



Chute des litières et fertilité des sols sous plantations forestières dans le bassin du Congo : cas de la station I.N.E.R.A./Yangambi en R.D.C.

Ebuy Jérôme ^{(1)*}, Mate Jean Pierre ⁽¹⁾, Mukandama Jean Pierre ⁽¹⁾, Ponette Quentin ⁽²⁾

¹Université de Kisangani, BP 2012, Kisangani, République démocratique du Congo,

²Université Catholique de Louvain, EFOR, Croix du Sud 2, bte, 09, 1348, Louvain-la-Neuve.

* Auteur correspondant : ebuyjerome@gmail.com; Téléphone : +243 (0) 812699142,
jpmatemweru@gmail.com; mukjp@yahoo.fr; quentin.ponette@uclouvain.be

Mots clés : Flux, plantation, peuplements équiennes, Yangambi

RESUME

Les sols de l'arboretum de Yangambi sont caractérisés par une forte acidité et faible capacité de rétention de leurs complexes adsorbant, qui traduisent leur pauvreté en ressources minérales assimilables. Le manque de connaissance sur la matière organique de ces sols, qui est une clef de compréhension de l'évolution de la fertilité dans cet écosystème, rend difficile l'établissement d'un diagnostic fiable sur le maintien de la fertilité des sols de ces peuplements, compromettant ainsi sa gestion en long terme. Dans ce contexte, la quantification des flux d'éléments nutritifs par l'intermédiaire des litières permettra d'estimer la restitution des éléments susceptibles de restitués et de maintenir la fertilité chimique de ces sols très fragiles. Les résultats obtenus montrent que *Brachystegia laurentii*, *Millettia laurentii*, *Pericopsis elata* et *Guarea cedrata* sont des essences à faible risque (apports azotés), et se distinguent des autres essences quant à leur faible capacité à mettre en danger, à long terme, la fertilité chimique des sols sous les tropiques. Cependant, les recommandations de gestion concernant ces quatre essences dépendront du type de stations dans le bassin du Congo. *Brachystegia laurentii* et *Guarea cedrata*, ont présenté des capacités de restauration plus élevées en N.P.K que les six autres espèces voisines dans l'arboretum de Yangambi. Globalement, les restitutions des éléments biogènes sont plus proches entre les peuplements équiennes.

ABSTRACT

The soils of the Yangambi arboretum are characterized by a high acidity and low retention capacity of their adsorbent complexes, which translate their poverty into assimilable mineral resources. The lack of knowledge on the organic matter of these soils, key to understanding the evolution of fertility in this ecosystem, makes it difficult to establish a reliable diagnosis on the maintenance of soil fertility in these soils, thus compromising its long-term management. The quantification of nutrient flows through bedding will make it possible to estimate the return of the elements likely to be returned and to maintain the chemical fertility of these very fragile soils. The results obtained show that *Brachystegia laurentii*, *Millettia laurentii*, *Pericopsis elata* and *Guarea cedrata* are low risk species (nitrogen inputs) and differ from other species in their low ability to endanger chemical fertility in the long term of soils in the tropics. However, management recommendations for these four species will depend on the type of stations in the Congo Basin. *Brachystegia laurentii* and *Guarea cedrata* showed higher N.P.K restoration capacities than the other six neighboring species in the Yangambi arboretum. Overall, the restitutions of the biogenic elements are closer between the equian stands.



2 INTRODUCTION

Le sol constitue une ressource non renouvelable du patrimoine naturel. C'est pourquoi il convient d'adopter une gestion qui garantisse le maintien de sa fertilité. Sur le long terme, la réserve d'éléments minéraux des sols est alimentée par deux sources : les apports atmosphériques et l'altération des minéraux des sols. Elle se vide à travers les exportations dans la biomasse et le drainage profond (Dambrine *et al.*, 1988). Comme toute autre source, les essences forestières peuvent affecter la fertilité chimique des sols. Les effets bénéfiques des arbres pour les sols sont de deux ordres : la fertilisation et la conservation des sols. Dans les zones tropicales humides, les sols sont dominés par les *Oxisols* et *Ultisols* (40 %), qui sont acides et peu fertiles, et très lessivés (Nair, 1993). Ces sols sont divers, et beaucoup ne contiennent pas des rhizobiums, qui réalisent la fixation biologique de l'azote (Atangana *et al.*, 2014). Les légumineuses sont présentées comme prometteuses pour l'amélioration de la nutrition azotée des sols sous les tropiques. Le principal problème de la sylviculture dans le Bassin du Congo reste la dégradation de la station. La fertilisation reste très limitée, même quand elles sont appliquées, les fertilisations ne sont en général pas raisonnées pour assurer un maintien des stocks d'éléments nutritifs dans les sols (Laclau, 2001). Le rôle des arbres dans la productivité et la conservation est largement documenté (Kang *et al.*, 1990 ; Avery *et al.*, 1990 ; Szott *et al.*, 1991 ; Rhoades, 1996 ; Atangana *et al.*, 2014). Cependant, toutes les plantations forestières n'engendrent pas forcément les mêmes effets sur le sol. La chute de litières est une phase importante dans le cycle d'éléments nutritifs qui assure la productivité des écosystèmes naturels et cultivés (Gnahoua *et al.*, 2013). Les espèces fixatrices d'azote peuvent se développer sur des sols appauvris et, par leurs racines qui explorent les horizons profonds du sol, permettent le recyclage des éléments minéraux lixivés sous les plantations et même ceux issus de la roche mère en décomposition (Moraud, 1993 ; Gnahoua *et al.*, 2013). Les sols forestiers étant généralement pauvres, ils

nécessitent une gestion qui permette une utilisation durable de leur capacité à produire. A cette fin, il convient d'adapter les pratiques sylvicoles aux conditions de la station considérée (Bonneau et Ranger, 1999). Certaines essences conduisent à une altération des minéraux 3 à 4 fois plus forte que d'autres. Par contre, selon Augusto (1999), les réserves d'éléments nutritifs présents dans les minéraux du sol s'épuisent relativement plus vite sous les essences résineuses que sous les essences feuillues. En plantation, ce sont surtout les pratiques sylvicoles (longueur de la révolution ; intensité et sélectivité des coupes ; traitements des rémanents.) qui déterminent l'intensité de ce flux d'éléments (Ranger *et al.*, 1995). La substitution d'essences peut être à l'origine d'une modification du fonctionnement biogéochimique et microclimatique de l'écosystème qui conduit *in fine* à une modification des flux de drainage. Les modifications biochimiques et microbiologiques induites par les essences ont des répercussions sur la flore et sur la faune (Augusto, 1999). La réduction de la pédofaune broyeuse et fousseuse est probablement causée par l'acidification du sol et les caractéristiques de la litière (dureté, épaisseur des cires, composition (NYS, (1987); Augusto *et al.*, (2000). Nous avons émis l'hypothèse selon le flux d'éléments biogènes apporté par la litière a un impact sur la fertilité chimique du sol de ces plantations spécifiques. Les résultats de cette étude serviront d'un outil d'aide à la décision aux gestionnaires forestiers, visant à diagnostiquer les essences les plus propices au maintien de la fertilité chimique du sol dans un contexte stationnaire. Il n'est en effet ni souhaitable ni possible de fertiliser l'ensemble des forêts productrices pour améliorer leur productivité. Il est par contre illusoire de prétendre que la récolte de biomasse n'a aucun impact sur la durabilité de l'écosystème. Cependant, les essences forestières tropicales mêmes celles qui sont bien connues localement ne sont pas encore étudiées quant à leurs aptitudes à restaurer la fertilité chimique des sols forestiers dégradés. L'objet de cet article est de

