 0.25<br>(5.38 - 6.09) | 5.53 ± 0.25<br>(5.28- 5.96)  |
|                        |            | 3.18  | 4.36                         | 4.47                         |
|                        |            | 5.15 ± 0.35<br>(4.73 - 5.55)                                      | 5.37 ± 0.24<br>(5.13 - 5.66) | 5.38 ± 0.11<br>(5.23- 5.51)  |
|                        | Aa2        | 6.77  | 4.39                         | 2.01                         |
|                        |            | 5.60 ± 0.25<br>(5.26 - 5.99)                                      | 5.68 ± 0.28<br>(5.32 - 5.98) | 5.63 ± 0.30<br>(5.22 - 6.04) |
|                        |            | 4.38  | 5.00                         | 5.38                         |
|                        | Am1        | 4.91 ± 0.12<br>(4.76 - 5.06)                                      | 5.18 ± 0.20<br>(4.97 - 5.42) | 5.21 ± 0.15<br>(4.97- 5.39)  |
|                        |            | 2.36  | 3.88                         | 2.92                         |
|                        |            | 4.89 ± 0.23<br>(4.62 - 5.21)                                      | 5.12 ± 0.20<br>(4.91 - 5.44) | 5.20 ± 0.18<br>(4.98- 5.50)  |
|                        | F          | 4.67  | 3.82                         | 3.55                         |
|                        |            | 5.16 ± 0.14<br>(5.00 - 5.32)                                      | 5.30 ± 0.13<br>(5.15 - 5.54) | 5.19 ± 0.16<br>(5.05 - 5.46) |
|                        |            | 2.72  | 2.50                         | 3.04                         |
| N (%)<br>(0.2 – 0.5 %) | Aa1        | 0.23 ± 0.01<br>(0.22 - 0.24)                                      | 0.26 ± 0.04<br>(0.23 - 0.33) | 0.26 ± 0.08<br>(0.19 - 0.37) |
|                        |            | 3.60  | 16.93                        | 32.12                        |
|                        |            | 0.21 ± 0.01<br>(0.18 - 0.22)                                      | 0.21 ± 0.01<br>(0.20 - 0.22) | 0.20 ± 0.05<br>(0.16 - 0.26) |
|                        | Aa2        | 6.72  | 5.22                         | 24.00                        |
|                        |            | 0.22 ± 0.01<br>(0.21 - 0.24)                                      | 0.25 ± 0.04<br>(0.22 - 0.33) | 0.26 ± 0.08<br>(0.20 - 0.39) |
|                        |            | 4.44  | 15.98                        | 29.69                        |
|                        | Am1        | 0.21 ± 0.01<br>(0.19 - 0.22)                                      | 0.22 ± 0.02<br>(0.20 - 0.24) | 0.18 ± 0.04<br>(0.15- 0.23)  |
|                        |            | 5.00  | 8.59                         | 23.38                        |
|                        |            | 0.21 ± 0.02<br>(0.19 - 0.22)                                      | 0.22 ± 0.01<br>(0.21- 0.23)  | 0.23 ± 0.03<br>(0.19 - 0.26) |
|                        | F          | 7.38  | 4.07                         | 12.17                        |

|  |            |                 |                 |                 |
|--|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|  |            | 0.20 ± 0.01     | 0.21 ± 0.03     | 0.17 ± 0.04     |
|  | <b>S0</b>  | (0.19 - 0.22)   | (0.19 - 0.25)   | (0.14 - 0.23)   |
|  |            | 5.96            | 12.47           | 24.18           |
|  |            | 46.07 ± 13.09   | 24.53 ± 4.29    | 25.73 ± 8.55    |
|  | <b>Aa1</b> | (30.40 - 64.90) | (18.80 - 30.90) | (15.00 - 36.70) |
|  |            | 28.42           | 17.50           | 33.22           |
|  |            | 54.12 ± 8.17    | 38.98 ± 4.71    | 30.53 ± 12.27   |
|  | <b>Aa2</b> | (44.50 - 63.40) | (32.60 - 46.60) | (16.30 - 46.50) |
|  |            | 15.09           | 12.08           | 40.19           |
|  |            | 41.28 ± 11.10   | 34.70 ± 3.31    | 25.00 ± 6.20    |
|  | <b>Am1</b> | (26.50 - 57.40) | (30.20 - 39.10) | (15.60 - 31.00) |
|  |            | 26.89           | 9.53            | 24.81           |
|  |            | 53.27 ± 9.46    | 32.73 ± 11.05   | 26.17 ± 12.22   |
|  | <b>Am2</b> | (45.00 - 67.20) | (12.80 - 42.50) | (10.40 - 46.30) |
|  |            | 17.76           | 33.75           | 46.71           |
|  |            | 42.05 ± 11.84   | 26.51 ± 11.10   | 22.87 ± 4.43    |
|  | <b>F</b>   | (19.70 - 53.90) | (7.56 - 37.50)  | (18.70 - 30.45) |
|  |            | 28.15           | 41.88           | 19.35           |
|  |            | 40.17 ± 6.04    | 27.52 ± 6.26    | 28.32 ± 12.51   |
|  | <b>S0</b>  | (33.60 - 49.80) | (19.60 - 38.10) | (16.30 - 47.00) |
|  |            | 15.03           | 22.77           | 44.16           |
|  |            | 13.92 ± 3.05    | 7.29 ± 3.19     | 5.69 ± 2.59     |
|  | <b>Aa1</b> | (10.00 - 17.80) | (4.50 - 12.00)  | (2.10 - 9.14)   |
|  |            | 21.89           | 43.80           | 45.53           |
|  |            | 10.96 ± 2.55    | 7.42 ± 5.46     | 3.96 ± 1.72     |
|  | <b>Aa2</b> | (8.27 - 14.60)  | (2.95 - 17.80)  | (1.90 - 6.75)   |
|  |            | 23.27           | 73.62           | 43.40           |
|  |            | 15.30 ± 0.80    | 8.04 ± 2.69     | 5.90 ± 2.45     |
|  | <b>Am1</b> | (14.30 - 16.30) | (4.04 - 10.50)  | (2.14 - 8.78)   |
|  |            | 5.21            | 33.50           | 41.53           |
|  |            | 11.73 ± 6.93    | 5.95 ± 2.45     | 3.79 ± 2.67     |
|  | <b>Am2</b> | (5.58 - 24.60)  | (2.33 - 10.00)  | ((0.99 - 8.28)  |
|  |            | 59.10           | 41.24           | 70.33           |
|  |            | 14.82 ± 5.24    | 8.10 ± 3.51     | 7.74 ± 1.44     |
|  | <b>F</b>   | (5.62 - 20.60)  | (4.23 - 14.30)  | (5.83 - 9.85)   |
|  |            | 35.37           | 43.38           | 18.56           |
|  |            | 23.73 ± 8.71    | 10.99 ± 5.48    | 5.52 ± 4.36     |
|  | <b>S0</b>  | (14.00 - 38.50) | (1.88 - 18.10)  | (0.18 - 10.00)  |
|  |            | 36.72           | 49.83           | 78.92           |

|  |            |                  |                  |                 |
|--|------------|------------------|------------------|-----------------|
|  |            | 62.63 ± 13.58    | 53.93 ± 23.10    | 41.40 ± 18.86   |
|  | <b>Aa1</b> | (39.30 - 78.20)  | (27.30 - 81.00)  | (10.50 - 62.20) |
|  |            | 21.67            | 42.84            | 45.55           |
|  |            | 62.22 ± 21.25    | 60.33 ± 20.53    | 61.85 ± 24.05   |
|  | <b>Aa2</b> | (36.60 - 89.90)  | (34.20 - 87.40)  | (21.30 - 96.90) |
|  |            | 34.15            | 34.02            | 38.89           |
|  |            | 77.60 ± 19.79    | 49.00 ± 17.48    | 52.85 ± 17.27   |
|  | <b>Am1</b> | (55.10 - 105.00) | (17.50 - 63.20)  | (28.60 - 73.50) |
|  |            | 25.50            | 35.68            | 32.68           |
|  |            | 52.95 ± 22.52    | 47.98 ± 17.03    | 54.60 ± 53.00   |
|  | <b>Am2</b> | (20.60 - 76.50)  | (21.60 - 66.90)  | (9.30 - 155.00) |
|  |            | 42.54            | 35.48            | 97.22           |
|  |            | 36.80 ± 28.70    | 42.17 ± 19.97    | 45.45 ± 15.48   |
|  | <b>F</b>   | (8.40 - 79.20)   | (20.60 - 66.40)  | (27.47 - 70.00) |
|  |            | 78.04            | 47.35            | 34.06           |
|  |            | 64.70 ± 24.50    | 77.50 ± 59.80    | 68.18 ± 8.34    |
|  | <b>S0</b>  | (25.00 - 91.20)  | (33.10 - 197.00) | (58.20 - 79.00) |
|  |            | 37.87            | 77.15            | 12.22           |
|  |            | 14.37 ± 3.05     | 12.06 ± 5.54     | 8.67 ± 4.28     |
|  | <b>Aa1</b> | (10.50 - 18.00)  | (5.49 - 19.50)   | (2.41 - 14.40)  |
|  |            | 21.25            | 45.94            | 49.35           |
|  |            | 13.26 ± 3.99     | 11.34 ± 4.68     | 10.67 ± 5.17    |
|  | <b>Aa2</b> | (8.07 - 18.00)   | (5.49 - 16.10)   | (2.74 - 16.80)  |
|  |            | 30.08            | 41.30            | 48.48           |
|  |            | 16.67 ± 5.06     | 10.99 ± 3.74     | 11.96 ± 4.27    |
|  | <b>Am1</b> | (10.80 - 24.30)  | (4.51 - 14.90)   | (5.66 - 16.60)  |
|  |            | 30.35            | 34.00            | 35.75           |
|  |            | 11.85 ± 4.44     | 9.88 ± 3.33      | 10.70 ± 11.22   |
|  | <b>Am2</b> | (5.50 - 16.50)   | (4.83 - 13.50)   | (0.76 - 31.80)  |
|  |            | 37.46            | 33.75            | 104.93          |
|  |            | 9.68 ± 6.12      | 9.63 ± 4.91      | 9.34 ± 3.50     |
|  | <b>F</b>   | (3.12 - 19.50)   | (3.64 - 15.50)   | (5.49 - 15.15)  |
|  |            | 63.23            | 51.00            | 37.53           |
|  |            | 15.03 ± 5.54     | 16.95 ± 12.88    | 15.00 ± 2.33    |
|  | <b>S0</b>  | (6.70 - 22.80)   | (7.34 - 42.60)   | (12.40 - 18.30) |
|  |            | 36.88            | 76.02            | 15.54           |
|  |            | 11.06 ± 1.21     | 13.63 ± 2.14     | 16.22 ± 2.39    |
|  | <b>Aa1</b> | (9.43 - 12.30)   | (10.90 - 16.10)  | 13.40 - 18.30   |
|  |            | 10.94            | 15.69            | 14.70           |

|  |            |                 |                 |               |
|--|------------|-----------------|-----------------|---------------|
|  |            | 12.18 ± 0.76    | 13.63 ± 7.40    | 8.67 ± 0.66   |
|  | <b>Aa2</b> | (11.50 - 13.10) | (8.42 - 24.60)  | 7.71 - 9.11   |
|  |            | 6.27            | 54.28           | 7.60          |
|  |            | 9.64 ± 0.64     | 11.93 ± 0.97    | 13.70 ± 1.57  |
|  | <b>Am1</b> | (9.09 - 10.50)  | (10.90 - 13.10) | 12.40 - 15.80 |
|  |            | 6.62            | 8.17            | 11.46         |
|  |            | 13.53 ± 2.76    | 12.26 ± 2.74    | 12.48 ± 2.97  |
|  | <b>Am2</b> | (10.80 - 16.00) | (8.76 - 14.90)  | 8.22 - 15.10  |
|  |            | 20.40           | 22.32           | 23.83         |
|  |            | 17.03 ± 2.62    | 15.65 ± 3.15    | 12.94 ± 2.40  |
|  | <b>F</b>   | (13.90 - 20.30) | (12.40 - 19.60) | 10.00 - 15.55 |
|  |            | 15.37           | 20.14           | 18.57         |
|  |            | 17.07 ± 3.41    | 16.03 ± 1.81    | 14.68 ± 1.14  |
|  | <b>S0</b>  | (13.00 - 21.30) | (14.00 - 17.60) | 13.50 - 15.80 |
|  |            | 19.99           | 11.28           | 7.80          |
|  |            | 0.93 ± 0.20     | 0.75 ± 0.29     | 0.65 ± 0.30   |
|  | <b>Aa1</b> | (0.65 - 1.18)   | (0.41 - 1.16)   | (0.25 - 1.15) |
|  |            | 20.94           | 38.80           | 45.80         |
|  |            | 1.14 ± 0.35     | 0.95 ± 0.26     | 0.91 ± 0.30   |
|  | <b>Aa2</b> | (0.57 - 1.46)   | (0.61 - 1.25)   | (0.41 - 1.29) |
|  |            | 30.79           | 27.60           | 33.57         |
|  |            | 1.01 ± 0.27     | 0.70 ± 0.26     | 0.76 ± 0.31   |
|  | <b>Am1</b> | (0.68 - 1.31)   | (0.28 - 1.11)   | (0.42 - 1.29) |
|  |            | 26.62           | 37.54           | 40.49         |
|  |            | 1.13 ± 0.42     | 0.87 ± 0.24     | 1.03 ± 1.05   |
|  | <b>Am2</b> | (0.54 - 1.58)   | (0.58 - 1.21)   | (0.24 - 3.06) |
|  |            | 37.62           | 27.74           | 101.96        |
|  |            | 0.86 ± 0.49     | 0.85 ± 0.44     | 0.86 ± 0.29   |
|  | <b>F</b>   | (0.24 - 1.63)   | (0.34 - 1.57)   | (0.50 - 1.32) |
|  |            | 57.23           | 51.95           | 33.17         |
|  |            | 1.22 ± 0.37     | 1.33 ± 0.98     | 1.25 ± 0.22   |
|  | <b>S0</b>  | (0.65 - 1.74)   | (0.56 - 3.29)   | (0.96 - 1.59) |
|  |            | 30.53           | 74.18           | 17.35         |
|  |            | 1.11 ± 0.25     | 0.81 ± 0.22     | 0.80 ± 0.17   |
|  | <b>Aa1</b> | (0.82 - 1.42)   | (0.56 - 1.05)   | (0.65 - 0.98) |
|  |            | 22.28           | 26.88           | 20.84         |
|  |            | 1.09 ± 0.43     | 0.80 ± 0.25     | 0.78 ± 0.18   |
|  | <b>Aa2</b> | (0.49 - 1.49)   | (0.56 - 1.06)   | (0.56 - 0.96) |
|  |            | 38.99           | 31.89           | 23.21         |

|  |            |               |               |               |
|--|------------|---------------|---------------|---------------|
|  |            | 0.86 ± 0.42   | 0.62 ± 0.05   | 1.13 ± 0.74   |
|  | <b>Am1</b> | (0.32 - 1.35) | (0.57 - 0.68) | (0.41 - 1.93) |
|  |            | 49.28         | 7.57          | 65.11         |
|  |            | 0.88 ± 0.20   | 1.14 ± 0.45   | 0.67 ± 0.16   |
|  | <b>Am2</b> | (0.68 - 1.05) | (0.70 - 1.72) | (0.44 - 0.83) |
|  |            | 22.22         | 39.89         | 24.54         |
|  |            | 0.77 ± 0.38   | 0.79 ± 0.34   | 0.35 ± 0.27   |
|  | <b>F</b>   | (0.49 - 1.32) | (0.50 - 1.23) | (0.00 - 0.60) |
|  |            | 49.56         | 42.43         | 79.01         |
|  |            | 1.11 ± 0.49   | 1.36 ± 0.65   | 0.77 ± 0.09   |
|  | <b>S0</b>  | (0.56 - 1.59) | (0.52 - 2.00) | (0.65 - 0.86) |
|  |            | 44.29         | 48.20         | 11.45         |
|  |            | 0.20 ± 0.02   | 0.18 ± 0.00   | 0.18 ± 0.00   |
|  | <b>Aa1</b> | (0.18 - 0.21) | (0.18 - 0.18) | (0.18 - 0.18) |
|  |            | 8.88          | 0.00          | 0.00          |
|  |            | 0.36 ± 0.06   | 0.43 ± 0.10   | 0.86 ± 1.34   |
|  | <b>Aa2</b> | (0.31 - 0.45) | (0.34 - 0.56) | (0.18 - 2.87) |
|  |            | 18.18         | 22.86         | 155.18        |
|  |            | 0.21 ± 0.03   | 0.20 ± 0.04   | 0.19 ± 0.01   |
|  | <b>Am1</b> | (0.18 - 0.25) | (0.18 - 0.25) | (0.18 - 0.20) |
|  |            | 16.18         | 17.72         | 5.41          |
|  |            | 0.31 ± 0.07   | 0.29 ± 0.12   | 0.22 ± 0.03   |
|  | <b>Am2</b> | (0.24 - 0.40) | (0.22 - 0.46) | (0.18 - 0.25) |
|  |            | 23.66         | 40.10         | 13.73         |
|  |            | 0.19 ± 0.01   | 0.19 ± 0.02   | 0.26 ± 0.12   |
|  | <b>F</b>   | (0.18 - 0.20) | (0.18 - 0.22) | (0.16 - 0.43  |
|  |            | 5.41          | 10.53         | 47.01)        |
|  |            | 0.36 ± 0.08   | 0.26 ± 0.11   | 0.18 ± 0.00   |
|  | <b>S0</b>  | (0.30 - 0.47) | (0.18 - 0.41) | (0.18 - 0.18) |
|  |            | 21.53         | 42.11         | 0.00          |
|  |            | 3.95 ± 1.00   | 1.34 ± 0.33   | 0.80 ± 0.19   |
|  | <b>Aa1</b> | (2.87 - 5.29) | (1.00 - 1.73) | (0.63 - 1.00  |
|  |            | 25.31         | 24.89         | 23.47         |
|  |            | 7.63 ± 0.46   | 5.29 ± 0.99   | 2.06 ± 0.33   |
|  | <b>Aa2</b> | (7.12 - 8.23) | (4.26 - 6.34) | (1.70 - 2.43) |
|  |            | 6.00          | 18.72         | 16.16         |
|  |            | 4.44 ± 0.94   | 1.52 ± 0.43   | 0.89 ± 0.32   |
|  | <b>Am1</b> | (3.52 - 5.76) | (0.92 - 1.88) | (0.52 - 1.23) |
|  |            | 21.27         | 28.18         | 36.14         |

|  |            |                   |                   |                   |
|--|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|  |            | 5.45 ± 1.57       | 2.57 ± 0.61       | 1.46 ± 0.07       |
|  | <b>Am2</b> | (3.18 - 6.71)     | (1.76 - 3.12)     | (1.36 - 1.54)     |
|  |            | 28.87             | 23.63             | 5.08              |
|  |            | 1.37 ± 0.37       | 1.09 ± 0.18       | 1.24 ± 0.29       |
|  | <b>F</b>   | (0.83 - 1.65)     | (0.95 - 1.35)     | (0.87 - 1.59)     |
|  |            | 27.10             | 16.72             | 23.69             |
|  |            | 4.53 ± 0.24       | 1.73 ± 0.73       | 1.16 ± 0.14       |
|  | <b>S0</b>  | (4.25 - 4.75)     | (1.14 - 2.79)     | (1.03 - 1.35)     |
|  |            | 5.21              | 42.28             | 11.82             |
|  |            | 184.00 ± 10.03    | 162.50 ± 2.08     | 189.50 ± 12.90    |
|  | <b>Aa1</b> | (175.00 - 198.00) | (160.00 - 165.00) | (174.00 - 202.00) |
|  |            | 5.45              | 1.28              | 6.81              |
|  |            | 254.25 ± 7.80     | 195.25 ± 6.60     | 215.75 ± 17.06    |
|  | <b>Aa2</b> | (247.00 - 264.00) | (188.00 - 204.00) | (198.00 - 236.00) |
|  |            | 3.07              | 3.38              | 7.91              |
|  |            | 204.75 ± 15.11    | 176.00 ± 10.49    | 194.50 ± 5.07     |
|  | <b>Am1</b> | (194.00 - 227.00) | (163.00 - 185.00) | (187.00 - 198.00) |
|  |            | 7.38              | 5.96              | 2.60              |
|  |            | 308.30 ± 45.80    | 219.50 ± 44.10    | 227.30 ± 31.80    |
|  | <b>Am2</b> | (262.00 - 365.00) | (181.00 - 267.00) | (198.00 - 270.00) |
|  |            | 14.86             | 20.08             | 14.00             |
|  |            | 266.50 ± 49.40    | 205.50 ± 29.60    | 178.90 ± 49.40    |
|  | <b>F</b>   | (201.00 - 312.00) | (181.00 - 248.00) | (107.00 - 216.50) |
|  |            | 18.54             | 14.41             | 27.63             |
|  |            | 316.50 ± 26.60    | 231.50 ± 18.63    | 237.30 ± 51.20    |
|  | <b>S0</b>  | (280.00 - 339.00) | (208.00 - 253.00) | (178.00 - 288.00) |
|  |            | 8.39              | 8.05              | 21.58             |

**Fe (ppm)**  
(60 – 350ppm)

### Annexe 3. Variation suivant les périodes d'échantillonnage des nutriments et du pH

**Tableau 9. Variation des nutriments suivant les périodes d'échantillonnage (0 – 30 cm)**

| Nutriment          | Végétation      | Périodes d'échantillonnage |                 |                 |                 |                 | P <sub>value</sub> |
|--------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
|                    |                 | Février012                 | Juillet 012     | Novembre 012    | Février013      | Juillet 013     |                    |
| N                  | Aa1             | 0.22±0.01                  | 0.23±0.01       | 0.26±0.04       | 0.24±0.01       | 0.24±0.02       | 0.337              |
|                    |                 | (0.22 - 0.23)              | (0.22 – 0.24)   | (0.23 - 0.28)   | (0.23 - 0.25)   | (0.22 - 0.26)   |                    |
|                    | Aa2             | 0.21±0.01                  | 0.20±0.02       | 0.23±0.01       | 0.24±0.02       | 0.22±0.00       | 0.076              |
|                    |                 | (0.20 - 0.21)              | (0.18 – 0.22)   | (0.23 - 0.24)   | (0.22 - 0.25)   | (0.22 - 0.22)   |                    |
|                    | Am1             | 0.22±0.02                  | 0.22±0.00       | 0.23±0.02       | 0.22±0.00       | 0.21±0.01       | 0.452              |
|                    |                 | (0.21 - 0.24)              | (0.22 – 0.22)   | (0.22 - 0.26)   | (0.22 - 0.22)   | (0.21 - 0.22)   |                    |
|                    | Am2             | 0.21±0.01ab                | 0.20±0.01ab     | 0.24±0.03b      | 0.19±0.03a      | 0.23±0.01ab     | 0.045              |
|                    |                 | (0.21 - 0.22)              | (0.19 – 0.21)   | (0.22 - 0.27)   | (0.17 - 0.22)   | (0.22 - 0.24)   |                    |
|                    | Am3             | 0.21±0.01                  | 0.20±0.03       | 0.22±0.01       | 0.22±0.02       | 0.22±0.00       | 0.469              |
|                    |                 | (0.21 - 0.22)              | (0.18 - .22)    | (0.21- 0.22)    | (0.20 - 0.23)   | (0.22 - 0.22)   |                    |
| F                  | 0.21±0.02       | 0.21±0.02                  | 0.24±0.03       | 0.22±0.01       | 0.25±0.02       | 0.126           |                    |
|                    | (0.19 - 0.22)   | (0.19 – 0.22)              | (0.22- -0.27)   | (0.22 - 0.23)   | (0.23 - 0.26)   |                 |                    |
| S0                 | 0.20±0.01       | 0.21±0.02                  | 0.23±0.02       | 0.22±0.03       | 0.21±0.02       | 0.413           |                    |
|                    | (0.19 - 0.21)   | (0.19 – 0.22)              | (0.21- -0.25)   | (0.19 - 0.24)   | (0.19 - 0.23)   |                 |                    |
| S1                 | 0.20±0.01       | 0.20±0.01                  | 0.23±0.03       | 0.22±0.02       | 0.23±0.01       | 0.295           |                    |
|                    | (0.19 - 0.21)   | (0.19 – 0.21)              | (0.21 - 0.25)   | (0.20 - 0.24)   | (0.22 - 0.24)   |                 |                    |
| P <sub>value</sub> |                 | 0.133                      | 0.259           | 0.776           | 0.127           | 0.055           |                    |
| P                  | Aa1             | 50.43±13.85                | 41.70±13.40     | 43.45±2.05      | 41.10±13.13     | 50.30±31.55     | 0.941              |
|                    |                 | (37.30 - 64.90)            | (30.40 - 56.50) | (42.00 - 44.90) | (28.50 - 54.70) | (30.80 - 86.70) |                    |
|                    | Aa2             | 52.30±7.46                 | 55.93±10.06     | 47.97±6.69      | 49.80±6.51      | 38.60±4.81      | 0.248              |
|                    |                 | (45.70 - 60.40)            | (44.50 - 63.40) | (40.30 - 52.60) | (45.20 - 54.40) | (35.20 - 42.00) |                    |
|                    | Am1             | 40.40±8.19                 | 42.17±15.45     | 40.73±7.12      | 46.00±20.33     | 59.43±15.73     | 0.482              |
|                    |                 | (31.40 - 47.40)            | (26.50 - 57.40) | (32.90 - 46.80) | (23.70 - 63.50) | (50.30 - 77.60) |                    |
|                    | Am2             | 52.50±9.27                 | 54.03±11.66     | 57.80±7.08      | 40.30±33.94     | 29.43±9.58      | 0.315              |
|                    |                 | (45.10 - 62.90)            | (45.00 - 67.20) | (49.70 - 62.80) | (18.50 - 79.40) | (23.80 - 40.50) |                    |
|                    | Am3             | 52.50±9.27                 | 60.55±0.21      | 62.00±20.00     | 42.6±11.69      | 29.67±15.88     | 0.108              |
|                    |                 | (45.10 - 62.90)            | (60.40 – 60.70) | (49.5 - 85.1)   | (35.8 - 56.1)   | (15.1 - 46.6)   |                    |
| F                  | 46.20±1.57      | 37.90±17.21                | 37.93±5.42      | 45.03±23.51     | 33.77±11.93     | 0.799           |                    |
|                    | (45.10 - 48.00) | (19.70 - 53.90)            | (33.90 - 44.10) | (19.30 - 65.40) | (23.40 - 46.80) |                 |                    |
| S0                 | 42.30±7.50      | 38.03±4.61                 | 48.67±9.40      | 40.83±9.18      | 26.47±18.06     | 0.220           |                    |
|                    | (34.80 - 49.80) | (33.60 - 42.80)            | (42.70 - 59.50) | (30.40 - 47.70) | (10.20 - 45.90) |                 |                    |
| S1                 | 42.30±7.50      | 34.23±5.80                 | 49.85±10.82     | 46.1±34.3       | 53.8±10.67      | 0.676           |                    |
|                    |                 |                            |                 |                 |                 |                 |                    |