comparer l'impact de différentes espèces sur les propriétés du sol, et d'expliquer les processus qui en sont à l'origine en mesurant certains flux. Il convient de préciser que les essences étudiées dans cet article n'avaient pas encore faits l'objet

d'une étude quant à leurs aptitudes à affecter la fertilité du sol. De prime à bord, nous ne centrerons pas nos propos sur la dégradation des sols de Yangambi.

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 Site d'étude : L'étude a été réalisée dans les plantations installées au sein de la réserve de Biosphère de Yangambi (**Figure 1**), un grand centre de recherche de la République Démocratique du Congo. Ces plantations se situent au sein de la réserve de biosphère de Yangambi à environ 100 Km de la ville de Kisangani. Cette région est située à 0° 49' de latitude Nord et à 24° 29' de longitude Est. Son altitude varie entre 350 m et 500 m. Le climat équatorial est du type *Af* de la classification de Köppen. Cette zone se caractérise par des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 1

500 mm à 2 000 mm et par une température moyenne annuelle de 25 °C. Le régime des pluies que l'on y rencontre présente une double périodicité propre aux régions équatoriales se traduisant par deux maxima dont l'un se situe en avril et mai et l'autre en septembre et octobre. Les sols de Yangambi sont formés principalement de sédiments éoliens, composés de sables quartzeux, d'argile kaolinique et d'oxydes de fer libres plus ou moins hydratés. Ils sont classés selon WRB comme Haplic ferralsol (Dystric, Xanthic) et comme Hygro Ferralsol jaune selon la classification de l'INEAC (KOMBELE, (2004).

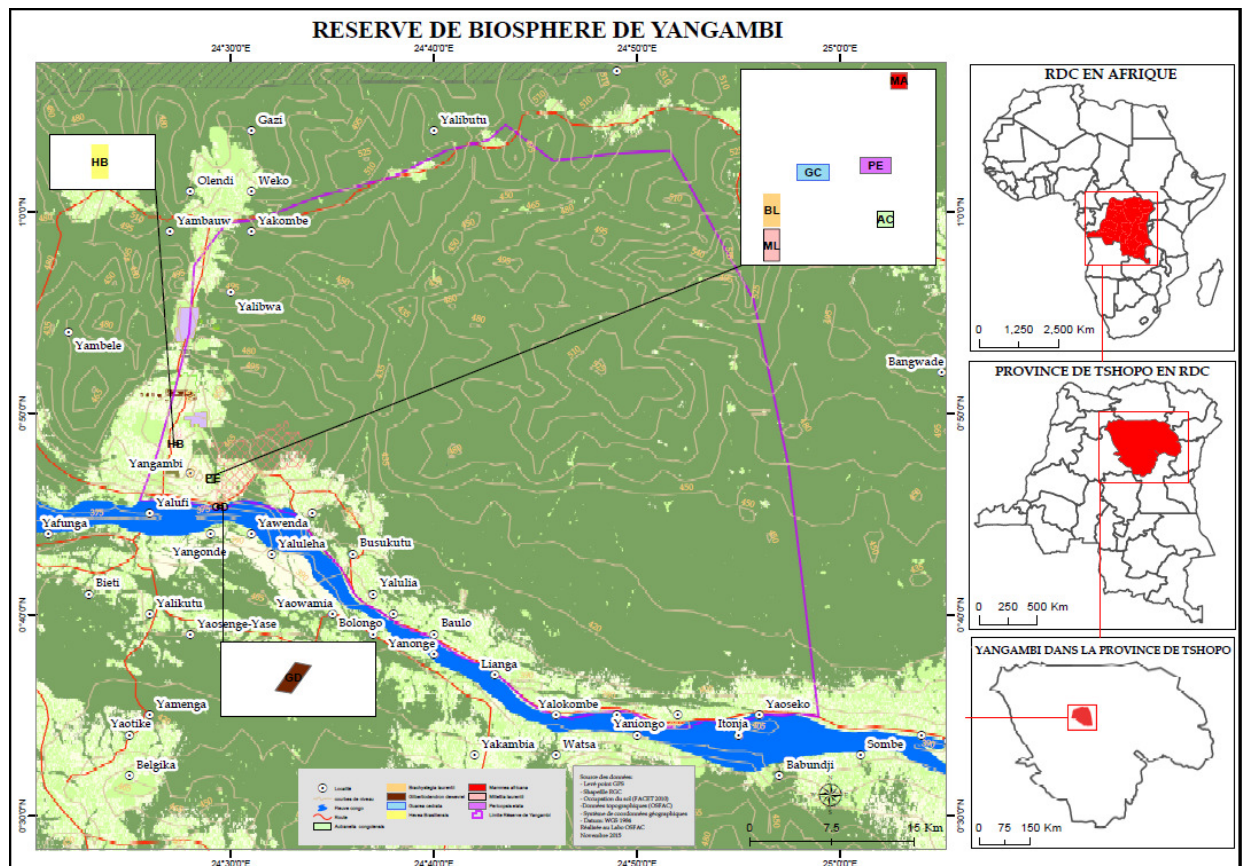


Figure 1 : Localisation du site de Yangambi (Source : Ebuy J/Labo OSFAC/Unikin)



3.2 Caractéristiques des peuplements retenus

Les peuplements étudiés sont contigus sur des surfaces identiques de 0,36 ha. Ces plantations ont été installées par la méthode de Blanc-étoc, c'est-à-dire, des peuplements réalisés après la coupe totale de la forêt préexistante, puis l'installation d'un peuplement monospécifique. Ces plantations ont été installées entre 1937 et 1950, puis l'expérience s'est poursuivie en 1963 et 1974. Le reboisement consistait à mettre en place un arboretum pour quatre objectifs principaux : la transformation d'une partie de la forêt équatoriale en une formation plus homogène produisant plus de bois de qualité ; l'étude de comportement futur des essences utiles ; la connaissance des caractéristiques culturales de ces essences et l'établissement des bases sylvicoles tropicales adaptées éventuellement plus pratiques dans la sous-région. La forêt dans laquelle furent installées ces huit plantations spécifiques était une forêt secondaire ombrophile non caractérisée. L'histoire de ces plantations révèle qu'aucune n'a réussi à la première installation et, presque tous les travaux effectués à l'arboretum jusqu'en 1939 (2 ans) ont été une pure perte. Eu égard à cette difficulté, ces essences ont été installées en plantation qu'après une étude préalable en pépinière. Elles ont été abandonnées dans le

jeune âge et n'ont pas fait l'objet des interventions sylvicole appropriés.

3.3 Description de l'espèce : Le **tableau 1** donne la synthèse de la classification et caractérise les huit espèces étudiées, dont huit sont réparties dans deux zones géographiques : (i) Bas-guinéo-congolaise, (ii) Omniguinéo-congolaise et une espèce exotique (*Hevea brasiliensis*) originaire de la grande forêt Amazonienne (Brésil). Elles sont regroupées dans 5 familles botaniques : *Clusiaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fabaceae*, *Meliaceae* et *Sapotaceae*. Quant au tempérament, les espèces *Brachystegia laurentii*, *Hevea brasiliensis*, *Mammea africana*, *Millettia laurentii* et *Pericopsis elata* sont héliophiles, tandis que des espèces *Autranella conglangolensis* et *Guarea cedrata* ont un tempérament intermédiaire (semi-héliophile) et *Gilbertiodendron denevrei* a un tempérament sciaphile. Selon leur importance, ces essences sont classées dans les 5 premières catégories des espèces exploitées en R.D.C. Du point de vue de leur croissance, elles ont des accroissements annuels moyens en diamètre relativement faibles (autour de 0,4 et 0,5 cm/an) en peuplement naturel. *Millettia laurentii*, *Autranella angolensis* et *Gilbertiodendron denevrei* ont des densités relativement lourdes que les 5 autres espèces.



Tableau 1 : Classification et caractérisation des espèces en plantation

| Noms de l'espèce | | Familles | Distribution géographique | Tempérament | DME | Classes | Densité du bois | AAM | Âges de plantations |
|---------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------|-----------------|-----|---------|-----------------|-----|---------------------|
| Scientifique | Pilote | | | | | | | | |
| Austranella congolensis | Mukulungu | Sapotaceae | Bas-guinéo-congolaise | Semi-héliophile | 80 | 2 | 0,75 | 0,4 | 70 |
| Brachystegia laurentii | Bomanga | Fabaceae | Bas-guinéo-congolaise | Héliophile | 80 | 2 | 0,49 | 0,5 | 48 |
| Gilbertiodendron dewevrei | Limbali | Fabaceae Cesalpinoideae | Bas-guinéo-congolaise | Scyaphile | 60 | 2 | 0,70 | 0,4 | 37 |
| Guarea cedrata | Bossé clair | Meliaceae | Omniguinéo-congolaise | Semi-héliophile | 60 | 1 | 0,50 | 0,5 | 68 |
| Hevea brasiliensis | Kandi/Mopila | Euphorbiaceae | Espèce exotique | Héliophile | 60 | 4 | 0,51 | 0,5 | 68 |
| Mammea africana | Oboto | Clusiaceae | Omniguinéo-congolaise | Héliophile | 60 | 3 | 0,62 | 0,4 | 62 |
| Millettia laurentii | Wenge | Fabaceae | Bas-guinéo-congolaise | Héliophile | 60 | 1 et 4 | 0,76 | 0,4 | 48 |
| Pericopsis elata | Afrormosia | Fabaceae | Omniguinéo-congolaise | Héliophile | 60 | 1 et 5 | 0,63 | 0,4 | 69 |

Source : DIAF (2009) et DOUCET (2007). Légende : DME : diamètre minimum d'exploitabilité ; AAM : Accroissement annuel moyen.

3.4 Évaluation et Méthode : La production des litières a été suivie pour 8 espèces forestières tropicales sur un total de 14 peuplements. Ces peuplements arborés sont âgés de 59 ans en moyenne. La biomasse aérienne (feuilles, fleurs, fruits, brindilles) a été collectée à l'intervalle de 15 jours durant une année entière. Le sol a été exploré à une profondeur de 1 m et seuls le carbone et l'azote ont été dosés dans les horizons minéraux pour en apprécier la richesse. En plus de ces deux éléments, le pH a été mesuré comme indicateur de la fertilité chimique du sol étudié. Différents flux d'éléments (macro et micronutriments) ont été estimés durant 6 périodes intra-annuelles. Les quantités de matière sèche et d'éléments dans les débris végétaux (horizons holorganiques), et les sols (couches 0-10, 10-25, 25-50, 50-100 cm) sont estimées à l'aide d'un dispositif systématique comme le présente la **figure 2**. Les sols de la région sont

souvent sablonneux avec une végétation d'aspect homogène, le type lianeux étant fréquent (Deleenher *et al.*, 1952). Chaque parcelle était subdivisée en 3 blocs de 20 m x 60 m, puis chaque bloc est compartimenté à son tour en 4 zones ou placettes de 20 m x 20 m. Douze collecteurs ont été installés dans chaque peuplement (**photo 1**), à l'intérieur de chaque zone au sein de 3 blocs préalablement mesurés (**figure 2**). Nous avons installé dans le carré central de chaque zone unitaire un collecteur de litière constitué d'un sac de raphias de 1 m de côté monté sur un cadre en bois et avec une surface réceptrice de 1 m² maintenu à environ 60 cm du sol. Lors des prélèvements périodiques des litières, la biomasse foliaire a été séparée des brindilles et des fruits. Pour caractériser la dynamique de la chute des litières à l'échelle de l'année, on a procédé à la sommation mensuelle des poids des litières.

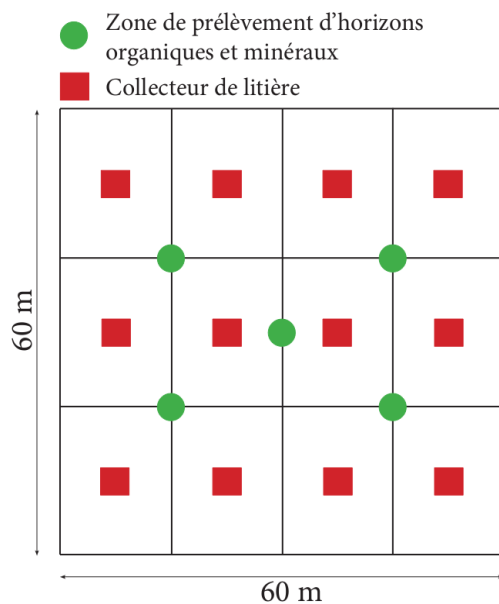


Figure 2 : Dispositif expérimental. Subdivisé en 3 blocs et chaque bloc compartimenté à son tour par 4 zones dans laquelle est installé un collecteur des litières.