|   |                          |                                 |                                   |  |                               |                               |       |  |
|---|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------|--|
|   |                          | (34.80 - 49.80)                 | (27.90 - 39.30)                   | (42.2 - 57.5)                          | (9.1 - 76.8)                  | (46.2 - 46.2)                 |       |  |
|   | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.427                           | 0.140                             | 0.145                                  | 1.000                         | 0.198                         |       |  |
| K | Aa1                      | 13.53±2.66<br>(11.00- 16.30)    | 14.30±3.96AB<br>(10.00 - 17.80)   | 11.01±3.52A<br>(8.52 - 13.50)          | 11.52±3.78<br>(8.15 - 15.60)  | 6.16±1.91<br>(3.97 - 7.49)    | 0.084 |  |
|   | Aa2                      | 12.30±2.36<br>(9.89 - 14.60)    | 9.63±2.32A<br>(8.27 - 12.30)      | 12.48±2.76A<br>(9.53 - 15.00)          | 3.10±3.09<br>(0.91 - 5.28)    | 11.31±5.79<br>(7.21 - 15.40)  | 0.070 |  |
|   | Am1                      | 15.73±0.60c<br>(15.10 - 16.30)  | 14.87±0.81bcAB<br>(14.30 - 15.80) | 13.70±4.10abc<br>AB<br>(10.00 - 18.10) | 6.01±4.06ab<br>(1.41 - 9.08)  | 5.30±7.98a<br>(0.20 - 14.50)  | 0.037 |  |
|   | Am2                      | 15.87±7.63c<br>(10.50 - 24.60)  | 7.58±3.22abcA<br>(5.58 - 11.30)   | 12.09±4.78bcA<br>(7.46 - 17.00)        | 3.25±5.29ab<br>(0.18 - 9.36)  | 1.82±1.54a<br>(0.18 - 3.24)   | 0.028 |  |
|   | Am3                      | 15.87±7.63c<br>(10.50 - 24.60)  | 15.65±4.45cAB<br>(12.50 - 18.80)  | 12.07±0.50bcA<br>(11.6 - 12.6)         | 6.64±3.28ab<br>(3.02 - 9.40)  | 2.97±4.29a<br>(0.18 - 7.91)   | 0.015 |  |
|   | F                        | 16.27±3.97<br>(12.80 - 20.60)   | 13.37±6.83AB<br>(5.62 - 18.50)    | 18.83±2.97B<br>(16.30 - 22.10)         | 15.38±7.51<br>(9.35 - 23.80)  | 15.40±6.22<br>(10.90 - 22.50) | 0.837 |  |
|   | S0                       | 19.17±4.48bc<br>(14.00 - 22.00) | 28.30±10.35cC<br>(17.80 - 38.50)  | 26.13±2.78cC<br>(23.00 - 28.30)        | 6.48±6.22ab<br>(1.65 - 13.50) | 4.82±7.52a<br>(0.18 - 13.50)  | 0.004 |  |
|   | S1                       | 19.17±4.48bc<br>(14.00 - 22.00) | 24.77±9.35cBC<br>(16.10 - 34.70)  | 19.55±1.06bcB<br>(18.8 - 20.3)         | 8.61±2.15ab<br>(6.25 - 10.50) | 6.12±5.64a<br>(0.18 - 11.4)   | 0.021 |  |
|   |                          | <b>P<sub>value</sub></b>        | 0.483                             | 0.012                                  | 0.001                         | 0.108                         | 0.150 |  |

*Les chiffres suivis des mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Les lettres en minuscules font références aux différences suivant les saisons d'échantillonnage, alors que celles en majuscules font références aux couverts végétaux entres eux.*



**Tableau 10. Variation temporelle des nutriments de 0 – 30 cm**

| Nutriment          | Végétation      | Périodes d'échantillonnage |                  |                  |                  |                 | P <sub>value</sub> |
|--------------------|-----------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|--------------------|
|                    |                 | Février012                 | Juillet 012      | Novembre 012     | Février013       | Juillet 013     |                    |
| Ca                 | Aa1             | 66.33±10.79a               | 58.93±17.41a     | 70.60±18.24a     | 132.67±20.43b    | 117.00±14.73b   | 0.001              |
|                    |                 | (57.10 - 78.20)            | (39.3 - 72.5)    | (57.70 - 83.50)  | (118.0 - 156.0)  | (101.0 - 130.0) |                    |
|                    | Aa2             | 69.90±29.03ab              | 54.53±10.42a     | 74.17±22.58abc   | 114.50±16.26bc   | 122.00±22.63c   | 0.035              |
|                    |                 | (36.60 - 89.90)            | (42.6 - 61.8)    | (48.10 - 87.70)  | (103.0 - 126.0)  | (106.0 - 138.0) |                    |
|                    | Am1             | 83.77±25.77a               | 71.43±14.17a     | 72.30±12.26a     | 138.33±33.20b    | 129.00±15.87b   | 0.007              |
|                    |                 | (55.10 - 105.00)           | (55.1 - 80.5)    | (58.20 - 80.50)  | (100.0 - 158.0)  | (117.0 - 147.0) |                    |
|                    | Am2             | 49.13±15.52a               | 56.77±31.36a     | 52.37±28.75a     | 117.57±22.36b    | 73.03±3.37ab    | 0.022              |
|                    |                 | (31.60 - 61.10)            | (20.6 - 76.5)    | (34.00 - 85.50)  | (92.70 - 136.00) | (70.70 - 76.90) |                    |
|                    | Am3             | 49.13±15.52                | 77.00±27.90      | 75.9±19.1        | 123.00±28.70     | 72.03±15.83     | 0.089              |
|                    |                 | (31.60 - 61.10)            | (57.2 - 96.7)    | (57.20 - 97.9)   | (104 - 156)      | (57.20 - 88.70) |                    |
| F                  | 36.30±37.70     | 37.27±25.25                | 63.90±34.29      | 105.43±56.35     | 129.57±99.97     | 0.252           |                    |
|                    | (8.41 - 79.20)  | (12.3 - 62.8)              | (63- 102.00)     | (41.30 - 147.00) | (71.0 - 245.0)   |                 |                    |
| S0                 | 71.47±16.40     | 57.97±33.10                | 86.90±11.98      | 91.50±19.75      | 81.73±25.40      | 0.425           |                    |
|                    | (59.70 - 90.20) | (25.0 - 91.2)              | (76.50 - 100.00) | (69.00 - 106.00) | (56.2 - 107.0)   |                 |                    |
| S1                 | 71.47±16.40     | 72.80±16.50                | 115.5±27.6       | 99.53±11.77      | 78.20±48.50      | 0.423           |                    |
|                    | (59.70 - 90.20) | (61.3 - 91.7)              | (95.9 - 135)     | (91.20 - 113.00) | (31.1 - 128.0)   |                 |                    |
| P <sub>value</sub> |                 | 0.266                      | 0.569            | 0.238            | 0.551            | 0.429           |                    |
| Mg                 | Aa1             | 14.23±3.00a                | 14.50±3.77a      | 15.65±3.75a      | 30.13±5.62b      | 25.73±3.56b     | 0.003              |
|                    |                 | (11.60 - 17.50)            | (10.5 - 18.0)    | (13.00 - 18.30)  | (25.10 - 36.20)  | (22.00 - 29.10) |                    |
|                    | Aa2             | 14.12±5.31a                | 12.39±3.05a      | 15.07±4.15a      | 25.35±1.77b      | 27.45±6.15b     | 0.016              |
|                    |                 | (8.07 - 18.00)             | (8.88 - 14.40)   | (11.00 - 19.30)  | (24.10 - 26.60)  | (23.10 - 31.80) |                    |
|                    | Am1             | 17.90±6.78a                | 15.43±3.67a      | 16.80±4.50a      | 30.70±7.66b      | 26.53±5.35b     | 0.032              |
|                    |                 | (10.80 - 24.30)            | (12.0 - 19.3)    | (11.60 - 19.50)  | (22.10 - 36.80)  | (23.10 - 32.70) |                    |
|                    | Am2             | 11.06±3.02a                | 12.63±6.18a      | 11.41±6.33a      | 25.53±3.71b      | 16.80±0.70ab    | 0.014              |
|                    |                 | (7.59 - 13.10)             | (5.50 - 16.50)   | 6.32 - 18.50     | (21.50 - 28.80)  | (16.10 - 17.50) |                    |
|                    | Am3             | 11.06±3.02                 | 14.70±6.08       | 15.93±3.49       | 23.00±4.03       | 16.00±2.39      | 0.129              |
|                    |                 | (7.59 - 13.10)             | (10.4 - 19.0)    | (13 - 19.80)     | (20.10 - 27.60)  | (13.90 - 18.60) |                    |
| F                  | 9.66±8.67       | 9.70±4.30                  | 16.47±5.18       | 22.97±12.34      | 25.43±15.24      | 0.252           |                    |
|                    | (3.12 - 19.50)  | (5.30 - 13.90)             | (11.00 - 21.30)  | (9.30 - 33.30)   | (15.80 - 43.00)  |                 |                    |
| S0                 | 16.07±2.68      | 14.00±8.15                 | 19.40±4.25       | 21.30±2.62       | 19.80±6.46       | 0.472           |                    |
|                    | (13.10 - 18.30) | (6.70 - 22.80)             | (16.80 - 24.30)  | (18.30 - 23.10)  | (13.10 - 26.00)  |                 |                    |
| S1                 | 16.07±2.68      | 17.73±3.92                 | 24.95±5.44       | 21.90±3.85       | 18.64±10.36      | 0.634           |                    |
|                    | (13.10 - 18.30) | (14.5 - 22.1)              | (21.1 - 28.8)    | (18.10 - 25.80)  | (9.33 - 29.80)   |                 |                    |
| P <sub>value</sub> |                 | 0.476                      | 0.709            | 0.209            | 0.478            | 0.444           |                    |

|   |                          |                                  |                               |                                  |                                |                                |       |
|---|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|
| S | Aa1                      | 11.65±0.92A<br>(11.00 - 12.30)   | 10.47±1.46<br>(9.43 - 11.50)  | 8.77±0.00A<br>(8.77 - 8.77)      | 8.80±0.57<br>(8.25 - 9.39)     | 10.72±1.27<br>(9.26 - 11.50)   | 0.120 |
|   | Aa2                      | 12.80±0.42bcA<br>(12.50 - 13.10) | 11.55±0.07ab<br>(11.5 - 11.6) | 9.96±0.06aA<br>(9.92 - 10.00)    | 10.55±0.07a<br>(10.50 - 10.60) | 14.05±1.34c<br>(13.10 - 15.00) | 0.006 |
|   | Am1                      | 10.13±0.53A<br>(9.75 - 10.50)    | 9.16±0.10<br>(9.09 - 9.23)    | 7.99±0.34A<br>(7.75 - 8.23)      | 11.30±2.18<br>(9.81 - 13.80)   | 8.42±0.90<br>(7.49 - 9.28)     | 0.106 |
|   | Am2                      | 13.65±3.04AB<br>(11.50 - 15.80)  | 13.40±3.68<br>(10.8 - 16.0)   | 9.06±0.28A<br>(8.86 - 9.25)      | 8.31±3.23<br>(4.96 - 11.40)    | 9.81±1.47<br>(8.14 - 10.90)    | 0.189 |
|   | Am3                      | 13.65±3.04AB<br>(11.50 - 15.80)  | 21.10±0.00<br>(21.1 - 21.1)   | 13.75±0.35B<br>(13.50 - 14.00)   | 8.91±2.24<br>(6.33 - 10.30)    | 12.63±4.60<br>(9.00 - 17.80)   | 0.097 |
|   | F                        | 18.70±2.26cC<br>(17.10 - 20.30)  | 15.35±2.05bc<br>(13.9 - 16.8) | 13.30±1.84abB<br>(12.00 - 14.60) | 10.12±2.39a<br>(7.84 - 12.60)  | 9.85±2.08a<br>(7.55 - 11.60)   | 0.014 |
|   | S0                       | 17.00±0.71BC<br>(16.50 - 17.50)  | 17.15±5.87<br>(13.0 - 21.3)   | 13.30±0.28B<br>(13.10 - 13.50)   | 12.63±6.19<br>(7.08 - 19.30)   | 13.26±5.38<br>(8.99 - 19.30)   | 0.765 |
|   | S1                       | 17.00±0.71BC<br>(16.50 - 17.50)  | 18.15±5.16<br>(14.5 - 21.8)   | 14.40±0.00B<br>(14.40 - 14.40)   | 17.03±2.38<br>(14.90 - 19.60)  | 12.87±1.48<br>(11.60 - 14.50)  | 0.283 |
|   | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.013                            | 0.138                         | 0.001                            | 0.058                          | 0.294                          |       |

*Les chiffres suivis des mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Les lettres en minuscules font références aux différences suivant les saisons d'échantillonnage, alors que celles en majuscules font références aux couverts végétaux entres eux.*

**Tableau 11. Variation temporelle des nutriments de 0 – 30 cm**

| Nutrimen<br>t      | Végétatio<br>n | Périodes d'échantillonnage |               |                 |               |               | P <sub>value</sub> |
|--------------------|----------------|----------------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------------------|
|                    |                | Février012                 | Juillet 012   | Novembre<br>012 | Février013    | Juillet 013   |                    |
| pH                 | Aa1            | 5.59±0.15bcBC              | 5.35±0.11CD   | 5.31±0.15C      | 5.28±0.05BC   | 5.36±0.49     | 0.619              |
|                    |                | (5.42 - 5.69)              | (5.25 - 5.46) | (5.20 - 5.41)   | (5.22 - 5.31) | (4.80 - 5.70) |                    |
|                    | Aa2            | 5.45±0.14bB                | 4.85±0.12aA   | 5.00±0.20aB     | 5.49±0.10bC   | 5.42±0.16 b   | 0.003              |
|                    |                | (5.29 - 5.55)              | (4.73 - 4.97) | (4.79 - 5.18)   | (5.42 - 5.56) | (5.30 - 5.53) |                    |
|                    | Am1            | 5.77±0.20cC                | 5.42±0.15bD   | 5.35±0.04bC     | 4.92±0.18aA   | 5.10±0.20a    | 0.001              |
|                    |                | (5.62 - 5.99)              | (5.26 - 5.56) | (5.30 - 5.38)   | (4.81 - 5.12) | (4.95 - 5.33) |                    |
|                    | Am2            | 5.00±0.05A                 | 4.82±0.07A    | 4.96±0.15B      | 5.19±0.41ABC  | 5.22±0.10     | 0.165              |
|                    |                | (4.96 - 5.06)              | (4.76 - 4.90) | (4.79 - 5.06)   | (4.74 - 5.55) | (5.13 - 5.32) |                    |
|                    | Am3            | 5.00±0.05A                 | 4.94±0.11AB   | 5.03±0.07B      | 4.89 ±0.06A   | 4.86±0.34     | 0.721              |
|                    |                | (4.96 - 5.06)              | (4.86 - 5.02) | (4.97 - 5.10)   | (4.83 - 4.94) | (4.50 - 5.18) |                    |
| F                  | 4.95±0.11abA   | 4.83±0.33abA               | 4.56±0.21aA   | 5.13±0.11bAB    | 5.17±0.12b    | 0.022         |                    |
|                    | (4.84 - 5.05)  | (4.62 - 5.21)              | (4.39 - 4.80) | (5.00 - 5.20)   | (5.09 - 5.31) |               |                    |
| S0                 | 5.12± 0.17A    | 5.20±0.12BCD               | 5.05±0.09B    | 4.92±0.12A      | 5.26±0.22     | 0.135         |                    |
|                    | (5.00 - 5.32)  | (5.07 - 5.30)              | (4.98 - 5.15) | (4.83 - 5.06)   | (5.01 - 5.43) |               |                    |
| S1                 | 5.12± 0.17A    | 5.05±0.15ABC               | 5.01±0.02B    | 5.36±0.07BC     | 5.23±0.25     | 0.113         |                    |
|                    | (5.00 - 5.32)  | (4.90 - 5.20)              | (4.99 - 5.02) | (5.31 - 5.44)   | (4.96 - 5.44) |               |                    |
| P <sub>value</sub> |                | 0.001                      | 0.002         | 0.001           | 0.010         | 0.413         |                    |
| CEC                | Aa1            | 0.91 ±0.14a                | 0.95±0.27a    | 1.16±0.31ab     | 1.87±0.36b    | 1.72±0.55b    | 0.027              |
|                    |                | (0.77 - 1.05)              | (0.65 - 1.18) | (0.94 - 1.38)   | (1.62 - 2.28) | (1.21 - 2.30) |                    |
|                    | Aa2            | 1.04±0.41                  | 1.25±0.33     | 1.50±0.45       | 1.45±0.26     | 1.77±0.56     | 0.411              |
|                    |                | (0.57 - 1.33)              | (0.87 - 1.46) | (0.98 - 1.79)   | (1.26 - 1.63) | (1.37 - 2.16) |                    |
|                    | Am1            | 1.02±0.32a                 | 1.00±0.28a    | 1.18±0.18ab     | 2.53±0.88c    | 2.04±0.43bc   | 0.009              |
|                    |                | (0.68 - 1.31)              | (0.76 - 1.31) | (0.98 - 1.33)   | (1.51 - 3.04) | (1.63 - 2.49) |                    |
|                    | Am2            | 1.03±0.28                  | 1.22±0.59     | 1.35±0.59       | 1.79±0.26     | 1.04±0.10     | 0.224              |
|                    |                | (0.72 - 1.26)              | (0.54 - 1.58) | (0.88 - 2.01)   | (1.50 - 1.99) | (0.95 - 1.14) |                    |
|                    | Am3            | 1.03±0.28                  | 1.50±0.83     | 1.43±0.46       | 2.02±0.42     | 1.29±0.51     | 0.415              |
|                    |                | (0.72 - 1.26)              | (0.91 - 2.08) | (1.06 - 1.94)   | (1.74 - 2.50) | (0.89 - 1.87) |                    |
| F                  | 0.86±0.71      | 0.86±0.32                  | 2.02±0.67     | 1.64±0.82       | 1.92±1.27     | 0.290         |                    |
|                    | (0.24 - 1.63)  | (0.52 - 1.16)              | (1.43 - 2.74) | (0.70 - 2.18)   | (1.18 - 3.39) |               |                    |
| S0                 | 1.32±0.08      | 1.12±0.56                  | 1.76±0.29     | 1.69±0.36       | 1.35±0.56     | 0.342         |                    |
|                    | (1.23 - 1.38)  | (0.65 - 1.74)              | (1.44 - 2.01) | (1.28 - 1.90)   | (0.88 - 1.97) |               |                    |
| S1                 | 1.32±0.08      | 1.46±0.30                  | 2.19±0.40     | 1.47±0.20       | 1.22±0.59     | 0.149         |                    |
|                    | (1.23 - 1.38)  | (1.29 - 1.81)              | (1.90 - 2.47) | (1.34 - 1.70)   | (0.70 - 1.86) |               |                    |

|    | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.752                               | 0.642                           | 0.182                       | 0.317                               | 0.520                          |       |  |
|----|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------|--|
| Fe | Aa1                      | 181.50±3.54A<br>(179.00 - 184.00)   | 186.5±16.3AB<br>(175.0 - 198.0) | 163.00±00A<br>(163. - 163.) | 167.33±11.72<br>(154.00 - 176.00)   | 188.70±87.40<br>(129.0 -289.0) | 0.978 |  |
|    | Aa2                      | 253.00±5.66cBC<br>(249.00 - 257.00) | 255.5±12cA<br>(247 - 264)       | 213±53.7bcB<br>(175 - 251)  | 131.50±7.78a<br>(126.00 - 137.00)   | 169.00±26.90ab<br>(150 -188)   | 0.024 |  |
|    | Am1                      | 197.50±4.95AB<br>(194.00 - 201.00)  | 212.0±21.2AB<br>(197.0 - 227.0) | 177 ±2.83AB<br>(175 - 179)  | 215.30±65.20<br>(140.00 - 253.00)   | 174.00±31.00<br>(150 -209)     | 0.669 |  |
|    | Am2                      | 323.50±58.70cD<br>(282.00 - 365.00) | 293±43.8bcAB<br>(262 - 324)     | 272±7abcBC<br>(267 - 277)   | 215.30±33.10bc<br>(184.00 - 250.00) | 188.30±37.70a<br>(145 -214)    | 0.030 |  |
|    | Am3                      | 323.50±58.70D<br>(282.00 - 365.00)  | 329.00±00AB<br>(329 - 329)      | 321.0±7.07C<br>(316 - 326)  | 198.30±42.80<br>(161.00 - 245.00)   | 206.70±32.30<br>(177 - 241)    | 0.021 |  |
|    | F                        | 304.0±11.3cCD<br>(296.00 - 312.00)  | 229±39.6bAB<br>(201 - 257)      | 252 ±19bcBC<br>(238 - 265)  | 169.70±27.80a<br>(140.00 - 195.00)  | 142.70±23.00a<br>(123 - 168)   | 0.001 |  |
|    | S0                       | 336.00±4.24D<br>(333.00 - 339.00)   | 297.00±24.00B<br>(280 - 314)    | 283±40BC<br>(254 - 311)     | 236.00±85.70<br>(175.00 - 334.00)   | 234.70±46.50<br>(187 - 280)    | 0.311 |  |
|    | S1                       | 336.00±4.24D<br>(333.00 - 339.00)   | 280.0±17.0AB<br>(268 - 292)     | 363.00±00C<br>(363 - 363)   | 217.33±12.42<br>(203.00 - 225.00)   | 215.70±59.00<br>(169 - 282)    | 0.065 |  |
|    |                          | <b>P<sub>value</sub></b>            | 0.003                           | 0.022                       | 0.011                               | 0.254                          | 0.442 |  |

*Les chiffres suivis des mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Les lettres en minuscules font références aux différences suivant les saisons d'échantillonnage, alors que celles en majuscules font références aux couverts végétaux entres eux.*