Photo 1 : Collecteurs des litières (12 bac à litières) installés dans chaque peuplement, à l'intérieur de chaque zone au sein de 3 blocs préalablement mesurés

Dans un profil, quatre couches des sols ont été délimitées, des couches correspondantes à quatre horizons pédologiques comme le montre les cinq

points ronds de la **figure 2**. Cinq quadrats de dimensions appropriées (40 x 40 cm) ont été installés sur chaque profil pédologique pour la



récolte intégrante des horizons holorganiques. Les échantillons représentatifs du sol ont été prélevés à l'aide des cylindres métalliques d'un volume connu pour les analyses physico-chimiques au laboratoire (5p x 4c). D'où : p = profil, c = couches. Au total, 60 échantillons ont été prélevés par peuplement (3E*4c*5p*1P). D'où : 3E = trois échantillons, 4c = quatre couches du sol, 5p = cinq profils, 1P = 1 peuplement. Pour les couches superficielles des horizons minéraux exploitées par les racines, deux échantillons (couches : 0-10 et 10-25 cm) ont été prélevés et analysés séparément pour déterminer les teneurs en éléments minéraux (*carbone, azote, pH_{H_2O} et pH_{calc} et granulométriques*). Les horizons sous-jacents ont été analysés par composites : deux échantillons par peuplement (couches : 25-50 et 50-100 cm), soient 1E*2c*1P c'est-à-dire 1 échantillon x 2 couches x 1 peuplement, soient deux échantillons par peuplement. La texture (granulométrie) du sol a été évaluée par la méthode de sédimentation successive. Après séchage à l'air, les échantillons ont été broyés avec le broyeur RETSCH 100 équipé d'une grille perforée de 0,25 mm. La teneur en eau pondérale est déterminée sur un sous-échantillon à une température de référence de 65°C (constituants organiques prédominants) ou de 105°C (constituants minéraux

prédominants), suivant les deux procédures (étuve et balance 'Sartorius') pour le 'prétraitement des échantillons solides'. Les échantillons ont été analysés au laboratoire de l'institut Elie (Université Catholique de Louvain). Au laboratoire, nous avons recouru à la méthode de Dumas 1831 (*combustion sèche*) pour les analyses carbone - azote ; le soufre et les cations totaux par minéralisation et dosage ICP. La méthode de Handbuch Forstliche Analytik (ERGÄNZUNG, (2009). Le rapport C/N a été mesuré grâce aux analyses des teneurs en carbone organique et de l'azote total des 140 échantillons (8e*2n*5p*« 2P2Pr »). Où 8e désigne le nombre d'espèces, 2n = couches superficielles (0-10 et 10-25 cm), 5p = cinq profils pédologiques par peuplement et 2P2Pr = deux peuplements par espèce dont 2 sans répétition. Pour les horizons de profondeur, 30 échantillons (6e*2n*2Pr et 2P). Où 6e = six espèces, 2n = deux couches sous-jacentes (25-50 et 50-100 cm), 2Pr = peuplement avec répétition et 2P = deux peuplements sans répétition. Les données mesurées ont fait l'objet de saisies avec le logiciel EXCEL 2007 et l'analyse de variance au seuil de signification de 5 %, à l'aide du logiciel STATISTICA version 7.1. En cas de différences significatives, le test de Duncan a été utilisé pour constituer des groupes homogènes.

4 RÉSULTATS

4.1 Restitution en éléments par les retombées foliaires de l'espèce principale :

Les différentes restitutions spécifiques sont présentées dans le **tableau 2** ci-dessous. Les flux des minéraux sont groupés en fonction de l'importance des nutriments (macronutriments et micronutriments). Il ressort que les contributions respectives des chutes de litières varient en fonction des éléments. Le Ca et le K sont les plus importants, et les restitutions en ces deux éléments sont de l'ordre de 19,71 – 57,11 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour le potassium dans les huit situations et entre 28,21 et 150,42 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour le calcium. Le magnésium est le troisième élément en termes d'importance de restitution (entre 10,16 et 28,77 kg.ha⁻¹.an⁻¹) ; il est suivi par le soufre (entre 10,05

et 22,09 kg.ha⁻¹.an⁻¹) ; puis de l'azote (entre 3,76 et 9,52 kg.ha⁻¹.an⁻¹). Le phosphore étant l'élément le plus souvent déficitaire dans les écosystèmes forestiers sous les tropiques, sa contribution est relativement faible entre 5,07 et 14,38 kg.ha⁻¹, mais légèrement supérieure à la restitution azotée sous toutes les plantations. L'évaluation de la restitution annuelle des micronutriments par les retombées de litières fraîches dans les huit situations donne les valeurs ci-dessous :

- De 0,01 à 0,30 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour le Mn ;
- de 0,62 à 2,18 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour le l'Al ;
- de 0,37 à 1,41 k.ha⁻¹.an⁻¹ pour le Fe ;
- de 0,16 à 0,89 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour le Na.



La restitution par les retombées des litières suit donc la séquence : Al > Fe > Na > Mn. Il convient de noter que parmi les micronutriments, l'Al est pondéralement plus important que le Fe et le Mn (jusqu'à 2,18 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour *Brachystegia laurentii* et 1,62 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour *Gilbertiodendron dewevrei*). Ces apports via les retombées des litières sont différents d'une espèce à une autre ; cela peut être dû non pas à la station, mais aussi aux

apports atmosphériques, la préférence de l'espèce et également les modalités de redistribution des éléments après le prélèvement. Entre les peuplements équiennes, les restitutions sont généralement très proches pour tous les éléments excepté le cas de *Pericopsis elata*. Ces contrastes observés entre ces deux peuplements sont attribuables à leur productivité annuelle.

Tableau 2 : Restitutions annuelles d'éléments minéraux au sol par la chute des litières foliaires en kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour les huit espèces