**Tableau 12. Variation temporelle des nutriments de 0 – 30 cm**

| Nutriment          | Végétation         | Périodes d'échantillonnage |             |              |             |             | P <sub>value</sub> |
|--------------------|--------------------|----------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------------|
|                    |                    | Février012                 | Juillet 012 | Novembre 012 | Février013  | Juillet 013 |                    |
| Zn                 | Aa1                | 1.29±0.19b                 | 0.94±0.17ab | 0.55±0.00a   | 0.74±0.17a  | 0.64±0.19a  | 0.040              |
|                    |                    | 1.15 - 1.42                | 0.82 - 1.06 | 0.55 - 0.55  | 0.59 - 0.92 | 0.44 - 0.82 |                    |
|                    | Aa2                | 1.36±0.18                  | 0.83±0.47   | 1.18±0.89    | 0.53±0.18   | 1.29±0.95   | 0.669              |
|                    |                    | 1.23 - 1.49                | 0.49 - 1.16 | 0.55 - 1.81  | 0.40 - 0.66 | 0.62 - 1.96 |                    |
|                    | Am1                | 0.61±0.40                  | 1.11±0.35   | 0.51±0.25    | 1.15±0.20   | 0.54±0.17   | 0.066              |
|                    |                    | 0.32 - 0.89                | 0.86 - 1.35 | 0.33 - 0.68  | 0.93 - 1.33 | 0.42 - 0.73 |                    |
|                    | Am2                | 1.05±0.01b                 | 0.71±0.04a  | 0.66±0.18a   | 0.51±0.16a  | 0.63±0.06a  | 0.013              |
|                    |                    | 1.04 - 1.05                | 0.68 - 0.74 | 0.53 - 0.78  | 0.33 - 0.64 | 0.56 - 0.68 |                    |
|                    | Am3                | 1.05±0.01b                 | 1.57±0.00   | 1.68±0.74    | 0.78±0.33   | 0.67±0.27   | 0.129              |
|                    |                    | 1.04 - 1.05                | 1.57 - 1.57 | 1.15 - 2.20  | 0.45 - 1.11 | 0.48 - 0.98 |                    |
|                    | F                  | 0.94±0.54                  | 0.59±0.14   | 0.42±0.12    | 0.80±0.56   | 0.72±0.13   | 0.678              |
|                    |                    | 0.56 - 1.32                | 0.49 - 0.69 | 0.33 - 0.50  | 0.41 - 1.44 | 0.59 - 0.84 |                    |
|                    | S0                 | 1.46±0.39                  | 1.26±1.05   | 0.53±0.27    | 0.63±0.17   | 0.84±0.19   | 0.532              |
|                    |                    | 1.18 - 1.73                | 0.52 - 2.00 | 0.34 - 0.72  | 0.44 - 0.76 | 0.64 - 1.02 |                    |
|                    | S1                 | 1.46±0.39                  | 0.51±0.12   | 0.65±0.33    | 0.60±0.06   | 0.65±0.10   | 0.378              |
|                    |                    | 1.18 - 1.73                | 0.42 - 0.59 | 0.41 - 0.88  | 0.53 - 0.65 | 0.59 - 0.76 |                    |
|                    | P <sub>value</sub> |                            | 0.393       | 0.512        | 0.644       | 0.473       | 0.250              |
|                    | Cu                 | Aa1                        | 0.21±0.00AB | 0.18±0.00A   | 0.18±0.00   | 0.24±0.04   | 0.40±0.17          |
| 0.21 - 0.21        |                    |                            | 0.18 - 0.18 | 0.18 - 0.18  | 0.20 - 0.28 | 0.20 - 0.53 |                    |
| Aa2                |                    | 0.33±0.01BC                | 0.38±0.10C  | 0.29±0.16    | 0.35±0.12   | 0.42±0.21   | 0.897              |
|                    |                    | 0.32 - 0.34                | 0.31 - 0.45 | 0.18 - 0.40  | 0.26 - 0.43 | 0.27 - 0.56 |                    |
| Am1                |                    | 0.22±0.05AB                | 0.20±0.02A  | 0.19±0.01    | 0.68±0.20   | 0.46±0.08   | 0.008              |
|                    |                    | 0.18 - 0.25                | 0.18 - 0.21 | 0.18 - 0.20  | 0.50 - 0.90 | 0.37 - 0.52 |                    |
| Am2                |                    | 0.37±0.05aC                | 0.25±0.01aB | 0.35±0.06a   | 0.47±0.25b  | 0.45±0.01ab | 0.483              |
|                    |                    | 0.33 - 0.40                | 0.24 - 0.26 | 0.30 - 0.39  | 0.25 - 0.75 | 0.44 - 0.45 |                    |
| Am3                |                    | 0.37±0.05aC                | 0.41±0.00C  | 0.44±0.07    | 0.80±0.20   | 0.51±0.25   | 0.265              |
|                    |                    | 0.33 - 0.40                | 0.41 - 0.41 | 0.39 - 0.49  | 0.57 - 0.93 | 0.22 - 0.68 |                    |
| F                  |                    | 0.18±0.00A                 | 0.19±0.01A  | 0.18±0.00    | 0.44±0.26   | 0.57±0.08   | 0.052              |
|                    |                    | 0.18 - 0.18                | 0.18 - 0.20 | 0.18 - 0.18  | 0.21 - 0.72 | 0.50 - 0.66 |                    |
| S0                 |                    | 0.30±0.16C                 | 0.22±0.06AB | 0.23±0.06    | 0.59±0.11   | 0.64±0.19   | 0.772              |
|                    |                    | 0.18 - 0.41                | 0.18 - 0.26 | 0.18 - 0.27  | 0.50 - 0.71 | 0.44 - 0.81 |                    |
| S1                 |                    | 0.30±0.16C                 | 0.22±0.05AB | 0.20±0.03    | 0.72±0.18   | 0.51±0.25   | 0.209              |
|                    |                    | 0.18 - 0.41                | 0.18 - 0.25 | 0.18 - 0.22  | 0.59 - 0.93 | 0.32 - 0.80 |                    |
| P <sub>value</sub> |                    | 0.031                      | 0.023       | 0.139        | 0.066       | 0.720       |                    |

|    |                          |              |             |             |             |             |       |  |
|----|--------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|--|
| Mn | Aa1                      | 3.82±0.04B   | 4.08±1.71B  | 4.00±0.00B  | 4.46±1.71   | 3.18±3.27   | 0.966 |  |
|    |                          | 3.79 - 3.85  | 2.87 - 5.29 | 4.00 - 4.00 | 2.56 - 5.87 | 1.26 - 6.95 |       |  |
|    | Aa2                      | 7.37±0.35cD  | 7.89±0.49cC | 5.50±0.02bB | 1.02±0.56a  | 1.09±0.04a  | 0.001 |  |
|    |                          | 7.12 - 7.62  | 7.54 - 8.23 | 5.48 - 5.51 | 0.62 - 1.41 | 1.06 - 1.12 |       |  |
|    | Am1                      | 4.64±1.58BC  | 4.24±0.01B  | 4.25±0.98B  | 5.27±3.86   | 3.86±0.35   | 0.946 |  |
|    |                          | 3.52 - 5.76  | 4.23 - 4.24 | 3.56 - 4.94 | 0.83 - 7.87 | 3.46 - 4.09 |       |  |
|    | Am2                      | 5.95±0.42CD  | 4.95±2.50B  | 4.15±0.25B  | 2.94±3.09   | 2.58±1.93   | 0.472 |  |
|    |                          | 5.65 - 6.25  | 3.18 - 6.71 | 3.97 - 4.32 | 1.12 - 6.51 | 1.26 - 4.80 |       |  |
|    | Am3                      | 5.95±0.42CD  | 9.09±0.00C  | 7.54±0.40C  | 5.31±2.58   | 4.25±1.90   | 0.233 |  |
|    |                          | 5.65 - 6.25  | 9.09 - 9.09 | 7.25 - 7.82 | 2.79 - 7.94 | 2.29 - 6.08 |       |  |
|    | F                        | 1.50±0.10A   | 1.24±0.58A  | 1.47±0.30A  | 3.08±1.97   | 2.67±0.68   | 0.352 |  |
|    |                          | 1.43 - 1.57  | 0.83 - 1.65 | 1.26 - 1.68 | 0.86 - 4.61 | 2.00 - 3.35 |       |  |
|    | S0                       | 4.58±0.24bBC | 4.47±0.31bB | 5.00±1.30bB | 1.48±0.80a  | 1.21±0.63a  | 0.001 |  |
|    |                          | 4.41 - 4.75  | 4.25 - 4.69 | 4.08 - 5.92 | 0.56 - 2.00 | 0.74 - 1.92 |       |  |
|    | S1                       | 4.58±0.24bBC | 4.48±0.35bB |             | 1.53±0.63a  | 1.15±0.17a  | 0.001 |  |
|    |                          | 4.41 - 4.75  | 1.90 - 1.99 |             | 0.86 - 6.23 | 1.60 - 3.77 |       |  |
|    | <b>P<sub>value</sub></b> |              | 0.002       | 0.012       | 0.001       | 0.214       | 0.178 |  |

*Les chiffres suivis des mêmes lettres ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Les lettres en minuscules font références aux différences suivant les saisons d'échantillonnage, alors que celles en majuscules font références aux couverts végétaux entres eux.*

**Tableau 13. Variation temporelle des nutriments de 30 – 60 cm**

| Nutriment          | Végétation    | Périodes d'échantillonnage |               |                 |                |               | P <sub>value</sub> |
|--------------------|---------------|----------------------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|--------------------|
|                    |               | Février012                 | Juillet 012   | Novembre<br>012 | Février013     | Juillet 013   |                    |
| N                  | Aa1           | 0.27±0.06                  | 0.26±0.04     | 0.28±0.08       | 0.21±0.01AB    | 0.22±0.01     | 0.389              |
|                    |               | 0.23 - 0.33                | 0.23 - 0.31   | 0.23 - 0.38     | 0.20 - 0.22    | 0.21 - 0.22   |                    |
|                    | Aa2           | 0.20±0.00                  | 0.22±0.00     | 0.23±0.02       | 0.23±0.02BC    | 0.22±0.02     | 0.129              |
|                    |               | 0.20 - 0.20                | 0.22 - 0.22   | 0.22 - 0.26     | 0.21 - 0.24    | 0.20 - 0.24   |                    |
|                    | Am1           | 0.27±0.06                  | 0.24±0.01     | 0.27±0.06       | 0.22±0.01BC    | 0.23±0.02     | 0.475              |
|                    |               | 0.22 - 0.33                | 0.23 - 0.25   | 0.23 - 0.34     | 0.21 - 0.22    | 0.22 - 0.25   |                    |
|                    | Am2           | 0.22±0.02                  | 0.22±0.02     | 0.24±0.03       | 0.23±0.01BC    | 0.23±0.01     | 0.465              |
|                    |               | 0.20 - 0.24                | 0.20 - 0.24   | 0.22 - 0.28     | 0.22 - 0.24    | 0.22 - 0.25   |                    |
|                    | Am3           | 0.22±0.02                  | 0.21±0.01     | 0.23±0.01       | 0.23±0.01BC    | 0.23±0.00     | 0.231              |
|                    |               | 0.20 - 0.24                | 0.20 - 0.22   | 0.22 - 0.24     | 0.22 - 0.23    | 0.23 - 0.23   |                    |
|                    | F             | 0.22±0.01                  | 0.22±0.01     | 0.23±0.02       | 0.23±0.01C     | 0.25±0.01     | 0.060              |
|                    |               | 0.21 - 0.23                | 0.21 - 0.23   | 0.22 - 0.25     | 0.23 - 0.24    | 0.24 - 0.25   |                    |
|                    | S0            | 0.21±0.03                  | 0.21±0.03     | 0.22±0.03       | 0.19±0.01A     | 0.21±0.02     | 0.605              |
|                    |               | (0.19 - 0.24)              | (0.19 - 0.25) | 0.20 - 0.26     | 0.18 - 0.19    | 0.19 - 0.23   |                    |
| S1                 | 0.21±0.03     | 0.20±0.02                  | 0.24±0.02     | 0.21±0.03BC     | 0.21±0.02      | 0.332         |                    |
|                    | (0.19 - 0.24) | 0.19 - 0.22                | 0.21 - 0.25   | 0.18 - 0.23     | 0.19 - 0.23    |               |                    |
| P <sub>value</sub> |               | 0.143                      | 0.160         | 0.627           | 0.006          | 0.055         |                    |
| P                  | Aa1           | 23.27±1.40A                | 25.80±6.27    | 29.70±5.40      | 34.63±19.38AB  | 37.00±27.01   | 0.747              |
|                    |               | 21.70 - 24.40              | 18.80 - 30.90 | 25.00 - 35.60   | 14.10 - 52.60  | 17.90 - 56.10 |                    |
|                    | Aa2           | 40.97±4.97C                | 37.00±4.35    | 37.97±9.51      | 30.07±9.77AB   | 27.82±19.59   | 0.614              |
|                    |               | 37.20 - 46.60              | 32.60 - 41.30 | 31.00 - 48.80   | 20.00 - 39.50  | 6.92 - 54.50  |                    |
|                    | Am1           | 40.40±8.19ABC              | 42.17±15.45   | 40.73±7.12      | 46.00±20.03A   | 59.43±15.73   | 0.482              |
|                    |               | 31.40 - 47.40              | 26.50 - 57.40 | 32.90 - 46.80   | 23740 - 63.50  | 50.30 - 77.60 |                    |
|                    | Am2           | 38.27±3.94BC               | 27.20±14.06   | 30.60±12.39     | 36.03±2.17AB   | 44.28±27.44   | 0.698              |
|                    |               | 34.70 - 42.50              | 12.80 - 40.90 | 23.10 - 44.90   | 34.40 - 38.50  | 15.40 - 81.10 |                    |
|                    | Am3           | 38.27±3.94BC               | 33.85±4.45    | 39.07±6.74      | 69.17±20.69C   | 58.10±29.84   | 0.181              |
|                    |               | 34.70 - 42.50              | 30.70 - 37.00 | 31.60 - 44.70   | 49.30 - 90.60  | 37.00 - 79.20 |                    |
|                    | F             | 22.32±13.55A               | 30.70±8.48    | 31.43±10.24     | 44.83±16.82ABC | 39.33±6.50    | 0.240              |
|                    |               | 7.56 - 34.20               | 21.20 - 37.50 | 24.50 - 43.20   | 25.80 - 57.70  | 32.90 - 45.90 |                    |
|                    | S0            | 26.70±3.12AB               | 28.33±9.29    | 27.00±3.99      | 45.70±14.73ABC | 37.10±9.77    | 0.116              |
|                    |               | 24.70 - 30.30              | 19.60 - 38.10 | 22.40 - 29.60   | 36.70 - 62.70  | 29.80 - 48.20 |                    |
| S1                 | 26.70±3.12AB  | 31.30±4.15                 | 29.40±7.73    | 48.40±4.68BC    | 37.30±16.16    | 0.139         |                    |
|                    | 24.70 - 30.30 | 27.10 - 35.40              | 22.60 - 37.80 | 45.50 - 53.80   | 25.00 - 55.60  |               |                    |

| <b>P<sub>value</sub></b> | 0.014 | 0.530        | 0.533        | 0.021        | 0.198         |              |       |
|--------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|-------|
| K                        | Aa1   | 7.46±3.95    | 7.13±3.14    | 7.75±3.77    | 5.94±4.20     | 4.65±3.51    | 0.885 |
|                          |       | 4.87 - 12.00 | 4.50 - 10.60 | 5.37 - 12.10 | 2.43 - 10.60  | 2.16 - 7.13  |       |
|                          | Aa2   | 10.40±6.52   | 4.43±2.30    | 2.30±1.46    | 9.67±2.16     | 4.62±3.46    | 0.064 |
|                          |       | 5.49 - 17.80 | 2.95 - 7.08  | 0.69 - 3.54  | 7.75 - 12.00  | 1.67 - 9.80  |       |
|                          | Am1   | 6.45±3.14    | 9.63±0.85    | 15.71±16.15  | 4.33±4.02     | 8.13±2.88    | 0.478 |
|                          |       | 4.04 - 10.00 | 8.80 - 10.50 | 3.39 - 34.00 | 0.20 - 8.23   | 4.80 - 9.83  |       |
|                          | Am2   | 7.44±2.23    | 4.46±1.86    | 8.72±2.78    | 8.82±4.15     | 4.88±2.17    | 0.182 |
|                          |       | 5.95 - 10.00 | 2.33 - 5.73  | 5.67 - 11.10 | 6.08 - 13.60  | 2.35 - 7.19  |       |
|                          | Am3   |              | 11.18±5.97   | 12.33±7.31   | 6.51±1.66     | 6.55±6.44    | 0.552 |
|                          |       |              | 6.96 - 15.40 | 6.74 - 20.60 | 4.65 - 7.82   | 1.99 - 11.10 |       |
|                          | F     | 5.97±1.58    | 10.23±3.84   | 8.54±3.43    | 11.80±1.06    | 7.61±6.50    | 0.423 |
|                          |       | 4.23 - 7.32  | 6.67 - 14.30 | 6.46 - 12.50 | 11.00 - 13.00 | 2.79 - 15.00 |       |
|                          | S0    | 12.53±4.83   | 9.46±6.68    | 12.36±9.11   | 6.12±6.30     | 4.83±4.04    | 0.501 |
|                          |       | 9.49 - 18.10 | 1.88 - 14.50 | 2.27 - 20.00 | 0.64 - 13.00  | 0.18 - 7.41  |       |
|                          | S1    |              | 12.55±8.57   | 10.85±8.23   | 4.78±3.99     | 2.06±1.64    | 0.218 |
|                          |       |              | 3.54 - 20.60 | 2.14 - 18.50 | 0.18 - 7.40   | 0.18 - 3.14  |       |
| <b>P<sub>value</sub></b> | 0.372 | 0.383        | 0.622        | 0.270        | 0.150         |              |       |



**Tableau 14. Variation temporelle des nutriments de 30 – 60 cm**

| Nutriment          | Végétation | Périodes d'échantillonnage |               |                |                 |                 | P <sub>value</sub> |
|--------------------|------------|----------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
|                    |            | Février012                 | Juillet 012   | Novembre 012   | Février013      | Juillet 013     |                    |
| Ca                 | Aa1        | 55.73±24.73a               | 52.13±26.71a  | 62.97±17.66ab  | 119.00±20.81cAB | 106.75±18.74bc  | 0.017              |
|                    |            | 27.30 - 72.20              | 28.30 - 81.00 | 45.70 - 81.00  | 106.00 - 143.00 | 93.50 - 120.00  |                    |
|                    | Aa2        | 63.00±26.87                | 57.67±17.61   | 56.80±16.99    | 90.23±10.75A    | 88.64±31.48     | 0.212              |
|                    |            | 34.20 - 87.40              | 37.50 - 70.00 | 38.20 - 71.50  | 79.50 - 101.00  | 50.10 - 136.00  |                    |
|                    | Am1        | 45.67±24.41ab              | 52.33±11.61ab | 39.90±18.56a   | 142.67±39.11cB  | 89.80±21.91b    | 0.002              |
|                    |            | 17.50 - 60.70              | 40.10 - 63.20 | 19.60 - 56.00  | 102.00 - 180.00 | 68.20 - 112.00  |                    |
|                    | Am2        | 50.37±15.01a               | 45.60±21.96a  | 58.40±28.96ab  | 88.13±31.97abA  | 102.68±15.62b   | 0.030              |
|                    |            | 37.60 - 66.90              | 21.60 - 64.70 | 25.10 - 77.70  | 60.20 - 123.00  | 86.20 - 117.00  |                    |
|                    | Am3        | 50.37±15.01a               | 67.20±0.99a   | 64.57±11.42a   | 130.00±25.16b   | 131.50±4.95b    | 0.004              |
|                    |            | 37.60 - 66.90              | 66.50 - 67.90 | 52.50 - 75.20  | 114.00 - 159.00 | 128.00 - 135.00 |                    |
|                    | F          | 36.50±25.91a               | 47.83±15.13a  | 47.57±30.01a   | 161.00±19.00bB  | 121.50±27.53b   | 0.001              |
|                    |            | 20.60 - 66.40              | 37.50 - 65.20 | 14.80 - 73.70  | 145.00 - 182.00 | 98.50 - 152.00  |                    |
|                    | S0         | 104.27±81.01               | 50.83±15.65   | 58.97±8.14     | 130.67±26.03AB  | 80.77±28.75     | 0.181              |
|                    |            | 47.30 - 197.00             | 33.10 - 62.70 | 52.20 - 68.00  | 104.00 - 156.00 | 48.30 - 103.00  |                    |
|                    | S1         |                            | 55.53±20.47   | 74.00±20.25    | 88.00±13.43A    | 71.60±24.68     | 0.336              |
|                    |            | 35.60 - 76.50              | 54.00 - 94.50 | 73.50 - 100.00 | 55.30 - 100.00  |                 |                    |
| P <sub>value</sub> |            | 0.416                      | 0.935         | 0.603          | 0.015           | 0.429           |                    |
| Mg                 | Aa1        | 12.10±5.74a                | 12.03±6.62a   | 14.30±3.58a    | 26.90±6.04bABC  | 22.70±4.38ab    | 0.031              |
|                    |            | 5.49 - 15.80               | 6.87 - 19.50  | 10.50 - 17.60  | 22.60 - 33.80   | 19.60 - 25.80   |                    |
|                    | Aa2        | 11.38±5.37ab               | 11.30±5.09ab  | 10.41±4.14a    | 21.50±4.56bAB   | 20.80±6.46ab    | 0.036              |
|                    |            | 5.53 - 16.10               | 5.49 - 15.00  | 6.73 - 14.90   | 17.80 - 26.60   | 13.50 - 30.50   |                    |
|                    | Am1        | 10.30±5.02a                | 11.68±2.88a   | 9.63±3.69a     | 31.17±8.41bBC   | 20.13±4.85a     | 0.002              |
|                    |            | 4.51 - 13.40               | 9.35 - 14.90  | 5.58 - 12.80   | 22.10 - 38.70   | 15.30 - 25.00   |                    |
|                    | Am2        | 10.28±2.87a                | 9.48±4.37a    | 12.55±5.69ab   | 18.23±6.00abA   | 21.60±3.85b     | 0.022              |
|                    |            | 8.02 - 13.50               | 4.83 - 13.50  | 6.04 - 16.60   | 12.30 - 24.30   | 18.10 - 26.60   |                    |
|                    | Am3        | 10.28±2.87a                | 12.50±0.00a   | 13.23±3.07a    | 29.27±6.90bABC  | 27.85±0.35b     | 0.008              |
|                    |            | 8.02 - 13.50               | 12.50 - 12.50 | 10.00 - 16.10  | 24.10 - 37.10   | 27.60 - 28.10   |                    |
|                    | F          | 8.18±6.25a                 | 11.08±3.87a   | 11.62±7.11a    | 36.23±5.57bC    | 28.20±5.41b     | 0.001              |
|                    |            | 3.64 - 15.30               | 8.33 - 15.50  | 3.95 - 18.00   | 29.80 - 39.60   | 23.30 - 34.00   |                    |
|                    | S0         | 22.28±17.76                | 11.61±3.78    | 12.70±1.51     | 27.97±5.39ABC   | 18.27±6.61      | 0.223              |
|                    |            | 9.74 - 42.60               | 7.34 - 14.50  | 11.30 - 14.30  | 22.10 - 32.70   | 11.90 - 25.10   |                    |
|                    | S1         |                            | 12.67±4.81    | 15.03±4.29     | 19.63±3.45A     | 15.87±5.38      | 0.364              |
|                    |            | 7.70 - 17.30               | 11.10 - 19.60 | 16.10 - 23.00  | 11.30 - 21.80   |                 |                    |
| P <sub>value</sub> |            | 0.456                      | 0.993         | 0.809          | 0.025           | 0.444           |                    |

|                          |     |               |               |                |               |               |       |
|--------------------------|-----|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|-------|
| S                        | Aa1 | 15.05±1.48    | 12.20±1.84    | 12.50±2.83BC   | 11.87±1.31AB  | 10.95±0.07    | 0.269 |
|                          |     | 14.00 - 16.10 | 10.90 - 13.50 | 10.50 - 14.50  | 10.50 - 13.10 | 10.90 - 11.00 |       |
|                          | Aa2 | 17.80±9.62    | 9.46±1.47     | 7.23±0.81A     | 13.67±1.26B   | 11.02±1.20    | 0.080 |
|                          |     | 11.00 - 24.60 | 8.42 - 10.50  | 6.65 - 7.80    | 12.50 - 15.00 | 9.42 - 12.50  |       |
|                          | Am1 | 12.70±0.57    | 11.15±0.35    | 9.34±1.07AB    | 12.80±3.03B   | 9.78±2.64     | 0.357 |
|                          |     | 12.30 - 13.10 | 10.90 - 11.40 | 8.58 - 10.10   | 11.00 - 16.30 | 7.04 - 12.30  |       |
|                          | Am2 | 11.83±4.34    | 12.70±1.70    | 7.96±0.07A     | 10.38±0.64AB  | 10.34±2.96    | 0.430 |
|                          |     | 8.76 - 14.90  | 11.50 - 13.90 | 7.91 - 8.01    | 9.73 - 11.00  | 7.26 - 13.60  |       |
|                          | Am3 |               | 17.30±        | 12.20±0.14BC   | 13.54±3.52B   | 9.05±0.11     | 0.181 |
|                          |     |               | 17.30 - 17.30 | 12.10 - 12.30  | 9.52 - 16.10  | 8.97 - 9.13   |       |
|                          | F   | 14.50±2.97bc  | 16.80±3.96c   | 11.70±1.84aBCb | 8.52±0.27aA   | 10.14±0.76ab  | 0.018 |
|                          |     | 12.40 - 16.60 | 14.00 - 19.60 | 10.40 - 13.00  | 8.23 - 8.75   | 9.58 - 11.00  |       |
|                          | S0  | 17.55±0.07c   | 14.50±0.71b   | 12.45±2.05abBC | 10.51±1.00aAB | 10.39±1.12a   | 0.001 |
|                          |     | 17.50 - 17.60 | 14.00 - 15.00 | 11.00 - 13.90  | 9.63 - 11.60  | 9.26 - 11.50  |       |
|                          | S1  |               | 15.00±4.38    | 13.60±1.13C    | 11.07±0.38AB  | 9.96±1.51     | 0.116 |
|                          |     |               | 11.90 - 18.10 | 12.80 - 14.40  | 10.80 - 11.50 | 8.39 - 11.40  |       |
| <b>P<sub>value</sub></b> |     | 0.714         | 0.179         | 0.021          | 0.040         | 0.294         |       |