| ID (âges) | Peuplements | Litières des espèces principales (kg/ha/an) | Macronutriments | | | | | | Micronutriments | | | |
|-----------|-------------|---|-----------------|-----------|-------------|-------------|------------|------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | N | P | K | Ca | Mg | S | Al | Fe | Mn | Na |
| AC(70) | 1 | 8 190 | 4,19 | 5,07 | 37,34 | 55,28 | 18,09 | 15,80 | 1,22 | 0,49 | 0,08 | 0,16 |
| BL1(48) | 2 | 10 900 | 9,52 | 14,38 | 57,11 | 150,42 | 28,77 | 19,83 | 2,18 | 1,41 | 0,32 | 0,54 |
| BL2(48) | 3 | 10 130 | 8,91 | 13,37 | 53,08 | 139,79 | 26,74 | 18,43 | 2,02 | 1,31 | 0,30 | 0,56 |
| GC1(68) | 4 | 6 790 | 6,24 | 12,56 | 47,66 | 54,99 | 19,14 | 21,99 | 0,67 | 0,47 | 0,13 | 0,43 |
| GC2(68) | 5 | 6 820 | 6,27 | 12,61 | 47,87 | 55,24 | 19,23 | 22,09 | 0,68 | 0,47 | 0,13 | 0,43 |
| GD1(37) | 6 | 7 620 | 4,95 | 4,95 | 32,76 | 47,92 | 12,80 | 10,05 | 1,52 | 0,99 | 0,07 | 0,76 |
| GD2(37) | 7 | 8 140 | 5,29 | 5,29 | 35,00 | 51,20 | 13,67 | 10,74 | 1,62 | 1,05 | 0,08 | 0,81 |
| HB1(68) | 8 | 4 460 | 3,83 | 6,86 | 24,84 | 54,41 | 10,16 | 10,12 | 1,38 | 0,98 | 0,04 | 0,89 |
| HB2(68) | 9 | 4 470 | 3,84 | 6,88 | 24,89 | 54,53 | 10,19 | 10,14 | 1,38 | 0,98 | 0,04 | 0,89 |
| MA(62) | 10 | 6 270 | 3,76 | 5,76 | 26,33 | 44,95 | 11,34 | 7,33 | 0,62 | 0,37 | 0,01 | 1,37 |
| ML1(48) | 11 | 10 130 | 8,81 | 11,95 | 33,42 | 56,93 | 25,32 | 19,55 | 1,21 | 1,01 | 0,05 | 0,67 |
| ML2(48) | 12 | 10 140 | 8,82 | 11,96 | 33,46 | 56,98 | 25,35 | 19,57 | 1,21 | 1,01 | 0,05 | 0,67 |
| PE1(69) | 13 | 8 270 | 7,93 | 10,17 | 26,29 | 37,62 | 13,72 | 14,80 | 1,57 | 1,15 | 0,09 | 0,33 |
| PE2(69) | 14 | 6 200 | 5,95 | 7,62 | 19,71 | 28,21 | 10,29 | 11,09 | 1,17 | 0,86 | 0,07 | 0,26 |
| X±S | | 7686,88 ± 1987,53 | 6,01±2,17 | 8,76±3,59 | 35,21±11,32 | 61,79±34,58 | 17,14±6,64 | 14,66±5,21 | 1,22±0,47 | 0,84±0,35 | 0,10±0,09 | 0,64±0,38 |
| CV % | | 25,85 | 36,07 | 41,00 | 32,15 | 55,96 | 38,74 | 35,99 | 37,50 | 41,79 | 90,00 | 59,26 |

Tableau 2 : La restitution annuelle des éléments nutritifs a été mesurée directement par l'étude pondérale des chutes de litières et l'analyse chimique de celle-ci. Elle est évaluée en multipliant la productivité de chaque plantation par les différentes teneurs en éléments biogènes. **Signification des abréviations:** Les restitutions ont été calculées en pondérant par les retombées foliaires en matières sèches (espèces principales). AC = *Austranella congolensis*; BL = *Brachystegia laurentii*; GC = *Guarea cedrata*; GD = *Gilbertiodron doweirei*; HB = *Hevea brasiliensis*; MA = *Mammea africana*, ML = *Millettia laurentii*, PE = *Pericopsis elata*. N = azote; P = phosphore; K = potassium; Ca = calcium, Mg = magnésium; Al = Alluminium; Fe = fer; Mn = manganèse; Na = sodium; Kg = kilogramme; ha = hectare; an = année. Sauf les deux peuplements (AC et MA), () = Les chiffres entre parenthèse sont les âges des peuplements. CV % = coefficient de variation et pourcentage. X±S = Moyenne plus ou moins précision.



4.2 Teneurs en élément dans les horizons holorganiques :

Les stocks des éléments dans les débris végétaux au sol varient en fonction du peuplement spécifique. Il en va de même pour les résultats obtenus dans cette étude. Pour les macronutriments (**tableau 3**), les teneurs en azote sont plus élevées sous les peuplements de *Millettia laurentii*, *Guarea cedrata* et *Pericopsis elata* (teneur autour de 2,5 % des MS). Elles sont plus faibles sous les peuplements d'*Hevea brasiliensis* et de *Gilbertiodendron dewveii* (teneur autour de 1,5 % des MS). Les teneurs de phosphore dans la couche holorganique sous ces plantations sont très faibles, et atteignent des proportions de 1 mg.g⁻¹ de matière sèche sous le peuplement de *Guarea cedrata*. Les teneurs en potassium sont plus élevées que celles de phosphore (2 fois plus importantes) ; elles avoisinent 3 mg.g⁻¹ de MS sous le peuplement de *Brachystegia laurentii*, et on note une teneur plus faible sous le peuplement de *Millettia laurentii* (1 mg.g⁻¹ des MS). Le rapport C/N est supérieur à 20 pour toutes les situations, excepté les peuplements de *Guarea cedrata*. Sous le peuplement d'*Austranella congolensis* et d'*Hevea brasiliensis* particulièrement (C/N >30). Les teneurs en calcium dans cette couche holorganique sont plus élevées que celles en magnésium. La teneur maximale sous le peuplement de *Hevea brasiliensis* est supérieure à 7 mg.g⁻¹ de MS, tandis que sous le même peuplement, la teneur minimale en magnésium se situe autour de 2 mg.g⁻¹ des MS. Cette teneur en calcium reste relativement faible sous le peuplement de *Guarea cedrata* (autour de 2 mg.g⁻¹ de MS), pendant que sous les peuplements de

Pericopsis elata, *Hevea brasiliensis* et *Millettia laurentii*, les teneurs sont supérieures à 4 mg.g⁻¹ de MS. Parallèlement, sous ces mêmes peuplements les teneurs minimales sont largement inférieures à 2 mg.g⁻¹ de MS. Les teneurs en calcium avoisinent les 1,4 mg.g⁻¹ de MS sous les peuplements d'*Austranella congolensis*, de *Mammea africana* et de *Millettia laurentii*. Dans les zones où les apports atmosphériques ne sont pas dominants, les couches d'humus contiennent une large proportion de soufre organique, issue de la dégradation de résidus des plantes ou d'animaux. Par contre, la proportion de sulfate par rapport au soufre total augmente avec la profondeur du sol. Dans cette étude, les teneurs moyennes de soufre sont relativement faibles (inférieures à 2 mg.g⁻¹ de MS) sauf sous le peuplement de *Guarea cedrata*. Pour les macronutriments, les teneurs moyennes en sodium sont comprises entre 0,5 à plus de 0,7 mg.g⁻¹ de MS. Pour les micronutriments, les teneurs sont différentes entre le Fe et le Mn. Sous le peuplement de *Guarea cedrata*, les teneurs moyennes sont plus importantes que toutes les autres situations, suivies de *Brachystegia laurentii* et d'*Austranella congolensis*. Ces teneurs sont très faibles sous le peuplement de *Gilbertiodendron dewveii*. Trois peuplements ont des teneurs plus élevées en Fe, c'est les cas notamment de *Hevea brasiliensis*, de *Millettia laurentii* et de *Pericopsis elata*. Tous les autres peuplements ont des teneurs inférieures autour de 1,5 mg.g⁻¹ de MS. Les teneurs en Al sont relativement très faibles pour toutes les situations.



Tableau 3 : Différences des teneurs moyennes en nutriments dans les horizons holograniques

| Espèces | Macronutriments | | | | | | | Micronutriments | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| | N (%) | P(mg.g ⁻¹) | K(mg.g ⁻¹) | C/N | Mg (mg.g ⁻¹) | S(mg.g ⁻¹) | Ca (mg.g ⁻¹) | Al (mg.g ⁻¹) | Fe (mg.g ⁻¹) | Mn (mg.g ⁻¹) | Na (mg.g ⁻¹) | |
| <i>Austranella congolensis</i> | 1,42 ^c | 0,63 ^{cd} | 1,83 ^b | 36,26 ^a | 1,35 ^a | 1,90 ^b | 2,71 ^b | 1,34 ^b | 1,00 ^{cd} | 1,58 ^c | 0,71 ^a | |
| <i>Brachystegia laurentii</i> | 1,81 ^{abc} | 0,81 ^{bc} | 2,79 ^a | 26,82 ^{bc} | 1,12 ^a | 1,38 ^{cd} | 2,91 ^b | 1,81 ^{abc} | 0,81 ^{bc} | 2,79 ^a | 26,82 ^{bc} | |
| <i>Guarea cedrata</i> | 2,26 ^a | 1,02 ^a | 2,01 ^b | 19,94 ^c | 0,88 ^a | 2,16 ^a | 2,05 ^b | 4,79 ^b | 0,64 ^d | 2,65 ^a | 0,65 ^{ab} | |
| <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> | 1,77 ^{abc} | 0,49 ^d | 1,44 ^{bc} | 26,76 ^{bc} | 0,70 ^a | 1,21 ^d | 2,71 ^b | 0,20 ^{ab} | 0,63 ^d | 0,07 ^e | 0,55 ^{abc} | |
| <i>Hevea brasiliensis</i> | 1,49 ^c | 0,72 ^{bc} | 1,69 ^{bc} | 27,67 ^{bc} | 1,17 ^a | 1,86 ^b | 2,68 ^b | 43,30 ^a | 4,40 ^a | 0,52 ^{de} | 0,67 ^{ab} | |
| <i>Mammea africana</i> | 1,72 ^{bc} | 0,88 ^{ab} | 1,02 ^c | 20,21 ^c | 1,20 ^a | 1,52 ^c | 2,68 ^b | 12,16 ^b | 0,88 ^{cd} | 0,75 ^d | 0,52 ^{bc} | |
| <i>Millettia laurentii</i> | 2,27 ^a | 0,65 ^{cd} | 1,02 ^c | 20,21 ^c | 1,20 ^a | 1,52 ^c | 4,30 ^a | 22,97 ^a | 2,72 ^{abc} | 0,49 ^{de} | 0,52 ^{bc} | |
| <i>Pericopsis elata</i> | 2,08 ^{ab} | 0,72 ^{bc} | 1,49 ^{bc} | 20,92 ^c | 0,88 ^a | 1,52 ^c | 4,48 ^a | 16,23 ^b | 2,94 ^{ab} | 1,30 ^c | 0,58 ^{abc} | |
| Signification (p-value) | 0,000 * | 0,000*** | 0,001*** | 0,000*** | 0,053 ^{ns} | 0,000*** | 0,000*** | 0,002** | 0,000*** | 0,000*** | 0,001*** | |

Les moyennes avec des lettres égales, pas de différences significatives pour une probabilité (p < 0,05) ANOVA. Le test multiple de Duncan a permis de regrouper des sous-ensembles homogènes. Signification des abréviations : MS = matière sèche ; mg.g⁻¹ = milligramme par gramme de matière sèche ; N = azote, C/N = rapport carbone – azote ; P = phosphore ; K = potassium ; Mg = magnésium ; S = soufre ; Ca = calcium ; Al = Aluminium ; Fe = fer ; Mn = manganèse ; Na = sodium.

Tableau 4 : Comparaison des effets espèces sur les sols (teneurs moyennes % azote total et C/N)

| Profondeurs des sols (cm) | Peuplements spécifiques | | | | | | | | | | | | | | | | Statistiques Moyenne Différence (n) | |
|---------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|-----|
| | AC | | BL | | GC | | GD | | HB | | MA | | ML | | PE | | | |
| | N | C/N | N | C/N | N | C/N | N | C/N | N | C/N | N | C/N | N | C/N | N | C/N | N | C/N |
| 0 - 10 | 1,48 ^a | 15,42 ^a | 0,61 ^b | 10,17 ^{cd} | 0,98 ^{ab} | 11,79 ^{bc} | 1,17 ^{ab} | 12,41 ^{bc} | 1,34 ^{ab} | 12,07 ^{bc} | 0,66 ^b | 8,55 ^d | 1,22 ^{ab} | 13,90 ^{ab} | 1,22 ^{ab} | 15,41 ^a | NS | *** |
| 10 - 25 | 0,04 ^b | 16,72 ^a | 0,05 ^{ab} | 10,66 ^c | 0,07 ^a | 11,22 ^c | 0,08 ^a | 13,20 ^{bc} | 0,08 ^a | 11,16 ^c | 0,08 ^a | 7,03 ^d | 0,04 ^b | 11,24 ^{bc} | 0,04 ^b | 14,04 ^b | ** | *** |
| 25 - 50 | 0,03 ^a | 11,80 ^a | 0,04 ^a | 8,43 ^a | 0,03 ^a | 11,21 ^a | 0,04 ^a | 10,02 ^a | 0,05 ^a | 9,49 ^a | 0,03 ^a | 9,21 ^a | 0,04 ^a | 9,51 ^a | 0,05 ^a | 8,13 ^a | NS | NS |
| 50 - 100 | 0,03 ^a | 11,80 ^a | 0,03 ^a | 11,35 ^a | 0,03 ^a | 6,61 ^b | 0,03 ^a | 11,10 ^a | 0,05 ^a | 8,45 ^a | 0,03 ^a | 9,21 ^a | 0,04 ^a | 8,47 ^a | 0,05 ^a | 7,05 ^{ab} | NS | NS |

Signification des abréviations : N = azote ; AC = *Austranella congolensis*, BL = *Brachystegia laurentii*, GC = *Guarea cedrata*, GD = *Gilbertiodendron dewevrei*, HB = *Hevea brasiliensis*, MA = *Mammea africana*, ML = *Millettia laurentii*, PE = *Pericopsis elata*, (cm) = centimètre. n.s = non significatif ; *** = très hautement significative ; ** = hautement significative ; P = probabilité ; dl = 7 ; n = 8 espèces ; Standard erreur = 0,19 ; Le test multiple de Duncan a permis de regrouper des sous-ensembles homogènes : les moyennes avec des lettres égales, pas de différences significatives au seuil de 5 %.