**Tableau 15. Variation temporelle des nutriments de 30 – 60 cm**

| Nutriment          | Végétation         | Périodes d'échantillonnage |             |              |              |             | P <sub>value</sub> |
|--------------------|--------------------|----------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------------|
|                    |                    | Février012                 | Juillet 012 | Novembre 012 | Février013   | Juillet 013 |                    |
| pH                 | Aa1                | 5.86±0.24bC                | 5.54±0.14aD | 5.55±0.09abC | 4.91±0.28aAB | 4.82±0.09a  | 0.001              |
|                    |                    | 5.62 - 6.09                | 5.38 - 5.63 | 5.46 - 5.64  | 4.63 - 5.19  | 4.75 - 4.88 |                    |
|                    | Aa2                | 5.57±0.09B                 | 5.16±0.04AB | 5.10±0.10AB  | 4.85±0.21A   | 4.86±0.16   | 0.001              |
|                    |                    | 5.49 - 5.66                | 5.13 - 5.20 | 5.02 - 5.21  | 4.68 - 5.09  | 4.64 - 5.08 |                    |
|                    | Am1                | 5.92±0.05C                 | 5.44±0.15CD | 5.35±0.14BC  | 5.48±0.14D   | 5.01±0.15   | 0.001              |
|                    |                    | 5.88 - 5.98                | 5.32 - 5.61 | 5.20 - 5.47  | 5.39 - 5.64  | 4.84 - 5.12 |                    |
|                    | Am2                | 5.35±0.12AB                | 5.01±0.05A  | 5.05±0.06A   | 5.06±0.10ABC | 5.02±0.10   | 0.004              |
|                    |                    | 5.21 - 5.42                | 4.97 - 5.06 | 4.99 - 5.09  | 4.97 - 5.16  | 4.90 - 5.14 |                    |
|                    | Am3                | 5.35±0.12AB                | 5.07±0.08A  | 5.36±0.12BC  | 5.11±0.08ABC | 5.21±0.02   | 0.034              |
|                    |                    | 5.21 - 5.42                | 5.01 - 5.12 | 5.29 - 5.49  | 5.04 - 5.20  | 5.19 - 5.22 |                    |
|                    | F                  | 5.25±0.17A                 | 4.98±0.11A  | 5.22±0.09AB  | 5.36±0.14CD  | 5.53±0.17   | 0.008              |
|                    |                    | 5.12 - 5.44                | 4.91 - 5.11 | 5.14 - 5.31  | 5.24 - 5.51  | 5.34 - 5.66 |                    |
|                    | S0                 | 5.31±0.21AB                | 5.28±0.03BC | 5.21±0.11AB  | 5.23±0.13BCD | 4.96±0.10   | 0.054              |
|                    |                    | 5.15 - 5.54                | 5.26 - 5.32 | 5.14 - 5.34  | 5.13 - 5.38  | 4.85 - 5.04 |                    |
|                    | S1                 | 5.31±0.21AB                | 5.14±0.17AB | 5.16±0.30AB  | 4.83±0.23A   | 5.07±0.14   | 0.295              |
|                    |                    | 5.15 - 5.54                | 5.03 - 5.34 | 4.92 - 5.50  | 4.62 - 5.07  | 4.94 - 5.21 |                    |
|                    | P <sub>value</sub> |                            | 0.001       | 0.001        | 0.014        | 0.002       | 0.413              |
|                    | CEC                | Aa1                        | 0.76±0.25   | 0.73±0.39    | 0.99±0.21    | 2.07±0.23   | 1.95±0.24          |
| 0.48 - 0.94        |                    |                            | 0.41 - 1.16 | 0.80 - 1.22  | 1.83 - 2.28  | 1.78 - 2.12 |                    |
| Aa2                |                    | 0.93±0.25                  | 0.98±0.33   | 1.07±0.40    | 1.67±0.09    | 1.60±0.58   | 0.086              |
|                    |                    | 0.65 - 1.13                | 0.61 - 1.25 | 0.61 - 1.33  | 1.58 - 1.76  | 0.93 - 2.41 |                    |
| Am1                |                    | 0.57±0.26                  | 0.83±0.24   | 0.82±0.19    | 1.88±0.62    | 1.44±0.23   | 0.005              |
|                    |                    | 0.28 - 0.76                | 0.69 - 1.11 | 0.61 - 0.98  | 1.24 - 2.47  | 1.25 - 1.69 |                    |
| Am2                |                    | 0.86±0.21                  | 0.88±0.32   | 1.37±0.42    | 1.38±0.37    | 1.66±0.32   | 0.042              |
|                    |                    | 0.72 - 1.11                | 0.58 - 1.21 | 0.88 - 1.62  | 1.06 - 1.79  | 1.35 - 2.04 |                    |
| Am3                |                    |                            | 1.17±0.22   | 1.10±0.12    | 2.10±0.45    | 1.99±0.02   | 0.012              |
|                    |                    |                            | 1.01 - 1.32 | 1.01 - 1.23  | 1.79 - 2.62  | 1.97 - 2.00 |                    |
| F                  |                    | 0.67±0.41                  | 1.03±0.47   | 1.04±0.57    | 2.16±0.29    | 1.56±0.48   | 0.019              |
|                    |                    | 0.34 - 1.13                | 0.75 - 1.57 | 0.41 - 1.52  | 1.97 - 2.49  | 1.18 - 2.10 |                    |
| S0                 |                    | 1.74±1.34                  | 0.91±0.31   | 1.16±0.18    | 2.03±0.53    | 1.37±0.40   | 0.344              |
|                    |                    | 0.95 - 3.29                | 0.56 - 1.15 | 0.95 - 1.28  | 1.45 - 2.49  | 0.94 - 1.74 |                    |
| S1                 |                    |                            | 1.05±0.36   | 1.37±0.25    | 1.55±0.24    | 1.12±0.39   | 0.259              |
|                    |                    |                            | 0.73 - 1.44 | 1.09 - 1.52  | 1.30 - 1.77  | 0.80 - 1.55 |                    |
| P <sub>value</sub> |                    | 0.279                      | 0.881       | 0.487        | 0.189        | 0.520       |                    |

|    |                          |              |              |                 |                 |               |       |  |
|----|--------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|---------------|-------|--|
| Fe | Aa1                      | 161.00±1.41  | 164.00±1.41  | 148.00±16.97A   | 278.33±91.47B   | 194.00±12.73  | 0.145 |  |
|    |                          | 160 - 162    | 163 - 165    | 136.00 - 160.00 | 209.00 - 382.00 | 185 - 203     |       |  |
|    | Aa2                      | 196.00±11.31 | 194.50±0.71  | 183.50±13.44ABC | 207.33±23.59AB  | 196.60±48.29  | 0.960 |  |
|    |                          | 188 - 204    | 194 - 195    | 174.00 - 193.00 | 185.00 - 232.00 | 147 - 250     |       |  |
|    | Am1                      | 173.50±14.85 | 178.50±9.19  | 146.00±9.90A    | 155.33±11.59A   | 157.67±25.38  | 0.343 |  |
|    |                          | 163 - 184    | 172 - 185    | 139.00 - 153.00 | 142.00 - 163.00 | 137 - 186     |       |  |
|    | Am2                      | 225.00±59.40 | 214.00±46.67 | 177.00±4.24AB   | 146.67±8.39A    | 186.50±91.73  | 0.670 |  |
|    |                          | 183 - 267    | 181 - 247    | 174.00 - 180.00 | 137.00 - 152.00 | 128 - 323     |       |  |
|    | Am3                      | 225.00±59.40 | 292.00±      | 225.50±14.85BC  | 277.67±67.24B   | 203.00±45.25  | 0.435 |  |
|    |                          | 183 - 267    | 292 - 292    | 215.00 - 236.00 | 233.00 - 355.00 | 171.0 - 235.0 |       |  |
|    | F                        | 191.50±14.85 | 219.50±40.31 | 182.00±11.31ABC | 168.00±9.64A    | 135.67±17.62  | 0.021 |  |
|    |                          | 181 - 202    | 191 - 248    | 174.00 - 190.00 | 161.00 - 179.00 | 125 - 156     |       |  |
|    | S0                       | 232.50±4.95  | 230.50±31.82 | 221.00±25.46BC  | 197.00±33.78AB  | 248.67±53.72  | 0.582 |  |
|    |                          | 229 - 236    | 208 - 253    | 203.00 - 239.00 | 161.00 - 228.00 | 198 - 305     |       |  |
|    | S1                       | 232.50±4.95  | 240.50±53.03 | 233.50±44.55C   | 261.33±65.84B   | 225.00±38.35  | 0.853 |  |
|    |                          | 229 - 236    | 203 - 278    | 202.00 - 265.00 | 192.00 - 323.00 | 190 - 266     |       |  |
|    | <b>P<sub>value</sub></b> |              | 0.172        | 0.173           | 0.017           | 0.014         | 0.442 |  |

**Tableau 16. Variation temporelle des nutriments de 30 – 60 cm**

| Nutriment          | Végétation  | Périodes d'échantillonnage |             |              |             |             | P <sub>value</sub> |
|--------------------|-------------|----------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------------|
|                    |             | Février012                 | Juillet 012 | Novembre 012 | Février013  | Juillet 013 |                    |
| Zn                 | Aa1         | 0.99±0.09                  | 0.64±0.11   | 0.90±0.69    | 0.76±0.07   | 0.44±0.04   | 0.426              |
|                    |             | 0.92 - 1.05                | 0.56 - 0.71 | 0.41 - 1.38  | 0.68 - 0.82 | 0.41 - 0.46 |                    |
|                    | Aa2         | 0.83±0.33                  | 0.77±0.29   | 0.47±0.03    | 0.59±0.31   | 0.61±0.28   | 0.705              |
|                    |             | 0.60 - 1.06                | 0.56 - 0.97 | 0.45 - 0.49  | 0.31 - 0.93 | 0.26 - 1.00 |                    |
|                    | Am1         | 0.62±0.02                  | 0.63±0.08   | 0.34±0.01    | 0.67±0.28   | 0.68±0.11   | 0.257              |
|                    |             | 0.60 - 0.63                | 0.57 - 0.68 | 0.33 - 0.34  | 0.36 - 0.88 | 0.55 - 0.76 |                    |
|                    | Am2         | 1.21±0.72                  | 1.06±0.27   | 0.88±0.02    | 0.50±0.14   | 0.83±0.60   | 0.540              |
|                    |             | 0.70 - 1.72                | 0.87 - 1.25 | 0.86 - 0.89  | 0.35 - 0.63 | 0.40 - 1.72 |                    |
|                    | Am3         |                            | 1.53±0.00   | 0.78±0.12    | 0.73±0.06   | 0.73±0.27   | 0.038              |
|                    |             |                            | 1.53 - 1.53 | 0.69 - 0.86  | 0.66 - 0.76 | 0.54 - 0.92 |                    |
|                    | F           | 1.05±0.25                  | 0.53±0.04   | 0.57±0.15    | 1.47±0.84   | 0.77±0.42   | 0.307              |
|                    |             | 0.87 - 1.23                | 0.50 - 0.56 | 0.46 - 0.67  | 0.88 - 2.43 | 0.42 - 1.23 |                    |
|                    | S0          | 1.46±0.39                  | 1.26±1.05   | 0.53±0.27    | 0.63±0.17   | 0.84±0.19   | 0.263              |
|                    |             | 1.18 - 1.73                | 0.52 - 2.00 | 0.34 - 0.72  | 0.44 - 0.76 | 0.64 - 1.02 |                    |
| S1                 |             | 0.51±0.12                  | 0.65±0.33   | 0.60±0.06    | 0.65±0.10   | 0.773       |                    |
|                    |             | 0.42 - 0.59                | 0.41 - 0.88 | 0.53 - 0.65  | 0.59 - 0.76 |             |                    |
| P <sub>value</sub> |             | 0.407                      | 0.414       | 0.537        | 0.075       | 0.250       |                    |
| Cu                 | Aa1         | 0.18±0.00                  | 0.18±0.00A  | 0.22±0.01    | 0.46±0.12AB | 0.67±0.27   | 0.031              |
|                    |             | 0.18 - 0.18                | 0.18 - 0.18 | 0.21 - 0.22  | 0.36 - 0.60 | 0.48 - 0.86 |                    |
|                    | Aa2         | 0.47±0.13                  | 0.40±0.08B  | 0.48±0.04    | 0.46±0.18AB | 0.45±0.12   | 0.964              |
|                    |             | 0.37 - 0.56                | 0.34 - 0.45 | 0.45 - 0.51  | 0.34 - 0.67 | 0.32 - 0.62 |                    |
|                    | Am1         | 0.22±0.05                  | 0.18±0.00A  | 0.18±0.00    | 0.33±0.05A  | 0.42±0.13   | 0.038              |
|                    |             | 0.18 - 0.18                | 0.18 - 0.18 | 0.18 - 0.18  | 0.28 - 0.38 | 0.30 - 0.56 |                    |
|                    | Am2         | 0.35±0.16                  | 0.23±0.01AB | 0.41±0.27    | 0.43±0.14AB | 0.40±0.08   | 0.558              |
|                    |             | 0.24 - 0.46                | 0.22 - 0.23 | 0.22 - 0.60  | 0.34 - 0.59 | 0.31 - 0.50 |                    |
|                    | Am3         | 0.35±0.16                  | 0.49±0.00B  | 0.46±0.20    | 0.47±0.07AB | 0.67±0.25   | 0.597              |
|                    |             | 0.24 - 0.46                | 0.49 - 0.49 | 0.32 - 0.60  | 0.40 - 0.53 | 0.49 - 0.85 |                    |
|                    | F           | 0.20±0.03                  | 0.18±0.00A  | 0.32±0.17    | 0.38±0.08AB | 0.53±0.12   | 0.028              |
|                    |             | 0.18 - 0.22                | 0.18 - 0.18 | 0.20 - 0.44  | 0.30 - 0.46 | 0.42 - 0.65 |                    |
|                    | S0          | 0.30±0.16                  | 0.22±0.06A  | 0.23±0.06    | 0.59±0.11BC | 0.64±0.19   | 0.023              |
|                    |             | 0.18 - 0.41                | 0.18 - 0.26 | 0.18 - 0.27  | 0.50 - 0.71 | 0.44 - 0.81 |                    |
| S1                 | 0.30±0.16   | 0.22±0.05A                 | 0.20±0.03   | 0.72±0.18C   | 0.51±0.25   | 0.050       |                    |
|                    | 0.18 - 0.41 | 0.18 - 0.25                | 0.18 - 0.22 | 0.59 - 0.93  | 0.32 - 0.80 |             |                    |
| P <sub>value</sub> |             | 0.212                      | 0.002       | 0.246        | 0.037       | 0.720       |                    |

|    |                          |             |             |             |             |             |       |  |
|----|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|--|
| Mn | Aa1                      | 1.07±0.09A  | 1.61±0.18A  | 1.09±0.02AB | 2.04±1.19AB | 1.35±0.04   | 0.534 |  |
|    |                          | 1.00 - 1.13 | 1.48 - 1.73 | 1.07 - 1.10 | 0.96 - 3.31 | 1.32 - 1.37 |       |  |
|    | Aa2                      | 5.09±1.17B  | 5.50±1.19B  | 3.92±0.16D  | 1.09±0.08A  | 1.05±0.17   | 0.001 |  |
|    |                          | 4.26 - 5.91 | 4.66 - 6.34 | 3.81 - 4.03 | 1.04 - 1.18 | 0.76 - 1.19 |       |  |
|    | Am1                      | 1.22±0.42A  | 1.83±0.08A  | 0.66±0.08A  | 0.82±0.45A  | 2.58±2.10   | 0.378 |  |
|    |                          | 0.92 - 1.52 | 1.77 - 1.88 | 0.60 - 0.72 | 0.30 - 1.12 | 1.11 - 4.99 |       |  |
|    | Am2                      | 2.79±0.47A  | 2.35±0.83A  | 2.35±0.88C  | 1.63±1.15AB | 2.94±2.12   | 0.829 |  |
|    |                          | 2.45 - 3.12 | 1.76 - 2.93 | 1.72 - 2.97 | 0.59 - 2.87 | 0.73 - 4.94 |       |  |
|    | Am3                      | 2.79±0.47A  | 5.03±0.00B  | 4.40±0.59D  | 4.28±2.19BC | 3.43±2.69   | 0.923 |  |
|    |                          | 2.45 - 3.12 | 5.03 - 5.03 | 3.98 - 4.82 | 2.70 - 6.78 | 1.53 - 5.33 |       |  |
|    | F                        | 0.97±0.03A  | 1.20±0.21A  | 1.04±0.29AB | 4.83±1.27C  | 0.96±0.48   | 0.002 |  |
|    |                          | 0.95 - 0.99 | 1.05 - 1.35 | 0.83 - 1.24 | 3.43 - 5.92 | 0.45 - 1.41 |       |  |
|    | S0                       | 1.97±1.17A  | 1.49±0.06A  | 1.08±0.28AB | 1.55±0.82AB | 3.57±1.70   | 0.186 |  |
|    |                          | 1.14 - 2.79 | 1.44 - 1.53 | 0.88 - 1.27 | 0.75 - 2.39 | 2.10 - 5.44 |       |  |
|    | S1                       | 1.97±1.17A  | 1.95±0.06A  | 1.81±0.08BC | 3.97±2.79BC | 2.72±1.09   | 0.517 |  |
|    |                          | 1.14 - 2.79 | 1.90 - 1.99 | 1.75 - 1.86 | 0.86 - 6.23 | 1.60 - 3.77 |       |  |
|    | <b>P<sub>value</sub></b> |             | 0.008       | 0.001       | 0.001       | 0.021       | 0.178 |  |

**Tableau 17. Variation temporelle des nutriments de 60 – 120 cm**

| Nutriment     | Végétation         | Périodes d'échantillonnage |               |                 |               |               | P <sub>value</sub> |
|---------------|--------------------|----------------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------------------|
|               |                    | Février012                 | Juillet 012   | Novembre<br>012 | Février013    | Juillet 013   |                    |
| N             | Aa1                | 0.25±0.10                  | 0.26±0.08     | 0.26±0.07       | 0.22±0.02B    | 0.23±0.01     | 0.886              |
|               |                    | 0.19 - 0.37                | 0.21 - 0.35   | 0.21 - 0.34     | 0.19 - 0.23   | 0.22 - 0.23   |                    |
|               | Aa2                | 0.19±0.05                  | 0.20±0.05     | 0.23±0.02       | 0.21±0.03B    | 0.20±0.02     | 0.631              |
|               |                    | 0.16 - 0.25                | 0.17 - 0.26   | 0.22 - 0.26     | 0.19 - 0.23   | 0.18 - 0.22   |                    |
|               | Am1                | 0.27±0.11                  | 0.25±0.06     | 0.27±0.09       | 0.22±0.00B    | 0.21±0.01     | 0.787              |
|               |                    | 0.20 - 0.39                | 0.22 - 0.32   | 0.20 - 0.33     | 0.22 - 0.22   | 0.21 - 0.22   |                    |
|               | Am2                | 0.18±0.05                  | 0.18±0.05     | 0.20±0.05       | 0.18±0.01A    | 0.22±0.01     | 0.606              |
|               |                    | 0.15 - 0.23                | 0.15 - 0.23   | 0.17 - 0.26     | 0.17 - 0.18   | 0.21 - 0.23   |                    |
|               | Am3                |                            | 0.21±0.06     | 0.21±0.04       | 0.21±0.03B    | 0.22±0.02     | 0.989              |
|               |                    |                            | 0.16 - 0.25   | 0.18 - 0.26     | 0.18 - 0.23   | 0.19 - 0.23   |                    |
|               | F                  | 0.23±0.03                  | 0.22±0.03     | 0.21±0.03       | 0.20±0.01AB   | 0.21±0.02     | 0.692              |
|               |                    | 0.20 - 0.26                | 0.19 - 0.25   | 0.19 - 0.25     | 0.19 - 0.21   | 0.20 - 0.23   |                    |
|               | S0                 | 0.17±0.05                  | 0.17±0.04     | 0.20±0.05       | 0.21±0.02B    | 0.22±0.01     | 0.459              |
|               |                    | 0.14 - 0.23                | 0.14 - 0.21   | 0.16 - 0.25     | 0.20 - 0.23   | 0.21 - 0.22   |                    |
|               | S1                 |                            | 0.17±0.06     | 0.19±0.07       | 0.17±0.00A    | 0.20±0.02     | 0.752              |
|               |                    | 0.13 - 0.23                | 0.13 - 0.26   | 0.17 - 0.17     | 0.17 - 0.22   |               |                    |
|               | P <sub>value</sub> | 0.451                      | 0.312         | 0.615           | 0.008         | 0.308         |                    |
| P             | Aa1                | 23.37±8.56                 | 28.10±9.63    | 23.10±8.31      | 57.80±28.89   | 59.95±20.72   | 0.070              |
|               |                    | 15.00 - 32.10              | 17.70 - 36.70 | 13.50 - 28.00   | 18.80 - 88.40 | 45.30 - 74.60 |                    |
|               | Aa2                | 31.97±15.13                | 29.10±11.89   | 29.27±10.53     | 35.85±13.51   | 42.70±23.65   | 0.799              |
|               |                    | 16.30 - 46.50              | 20.20 - 42.60 | 22.50 - 41.40   | 26.30 - 45.40 | 19.80 - 71.00 |                    |
|               | Am1                | 25.50±8.59                 | 24.50±4.65    | 22.00±0.42      | 56.43±6.96    | 38.20±18.72   | 0.018              |
|               |                    | 15.60 - 31.00              | 20.30 - 29.50 | 21.70 - 22.30   | 49.00 - 62.80 | 26.60 - 59.80 |                    |
|               | Am2                | 26.03±6.22                 | 26.30±18.30   | 32.93±8.90      | 29.03±10.70   | 20.93±12.88   | 0.807              |
|               |                    | 21.40 - 33.10              | 10.40 - 46.30 | 24.60 - 42.30   | 19.50 - 40.60 | 13.00 - 35.80 |                    |
|               | Am3                | 26.03±6.22                 | 21.45±4.60    | 27.53±4.32      | 30.53±11.84   | 30.70±13.33   | 0.739              |
|               |                    | 21.40 - 33.10              | 18.20 - 24.70 | 22.70 - 31.00   | 20.50 - 43.60 | 17.90 - 44.50 |                    |
|               | F                  | 26.28±3.63                 | 19.45±0.87    | 27.58±8.52      | 27.87±13.18   | 38.35±9.15    | 0.171              |
|               |                    | 23.80 - 30.45              | 18.70 - 20.40 | 20.30 - 36.95   | 17.47 - 42.70 | 31.75 - 48.80 |                    |
|               | S0                 | 34.60±16.18                | 22.03±3.29    | 21.27±14.71     | 47.40±22.28   | 31.95±5.73    | 0.271              |
|               |                    | 16.30 - 47.00              | 18.30 - 24.50 | 11.60 - 38.20   | 30.30 - 72.60 | 27.90 - 36.00 |                    |
|               | S1                 | 34.60±16.18                | 24.60±1.61    | 20.83±2.30      | 34.23±11.75   | 34.83±17.56   | 0.373              |
| 16.30 - 47.00 |                    | 23.10 - 26.30              | 18.30 - 22.80 | 27.10 - 47.80   | 14.70 - 56.60 |               |                    |

| <b>P<sub>value</sub></b> |                          | 0.778        | 0.892       | 0.645        | 0.207         | 0.428         |       |  |
|--------------------------|--------------------------|--------------|-------------|--------------|---------------|---------------|-------|--|
| <b>K</b>                 | Aa1                      | 4.08±2.46    | 7.30±1.72   | 4.68±2.02    | 9.61±2.47A    | 11.45±6.58    | 0.069 |  |
|                          |                          | 2.10 - 6.83  | 5.73 - 9.14 | 3.22 - 6.99  | 6.04 - 11.40  | 6.79 - 16.10  |       |  |
|                          | Aa2                      | 3.61±1.48    | 4.31±2.20   | 2.96±2.93    | 5.24±1.58A    | 6.71±2.26     | 0.270 |  |
|                          |                          | 1.90 - 4.48  | 2.49 - 6.75 | 0.17 - 6.01  | 4.12 - 6.36   | 3.66 - 9.11   |       |  |
|                          | Am1                      | 5.61±3.33    | 6.19±1.92   | 2.18±0.68    | 28.43±10.19B  | 8.64±3.08     | 0.002 |  |
|                          |                          | 2.14 - 8.78  | 3.99 - 7.51 | 1.70 - 2.66  | 22.30 - 40.20 | 5.38 - 11.50  |       |  |
|                          | Am2                      | 2.41±2.04    | 5.18±2.81   | 10.62±2.83   | 3.59±2.43A    | 10.10±8.19    | 0.132 |  |
|                          |                          | 0.99 - 4.74  | 2.81 - 8.28 | 7.45 - 12.90 | 2.16 - 6.40   | 4.51 - 19.50  |       |  |
|                          | Am3                      | 2.41±2.04    | 3.53±1.83   | 3.26±2.73    | 15.77±13.34AB | 11.38±6.97    | 0.284 |  |
|                          |                          | 0.99 - 4.74  | 2.23 - 4.82 | 0.18 - 5.37  | 1.42 - 27.80  | 5.55 - 19.10  |       |  |
|                          | F                        | 8.16±1.47    | 7.31±1.57   | 5.56±2.44    | 3.15±2.12A    | 8.59±0.78     | 0.021 |  |
|                          |                          | 7.25 - 9.85  | 5.83 - 8.96 | 3.90 - 8.36  | 0.79 - 4.91   | 7.83 - 9.38   |       |  |
|                          | S0                       | 6.47±5.46    | 4.57±3.87   | 6.11±5.91    | 15.69±9.20AB  | 21.05±4.60    | 0.063 |  |
|                          |                          | 0.18 - 10.00 | 0.18 - 7.46 | 0.18 - 12.00 | 9.96 - 26.30  | 17.80 - 24.30 |       |  |
|                          | S1                       | 6.47±5.46    | 4.09±3.85   | 8.26±3.66    | 4.37±1.63A    | 9.67±6.47     | 0.343 |  |
|                          |                          | 0.18 - 10.00 | 0.18 - 7.88 | 4.49 - 11.80 | 3.00 - 6.17   | 4.12 - 17.60  |       |  |
|                          | <b>P<sub>value</sub></b> |              | 0.283       | 0.574        | 0.110         | 0.005         | 0.224 |  |