Tableau 5 : Comparaison des effets espèces sur les sols (pH_{H₂O}) et (pH_{CaCl₂})

| Couches des sols (cm) | Peuplements spécifiques | | | | | | | | | | | | | | | | Statistiques | |
|-----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | AC | | BL | | GC | | GD | | HB | | MA | | ML | | PE | | Moyenne | Différence (n) |
| | pH H ₂ O | pH CaCl ₂ | pH H ₂ O | pH CaCl ₂ | pH H ₂ O | pH CaCl ₂ | pH H ₂ O | pH CaCl ₂ | pH H ₂ O | pH CaCl ₂ | pH H ₂ O | pH CaCl ₂ | pH H ₂ O | pH CaCl ₂ | pH H ₂ O | pH CaCl ₂ | pH H ₂ O | pH CaCl ₂ |
| 0 - 10 | 4,14 ^{bc} | 3,43 ^{bc} | 4,27 ^{ab} | 3,50 ^{ab} | 3,96 ^d | 3,29 ^c | 3,79 ^e | 3,08 ^d | 3,47 ^f | 3,47 ^{bc} | 4,33 ^a | 3,67 ^a | 4,16 ^{bc} | 3,40 ^{bc} | 4,05 ^{cd} | 3,28 ^c | *** | *** |
| 10 - 25 | 4,39 ^{cd} | 3,70 ^c | 4,52 ^{bc} | 3,75 ^{bc} | 4,32 ^{de} | 3,70 ^c | 4,22 ^e | 3,67 ^c | 4,65 ^{ab} | 3,85 ^{ab} | 4,71 ^a | 3,93 ^a | 4,48 ^c | 3,71 ^c | 4,30 ^{de} | 34,55 ^d | *** | *** |
| 25 - 50 | 4,36 ^{bc} | 3,90 ^a | 4,42 ^b | 3,87 ^a | 4,29 ^{cd} | 3,83 ^a | 4,36 ^{bc} | 3,85 ^a | 4,42 ^b | 3,76 ^a | 4,58 ^a | 3,89 ^a | 4,47 ^{ab} | 3,85 ^a | 4,22 ^d | 3,82 ^a | ** | N.S |
| 50 - 100 | 4,36 ^{cd} | 3,90 ^a | 4,44 ^{bc} | 3,81 ^a | 4,30 ^d | 3,88 ^a | 4,41 ^{bcd} | 3,95 ^a | 4,42 ^{bcd} | 3,79 ^a | 4,58 ^a | 3,89 ^a | 4,52 ^{ab} | 3,91 ^a | 4,31 ^{cd} | 3,81 ^a | ** | N.S |

Signification des abréviations : (pH_{H₂O} et pH_{CaCl₂}) = potentiel d'hydrogène ; AC = *Austranella congolensis*, BL = *Brachystegia laurentii*, GC = *Guarea cedrata*, GD = *Gilbertiodendron devevevi*, HB = *Hevea brasiliensis*, MA = *Mammea africana*, ML = *Millettia laurentii*, PE = *Pericopsis elata*, (cm) = centimètre. n.s = non significative; P = probabilité ; dl = 7 ; n = 8 espèces ; Standard erreur = 0,02 ; Le test multiple de Ducan a permis de regrouper des sous-ensembles homogènes : les moyennes avec des lettres égales, pas de différences significatives au seuil de 5 %. *** : différence très hautement significative ; ** : différences hautement significative.



Ces résultats montrent que les impacts des essences forestières sur les horizons holorganiques sont variables pour tous les éléments biogènes sauf pour le cas de magnésium ($p = 0,053$). Cette situation donne un aperçu sur le maintien de la fertilité chimique de ces sols forestiers, étant donné que pour les sols les éléments totaux n'ont pas été analysés faute de moyens. Il convient de préciser que cette richesse minérale observée n'est pas attribuable uniquement aux essences principales de ces peuplements ; elle correspond bien au caractère intermédiaire de ces peuplements semis-naturels (biodiversité). Les sous-bois ainsi que certaines essences non ligneuses non inventoriées dans ces peuplements exercent une influence notable sur le maintien de la fertilité des sols, particulièrement sur les processus qui favorisent la fertilité chimique des sols (*minéralisation*).

4.2 Propriétés chimiques des couches minérales :

Dans ces peuplements les teneurs en azote total sont très faibles et diminuent généralement avec la profondeur exceptées quelques irrégularités observées sous les peuplements de *Pericopsis elata*. Des variations importantes entre les teneurs en azote sont à relever : le peuplement d'*Autranella congolensis* présente des teneurs élevées en cet élément (azote) dans l'horizon superficiel (0-10 cm) que tous les autres peuplements spécifiques ; il est suivi des peuplements d'*Hevea brasiliensis*, de *Millettia laurentii* et de *Pericopsis elata*. Les peuplements d'*Hevea brasiliensis*, de *Gilbertiodendron dewevrei* et de *Mammea africana* se distinguent des autres peuplements quant à leurs teneurs au niveau de la couche 2. Par contre, pour la couche 3, ce sont les peuplements de d'*Hevea brasiliensis* et de *Pericopsis elata*, puis ceux de *Brachystegia laurentii*, de *Gilbertiodendron dewevrei* et de *Millettia laurentii*.

Étant donné que l'amélioration du statut des sols en azote sous les différents peuplements est relativement plus élevée en fonction des espèces des espèces, nous pouvons émettre l'hypothèse que cette amélioration résulte essentiellement de l'apport de la matière organique riche en azote par le renouvellement des racines et surtout par les retombées des litières. On constate que la

richesse en azote dans les différentes couches de ces sols n'augmente pas en fonction de la profondeur. Ce comportement n'exclut probablement pas la lixiviation de l'azote vers les horizons sous-jacents, mais le statut du sol pour l'azote est maintenu et diminue graduellement en fonction de la profondeur parce que la décomposition des litières favorise l'accumulation de l'humus tout en assurant un taux de minéralisation de l'azote satisfaisant pour la nutrition des arbres dans ces différents peuplements. Le taux d'azote dépend fortement de la teneur en argile qui permet la fixation de la matière organique. C'est ce qu'on constate au niveau de deux dernières couches de sols où la teneur en azote ne varie pas entre essences. Ces résultats sont liés à l'augmentation de la productivité concomitante des espèces, ce qui traduit les effets spécifiques des peuplements considérés sur l'environnement, en particulier sur le sol. Le rapport moyen C/N (**tableau 4**) est très bas (entre 7,03 et 16,72) ou rapport C/N < 25. Ces résultats montrent que la vitesse de minéralisation est élevée pour toutes les situations. On note néanmoins des variabilités de rapport C/N attribuables aux effets espèce, mais ces variabilités ne permettent pas de comprendre les processus de minéralisation dans les sols, indispensables pour bien expliquer les changements des valeurs de stocks de carbone organique dans ces substrats. En effet, l'évolution de cet indicateur (rapport C/N) n'a été suivie que dans une période relativement courte.