**Tableau 18. Variation temporelle des nutriments de 60 – 120 cm**

| Nutriment          | Végétation         | Périodes d'échantillonnage |               |                |                 |                 | P <sub>value</sub> |
|--------------------|--------------------|----------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
|                    |                    | Février012                 | Juillet 012   | Novembre 012   | Février013      | Juillet 013     |                    |
| Ca                 | Aa1                | 36.27±22.66                | 46.53±17.22   | 68.70±5.97     | 132.00±17.64B   | 162.00±12.73D   | 0.001              |
|                    |                    | 10.50 - 53.10              | 28.10 - 62.20 | 62.50 - 74.40  | 116.00 - 151.00 | 153.00 - 171.00 |                    |
|                    | Aa2                | 60.60±37.89                | 63.10±2.48    | 80.20±38.01    | 155.50±26.16B   | 142.25±14.17CD  | 0.003              |
|                    |                    | 21.30 - 96.90              | 60.3 - 65.0   | 36.70 - 107.00 | 137.00 - 174.00 | 122.00 - 155.00 |                    |
|                    | Am1                | 56.10±14.27                | 49.60±22.59   | 39.70±8.49     | 152.67±47.61B   | 121.00±3.46ABC  | 0.002              |
|                    |                    | 40.10 - 67.50              | 28.60 - 73.50 | 33.70 - 45.70  | 98.00 - 185.00  | 119.00 - 125.00 |                    |
|                    | Am2                | 39.77±24.04                | 69.34±76.15   | 131.07±54.45   | 129.33±25.15B   | 99.13±9.42AB    | 0.129              |
|                    |                    | 14.00 - 61.60              | 9.33 - 155.00 | 68.20 - 163.00 | 111.00 - 158.00 | 88.40 - 106.00  |                    |
|                    | Am3                |                            | 56.10±16.12   | 72.50±14.54    | 72.10±27.04A    | 84.77±38.64A    | 0.725              |
|                    |                    |                            | 44.70 - 67.50 | 60.60 - 88.70  | 42.60 - 95.70   | 57.60 - 129.00  |                    |
|                    | F                  | 41.89±14.20                | 49.02±18.96   | 53.93±22.89    | 78.22±10.51A    | 107.78±3.14ABC  | 0.002              |
|                    |                    | 27.47 - 55.85              | 33.10 - 70.00 | 29.10 - 71.25  | 74.20 - 90.30   | 104.25 - 110.25 |                    |
|                    | S0                 | 74.23±5.32                 | 62.13±5.97    | 81.93±26.31    | 144.00±12.12B   | 134.00±2.83BCD  | 0.001              |
|                    |                    | 68.50 - 79.00              | 58.20 - 69.00 | 63.10 - 112.00 | 133.00 - 157.00 | 132.00 - 136.00 |                    |
|                    | S1                 |                            | 71.13±18.59   | 83.17±19.54    | 117.63±26.88AB  | 98.83±31.86AB   | 0.207              |
|                    |                    |                            | 54.50 - 91.20 | 60.60 - 94.70  | 96.90 - 148.00  | 54.30 - 129.00  |                    |
|                    | P <sub>value</sub> |                            | 0.321         | 0.957          | 0.81            | 0.008           | 0.008              |
|                    | Mg                 | Aa1                        | 7.64±4.59     | 9.69±4.64      | 15.17±0.80      | 26.83±3.47AB    | 33.05±0.78B        |
| 2.41 - 11.00       |                    |                            | 5.13 - 14.40  | 14.40 - 16.00  | 23.60 - 30.30   | 32.50 - 33.60   |                    |
| Aa2                |                    | 10.81±7.26                 | 10.53±3.76    | 12.77±7.89     | 32.15±6.43B     | 29.88±3.86AB    | 0.002              |
|                    |                    | 2.74 - 16.80               | 6.19 - 12.90  | 7.20 - 21.80   | 27.60 - 36.70   | 24.30 - 32.80   |                    |
| Am1                |                    | 13.53±2.57                 | 10.38±5.62    | 8.80±2.84      | 33.73±9.59B     | 26.10±0.53AB    | 0.002              |
|                    |                    | 10.80 - 15.90              | 5.66 - 16.60  | 6.79 - 10.80   | 22.80 - 40.70   | 25.50 - 26.50   |                    |
| Am2                |                    | 7.93±5.22                  | 13.46±16.27   | 27.63±12.00    | 28.43±3.99B     | 21.13±1.06A     | 0.097              |
|                    |                    | 2.20 - 12.40               | 0.76 - 31.80  | 13.80 - 35.30  | 24.80 - 32.70   | 20.00 - 22.10   |                    |
| Am3                |                    | 7.93±5.22                  | 10.60±4.11    | 13.10±2.35     | 16.91±6.34A     | 20.90±9.13A     | 0.337              |
|                    |                    | 2.20 - 12.40               | 7.69 - 13.50  | 10.80 - 15.50  | 9.84 - 22.10    | 13.50 - 31.10   |                    |
| F                  |                    | 8.76±3.00                  | 9.91±4.55     | 12.36±5.37     | 17.22±2.06A     | 22.28±2.55A     | 0.007              |
|                    |                    | 5.49 - 11.37               | 6.89 - 15.15  | 6.18 - 15.80   | 15.50 - 19.50   | 20.45 - 25.20   |                    |
| S0                 |                    | 16.73±1.60                 | 13.27±1.42    | 16.00±5.28     | 33.00±4.20B     | 29.55±0.78AB    | 0.001              |
|                    |                    | 15.10 - 18.30              | 12.40 - 14.90 | 12.90 - 22.10  | 28.80 - 37.20   | 29.00 - 30.10   |                    |
| S1                 |                    | 16.73±1.60                 | 15.20±3.61    | 16.63±3.30     | 26.37±4.99AB    | 21.78±6.49A     | 0.078              |
|                    |                    | 15.10 - 18.30              | 12.50 - 19.30 | 13.40 - 20.00  | 22.00 - 31.80   | 13.30 - 29.00   |                    |
| P <sub>value</sub> |                    | 0.157                      | 0.965         | 0.085          | 0.007           | 0.044           |                    |

|   |                          |               |               |               |               |               |       |  |
|---|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|--|
| S | Aa1                      | 15.75±3.32B   | 16.70±2.26    | 12.55±1.48B   | 11.55±4.18    | 11.80±1.70    | 0.370 |  |
|   |                          | 13.40 - 18.10 | 15.10 - 18.30 | 11.50 - 13.60 | 9.02 - 17.80  | 10.60 - 13.00 |       |  |
|   | Aa2                      | 8.95±0.23A    | 8.40±0.98     | 5.35±0.69A    | 9.86±1.47     | 12.46±4.02    | 0.143 |  |
|   |                          | 8.78 - 9.11   | 7.71 - 9.09   | 4.86 - 5.83   | 8.82 - 10.90  | 8.68 - 17.10  |       |  |
|   | Am1                      | 14.20±2.26AB  | 13.20±1.13    | 11.90±0.00AB  | 11.22±2.06    | 12.67±0.55    | 0.412 |  |
|   |                          | 12.60 - 15.80 | 12.40 - 14.00 | 11.90 - 11.90 | 9.97 - 13.60  | 12.30 - 13.30 |       |  |
|   | Am2                      | 10.91±3.80AB  | 14.05±1.48    | 10.79±1.58AB  | 12.70±2.95    | 12.90±3.18    | 0.740 |  |
|   |                          | 8.22 - 13.60  | 13.00 - 15.10 | 9.67 - 11.90  | 10.30 - 16.00 | 10.00 - 16.30 |       |  |
|   | Am3                      | 10.91±3.80AB  | 13.30±        | 10.04±0.37AB  | 13.87±2.28    | 12.57±1.67    | 0.248 |  |
|   |                          | 8.22 - 13.60  | 13.30 - 13.30 | 9.77 - 10.30  | 12.50 - 16.50 | 11.60 - 14.50 |       |  |
|   | F                        | 11.08±1.52AB  | 14.80±1.06    | 13.62±1.28B   | 11.77±1.92    | 11.80±1.68    | 0.164 |  |
|   |                          | 10.00 - 12.15 | 14.05 - 15.55 | 12.25 - 14.80 | 9.77 - 13.60  | 10.50 - 13.70 |       |  |
|   | S0                       | 14.65±1.63AB  | 14.70±1.13    | 12.15±2.33B   | 14.30±1.91    | 14.00±0.71    | 0.576 |  |
|   |                          | 13.50 - 15.80 | 13.90 - 15.50 | 10.50 - 13.80 | 12.10 - 15.40 | 13.50 - 14.50 |       |  |
|   | S1                       | 14.65±1.63AB  | 15.55±7.14    | 11.00±0.00AB  | 11.79±3.10    | 13.80±1.82    | 0.526 |  |
|   |                          | 13.50 - 15.80 | 10.50 - 20.60 | 11.00 - 11.00 | 8.26 - 14.10  | 12.40 - 16.30 |       |  |
|   | <b>P<sub>value</sub></b> |               | 0.161         | 0.346         | 0.005         | 0.663         | 0.941 |  |

**Tableau 19. Variation temporelle des nutriments de 60 – 120 cm**

| Nutriment          | Végétation         | Périodes d'échantillonnage |             |              |             |             | P <sub>value</sub> |
|--------------------|--------------------|----------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------------|
|                    |                    | Février012                 | Juillet 012 | Novembre 012 | Février013  | Juillet 013 |                    |
| pH                 | Aa1                | 5.71±0.21BC                | 5.34±0.07B  | 5.40±0.14    | 5.10±0.11   | 5.19±0.30   | 0.007              |
|                    |                    | 5.59 - 5.96                | 5.28 - 5.41 | 5.26 - 5.53  | 4.95 - 5.21 | 4.98 - 5.40 |                    |
|                    | Aa2                | 5.41±0.16AB                | 5.35±0.05B  | 5.30±0.13    | 5.29±0.22   | 5.13±0.22   | 0.319              |
|                    |                    | 5.23 - 5.51                | 5.32 - 5.41 | 5.15 - 5.39  | 5.13 - 5.44 | 4.87 - 5.38 |                    |
|                    | Am1                | 5.87±0.16C                 | 5.39±0.17B  | 5.62±0.44    | 5.24±0.11   | 5.15±0.11   | 0.010              |
|                    |                    | 5.73 - 6.04                | 5.22 - 5.56 | 5.31 - 5.93  | 5.17 - 5.37 | 5.09 - 5.28 |                    |
|                    | Am2                | 5.33±0.06A                 | 5.10±0.12A  | 5.19±0.15    | 5.19±0.08   | 5.03±0.14   | 0.075              |
|                    |                    | 5.27 - 5.39                | 4.97 - 5.20 | 5.02 - 5.28  | 5.10 - 5.25 | 4.87 - 5.12 |                    |
|                    | Am3                | 5.33±0.06A                 | 5.13±0.06A  | 5.27±0.06    | 4.96±0.18   | 5.13±0.03   | 0.054              |
|                    |                    | 5.27 - 5.39                | 5.08 - 5.17 | 5.20 - 5.31  | 4.76 - 5.12 | 5.09 - 5.15 |                    |
|                    | F                  | 5.33±0.16A                 | 5.06±0.09A  | 5.31±0.11    | 5.05±0.24   | 5.02±0.09   | 0.062              |
|                    |                    | 5.19 - 5.50                | 4.98 - 5.15 | 5.22 - 5.43  | 4.82 - 5.29 | 4.92 - 5.09 |                    |
|                    | S0                 | 5.20±0.23A                 | 5.19±0.10AB | 5.28±0.12    | 5.10±0.14   | 5.32±0.10   | 0.526              |
|                    |                    | 5.05 - 5.46                | 5.09 - 5.29 | 5.16 - 5.39  | 4.94 - 5.20 | 5.25 - 5.39 |                    |
|                    | S1                 | 5.20±0.23A                 | 5.07±0.16A  | 5.36±0.07    | 5.26±0.10   | 4.87±0.06   | 0.001              |
|                    |                    | 5.05 - 5.46                | 4.95 - 5.25 | 5.29 - 5.43  | 5.20 - 5.38 | 4.78 - 4.93 |                    |
|                    | P <sub>value</sub> |                            | 0.003       | 0.008        | 0.237       | 0.193       | 0.062              |
|                    | CEC                | Aa1                        | 0.54±0.25   | 0.76±0.35    | 1.13±0.11A  | 2.07±0.20B  | 2.47±0.47          |
| 0.25 - 0.69        |                    |                            | 0.48 - 1.15 | 1.04 - 1.25  | 1.88 - 2.33 | 2.13 - 2.80 |                    |
| Aa2                |                    | 0.88±0.44                  | 0.93±0.18   | 1.23±0.54A   | 2.26±0.51B  | 2.15±0.15   | 0.002              |
|                    |                    | 0.41 - 1.29                | 0.75 - 1.11 | 0.64 - 1.69  | 1.90 - 2.62 | 1.99 - 2.28 |                    |
| Am1                |                    | 0.75±0.15                  | 0.77±0.46   | 0.63±0.14A   | 2.32±0.59B  | 1.86±0.11   | 0.001              |
|                    |                    | 0.58 - 0.87                | 0.42 - 1.29 | 0.53 - 0.73  | 1.67 - 2.83 | 1.74 - 1.95 |                    |
| Am2                |                    | 0.74±0.39                  | 1.31±1.53   | 2.48±1.07B   | 1.97±0.40B  | 1.55±0.03   | 0.220              |
|                    |                    | 0.33 - 1.11                | 0.24 - 3.06 | 1.26 - 3.25  | 1.61 - 2.40 | 1.52 - 1.57 |                    |
| Am3                |                    |                            | 0.91±0.35   | 1.22±0.20A   | 1.25±0.39A  | 1.40±0.66   | 0.700              |
|                    |                    |                            | 0.66 - 1.16 | 1.09 - 1.45  | 0.80 - 1.52 | 0.94 - 2.16 |                    |
| F                  |                    | 0.80±0.27                  | 0.92±0.35   | 0.90±0.35A   | 1.28±0.29A  | 1.74±0.16   | 0.015              |
|                    |                    | 0.50 - 1.02                | 0.67 - 1.32 | 0.57 - 1.27  | 1.11 - 1.61 | 1.56 - 1.87 |                    |
| S0                 |                    | 1.42±0.15                  | 1.09±0.11   | 1.41±0.38A   | 2.33±0.19B  | 2.04±0.06   | 0.001              |
|                    |                    | 1.32 - 1.59                | 0.96 - 1.18 | 1.13 - 1.84  | 2.21 - 2.55 | 1.99 - 2.08 |                    |
| S1                 |                    |                            | 1.34±0.34   | 1.44±0.38A   | 1.72±0.37AB | 1.73±0.50   | 0.565              |
|                    |                    |                            | 1.00 - 1.68 | 1.03 - 1.78  | 1.38 - 2.11 | 1.04 - 2.20 |                    |
| P <sub>value</sub> |                    |                            | 0.053       | 0.902        | 0.027       | 0.009       | 0.066              |

|                          |     |                 |                 |                 |                 |                 |       |
|--------------------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| Fe                       | Aa1 | 188.00±19.80    | 191.00±9.90     | 165.00±33.94    | 261.75±71.13    | 206.50±58.69    | 0.322 |
|                          |     | 174.00 - 202.00 | 184.00 - 198.00 | 141.00 - 189.00 | 202.00 - 365.00 | 165.00 - 248.00 |       |
|                          | Aa2 | 210.50±17.68    | 221.00±21.21    | 179.00±7.07     | 176.00±7.07     | 202.75±61.57    | 0.770 |
|                          |     | 198.00 - 223.00 | 206.00 - 236.00 | 174.00 - 184.00 | 171.00 - 181.00 | 133.00 - 257.00 |       |
|                          | Am1 | 192.00±7.07     | 197.00±1.41     | 202.00±0.00     | 259.00±9.54     | 184.33±9.29     | 0.001 |
|                          |     | 187.00 - 197.00 | 196.00 - 198.00 | 202.00 - 202.00 | 253.00 - 270.00 | 178.00 - 195.00 |       |
|                          | Am2 | 239.50±43.13    | 215.00±24.04    | 231.00±9.90     | 216.67±9.07     | 192.67±34.08    | 0.423 |
|                          |     | 209.00 - 270.00 | 198.00 - 232.00 | 224.00 - 238.00 | 210.00 - 227.00 | 172.00 - 232.00 |       |
|                          | Am3 |                 | 216.00±0.00     | 223.00±21.21    | 246.33±14.43    | 235.33±13.65    | 0.350 |
|                          |     |                 | 216.00 - 216.00 | 208.00 - 238.00 | 238.00 - 263.00 | 223.00 - 250.00 |       |
|                          | F   | 156.00±69.30    | 201.75±20.86    | 219.50±6.87     | 228.67±48.67    | 210.33±25.52    | 0.360 |
|                          |     | 107.00 - 205.00 | 187.00 - 216.50 | 213.50 - 227.00 | 182.50 - 279.50 | 181.50 - 230.00 |       |
|                          | S0  | 224.50±65.76    | 250.00±53.74    | 237.00±31.11    | 205.67±40.53    | 214.00±5.66     | 0.817 |
|                          |     | 178.00 - 271.00 | 212.00 - 288.00 | 215.00 - 259.00 | 159.00 - 232.00 | 210.00 - 218.00 |       |
| S1                       |     | 269.00±91.92    | 208.50±2.12     | 198.67±27.21    | 238.25±41.23    | 0.409           |       |
|                          |     | 204.00 - 334.00 | 207.00 - 210.00 | 181.00 - 230.00 | 182.00 - 278.00 |                 |       |
| <b>P<sub>value</sub></b> |     | 0.537           | 0.624           | 0.045           | 0.194           | 0.614           |       |

**Tableau 20. Variation temporelle des nutriments de 60 – 120 cm**

| Nutriment          | Végétation  | Périodes d'échantillonnage |             |              |             |             | P <sub>value</sub> |
|--------------------|-------------|----------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------------|
|                    |             | Février012                 | Juillet 012 | Novembre 012 | Février013  | Juillet 013 |                    |
| Zn                 | Aa1         | 0.78±0.18                  | 0.83±0.22   | 0.73±0.01    | 0.95±0.08   | 0.59±0.04   | 0.079              |
|                    |             | 0.65 - 0.91                | 0.67 - 0.98 | 0.72 - 0.74  | 0.86 - 1.02 | 0.56 - 0.61 |                    |
|                    | Aa2         | 0.83±0.18                  | 0.72±0.23   | 0.71±0.30    | 0.64±0.16   | 0.90±0.29   | 0.762              |
|                    |             | 0.70 - 0.96                | 0.56 - 0.88 | 0.49 - 0.92  | 0.52 - 0.75 | 0.55 - 1.26 |                    |
|                    | Am1         | 0.51±0.14                  | 1.76±0.25   | 0.40±0.00    | 1.19±0.56   | 0.59±0.12   | 0.037              |
|                    |             | 0.41 - 0.61                | 1.58 - 1.93 | 0.40 - 0.40  | 0.55 - 1.57 | 0.48 - 0.72 |                    |
|                    | Am2         | 0.64±0.28                  | 0.70±0.01   | 0.76±0.06    | 0.66±0.23   | 0.46±0.08   | 0.403              |
|                    |             | 0.44 - 0.83                | 0.69 - 0.71 | 0.72 - 0.80  | 0.52 - 0.93 | 0.39 - 0.54 |                    |
|                    | Am3         |                            | 0.61±0.00   | 1.06±0.66    | 0.57±0.15   | 0.62±0.06   | 0.417              |
|                    |             |                            | 0.61 - 0.61 | 0.59 - 1.53  | 0.45 - 0.74 | 0.55 - 0.67 |                    |
|                    | F           | 0.35±0.30                  | 0.35±0.31   | 0.39±0.12    | 0.78±0.18   | 0.61±0.20   | 0.160              |
|                    |             | 0.00 - 0.55                | 0.00 - 0.60 | 0.31 - 0.53  | 0.60 - 0.95 | 0.41 - 0.81 |                    |
|                    | S0          | 0.83±0.04                  | 0.72±0.09   | 0.71±0.03    | 0.65±0.19   | 0.86±0.57   | 0.887              |
|                    |             | 0.80 - 0.86                | 0.65 - 0.78 | 0.69 - 0.73  | 0.46 - 0.83 | 0.46 - 1.26 |                    |
| S1                 | 0.83±0.04   | 0.69±0.04                  | 0.82±0.18   | 0.77±0.34    | 0.81±0.14   | 0.916       |                    |
|                    | 0.80 - 0.86 | 0.66 - 0.72                | 0.69 - 0.95 | 0.50 - 1.15  | 0.70 - 1.02 |             |                    |
| P <sub>value</sub> |             | 0.211                      | 0.004       | 0.365        | 0.176       | 0.206       |                    |
| Cu                 | Aa1         | 0.18±0.00                  | 0.18±0.00   | 0.18±0.00    | 0.60±0.24   | 0.60±0.04   | 0.027              |
|                    |             | 0.18 - 0.18                | 0.18 - 0.18 | 0.18 - 0.18  | 0.26 - 0.80 | 0.57 - 0.63 |                    |
|                    | Aa2         | 0.20±0.03                  | 1.53±1.90   | 0.25±0.05    | 0.71±0.28   | 0.50±0.17   | 0.433              |
|                    |             | 0.18 - 0.22                | 0.18 - 2.87 | 0.21 - 0.28  | 0.51 - 0.90 | 0.37 - 0.75 |                    |
|                    | Am1         | 0.18±0.00                  | 0.19±0.01   | 0.18±0.00    | 0.50±0.15   | 0.55±0.10   | 0.016              |
|                    |             | 0.18 - 0.18                | 0.18 - 0.20 | 0.18 - 0.18  | 0.34 - 0.62 | 0.43 0.62-  |                    |
|                    | Am2         | 0.21±0.04                  | 0.23±0.03   | 0.23±0.06    | 0.37±0.14   | 0.53±0.10   | 0.024              |
|                    |             | 0.18 - 0.23                | 0.21 - 0.25 | 0.18 - 0.27  | 0.21 - 0.45 | 0.42 - 0.60 |                    |
|                    | Am3         | 0.21±0.04                  | 0.22±0.00   | 0.24±0.04    | 0.37±0.17   | 0.32±0.13   | 0.685              |
|                    |             | 0.18 - 0.23                | 0.22 - 0.22 | 0.21 - 0.27  | 0.18 - 0.50 | 0.21 - 0.46 |                    |
|                    | F           | 0.22±0.08                  | 0.31±0.18   | 0.24±0.09    | 0.42±0.14   | 0.46±0.08   | 0.140              |
|                    |             | 0.16 - 0.28                | 0.18 - 0.43 | 0.18 - 0.34  | 0.30 - 0.58 | 0.37 - 0.52 |                    |
|                    | S0          | 0.18±0.00                  | 0.18±0.00   | 0.21±0.04    | 0.49±0.14   | 0.33±0.14   | 0.047              |
|                    |             | 0.18 - 0.18                | 0.18 - 0.18 | 0.18 - 0.23  | 0.38 - 0.64 | 0.23 - 0.43 |                    |
| S1                 | 0.18±0.00   | 0.18±0.00                  | 0.18±0.00   | 0.39±0.16    | 0.51±0.10   | 0.024       |                    |
|                    | 0.18 - 0.18 | 0.18 - 0.18                | 0.18 - 0.18 | 0.20 - 0.49  | 0.37 - 0.61 |             |                    |

| <b>P<sub>value</sub></b> |                          | 0.853       | 0.596       | 0.819       | 0.367       | 0.155       |       |  |
|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|--|
| <b>Mn</b>                | Aa1                      | 0.64±0.01A  | 0.96±0.06   | 0.70±0.21   | 5.64±2.92   | 4.28±1.36   | 0.057 |  |
|                          |                          | 0.63 - 0.65 | 0.92 - 1.00 | 0.55 - 0.85 | 1.72 - 8.75 | 3.31 - 5.24 |       |  |
|                          | Aa2                      | 1.79±0.12C  | 2.33±0.14   | 1.84±0.31   | 2.27±1.44   | 2.91±1.96   | 0.864 |  |
|                          |                          | 1.70 - 1.87 | 2.23 - 2.43 | 1.62 - 2.06 | 1.25 - 3.29 | 1.56 - 5.80 |       |  |
|                          | Am1                      | 0.63±0.15A  | 1.15±0.12   | 0.47±       | 4.32±1.09   | 0.91±0.23   | 0.002 |  |
|                          |                          | 0.52 - 0.73 | 1.06 - 1.23 | 0.47 - 0.47 | 3.23 - 5.40 | 0.73 - 1.17 |       |  |
|                          | Am2                      | 1.42±0.08B  | 1.50±0.06   | 1.81±0.60   | 1.06±0.71   | 2.45±1.64   | 0.553 |  |
|                          |                          | 1.36 - 1.47 | 1.46 - 1.54 | 1.38 - 2.23 | 0.55 - 1.87 | 1.40 - 4.34 |       |  |
|                          | Am3                      | 1.42±0.08B  | 1.88±0.00   | 2.24±0.83   | 3.40±2.44   | 2.07±1.49   | 0.798 |  |
|                          |                          | 1.36 - 1.47 | 1.88 - 1.88 | 1.65 - 2.83 | 1.14 - 5.99 | 1.15 - 3.79 |       |  |
|                          | F                        | 1.07±0.28B  | 1.42±0.24   | 1.35±0.30   | 2.41±1.16   | 2.80±0.60   | 0.076 |  |
|                          |                          | 0.87 - 1.26 | 1.25 - 1.59 | 1.11 - 1.69 | 1.20 - 3.51 | 2.15 - 3.33 |       |  |
|                          | S0                       | 1.10±0.10B  | 1.23±0.18   | 1.24±0.24   | 3.08±2.16   | 1.72±0.40   | 0.428 |  |
|                          |                          | 1.03 - 1.17 | 1.10 - 1.35 | 1.07 - 1.41 | 1.13 - 5.40 | 1.44 - 2.00 |       |  |
|                          | S1                       | 1.10±0.10B  | 1.13±0.23   | 0.94±0.28   | 1.05±0.18   | 3.63±2.39   | 0.163 |  |
|                          |                          | 1.03 - 1.17 | 0.97 - 1.29 | 0.74 - 1.13 | 0.85 - 1.19 | 0.99 - 5.92 |       |  |
|                          | <b>P<sub>value</sub></b> |             | 0.001       | 0.001       | 0.056       | 0.068       | 0.365 |  |

## Annexes 4. Description des écosystèmes naturels

**Tableau 21. Données descriptives Forêt - savane**

| Variable                         | Végétation | Moyenne ± Écart Type & P <sub>value</sub> |                    |                |                    |                |                    |
|----------------------------------|------------|---|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
|                                  |            | 0 – 30 cm                                 | P <sub>value</sub> | 30 – 60 cm     | P <sub>value</sub> | 60 – 120 cm    | P <sub>value</sub> |
| <b>pH</b><br>(6 -7)              | F          | 4.89 ± 0.23                               | 0.353              | 5.12 ± 0.20    | 0.514              | 5.20 ± 0.18    | 0.427              |
|                                  | S0         | 5.16 ± 0.14                               |                    | 5.30 ± 0.13    |                    | 5.19 ± 0.16    |                    |
| <b>N (%)</b><br>(0.2 – 0.5)      | F          | 0.21 ± 0.02                               | 0.050              | 0.22 ± 0.01    | 0.001              | 0.23 ± 0.03    | 0.001              |
|                                  | S0         | 0.20 ± 0.01                               |                    | 0.21 ± 0.03    |                    | 0.17 ± 0.04    |                    |
| <b>P (ppm)</b><br>(30 – 100)     | F          | 42.05 ± 11.84                             | 0.571              | 26.51 ± 11.10  | 0.694              | 22.87 ± 4.43   | 0.400              |
|                                  | S0         | 40.17 ± 6.04                              |                    | 27.52 ± 6.26   |                    | 28.32 ± 12.51  |                    |
| <b>K (ppm)</b><br>(20 - 200)     | F          | 14.82 ± 5.24                              | 0.221              | 8.10 ± 3.51    | 0.681              | 7.74 ± 1.44    | 0.180              |
|                                  | S0         | 23.73 ± 8.71                              |                    | 10.99 ± 5.48   |                    | 5.52 ± 4.36    |                    |
| <b>Ca (ppm)</b><br>(40 -400)     | F          | 36.80 ± 28.70                             | 0.471              | 42.17 ± 19.97  | 0.290              | 45.45 ± 15.48  | 0.148              |
|                                  | S0         | 64.70 ± 24.50                             |                    | 77.50 ± 59.80  |                    | 68.18 ± 8.34   |                    |
| <b>Mg (ppm)</b><br>(25 - 400)    | F          | 9.68 ± 6.12                               | 0.479              | 9.63 ± 4.91    | 0.315              | 9.34 ± 3.50    | 0.138              |
|                                  | S0         | 15.03 ± 5.54                              |                    | 16.95 ± 12.88  |                    | 15.00 ± 2.33   |                    |
| <b>S (ppm)</b><br>(20 – 200)     | F          | 17.03 ± 2.62                              | 0.982              | 15.65 ± 3.15   | 0.843              | 12.94 ± 2.40   | 0.239              |
|                                  | S0         | 17.07 ± 3.41                              |                    | 16.03 ± 1.81   |                    | 14.68 ± 1.14   |                    |
| <b>CEC</b><br>(15 – 30 méq/100g) | F          | 0.86 ± 0.49                               | 0.502              | 0.85 ± 0.44    | 0.352              | 0.86 ± 0.29    | 0.197              |
|                                  | S0         | 1.22 ± 0.37                               |                    | 1.33 ± 0.98    |                    | 1.25 ± 0.22    |                    |
| <b>Zn (ppm)</b><br>(2 – 20)      | F          | 0.77 ± 0.38                               | 0.306              | 0.79 ± 0.34    | 0.174              | 0.35 ± 0.27    | 0.004              |
|                                  | S0         | 1.11 ± 0.49                               |                    | 1.36 ± 0.65    |                    | 0.77 ± 0.09    |                    |
| <b>Cu (ppm)</b><br>(2 – 10)      | F          | 0.19 ± 0.01                               | 0.004              | 0.19 ± 0.02    | 0.267              | 0.26 ± 0.12    | 0.230              |
|                                  | S0         | 0.36 ± 0.08                               |                    | 0.26 ± 0.11    |                    | 0.18 ± 0.00    |                    |
| <b>Mn (ppm)</b><br>(60 – 250)    | F          | 1.37 ± 0.37                               | 0.001              | 1.09 ± 0.18    | 0.139              | 1.24 ± 0.29    | 0.640              |
|                                  | S0         | 4.53 ± 0.24                               |                    | 1.73 ± 0.73    |                    | 1.16 ± 0.14    |                    |
| <b>Fe (ppm)</b><br>(60 – 350)    | F          | 266.50 ± 49.40                            | 0.121              | 205.50 ± 29.60 | 0.188              | 178.90 ± 49.40 | 0.152              |
|                                  | S0         | 316.50 ± 26.60                            |                    | 231.50 ± 18.63 |                    | 237.30 ± 51.20 |                    |

**Tableau 22. Statistique pas à pas pour forêt – savane en prenant les données de Février et juillet 2012**

| Profondeur d'échantillonnage | Nutriment discriminant | Savane       | Forêt         |
|------------------------------|------------------------|--------------|---------------|
| 0 – 30 cm                    | Mn                     | 4.53 ± 0.24  | 1.37 ± 0.37   |
|                              | P                      | 40.17 ± 6.04 | 42.05 ± 11.84 |
|                              | S                      | 17.07 ± 3.41 | 17.03 ± 2.62  |
| 30 – 60 cm                   | N                      | 0.21 ± 0.03  | 0.22 ± 0.01   |
|                              | Zn                     | 1.36 ± 0.65  | 0.79 ± 0.34   |
| 60 – 120 cm                  | N                      | 0.17 ± 0.04  | 0.23 ± 0.03   |
|                              | Ca                     | 68.18 ± 8.34 | 45.45 ± 15.48 |
|                              | CEC                    | 1.25 ± 0.22  | 0.86 ± 0.29   |
|                              | S                      | 14.68 ± 1.14 | 12.94 ± 2.40  |
|                              | Mn                     | 1.16 ± 0.14  | 1.24 ± 0.29   |

**Tableau 23. Seuil de signification suivant les sources de variation pour la forêt et la savane**

| Sources de variation      | pH     | P <sub>value</sub> |            |         |          |          |         |                |          |          |          |          |
|---------------------------|--------|--------------------|------------|---------|----------|----------|---------|----------------|----------|----------|----------|----------|
|                           |        | N (%)              | P(O) (ppm) | K (ppm) | Ca (ppm) | Mg (ppm) | S (ppm) | CEC (meq/100g) | Mn (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Fe (ppm) |
| Couvert végétal           | 0.186  | 0.000              | 0.817      | 0.291   | 0.096    | 0.083    | 0.054   | 0.069          | 0.420    | 0.254    | 0.090    | 0.000    |
| Profondeur                | 0.000  | 0.016              | 0.006      | 0.000   | 0.669    | 0.752    | 0.165   | 0.802          | 0.201    | 0.266    | 0.064    | 0.010    |
| Saison                    | 0.335  | 0.102              | 0.031      | 0.534   | 0.000    | 0.000    | 0.000   | 0.000          | 0.329    | 0.000    | 0.694    | 0.014    |
| R <sup>2</sup> ajusté (%) | 16.07t | 21.51              | 14.80      | 20.65   | 36.26    | 38.91    | 35.10   | 23.48          | 2.57     | 48.75    | 5.82     | 32.33    |

**Tableau 24. Résultats d'Analyse discriminante Forêt – Savane**

| Profondeur  | Période d'échantillonnage |             |              |                  |             |
|-------------|---------------------------|-------------|--------------|------------------|-------------|
|             | Février012                | Juillet 012 | Novembre 012 | Février013       | Juillet 013 |
| 0 – 30 cm   | Mn ; K                    | Mn ; Fe     | P ; CEC      | pH ; Mn ; Mg     | Fe ; Mn     |
| 30 – 60 cm  | N ; Zn                    | N ; P       | Fe ; Zn      | N                | pH ; K ; Mn |
| 60 – 120 cm | Zn                        | P ; K       | Zn           | Ca ; Cu ; Fe ; N | Ca ; S ; P  |



**Tableau 25.** Comparaison des moyennes Forêt – savane de 0 - 30 cm

| Nutriment                | Végétation | Période d'échantillonnage |                 |                  |                  |                  |
|--------------------------|------------|---------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
|                          |            | Février012                | Juillet 012     | Novembre 012     | Février013       | Juillet 013      |
| N                        | F          | 0.21±0.02                 | 0.21±0.02       | 0.24±0.03        | 0.22±0.01        | 0.25±0.02        |
|                          |            | (0.19 - 0.22)             | (0.19 - 0.22)   | (0.22- -0.27)    | (0.22 - 0.23)    | (0.23 - 0.26)    |
|                          | S0         | 0.20±0.01                 | 0.21±0.02       | 0.23±0.02        | 0.22±0.03        | 0.21±0.02        |
|                          |            | (0.19 - 0.21)             | (0.19 - 0.22)   | (0.21- -0.25)    | (0.19 - 0.24)    | (0.19 - 0.23)    |
| <b>P<sub>value</sub></b> |            | 0.095                     | 0.423           | 1.000            | 0.842            | 0.089            |
| P                        | F          | 46.20±1.57                | 37.90±17.21     | 37.93±5.42       | 45.03±23.51      | 33.77±11.93      |
|                          |            | (45.10 - 48.00)           | (19.70 - 53.90) | (33.90 - 44.10)  | (19.30 - 65.40)  | (23.40 - 46.80)  |
|                          | S0         | 42.30±7.50                | 38.03±4.61      | 48.67±9.40       | 40.83±9.18       | 26.47±18.06      |
|                          |            | (34.80 - 49.80)           | (33.60 - 42.80) | (42.70 - 59.50)  | (30.40 - 47.70)  | (10.20 - 45.90)  |
| <b>P<sub>value</sub></b> |            | 0.174                     | 0.953           | 0.017            | 0.788            | 0.590            |
| K                        | F          | 16.27±3.97                | 13.37±6.83      | 18.83±2.97       | 15.38±7.51       | 15.40±6.22       |
|                          |            | (12.80 - 20.60)           | (5.62 - 18.50)  | (16.30 - 22.10)  | (9.35 - 23.80)   | (10.90 - 22.50)  |
|                          | S0         | 19.17±4.48                | 28.30±10.35     | 26.13±2.78       | 6.48±6.22        | 4.82±7.52        |
|                          |            | (14.00 - 22.00)           | (17.80 - 38.50) | (23.00 - 28.30)  | (1.65 - 13.50)   | (0.18 - 13.50)   |
| <b>P<sub>value</sub></b> |            | 0.961                     | 0.273           | 0.103            | 0.189            | 0.134            |
| Ca                       | F          | 36.30±37.70               | 37.27±25.25     | 63.90±34.29      | 105.43±56.35     | 129.57±99.97     |
|                          |            | (8.41 - 79.20)            | (12.30 - 62.80) | (63- 102.00)     | (41.30 - 147.00) | (71.00 - 245.00) |
|                          | S0         | 71.47±16.40               | 57.97±33.10     | 86.90±11.98      | 91.50±19.75      | 81.73±25.40      |
|                          |            | (59.70 - 90.20)           | (25.00 - 91.20) | (76.50 - 100.00) | (69.00 - 106.00) | (56.20 - 107.00) |
| <b>P<sub>value</sub></b> |            | 0.723                     | 0.670           | 0.102            | 0.707            | 0.467            |
| Mg                       | F          | 9.66±8.67                 | 9.70±4.30       | 16.47±5.18       | 22.97±12.34      | 25.43±15.24      |
|                          |            | (3.12 - 19.50)            | (5.30 - 13.90)  | (11.00 - 21.30)  | (9.30 - 33.30)   | (15.80 - 43.00)  |
|                          | S0         | 16.07±2.68                | 14.00±8.15      | 19.40±4.25       | 21.30±2.62       | 19.80±6.46       |
|                          |            | (13.10 - 18.30)           | (6.70 - 22.80)  | (16.80 - 24.30)  | (18.30 - 23.10)  | (13.10 - 26.00)  |
| <b>P<sub>value</sub></b> |            | 0.796                     | 0.629           | 0.311            | 0.830            | 0.587            |
| S                        | F          | 18.70±2.26                | 15.35±2.05      | 13.30±1.84       | 10.12±2.39       | 9.85±2.08        |
|                          |            | (17.10 - 20.30)           | (13.90 - 16.80) | (12.00 - 14.60)  | (7.84 - 12.60)   | (7.55 - 11.60)   |
|                          | S0         | 17.00±0.71                | 17.15±5.87      | 13.30±0.28       | 12.63±6.19       | 13.26±5.38       |
|                          |            | (16.50 - 17.50)           | (13.00 - 21.30) | (13.10 - 13.50)  | (7.08 - 19.30)   | (8.99 - 19.30)   |
| <b>P<sub>value</sub></b> |            | 0.417                     | 0.722           | 1.000            | 0.549            | 0.363            |
| pH                       | F          | 4.95±0.11                 | 4.83±0.33       | 4.56±0.21        | 5.13±0.11        | 5.17±0.12        |

|     |                          |                   |                   |                   |                   |                   |
|-----|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|     |                          | (4.84 - 5.05)     | (4.62 - 5.21)     | (4.39 - 4.80)     | (5.00 - 5.20)     | (5.09 - 5.31)     |
|     |                          | 5.12±0.17         | 5.20±0.12         | 5.05±0.09         | 4.92±0.12         | 5.26±0.22         |
|     | S0                       | (5.00 - 5.32)     | (5.07 - 5.30)     | (4.98 - 5.15)     | (4.83 - 5.06)     | (5.01 - 5.43)     |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.789             | 0.484             | 0.188             | 0.098             | 0.548             |
|     |                          | 0.86±0.71         | 0.86±0.32         | 2.02±0.67         | 1.64±0.82         | 1.92±1.27         |
|     | F                        | (0.24 - 1.63)     | (0.52 - 1.16)     | (1.43 - 2.74)     | (0.70 - 2.18)     | (1.18 - 3.39)     |
|     |                          | 1.32±0.08         | 1.12±0.56         | 1.76±0.29         | 1.69±0.36         | 1.35±0.56         |
| CEC | S0                       | (1.23 - 1.38)     | (0.65 - 1.74)     | (1.44 - 2.01)     | (1.28 - 1.90)     | (0.88 - 1.97)     |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.815             | 0.631             | 0.403             | 0.932             | 0.514             |
|     |                          | 304.00±11.31      | 229.00±39.60      | 251.50±19.10      | 169.70±27.80      | 142.70±23.00      |
|     | F                        | (296.00 - 312.00) | (201.00 - 257.00) | (238.00 - 265.00) | (140.00 - 195.00) | (123.00 - 168.00) |
|     |                          | 336.00±4.24       | 297.00±24.00      | 282.50±40.30      | 236.00±85.70      | 234.70±46.50      |
| Fe  | S0                       | (333.00 - 339.00) | (280.00 - 314.00) | (254.00 - 311.00) | (175.00 - 334.00) | (187.00 - 280.00) |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.064             | 0.174             | 0.429             | 0.271             | 0.037             |
|     |                          | 0.94±0.54         | 0.59±0.14         | 0.42±0.12         | 0.80±0.56         | 0.72±0.13         |
|     | F                        | 0.56 - 1.32       | 0.49 - 0.69       | 0.33 - 0.50       | 0.41 - 1.44       | 0.59 - 0.84       |
|     |                          | 1.46±0.39         | 1.26±1.05         | 0.53±0.27         | 0.63±0.17         | 0.84±0.19         |
| Zn  | S0                       | 1.18 - 1.73       | 0.52 - 2.00       | 0.34 - 0.72       | 0.44 - 0.76       | 0.64 - 1.02       |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.710             | 0.453             | 0.384             | 0.832             | 0.279             |
|     |                          | 0.18±0.00         | 0.19±0.01         | 0.18±0.00         | 0.44±0.26         | 0.57±0.08         |
|     | F                        | 0.18 - 0.18       | 0.18 - 0.20       | 0.18 - 0.18       | 0.21 - 0.72       | 0.50 - 0.66       |
|     |                          | 0.30±0.16         | 0.22±0.06         | 0.23±0.06         | 0.59±0.11         | 0.64±0.19         |
| Cu  | S0                       | 0.18 - 0.41       | 0.18 - 0.26       | 0.18 - 0.27       | 0.50 - 0.71       | 0.44 - 0.81       |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.120             | 0.058             | 0.084             | 0.907             | 0.217             |
|     |                          | 1.50±0.10         | 1.24±0.58         | 1.47±0.30         | 3.08±1.97         | 2.67±0.68         |
|     | F                        | 1.43 - 1.57       | 0.83 - 1.65       | 1.26 - 1.68       | 0.86 - 4.61       | 2.00 - 3.35       |
|     |                          | 4.58±0.24         | 4.47±0.31         | 5.00±1.30         | 1.48±0.80         | 1.21±0.63         |
| Mn  | S0                       | 4.41 - 4.75       | 4.25 - 4.69       | 4.08 - 5.92       | 0.56 - 2.00       | 0.74 - 1.92       |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.004             | 0.020             | 0.065             | 0.263             | 0.051             |

**Tableau 26.** Comparaison des moyennes Forêt – savane de 30 – 60 cm

| Nutriment | Végétation | Période d'échantillonnage |               |               |                 |                  |
|-----------|------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|
|           |            | Février012                | Juillet 012   | Novembre 012  | Février013      | Juillet 013      |
| N         | F          | 0.22±0.01                 | 0.22±0.01     | 0.23±0.02     | 0.23±0.01       | 0.25±0.01        |
|           |            | 0.21 - 0.23               | 0.21 - 0.23   | 0.22 - 0.25   | 0.23 - 0.24     | 0.24 - 0.25      |
|           | S0         | 0.21±0.03                 | 0.21±0.03     | 0.22±0.03     | 0.19±0.01       | 0.21±0.02        |
|           |            | (0.19 - 0.24)             | (0.19 - 0.25) | 0.20 - 0.26   | 0.18 - 0.19     | 0.19 - 0.23      |
|           |            | <b>P<sub>value</sub></b>  | 0.051         | 0.051         | 0.051           | 0.001            |
| P         | F          | 22.32±13.55               | 30.70±8.48    | 31.43±10.24   | 44.83±16.82     | 39.33±6.50       |
|           |            | 7.56 - 34.20              | 21.20 - 37.50 | 24.50 - 43.20 | 25.80 - 57.70   | 32.90 - 45.90    |
|           | S0         | 26.70±3.12                | 28.33±9.29    | 27.00±3.99    | 45.70±14.73     | 37.10±9.77       |
|           |            | 24.70 - 30.30             | 19.60 - 38.10 | 22.40 - 29.60 | 36.70 - 62.70   | 29.80 - 48.20    |
|           |            | <b>P<sub>value</sub></b>  | 0.343         | 0.580         | 0.515           | 0.950            |
| K         | F          | 5.97±1.58                 | 10.23±3.84    | 8.54±3.43     | 11.80±1.06      | 7.61±6.50        |
|           |            | 4.23 - 7.32               | 6.67 - 14.30  | 6.46 - 12.50  | 11.00 - 13.00   | 2.79 - 15.00     |
|           | S0         | 12.53±4.83                | 9.46±6.68     | 12.36±9.11    | 6.12±6.30       | 4.83±4.04        |
|           |            | 9.49 - 18.10              | 1.88 - 14.50  | 2.27 - 20.00  | 0.64 - 13.00    | 0.18 - 7.41      |
|           |            | <b>P<sub>value</sub></b>  | 0.219         | 0.627         | 0.783           | 0.198            |
| Ca        | F          | 36.50±25.91               | 47.83±15.13   | 47.57±30.01   | 161.00±19.00    | 121.50±27.53     |
|           |            | 20.60 - 66.40             | 37.50 - 65.20 | 14.80 - 73.70 | 145.00 - 182.00 | 98.50 - 152.00   |
|           | S0         | 104.27±81.01              | 50.83±15.65   | 58.97±8.14    | 130.67±26.03    | 80.77±28.75      |
|           |            | 47.30 - 197.00            | 33.10 - 62.70 | 52.20 - 68.00 | 104.00 - 156.00 | (48.30 - 103.00) |
|           |            | <b>P<sub>value</sub></b>  | 0.424         | 0.615         | 0.307           | 0.178            |
| Mg        | F          | 8.18±6.25                 | 11.08±3.87    | 11.62±7.11    | 36.23±5.57      | 28.20±5.41       |
|           |            | 3.64 - 15.30              | 8.33 - 15.50  | 3.95 - 18.00  | 29.80 - 39.60   | 23.30 - 34.00    |
|           | S0         | 22.28±17.76               | 11.61±3.78    | 12.70±1.51    | 27.97±5.39      | 18.27±6.61       |
|           |            | 9.74 - 42.60              | 7.34 - 14.50  | 11.30 - 14.30 | 22.10 - 32.70   | 11.90 - 25.10    |
|           |            | <b>P<sub>value</sub></b>  | 0.456         | 0.666         | 0.452           | 0.139            |
| S         | F          | 14.50±2.97                | 16.80±3.96    | 11.70±1.84    | 8.52±0.27       | 10.14±0.76       |
|           |            | 12.40 - 16.60             | 14.00 - 19.60 | 10.40 - 13.00 | 8.23 - 8.75     | 9.58 - 11.00     |
|           | S0         | 17.55±0.07                | 14.50±0.71    | 12.45±2.05    | 10.51±1.00      | 10.39±1.12       |
|           |            | 17.50 - 17.60             | 14.00 - 15.00 | 11.00 - 13.90 | 9.63 - 11.60    | 9.26 - 11.50     |
|           |            | <b>P<sub>value</sub></b>  | 0.284         | 0.504         | 0.737           | 0.029            |
| pH        | F          | 5.25±0.17                 | 4.98±0.11     | 5.22±0.09     | 5.36±0.14       | 5.53±0.17        |

|     |                          |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|     |                          | 5.12 - 5.44     | 4.91 - 5.11     | 5.14 - 5.31     | 5.24 - 5.51     | 5.34 - 5.66     |
|     |                          | 5.31±0.21       | 5.28±0.03       | 5.21±0.11       | 5.23±0.13       | 4.96±0.10       |
|     | S0                       | 5.15 - 5.54     | 5.26 - 5.32     | 5.14 - 5.34     | 5.13 - 5.38     | 4.85 - 5.04     |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.441           | 0.110           | 0.907           | 0.316           | 0.007           |
|     |                          | 0.67±0.41       | 1.03±0.47       | 1.04±0.57       | 2.16±0.29       | 1.56±0.48       |
|     | F                        | 0.34 - 1.13     | 0.75 - 1.57     | 0.41 - 1.52     | 1.97 - 2.49     | 1.18 - 2.10     |
|     |                          | 1.74±1.34       | 0.91±0.31       | 1.16±0.18       | 2.03±0.53       | 1.37±0.40       |
| CEC | S0                       | 0.95 - 3.29     | 0.56 - 1.15     | 0.95 - 1.28     | 1.45 - 2.49     | 0.94 - 1.74     |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.389           | 0.863           | 0.369           | 0.735           | 0.622           |
|     |                          | 191.50±14.85    | 219.50±40.31    | 182.00±11.31    | 168.00±9.64     | 135.67±17.62    |
|     | F                        | 181.00 - 202.00 | 191.00 - 248.00 | 174.00 - 190.00 | 161.00 - 179.00 | 125.00 - 156.00 |
|     |                          | 232.50±4.95     | 230.50±31.82    | 221.00±25.46    | 197.00±33.78    | 248.67±53.72    |
| Fe  | S0                       | 229.00 - 236.00 | 208.00 - 253.00 | 203.00 - 239.00 | 161.00 - 228.00 | 198.00 - 305.00 |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.066           | 0.791           | 0.186           | 0.226           | 0.026           |
|     |                          | 1.05±0.25       | 0.53±0.04       | 0.57±0.15       | 1.47±0.84       | 0.77±0.42       |
|     | F                        | 0.87 - 1.23     | 0.50 - 0.56     | 0.46 - 0.67     | 0.88 - 2.43     | 0.42 - 1.23     |
|     |                          | 1.46±0.39       | 1.26±1.05       | 0.53±0.27       | 0.63±0.17       | 0.84±0.19       |
| Zn  | S0                       | 1.18 - 1.73     | 0.52 - 2.00     | 0.34 - 0.72     | 0.44 - 0.76     | 0.64 - 1.02     |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.343           | 0.428           | 0.887           | 0.168           | 0.787           |
|     |                          | 0.20±0.03       | 0.18±0.00       | 0.32±0.17       | 0.38±0.08       | 0.53±0.12       |
|     | F                        | 0.18 - 0.22     | 0.18 - 0.18     | 0.20 - 0.44     | 0.30 - 0.46     | 0.42 - 0.65     |
|     |                          | 0.30±0.16       | 0.22±0.06       | 0.23±0.06       | 0.59±0.11       | 0.64±0.19       |
| Cu  | S0                       | 0.18 - 0.41     | 0.18 - 0.26     | 0.18 - 0.27     | 0.50 - 0.71     | 0.44 - 0.81     |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.501           | 0.423           | 0.536           | 0.054           | 0.459           |
|     |                          | 0.97±0.03       | 1.20±0.21       | 1.04±0.29       | 4.83±1.27       | 0.96±0.48       |
|     | F                        | 0.95 - 0.99     | 1.05 - 1.35     | 0.83 - 1.24     | 3.43 - 5.92     | 0.45 - 1.41     |
|     |                          | 1.97±1.17       | 1.49±0.06       | 1.08±0.28       | 1.55±0.82       | 3.57±1.70       |
| Mn  | S0                       | 1.14 - 2.79     | 1.44 - 1.53     | 0.88 - 1.27     | 0.75 - 2.39     | 2.10 - 5.44     |
|     | <b>P<sub>value</sub></b> | 0.351           | 0.210           | 0.901           | 0.020           | 0.063           |

**Tableau 27. Comparaison des moyennes Forêt – savane de 60 – 120 cm**

| Nutriment | Végétation  | Période d'échantillonnage |               |                |                 |                 |
|-----------|-------------|---------------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|
|           |             | Février012                | Juillet 012   | Novembre 012   | Février013      | Juillet 013     |
| N         | F           | 0.23±0.03                 | 0.22±0.03     | 0.21±0.03      | 0.20±0.01       | 0.21±0.02       |
|           |             | 0.20 - 0.26               | 0.19 - 0.25   | 0.19 - 0.25    | 0.19 - 0.21     | 0.20 - 0.23     |
|           |             | 0.17±0.05                 | 0.17±0.04     | 0.20±0.05      | 0.21±0.02       | 0.22±0.01       |
|           | S0          | 0.14 - 0.23               | 0.14 - 0.21   | 0.16 - 0.25    | 0.20 - 0.23     | 0.21 - 0.22     |
|           | <b>Pvlu</b> | 0.038                     | 0.063         | 0.183          | 0.275           | 0.898           |
| P         | F           | 26.28±3.63                | 19.45±0.87    | 27.58±8.52     | 27.87±13.18     | 38.35±9.15      |
|           |             | 23.80 - 30.45             | 18.70 - 20.40 | 20.30 - 36.95  | 17.47 - 42.70   | 31.75 - 48.80   |
|           |             | 34.60±16.18               | 22.03±3.29    | 21.27±14.71    | 47.40±22.28     | 31.95±5.73      |
|           | S0          | 16.30 - 47.00             | 18.30 - 24.50 | 11.60 - 38.20  | 30.30 - 72.60   | 27.90 - 36.00   |
|           | <b>Pvlu</b> | 0.675                     | 0.017         | 0.104          | 0.262           | 0.454           |
| K         | F           | 8.16±1.47                 | 7.31±1.57     | 5.56±2.44      | 3.15±2.12       | 8.59±0.78       |
|           |             | 7.25 - 9.85               | 5.83 - 8.96   | 3.90 - 8.36    | 0.79 - 4.91     | 7.83 - 9.38     |
|           |             | 6.47±5.46                 | 4.57±3.87     | 6.11±5.91      | 15.69±9.20      | 21.05±4.60      |
|           | S0          | 0.18 - 10.00              | 0.18 - 7.46   | 0.18 - 12.00   | 9.96 - 26.30    | 17.80 - 24.30   |
|           | <b>Pvlu</b> | 0.558                     | 0.330         | 0.918          | 0.083           | 0.015           |
| Ca        | F           | 41.89±14.20               | 49.02±18.96   | 53.93±22.89    | 78.22±10.51     | 107.78±3.14     |
|           |             | 27.47 - 55.85             | 33.10 - 70.00 | 29.10 - 71.25  | 74.20 - 90.30   | 104.25 - 110.25 |
|           |             | 74.23±5.32                | 62.13±5.97    | 81.93±26.31    | 144.00±12.12    | 134.00±2.83     |
|           | S0          | 68.50 - 79.00             | 58.20 - 69.00 | 63.10 - 112.00 | 133.00 - 157.00 | 132.00 - 136.00 |
|           | <b>Pvlu</b> | 0.094                     | 0.73          | 0.202          | 0.002           | 0.003           |
| Mg        | F           | 8.76±3.00                 | 9.91±4.55     | 12.36±5.37     | 17.22±2.06      | 22.28±2.55      |
|           |             | 5.49 - 11.37              | 6.89 - 15.15  | 6.18 - 15.80   | 15.50 - 19.50   | 20.45 - 25.20   |
|           |             | 16.73±1.60                | 13.27±1.42    | 16.00±5.28     | 33.00±4.20      | 29.55±0.78      |
|           | S0          | 15.10 - 18.30             | 12.40 - 14.90 | 12.90 - 22.10  | 28.80 - 37.20   | 29.00 - 30.10   |
|           | <b>Pvlu</b> | 0.050                     | 0.762         | 0.401          | 0.004           | 0.034           |
| S         | F           | 11.08±1.52                | 14.80±1.06    | 13.62±1.28     | 11.77±1.92      | 11.80±1.68      |
|           |             | 10.00 - 12.15             | 14.05 - 15.55 | 12.25 - 14.80  | 9.77 - 13.60    | 10.50 - 13.70   |
|           |             | 14.65±1.63                | 14.70±1.13    | 12.15±2.33     | 14.30±1.91      | 14.00±0.71      |
|           | S0          | 13.50 - 15.80             | 13.90 - 15.50 | 10.50 - 13.80  | 12.10 - 15.40   | 13.50 - 14.50   |
|           | <b>Pvlu</b> | 0.151                     | 0.936         | 0.416          | 0.181           | 0.191           |
| pH        | F           | 5.33±0.16                 | 5.06±0.09     | 5.31±0.11      | 5.05±0.24       | 5.02±0.09       |

|     |             |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|     |             | 5.19 - 5.50     | 4.98 - 5.15     | 5.22 - 5.43     | 4.82 - 5.29     | 4.92 - 5.09     |
|     |             | 5.20±0.23       | 5.19±0.10       | 5.28±0.12       | 5.10±0.14       | 5.32±0.10       |
|     | S0          | 5.05 - 5.46     | 5.09 - 5.29     | 5.16 - 5.39     | 4.94 - 5.20     | 5.25 - 5.39     |
|     | <b>Pvlu</b> | 0.080           | 0.441           | 0.777           | 0.767           | 0.038           |
|     |             | 0.80±0.27       | 0.92±0.35       | 0.90±0.35       | 1.28±0.29       | 1.74±0.16       |
|     | F           | 0.50 - 1.02     | 0.67 - 1.32     | 0.57 - 1.27     | 1.11 - 1.61     | 1.56 - 1.87     |
|     |             | 1.42±0.15       | 1.09±0.11       | 1.41±0.38       | 2.33±0.19       | 2.04±0.06       |
| CEC | S0          | 1.32 - 1.59     | 0.96 - 1.18     | 1.13 - 1.84     | 2.21 - 2.55     | 1.99 - 2.08     |
|     | <b>Pvlu</b> | 0.064           | 0.905           | 0.153           | 0.006           | 0.103           |
|     |             | 156.00±69.30    | 201.75±20.86    | 219.50±6.87     | 228.67±48.67    | 210.33±25.52    |
|     | F           | 107.00 - 205.00 | 187.00 - 216.50 | 213.50 - 227.00 | 182.50 - 279.50 | 181.50 - 230.00 |
|     |             | 224.50±65.76    | 250.00±53.74    | 237.00±31.11    | 205.67±40.53    | 214.00±5.66     |
| Fe  | S0          | 178.00 - 271.00 | 212.00 - 288.00 | 215.00 - 259.00 | 159.00 - 232.00 | 210.00 - 218.00 |
|     | <b>Pvlu</b> | 0.417           | 0.358           | 0.383           | 0.563           | 0.861           |
|     |             | 0.35±0.30       | 0.35±0.31       | 0.39±0.12       | 0.78±0.18       | 0.61±0.20       |
|     | F           | 0.00 - 0.55     | 0.00 - 0.60     | 0.31 - 0.53     | 0.60 - 0.95     | 0.41 - 0.81     |
|     |             | 0.83±0.04       | 0.72±0.09       | 0.71±0.03       | 0.65±0.19       | 0.86±0.57       |
| Zn  | S0          | 0.80 - 0.86     | 0.65 - 0.78     | 0.69 - 0.73     | 0.46 - 0.83     | 0.46 - 1.26     |
|     | <b>Pvlu</b> | 0.018           | 0.199           | 0.040           | 0.417           | 0.503           |
|     |             | 0.22±0.08       | 0.31±0.18       | 0.24±0.09       | 0.42±0.14       | 0.46±0.08       |
|     | F           | 0.16 - 0.28     | 0.18 - 0.43     | 0.18 - 0.34     | 0.30 - 0.58     | 0.37 - 0.52     |
|     |             | 0.18±0.00       | 0.18±0.00       | 0.21±0.04       | 0.49±0.14       | 0.33±0.14       |
| Cu  | S0          | 0.18 - 0.18     | 0.18 - 0.18     | 0.18 - 0.23     | 0.38 - 0.64     | 0.23 - 0.43     |
|     | <b>Pvlu</b> | 0.574           | 0.423           | 0.679           | 0.608           | 0.265           |
|     |             | 1.07±0.28       | 1.42±0.24       | 1.35±0.30       | 2.41±1.16       | 2.80±0.60       |
|     | F           | 0.87 - 1.26     | 1.25 - 1.59     | 1.11 - 1.69     | 1.20 - 3.51     | 2.15 - 3.33     |
|     |             | 1.10±0.10       | 1.23±0.18       | 1.24±0.24       | 3.08±2.16       | 1.72±0.40       |
| Mn  | S0          | 1.03 - 1.17     | 1.10 - 1.35     | 1.07 - 1.41     | 1.13 - 5.40     | 1.44 - 2.00     |

### Annexes 5. Données sur le Carbone du sol

**Tableau 28. Statut général du carbone organique sous les différents couverts végétaux**

| Saison     | Couvert Végétal | Moyenne ± écart type     |                    |                |                |                    |                |                |                    |                |                |
|------------|-----------------|--------------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|
|            |                 | Coefficient de variation |                    |                |                |                    |                |                |                    |                |                |
|            |                 | 0 – 30 cm                |                    |                | 30 – 60 cm     |                    |                | 60 – 120 cm    |                    |                |                |
|            | C               | C/N                      | C <sub>stock</sub> | C              | C/N            | C <sub>stock</sub> | C              | C/N            | C <sub>stock</sub> |                |                |
|            | (%)             |                          | (t C/ha)           | (%)            |                | (t C/ha)           | (%)            |                | (t C/ha)           |                |                |
| Février012 | S0              | 3.3 ± 0.6                | 16.6 ± 4.0         | 127.03 ± 26.30 | 3.3 ± 0.5      | 16.0 ± 1.0         | 127.68 ± 24.80 | 2.9 ± 0.4      | 17.6 ± 2.2         | 223.24 ± 39.42 |                |
|            |                 | 19.66                    | 24.33              | 18.89          | 17.28          | 6.71               | 17.51          | 16.33          | 12.51              | 15.77          |                |
|            | Aa1             | 3.3 ± 0.6                | 15.1 ± 2.4         | 144.30 ± 13.00 | 4.0 ± 0.8      | 15.2 ± 0.4         | 172.36 ± 19.59 | 3.6 ± 0.7      | 14.9 ± 2.5         | 305.55 ± 33.70 |                |
|            |                 | 18.76                    | 15.99              | 9.52           | 20.75          | 3.24               | 15.55          | 19.93          | 17.06              | 11.53          |                |
|            | Aa2             | 3.3 ± 0.5                | 16.0 ± 3.3         | 132.22 ± 18.80 | 3.5 ± 0.4      | 17.5 ± 2.3         | 128.21 ± 24.84 | 3.0 ± 0.5      | 16.5 ± 1.6         | 224.95 ± 50.96 |                |
|            |                 | 17.55                    | 20.6               | 14.75          | 13.17          | 13.17              | 19.89          | 16.32          | 9.82               | 24.61          |                |
|            | Am1             | 3.3 ± 0.6                | 15.0 ± 1.6         | 141.97 ± 13.71 | 3.9 ± 0.7      | 14.9 ± 0.7         | 166.17 ± 19.23 | 3.7 ± 0.6      | 14.6 ± 2.8         | 305.87 ± 33.48 |                |
|            |                 | 17.96                    | 11.19              | 10.64          | 18.72          | 5.25               | 17.63          | 17.47          | 19.2               | 12.85          |                |
|            | Am2             | 3.3 ± 0.4                | 15.6 ± 2.4         | 132.37 ± 15.63 | 3.5 ± 0.4      | 16.1 ± 0.6         | 138.44 ± 15.65 | 3.0 ± 0.5      | 17.2 ± 1.4         | 238.87 ± 34.25 |                |
|            |                 | 14.31                    | 15.61              | 12.33          | 13.27          | 4.21               | 13.2           | 16.98          | 8.2                | 14.87          |                |
|            | F               | 3.4 ± 0.5                | 16.8 ± 4.1         | 140.12 ± 16.70 | 3.8 ± 0.6      | 17.7 ± 3.9         | 156.10 ± 21.22 | 3.6 ± 0.5      | 16.0 ± 0.6         | 248.64 ± 91.64 |                |
|            |                 | 15.40                    | 24.6               | 12.43          | 17.82          | 22.17              | 13.65          | 15.59          | 4.05               | 12.91          |                |
|            |                 | P <sub>value</sub>       | 0.999              | 0.970          | 1.000          | 0.699              | 0.455          | 0.993          | 0.381              | 0.413          | 0.984          |
|            | Juillet 012     | S0                       | 3.4 ± 0.5          | 16.7 ± 3.7     | 141.99 ± 10.98 | 3.4 ± 0.5          | 16.3 ± 0.6     | 141.54 ± 14.07 | 2.9 ± 0.4          | 17.9 ± 1.4     | 237.29 ± 24.45 |
|            |                 |                          | 14.49              | 22.28          | 8.25           | 14.59              | 3.84           | 11.85          | 13.57              | 8.32           | 10.79          |
| S1         |                 | 3.4 ± 0.5                | 16.9 ± 3.9         | 139.63 ± 15.52 | 3.4 ± 0.4      | 16.7 ± 1.2         | 133.65 ± 20.74 | 2.9 ± 0.4      | 18.1 ± 2.6         | 232.02 ± 32.26 |                |
|            |                 | 16.80                    | 23.08              | 13.02          | 14.35          | 7.6                | 20.01          | 16.51          | 14.59              | 15.84          |                |
| Aa1        |                 | 3.4 ± 0.6                | 15.0 ± 2.2         | 153.10 ± 12.04 | 3.8 ± 0.7      | 14.8 ± 0.5         | 171.36 ± 9.99  | 3.6 ± 0.6      | 14.7 ± 1.8         | 317.00 ± 24.28 |                |
|            |                 | 19.28                    | 15.08              | 12.6           | 19.07          | 3.47               | 9.93           | 17.35          | 12.56              | 9.31           |                |
| Aa2        |                 | 3.4 ± 0.4                | 16.9 ± 3.8         | 141.60 ± 8.63  | 3.5 ± 0.5      | 16.0 ± 2.6         | 144.10 ± 15.44 | 3.2 ± 0.4      | 16.7 ± 1.8         | 275.53 ± 19.00 |                |
|            |                 | 11.74                    | 22.62              | 7.54           | 16.33          | 16.33              | 10.32          | 13.98          | 11.14              | 9.4            |                |
| Am1        |                 | 3.4 ± 0.5                | 15.7 ± 2.4         | 151.18 ± 6.00  | 3.7 ± 0.8      | 15.7 ± 2.9         | 162.91 ± 20.04 | 3.7 ± 0.6      | 14.9 ± 0.8         | 317.86 ± 22.92 |                |
|            |                 | 15.59                    | 15.59              | 11.73          | 23.48          | 18.73              | 20.62          | 16.21          | 5.95               | 7.71           |                |

|                    |                    |            |                |                |              |                |                |             |                |                |
|--------------------|--------------------|------------|----------------|----------------|--------------|----------------|----------------|-------------|----------------|----------------|
| Novembre 012       | Am2                | 3.3 ± 0.6  | 16.6 ± 3.8     | 137.02 ± 17.09 | 3.5 ± 0.5    | 16.5 ± 0.7     | 148.00 ± 11.22 | 3.1 ± 0.5   | 17.8 ± 1.5     | 254.99 ± 27.19 |
|                    |                    | 18.65      | 23.13          | 17.12          | 13.85        | 4.77           | 12.57          | 16.54       | 8.56           | 11.18          |
|                    | Am3                | 3.5 ± 0.7  | 18.2 ± 6.4     | 138.82 ± 17.64 | 3.8 ± 0.6    | 18.2 ± 4.2     | 146.22 ± 16.65 | 3.1 ± 0.5   | 15.8 ± 2.1     | 252.04 ± 31.90 |
|                    |                    | 21.62      | 35.22          | 18.86          | 16.75        | 23.35          | 15.35          | 18.04       | 13.38          | 17.35          |
|                    | F                  | 3.6 ± 0.5  | 17.6 ± 4.1     | 149.82 ± 17.44 | 3.6 ± 0.6    | 16.8 ± 3.6     | 153.63 ± 15.84 | 3.6 ± 0.4   | 16.5 ± 0.5     | 293.33 ± 26.66 |
|                    |                    | 14.20      | 23.26          | 12             | 17.23        | 21.35          | 10.79          | 13.68       | 3.53           | 9.58           |
|                    | P <sub>value</sub> | 0.997      | 0.984          | 0.990          | 0.985        | 0.886          | 0.991          | 0.380       | 0.149          | 0.966          |
|                    |                    |            |                |                |              |                |                |             |                |                |
|                    | S0                 | 3.4 ± 0.5  | 14.9 ± 1.0     | 136.59 ± 17.11 | 3.3 ± 0.4    | 15.4 ± 0.5     | 142.53 ± 5.79  | 3.0 ± 0.3   | 15.7 ± 1.9     | 257.10 ± 15.19 |
|                    |                    | 15.06      | 7.14           | 16.72          | 11.77        | 3.76           | 6.29           | 10.79       | 12.22          | 6.05           |
|                    | S1                 | 3.4 ± 0.7  | 15.1 ± 1.2     | 133.57 ± 20.19 | 3.4 ± 0.5    | 14.6 ± 2.1     | 140.00 ± 18.25 | 3.0 ± 0.5   | 16.4 ± 2.7     | 257.18 ± 28.45 |
|                    |                    | 20.67      | 8.48           | 22.16          | 15.98        | 14.96          | 14.65          | 17.98       | 16.77          | 14.86          |
| Aa1                | 3.7 ± 0.7          | 14.7 ± 0.7 | 147.89 ± 17.21 | 3.9 ± 0.6      | 14.2 ± 1.6   | 165.75 ± 13.19 | 3.6 ± 0.7      | 13.9 ± 0.9  | 284.05 ± 67.22 |                |
|                    | 19.08              | 5.29       | 13.79          | 16.10          | 11.9         | 10.64          | 20.29          | 6.7         | 27.4           |                |
| Aa2                | 3.5 ± 0.4          | 15.1 ± 1.9 | 146.23 ± 13.85 | 3.6 ± 0.4      | 15.7 ± 0.4   | 135.54 ± 22.88 | 3.4 ± 0.3      | 14.9 ± 0.6  | 285.92 ± 26.00 |                |
|                    | 11.64              | 12.85      | 12.01          | 11.60          | 2.61         | 15.13          | 10.28          | 4.12        | 9.31           |                |
| Am1                | 3.4 ± 0.7          | 14.7 ± 1.5 | 144.68 ± 18.56 | 3.5 ± 0.9      | 13.4 ± 0.4   | 149.08 ± 28.10 | 3.8 ± 0.8      | 14.7 ± 2.0  | 295.00 ± 38.61 |                |
|                    | 20.91              | 10.6       | 17.9           | 26.67          | 2.96         | 21.74          | 21.00          | 14.21       | 15.18          |                |
| Am2                | 3.4 ± 0.4          | 14.4 ± 0.2 | 141.59 ± 11.76 | 3.5 ± 0.4      | 14.5 ± 0.2   | 137.57 ± 17.07 | 3.1 ± 0.4      | 15.9 ± 1.5  | 258.08 ± 23.88 |                |
|                    | 12.90              | 1.85       | 12.48          | 11.49          | 1.62         | 14.89          | 15.55          | 9.45        | 9.76           |                |
| Am3                | 3.4 ± 0.6          | 16.0 ± 3.3 | 138.55 ± 19.35 | 3.5 ± 0.5      | 15.5 ± 1.7   | 146.41 ± 13.88 | 3.2 ± 0.4      | 15.5 ± 0.9  | 272.85 ± 18.90 |                |
|                    | 17.73              | 20.65      | 19.1           | 16.29          | 10.97        | 10             | 14.93          | 5.76        | 7.44           |                |
| F                  | 3.5 ± 0.6          | 14.7 ± 0.8 | 138.26 ± 22.66 | 3.6 ± 0.5      | 15.6 ± 0.9   | 146.30 ± 13.62 | 3.3 ± 0.2      | 15.8 ± 0.9  | 260.23 ± 7.32  |                |
|                    | 18.06              | 5.56       | 21.55          | 13.94          | 6.22         | 9.83           | 7.39           | 6.1         | 2.81           |                |
| P <sub>value</sub> | 0.999              | 0.971      | 0.972          | 0.969          | 0.286        | 1.000          | 0.611          | 0.636       | 0.945          |                |
|                    |                    |            |                |                |              |                |                |             |                |                |
| Février013         | S0                 | 3.4 ± 0.4  | 15.5 ± 0.7     | 116.77 ± 19.22 | 2.7 ± 0.1a   | 14.8 ± 0.1ab   | 90.95 ± 9.84   | 3.3 ± 0.2ab | 15.5 ± 0.2     | 229.94 ± 9.77  |
|                    |                    | 14.10      | 4.82           | 16.46          | 2.60         | 0.93           | 3.71           | 8.67        | 1.9            | 4.25           |
|                    | S1                 | 3.2 ± 0.3  | 14.7 ± 0.3     | 111.10 ± 14.77 | 3.2 ± 0.4abc | 15.6 ± 0.1c    | 129.56 ± 17.21 | 2.5 ± 0.1a  | 15.1 ± 0.2     | 161.11 ± 10.45 |
|                    |                    | 10.41      | 2.04           | 13.29          | 13.05        | 0.91           | 13.28          | 1.79        | 1.79           | 9.16           |
|                    | Aa1                | 3.6 ± 0.1  | 15.3 ± 0.1     | 140.98 ± 13.17 | 3.0 ± 0.1ab  | 14.5 ± 0.3a    | 99.72 ± 6.04   | 3.2 ± 0.3ab | 14.8 ± 0.1     | 220.32 ± 34.71 |
|                    |                    | 3.42       | 0.88           | 9.35           | 4.22         | 2.22           | 6.06           | 9.46        | 1.24           | 15.75          |
|                    | Aa2                | 3.6 ± 0.4  | 15.3 ± 0.6     | 152.81 ± 21.87 | 3.5 ± 0.2bc  | 15.6 ± 0.5c    | 116.33 ± 5.22  | 3.1 ± 0.3ab | 15.1 ± 0.4     | 206.58 ± 26.13 |
|                    |                    | 13.32      | 4.32           | 14.31          | 7.51         | 3.18           | 4.49           | 10.71       | 2.78           | 12.65          |



|             |                    |                     |                        |                         |                      |                       |                         |                      |                      |                         |       |
|-------------|--------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------|
|             | Am1                | 3.3 ± 0.1<br>2.58   | 15.3 ± 0.4<br>2.58     | 118.21 ± 6.47<br>5.47   | 3.3 ± 0.1abc<br>1.92 | 15.4 ± 0.1bc<br>0.83  | 124.29 ± 7.05<br>5.67   | 3.4 ± 0.1b<br>1.59   | 15.7 ± 0.2<br>1.59   | 232.12 ± 14.79<br>6.37  |       |
|             | Am2                | 2.8 ± 0.4<br>14.31  | 15.1 ± 0.1<br>0.58     | 105.59 ± 11.94<br>11.31 | 3.6 ± 0.2c<br>6.46   | 15.6 ± 0.3c<br>2.22   | 139.60 ± 24.04<br>17.22 | 2.6 ± 0.1ab<br>2.41  | 15.1 ± 0.3<br>2.56   | 172.80 ± 8.50<br>4.92   |       |
|             | Am3                | 3.3 ± 0.3<br>9.97   | 15.2 ± 0.4<br>2.99     | 118.83 ± 5.11<br>4.3    | 3.4 ± 0.1bc<br>2.19  | 15.2 ± 0.1abc<br>1.02 | 116.03 ± 15.38<br>5.65  | 3.3 ± 0.5ab<br>16.56 | 15.4 ± 0.5<br>3.34   | 259.32 ± 39.41<br>15.2  |       |
|             | F                  | 3.4 ± 0.1<br>3.14   | 15.6 ± 0.1<br>0.55     | 135.38 ± 13.52<br>9.99  | 3 ± 0.1bc<br>2.10    | 15 ± 0.1bc<br>1       | 137.56 ± 9.39<br>6.83   | 3 ± 0.3ab<br>9.94    | 15.4 ± 0.6<br>3.89   | 223.63 ± 43.73<br>19.55 |       |
|             | P <sub>value</sub> | 0.186               | 0.358                  | 0.017                   | 0.001                | 0.001                 | 0.003                   | 0.015                | 0.128                | 0.009                   |       |
| Juillet 013 | S0                 | 3.3 ± 0.4<br>13.31  | 15 ± 0.6ab<br>3.92     | 123.71 ± 16.49<br>13.33 | 3.1 ± 0.2<br>8.53    | 15.1 ± 0.6<br>4.28    | 129.41 ± 8.54<br>6.6    | 3.2 ± 0.1<br>5.45    | 15.0 ± 0.3<br>2.16   | 193.39 ± 1.84<br>21.07  |       |
|             | S1                 | 3.4 ± 0.2<br>6.04   | 15 ± 0.2ab<br>1.72     | 114.70 ± 6.65<br>5.8    | 3.2 ± 0.3<br>11.52   | 15.1 ± 0.2<br>1.93    | 132.19 ± 11.54<br>13.28 | 3.0 ± 0.4<br>15.58   | 15.4 ± 0.5<br>3.82   | 204.08 ± 51.37<br>18.4  |       |
|             | Aa1                | 3.6 ± 0.3<br>10.34  | 15 ± 0.3ab<br>2.61     | 140.00 ± 26.88<br>19.2  | 3.1 ± 0.2<br>6.44    | 14.8 ± 0.4<br>3.15    | 119.48 ± 9.04<br>7.57   | 3.3 ± 0.1<br>3.81    | 14.8 ± 0.1<br>0.67   | 208.04 ± 11.90<br>12.18 |       |
|             | Aa2                | 3.3 ± 0.0<br>0.00   | 15 ± 0.0ab<br>0.00     | 127.37 ± 2.12<br>1.66   | 3.3 ± 0.3<br>10.21   | 15.0 ± 0.5<br>3.66    | 112.25 ± 14.69<br>13.09 | 2.9 ± 0.3<br>10.23   | 14.8 ± 0.3<br>2.4    | 218.84 ± 41.84<br>19.12 |       |
|             | Am1                | 3.1 ± 0.08<br>2.58  | 15 ± 0.05a<br>0.35     | 103.11 ± 5.75<br>5.58   | 3.6 ± 0.2<br>5.82    | 15.4 ± 0.2<br>1.43    | 153.04 ± 8.50<br>5.56   | 3.2 ± 0.04<br>1.16   | 15.3 ± 0.2<br>1.54   | 189.58 ± 44.56<br>4.77  |       |
|             | Am2                | 3.52 ± 0.20<br>5.75 | 15.51 ± 0.11ab<br>0.7  | 117.05 ± 14.95<br>12.78 | 3.56 ± 0.25<br>7.12  | 15.28 ± 0.25<br>1.66  | 131.59 ± 24.26<br>11.4  | 3.40 ± 0.12<br>3.47  | 15.71 ± 0.57<br>3.63 | 255.66 ± 15.58<br>6.09  |       |
|             | Am3                | 3.38 ± 0.04<br>1.23 | 15.35 ± 0.19ab<br>1.23 | 126.65 ± 4.55<br>3.59   | 3.41 ± 0.03<br>0.83  | 14.8 ± 0.1<br>0.83    | 113.02 ± 4.13<br>3.65   | 3.26 ± 0.41<br>12.58 | 15.04 ± 0.32<br>2.13 | 201.62 ± 11.01<br>11.86 |       |
|             | F                  | 3.89 ± 0.22<br>5.60 | 15.77 ± 0.22b<br>1.37  | 147.41 ± 19.16<br>13    | 3.85 ± 0.14<br>3.53  | 15.59 ± 0.19<br>1.21  | 139.67 ± 18.24<br>13.06 | 3.18 ± 0.27<br>8.62  | 15.01 ± 0.30<br>1.98 | 248.95 ± 1.36<br>0.55   |       |
|             |                    | P <sub>value</sub>  | 0.063                  | 0.044                   | 0.054                | 0.080                 | 0.330                   | 0.051                | 0.460                | 0.216                   | 0.222 |

## Annexes 6. Données socio-économiques

**Tableau 29. Dépouillement d'enquête socio économique**

| Variable         | Modalité              | Site     |              |          | Variable           | Modalité          | Site     |          |          |
|------------------|-----------------------|----------|--------------|----------|--------------------|-------------------|----------|----------|----------|
|                  |                       | Mampu    | Mbankan<br>a | Ibi      |                    |                   | Mampu    | Mbankana | Ibi      |
|                  |                       | Effectif | Effectif     | Effectif |                    |                   | Effectif | Effectif | Effectif |
| Sexe             | Masculin              | 84       | 83           | 76       | Arbres à chenilles | Moins de 5 arbres | 50       | 3        | 2        |
|                  | Féminin               | 19       | 35           | 26       |                    | 5 - 10 arbres     | 0        | 0        | 2        |
|                  | Non scolarisé         | 7        | 7            | 9        |                    | 11 - 20 arbres    | 0        | 2        | 0        |
|                  | Primaire              | 9        | 30           | 14       |                    | Plus de 20 arbres | 0        | 1        | 1        |
| Instruction      | Cycle court           | 37       | 51           | 19       | Wenge / Maesopsis  | Moins de 5 arbres | 7        | 35       | 2        |
|                  | Cycle long            | 34       | 28           | 53       |                    | 5 - 10 arbres     | 3        | 8        | 0        |
|                  | Supérieur             | 16       | 2            | 7        |                    | 11 - 20 arbres    | 4        | 2        | 0        |
|                  | Moins de 26 ans       | 2        | 1            | 6        |                    | Plus de 20 arbres | 0        | 1        | 0        |
| Tranche d'Age    | 26 - 35 ans           | 7        | 13           | 28       | Citrus             | Moins de 5 arbres | 62       | 46       | 15       |
|                  | 36 - 45 ans           | 19       | 23           | 34       |                    | 5 - 10 arbres     | 20       | 24       | 3        |
|                  | 46 - 55 ans           | 36       | 46           | 21       |                    | 11 - 20 arbres    | 7        | 4        | 5        |
|                  | au moins 56 ans       | 38       | 35           | 13       |                    | Plus de 20 arbres | 1        | 0        | 0        |
| État civil       | Célibataire           | 10       | 3            | 11       | Manguier           | Moins de 5 arbres | 57       | 73       | 37       |
|                  | Marié(e)              | 84       | 97           | 82       |                    | 5 - 10 arbres     | 31       | 19       | 7        |
|                  | Divorcé(e)            | 4        | 3            | 5        |                    | 11 - 20 arbres    | 7        | 2        | 4        |
|                  | Veuf (ve)             | 5        | 15           | 4        |                    | Plus de 20 arbres | 1        | 0        | 2        |
| Taille de ménage | Moins de 6 personnes  | 48       | 47           | 59       | Safoutier          | Moins de 5 arbres | 43       | 71       | 39       |
|                  | 6 - 10 personnes      | 40       | 61           | 40       |                    | 5 - 10 arbres     | 27       | 15       | 16       |
|                  | au moins 11 personnes | 14       | 10           | 3        |                    | 11 - 20 arbres    | 19       | 8        | 9        |
| Habitat          | Matériaux durable     | 100      | 117          | 13       | Palmier            | Plus de 20 arbres | 2        | 1        | 2        |
|                  | Briques en dobe       | 0        | 0            | 17       |                    | Moins de 5 arbres | 13       | 9        | 17       |
|                  | Terre battue          | 2        | 1            | 69       |                    | 5 - 10            | 26       | 30       | 18       |

|                         |                 |          |          |          |                   |                  |          |          |          |
|-------------------------|-----------------|----------|----------|----------|-------------------|------------------|----------|----------|----------|
|                         |                 |          |          |          | arbres            |                  |          |          |          |
|                         | Pailles         | 0        | 0        | 3        | 11 - 20 arbres    | 44               | 61       | 14       |          |
|                         | 1               | 0        | 58       | 9        | Plus de 20 arbres | 7                | 14       | 1        |          |
|                         | 2               | 4        | 18       | 40       | Moins de 5 arbres | 29               | 42       | 26       |          |
| Nbre. pièces            | 3               | 93       | 37       | 40       | 5 - 10 arbres     | 21               | 26       | 10       |          |
|                         | 4               | 5        | 5        | 13       | 11 - 20 arbres    | 15               | 8        | 6        |          |
|                         | 0.5 - 1.5 ha    | 66       | 76       | 67       | Plus de 20 arbres | 0                | 1        | 0        |          |
| Ha exploiter par an     | 2 - 3.5 ha      | 36       | 39       | 34       | moins de 5 arbres | 6                | 2        | 0        |          |
|                         | au moins 4 ha   | 0        | 3        | 1        | 5 - 10 Arbres     | 1                | 2        | 0        |          |
|                         | Kinshasa        | 53       | 80       | 59       | Moins de 5 arbres | 8                | 14       | 2        |          |
|                         | Bandundu        | 30       | 31       | 20       | 5 - 10 arbres     | 1                | 1        | 0        |          |
| Venu de                 | Bas Congo       | 5        | 3        | 9        | 11 - 20 arbres    | 1                | 0        | 0        |          |
|                         | Autre           | 8        | 4        | 14       | Moins de 5 arbres | 2                | 0        | 3        |          |
|                         | Autochtone      | 7        | 0        | 0        |                   |                  |          |          |          |
| Site                    |                 |          |          |          | Site              |                  |          |          |          |
| Variable                | Modalité        | Mbankana |          |          | Variable          | Modalité         | Mbankana |          |          |
|                         |                 | Mampu    | Ibi      |          |                   |                  | Mampu    | Mbankana | Ibi      |
|                         |                 | Effectif | Effectif | Effectif |                   |                  | Effectif | Effectif | Effectif |
|                         | Moins de 5 ans  | 2        | 3        | 40       |                   | 0                | 82       | 50       | 84       |
| Ancienneté dans le site | 5 - 10 ans      | 17       | 9        | 32       |                   | Moins de 5 têtes | 10       | 43       | 14       |
|                         | 11 - 20 ans     | 61       | 29       | 23       | Porcs et Chèvres  | 5 - 10 têtes     | 6        | 19       | 3        |
|                         | Au moins 21 ans | 23       | 77       | 7        |                   | 11 - 20 têtes    | 5        | 6        | 1        |
|                         | 1 - 5 ha        | 0        | 3        | 46       | Plus de 20 têtes  | 0                | 0        | 0        |          |
| Ha à disposition        | 6 - 10 ha       | 1        | 3        | 21       |                   | Moins de 5 têtes | 4        | 31       | 1        |
|                         | 11 - 19 ha      | 1        | 67       | 10       | Bœufs             | 5 - 10 têtes     | 1        | 10       | 1        |
|                         | 20 - 50 ha      | 101      | 43       | 15       |                   | 11 - 20 têtes    | 0        | 2        | 0        |
|                         | Au moins 51 ha  | 0        | 2        | 10       |                   | Plus de 20 têtes | 1        | 0        | 0        |
| Propriété foncière      | Propriétaire    | 65       | 104      | 60       | Source d'aliments | Nature           | 65       | 32       | 60       |
|                         | Métayage        | 38       | 14       | 42       |                   | Ferme            | 2        | 1        | 4        |

|                 |                       |    |     |    |                                      |                   |    |    |    |
|-----------------|-----------------------|----|-----|----|--------------------------------------|-------------------|----|----|----|
| Projet d'avenir | Exploiter à distance  | 8  | 7   | 2  |                                      | Concentrés        | 0  | 0  | 2  |
|                 | Rester et améliorer   | 94 | 110 | 99 |                                      | Pâturage amélioré | 0  | 3  | 0  |
|                 | Vendre et partir      | 0  | 1   | 1  |                                      | Nature & autres   | 3  | 73 | 10 |
| Jachère         | Naturelle             | 2  | 30  | 66 |                                      | 20%               | 3  | 0  | 1  |
|                 | Acacia                | 91 | 64  | 7  |                                      | 40%               | 2  | 1  | 11 |
|                 | Plantes de couverture | 0  | 0   | 0  | Part de l'agriculture dans le revenu | 60%               | 6  | 26 | 13 |
|                 | Naturelle & Acacia    | 0  | 16  | 15 |                                      | 80%               | 6  | 47 | 41 |
|                 | 0                     | 5  | 1   | 19 |                                      | 100%              | 83 | 43 | 36 |
| Fruitiers       | Moins de 5 arbres     | 3  | 1   | 20 |                                      | Maison            | 57 | 32 | 79 |
|                 | 5 - 10 arbres         | 3  | 5   | 16 |                                      | Banque            | 12 | 5  | 5  |
|                 | 11 - 20 arbres        | 64 | 73  | 36 |                                      | Mutuelle          | 8  | 1  | 0  |
|                 | Plus de 20 arbres     | 28 | 38  | 11 | Épargne                              | Maison & banque   | 5  | 2  | 0  |
|                 | Moins de 5 têtes      | 15 | 11  | 27 |                                      | Maison & mutuelle | 3  | 37 | 0  |
| Volaille        | 5 - 10 têtes          | 16 | 34  | 21 |                                      | Aucune            | 0  | 0  | 0  |
|                 | 11 - 20 têtes         | 42 | 55  | 25 |                                      |                   |    |    |    |
|                 | Plus de 20 têtes      | 2  | 0   | 0  |                                      |                   |    |    |    |

|                   |             | Tranche d'Age |       |          | Statut migratoire |       |          | Taille de ménage |       |          | État civil |       |          | Ancienneté dans le site |       |          |
|-------------------|-------------|---------------|-------|----------|-------------------|-------|----------|------------------|-------|----------|------------|-------|----------|-------------------------|-------|----------|
| Instruction       | Age         | Ibi           | Mampu | Mbankana | Ibi               | Mampu | Mbankana | Ibi              | Mampu | Mbankana | Ibi        | Mampu | Mbankana | Ibi                     | Mampu | Mbankana |
| Cycle court       | 26 - 35 ans | 1             | 3     |          | 1                 | 3     |          | 1                | 3     |          | 1          | 3     |          | 1                       | 3     |          |
|                   | 36 - 45 ans | 1             | 5     | 5        | 1                 | 5     | 5        | 1                | 5     | 5        | 1          | 5     | 5        | 1                       | 5     | 5        |
|                   | 46 - 55 ans |               | 3     | 1        |                   | 3     | 1        |                  | 3     | 1        |            | 3     | 1        |                         | 3     | 1        |
|                   | au moins 56 | 2             | 1     | 2        | 2                 | 1     | 2        | 2                | 1     | 2        | 2          | 1     | 2        | 2                       | 1     | 2        |
| Total Cycle court |             | 3             | 10    | 11       | 3                 | 10    | 11       | 3                | 10    | 11       | 3          | 10    | 11       | 3                       | 10    | 11       |
| Cycle long        | 26 - 35 ans | 4             | 1     | 1        | 4                 | 1     | 1        | 4                | 1     | 1        | 4          | 1     | 1        | 4                       | 1     | 1        |
|                   | 36 - 45 ans | 5             |       | 2        | 5                 |       | 2        | 5                |       | 2        | 5          |       | 2        | 5                       |       | 2        |
|                   | 46 - 55 ans | 2             | 4     |          | 2                 | 4     |          | 2                | 4     |          | 2          | 4     |          | 2                       | 4     |          |
|                   | au moins 56 | 1             |       |          | 1                 |       |          | 1                |       |          | 1          |       |          | 1                       |       |          |
|                   | Moins de 26 | 1             |       | 1        | 1                 |       | 1        | 1                |       | 1        | 1          |       | 1        | 1                       |       | 1        |
| Total Cycle long  |             | 13            | 5     | 4        | 13                | 5     | 4        | 13               | 5     | 4        | 13         | 5     | 4        | 13                      | 5     | 4        |

|                     |             |     |     |     |     |    |     |    |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     | 26 - 35 ans | 2   | 1   | 2   | 1   | 2  | 1   | 2  | 1   | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1   |
| Non<br>scolarisé    | 36 - 45 ans | 2   | 1   | 2   | 1   | 2  | 1   | 2  | 1   | 2   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1   |
|                     | 46 - 55 ans | 1   | 4   | 1   | 4   | 1  | 4   | 1  | 4   | 1   | 4   | 1   | 4   | 1   | 4   |
|                     | au moins 56 |     | 1   |     | 1   |    | 1   |    | 1   |     | 1   |     | 1   |     | 1   |
|                     | Moins de 26 | 1   |     | 1   |     | 1  |     | 1  |     | 1   |     | 1   |     | 1   |     |
| Total Non scolarisé |             | 6   | 7   | 6   | 7   | 6  | 7   | 6  | 7   | 6   | 7   | 6   | 7   | 6   | 7   |
| Primaire            | 26 - 35 ans |     | 2   |     | 2   |    | 2   |    | 2   |     | 2   |     | 2   |     | 2   |
|                     | 36 - 45 ans | 1   | 5   | 1   | 5   | 1  | 5   | 1  | 5   | 1   | 5   | 1   | 5   | 1   | 5   |
|                     | 46 - 55 ans | 2   | 2   | 5   | 2   | 2  | 5   | 2  | 2   | 5   | 2   | 2   | 5   | 2   | 2   |
|                     | au moins 56 | 1   |     | 1   | 1   |    | 1   | 1  |     | 1   | 1   |     | 1   | 1   |     |
| Total Primaire      |             | 4   | 2   | 13  | 4   | 2  | 13  | 4  | 2   | 13  | 4   | 2   | 13  | 4   | 2   |
| Supérieur           | au moins 56 |     | 2   |     | 2   |    | 2   |    | 2   |     | 2   |     | 2   |     | 2   |
| Total Supérieur     |             |     | 2   |     | 2   |    | 2   |    | 2   |     | 2   |     | 2   |     | 2   |
|                     |             | 26  | 19  | 35  | 26  | 19 | 35  | 26 | 19  | 35  | 26  | 19  | 35  | 26  | 19  |
| Cycle court         | 26 - 35 ans | 6   |     | 4   | 6   |    | 4   | 6  |     | 4   | 6   |     | 4   | 6   |     |
|                     | 36 - 45 ans | 6   | 3   | 4   | 6   | 3  | 4   | 6  | 3   | 4   | 6   | 3   | 4   | 6   | 3   |
|                     | 46 - 55 ans | 3   | 10  | 17  | 3   | 10 | 17  | 3  | 10  | 17  | 3   | 10  | 17  | 3   | 10  |
|                     | au moins 56 | 1   | 13  | 15  | 1   | 13 | 15  | 1  | 13  | 15  | 1   | 13  | 15  | 1   | 13  |
| Moins de 26         |             |     | 1   |     | 1   |    | 1   |    | 1   |     | 1   |     | 1   |     | 1   |
| Total Cycle court   |             | 16  | 27  | 40  | 16  | 27 | 40  | 16 | 27  | 40  | 16  | 27  | 40  | 16  | 27  |
| Cycle long          | 26 - 35 ans | 9   | 2   | 2   | 9   | 2  | 2   | 9  | 2   | 2   | 9   | 2   | 2   | 9   | 2   |
|                     | 36 - 45 ans | 14  | 5   | 3   | 14  | 5  | 3   | 14 | 5   | 3   | 14  | 5   | 3   | 14  | 5   |
|                     | 46 - 55 ans | 10  | 13  | 11  | 10  | 13 | 11  | 10 | 13  | 11  | 10  | 13  | 11  | 10  | 13  |
|                     | au moins 56 | 5   | 9   | 8   | 5   | 9  | 8   | 5  | 9   | 8   | 5   | 9   | 8   | 5   | 9   |
| Moins de 26         |             | 2   |     |     | 2   |    |     | 2  |     |     | 2   |     |     | 2   |     |
| Total Cycle long    |             | 40  | 29  | 24  | 40  | 29 | 24  | 40 | 29  | 24  | 40  | 29  | 24  | 40  | 29  |
| Non<br>scolarisé    | 26 - 35 ans | 2   | 2   |     | 2   | 2  |     | 2  | 2   |     | 2   | 2   |     | 2   | 2   |
|                     | au moins 56 |     | 4   |     | 4   |    | 4   |    | 4   |     | 4   |     | 4   |     | 4   |
|                     | Moins de 26 | 1   |     | 1   |     | 1  |     | 1  |     | 1   |     | 1   |     | 1   |     |
| Total Non scolarisé |             | 3   | 6   |     | 3   | 6  |     | 3  | 6   |     | 3   | 6   |     | 3   | 6   |
| Primaire            | 26 - 35 ans | 1   |     |     | 1   |    |     | 1  |     |     | 1   |     |     | 1   |     |
|                     | 36 - 45 ans | 4   | 1   | 3   | 4   | 1  | 3   | 4  | 1   | 3   | 4   | 1   | 3   | 4   | 1   |
|                     | 46 - 55 ans | 1   | 2   | 6   | 1   | 2  | 6   | 1  | 2   | 6   | 1   | 2   | 6   | 1   | 2   |
|                     | au moins 56 | 3   | 3   | 8   | 3   | 3  | 8   | 3  | 3   | 8   | 3   | 3   | 8   | 3   | 3   |
| Moins de 26         |             | 1   | 1   |     | 1   | 1  |     | 1  | 1   |     | 1   | 1   |     | 1   | 1   |
| Total Primaire      |             | 10  | 7   | 17  | 10  | 7  | 17  | 10 | 7   | 17  | 10  | 7   | 17  | 10  | 7   |
| Supérieur           | 26 - 35 ans | 4   | 1   |     | 4   | 1  |     | 4  | 1   |     | 4   | 1   |     | 4   | 1   |
|                     | 36 - 45 ans | 1   | 5   |     | 1   | 5  |     | 1  | 5   |     | 1   | 5   |     | 1   | 5   |
|                     | 46 - 55 ans | 2   | 2   | 2   | 2   | 2  | 2   | 2  | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   |
|                     | au moins 56 |     | 6   |     | 6   |    | 6   |    | 6   |     | 6   |     | 6   |     | 6   |
| Total Supérieur     |             | 7   | 14  | 2   | 7   | 14 | 2   | 7  | 14  | 2   | 7   | 14  | 2   | 7   | 14  |
|                     |             | 76  | 83  | 83  | 76  | 83 | 83  | 76 | 83  | 83  | 76  | 83  | 83  | 76  | 83  |
|                     |             | 102 | 102 | 118 | 102 | 10 | 118 | 10 | 102 | 118 | 102 | 102 | 118 | 102 | 102 |

## Annexe 7. Quelques Données climatiques du plateau des Bateke

**Tableau 30. Quelques Données climatiques**

| Mois      | Décade | Températures |             |             | Radiation | Eto (mm) | Nbre de jours<br>de pluies | mm Pluie /<br>décade | HR   | Vitesse du<br>Vent (m/séc.) |
|-----------|--------|--------------|-------------|-------------|-----------|----------|----------------------------|----------------------|------|-----------------------------|
|           |        | T.min (°C)   | T. max (°C) | T. Moy (°C) | (h/jr)    |          |                            |                      |      |                             |
| Janv.     | A      | 20.92        | 30.53       | 26.26       | 3.93      | 36.63    | 3.1                        | 64.1                 | 86.1 | 0.67                        |
|           | B      | 21.82        | 30.61       | 26.21       | 4.26      | 37.06    | 3.1                        | 42.7                 | 85.8 | 0.68                        |
|           | C      | 22.57        | 31.11       | 26.84       | 4.66      | 38.71    | 2.9                        | 57.0                 | 85.5 | 0.69                        |
| Février   | A      | 21.7         | 31.06       | 26.38       | 4.1       | 37.63    | 3.2                        | 47.1                 | 85.3 | 0.71                        |
|           | B      | 22.91        | 31.82       | 27.36       | 4.99      | 40.66    | 2.9                        | 51.5                 | 85.1 | 0.72                        |
|           | C      | 21.83        | 31.56       | 26.7        | 4.05      | 37.84    | 2.4                        | 34.7                 | 84.7 | 0.73                        |
| Mars      | A      | 20.99        | 32.26       | 27.18       | 4.83      | 39.54    | 3.1                        | 47.6                 | 84.2 | 0.75                        |
|           | B      | 22.1         | 31.86       | 26.98       | 4.72      | 39.31    | 3.6                        | 50.0                 | 83.9 | 0.75                        |
|           | C      | 23.11        | 32.28       | 27.22       | 4.94      | 39.89    | 3.8                        | 67.9                 | 83.8 | 0.74                        |
| Avril     | A      | 22.15        | 32.27       | 27.21       | 4.99      | 38.21    | 3.6                        | 55.2                 | 83.7 | 0.71                        |
|           | B      | 22.22        | 31.98       | 27.1        | 5.21      | 38.65    | 3.9                        | 71.0                 | 83.8 | 0.69                        |
|           | C      | 21.92        | 31.91       | 26.92       | 4.77      | 37.59    | 3.9                        | 67.8                 | 84.2 | 0.68                        |
| Mai       | A      | 21.84        | 30.89       | 26.69       | 4.88      | 35.18    | 4.1                        | 71.4                 | 85.2 | 0.66                        |
|           | B      | 22.65        | 29.68       | 26.06       | 4.82      | 34.39    | 2.6                        | 37.9                 | 85.6 | 0.66                        |
|           | C      | 21.13        | 29.07       | 25.33       | 4.21      | 32.89    | 2.7                        | 38.9                 | 85.9 | 0.68                        |
| Juin      | A      | 21.18        | 28.82       | 25.23       | 3.48      | 30.32    | 0.9                        | 11.9                 | 86.3 | 0.72                        |
|           | B      | 19.48        | 28.21       | 23.97       | 4.15      | 30.27    | 0.3                        | 2.2                  | 86.1 | 0.75                        |
|           | C      | 19.05        | 27.95       | 23.53       | 3.32      | 28.64    | 0.4                        | 2.1                  | 85.2 | 0.79                        |
| Juillet   | A      | 18.78        | 27.34       | 23.06       | 3.83      | 29.48    | 0.3                        | 1.6                  | 83.4 | 0.82                        |
|           | B      | 19.38        | 27.54       | 23.46       | 3.64      | 29.51    | 0.2                        | 2.5                  | 82.2 | 0.88                        |
|           | C      | 18.54        | 29.03       | 23.79       | 3.52      | 29.77    | 0.5                        | 1.9                  | 80.9 | 0.94                        |
| Août      | A      | 19.34        | 28.2        | 23.77       | 3.94      | 31.87    | 0.3                        | 3.4                  | 79.1 | 1.05                        |
|           | B      | 19.63        | 28.58       | 24.1        | 3.89      | 32.09    | 0.4                        | 5.2                  | 78.2 | 1.1                         |
|           | C      | 19.99        | 29.63       | 24.81       | 4.45      | 33.61    | 0.6                        | 4.1                  | 77.6 | 1.13                        |
| Septembre | A      | 20.36        | 30.54       | 25.45       | 4.19      | 35.36    | 1.2                        | 12.5                 | 77.2 | 1.15                        |
|           | B      | 21.03        | 31.23       | 26.13       | 4.27      | 36.29    | 2.7                        | 37.7                 | 77.4 | 1.13                        |
|           | C      | 21.44        | 30.65       | 26.05       | 3.93      | 35.59    | 2.3                        | 36.5                 | 78.2 | 1.08                        |
| Octobre   | A      | 21.79        | 30.69       | 26.24       | 3.67      | 36.02    | 2.8                        | 38.7                 | 80.1 | 0.97                        |
|           | B      | 20.44        | 30.93       | 26.18       | 3.93      | 36.48    | 3.2                        | 49.0                 | 81.3 | 0.9                         |
|           | C      | 20.79        | 30.91       | 26.36       | 4.27      | 37.55    | 4.9                        | 83.7                 | 82.5 | 0.84                        |
| Novembre  | A      | 21.52        | 30.46       | 25.99       | 4.46      | 37.54    | 3.9                        | 69.8                 | 83.9 | 0.78                        |
|           | B      | 22.72        | 30.65       | 26.69       | 4         | 36.94    | 4.9                        | 85.1                 | 84.9 | 0.74                        |
|           | C      | 21.86        | 30.88       | 26.37       | 4.47      | 37.83    | 4.9                        | 71.2                 | 85.7 | 0.7                         |
| Décembre  | A      | 21.77        | 30.31       | 26.04       | 4.13      | 36.61    | 5.1                        | 88.2                 | 86.3 | 0.68                        |
|           | B      | 21.8         | 31.67       | 26.07       | 4         | 36.53    | 4.4                        | 79.9                 | 86.6 | 0.67                        |
|           | C      | 21.72        | 30.57       | 26.15       | 4.13      | 36.44    | 3.9                        | 69.4                 | 86.7 | 0.66                        |

HR = Humidité relative ; Eto = Évapotranspiration potentielle