Ces rapports C/N sont faible (7,03 et 7,05) sous le peuplement de *Mammea africana* et de *Pericopsis elata* (couches 2 et 4 respectivement). Il est plus élevé sous le peuplement d'*Autranella congolensis* (16,72) au niveau de la deuxième couche. Les situations sont presque similaires dans la première couche sous peuplements de *Pericopsis elata* et d'*Autranella congolensis*. Nous avons constaté sous les peuplements d'*Autranella congolensis* et de *Pericopsis elata* une disparition rapide de la litière annuelle, le temps de résidence étant relativement court que sous d'autres peuplements. Sous ce rapport, nous pouvons dire que cet indicateur de fertilité a été influencé en grande partie par les



effets du sous-bois. Étant donné que ce rapport C/N est largement inférieur à 20 pour toutes les situations, l'azote libéré au cours de la minéralisation par l'activité microbologique permet la nutrition des arbres. Les résultats du pH_{H_2O} (**tableau 5**) sont nettement supérieurs que ceux du pH_{CaCl_2} . La valeur maximale est de 4,71 sous le peuplement de *Mammea africana* (couche 2), ce qui confirme que pour l'ensemble de nos résultats, le pH des sols de Yangambi est acide, avec des résultats légèrement inférieurs à ceux trouvés par Kombele, (2004), dont les valeurs étaient souvent comprises entre 4,0 et 5,6 (pH_{H_2O}) dans les couches superficielles des sols (0-10 cm), dans un système agricole à Yangambi. On note des variabilités de pH entre les différents peuplements. Ces variabilités s'expliquent par des facteurs comme l'altération de la roche mère par les racines des vieux arbres ou l'activité intensive de la faune du sol. Cette hypothèse ne peut être vérifiée par cette étude étant donné qu'elle n'a couvert qu'une période relativement courte.

La récolte des échantillons des sols a eu lieu à la fin du mois de septembre 2012 (saison de pluvieuse). Cette saison, favorable aux activités microbiennes, est aussi une période où les

nutriments sont en mouvement (lixiviation et chéluviation). Ces différents processus peuvent avoir eu un impact sur le pH du sol durant une telle saison. Dans le cas contraire, cet état d'acidité du sol est attribuable au fait que les nutriments stockés dans ces sols sont labiles et sont précipités vers les horizons sous-jacents.

Il est connu que le pH de la plupart des sols se situe entre 4 et 8. Eu égard à ces valeurs seuils, nos résultats sont légèrement inférieurs à cet intervalle (une acidité qui est loin de la neutralité). Mais l'absence des résultats sur la teneur en aluminium échangeable pour ces sols, ne nous permet pas de dire avec précision que dans ces conditions les H^+ sont progressivement remplacés par les ions Al^{+++} , ce qui justifierait en partie les propriétés chimiques de ces sols étudiés. Les valeurs de obtenues dans cette étude (pH autour de 4,00) indiquent que l'acidité de ces sols résulterait de la présence d'aluminium échangeable qui tend à remplacer les ions H^+ , influençant ainsi les propriétés chimiques de ces sols (ESPIAU *et al.*, 1977). Nos résultats attestent formellement que les peuplements étudiés évoluent sur un même type de substrat (sols fragiles ferrallitiques).

5 DISCUSSION

Si les forêts tropicales mettent en jeu dans le cycle biogéochimique une quantité d'éléments beaucoup plus grande, c'est en raison d'une part de la plus grande quantité de litière apportée par unité de surface, et d'autre part de la décomposition plus rapide des débris organiques sur le sol. Les restitutions azotées dans les huit situations sont plus importantes sous les plantations de *Brachystegia laurentii*, de *Millettia laurentii*, de *Pericopsis elata* et de *Guarea cedrata*. Comparées aux autres plantations, ces essences ont montré des capacités de libération d'éléments minéraux aussi plus importantes que leurs voisines. Par les dépôts abondants des biomasses au sol (litières) et les quantités d'azote qu'elles peuvent libérer, ces quatre premières essences se sont montrées prometteuses pour la restauration des sols forestiers dégradés, particulièrement en sylviculture intensive, mais aussi elles peuvent

intéresser le système agroforestier. En ce qui concerne les restitutions en *phosphore*, les essences étudiées peuvent être classées selon l'ordre suivant en fonction de l'importance de restitutions : *Brachystegia laurentii* > *Guarea cedrata* > *Millettia laurentii* > *Pericopsis elata* > *Hevea brasiliensis* > *Mammea africana* > *Gilbertiodendron denevrei* > *Autranella congolensis*. Sous les tropiques, la concentration en phosphore est très faible dans les sols forestiers car il s'agit d'un élément très peu disponible qui limite souvent la croissance plantes. La sylviculture de ces quatre premières essences pour l'enrichissement des forêts pauvres en essences commerciales est recommandable pour augmenter la production de nos forêts au regard des résultats trouvés dans cette étude.

L'azote est généralement l'élément le plus abondant dans les teneurs des litières en Afrique comme dans le monde avec des valeurs



maximales qui atteignent $329 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$. En Amérique, les apports sont de l'ordre de $91\text{-}224 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$. En Afrique et en Asie, on obtient des valeurs de $91\text{-}224 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ et de $8\text{-}175 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$. Ces variations résultent probablement de la différence dans la composition spécifique des espèces d'après Mosango (1990). Les résultats obtenus par cette étude ne doivent être pris qu'à titre indicatif, car seules les analyses foliaires des essences principales ont été réalisées ; les autres composantes de litières n'ont pu être analysées. Mosango (1990) a trouvé des valeurs plus élevées des restitutions en azote sous une jachère préforestière, des forêts secondaires âgées et la forêt primaire, alors que le calcium était plus abondant dans la forêt secondaire jeune en RDC. Dommergues (1963) a trouvé à Yangambi des variations des apports en fonction de l'âge des peuplements, passant de 189 à deux ans à $701 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ à 18 ans. Gnahoua, (2004) a trouvé des retombées en azote chez les légumineuses entre 119 à $266 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$, des résultats suffisantes pouvant entretenir, pour certaines, plusieurs cycles successifs de cultures vivrières dans un système agroforestier en Côte d'Ivoire. Ses résultats sont très largement supérieurs à ceux trouvés dans cette étude. Le faible niveau des retombées en azote reflète en partie les carences naturelles des sols de Yangambi. Les restitutions en potassium sous ces plantations étudiées sont plus importantes que les restitutions azotées et phosphoriques. Elles sont moins importantes que les restitutions calciques. Comparées entre elles, les essences étudiées peuvent être classées comme suit selon leur restitution potassique : *Brachystegia laurentii* > *Guarea cedrata* > *Antranella congolensis* > *Gilbertiodendron dewevrei* > *Millettia laurentii* > *Mammea africana* > *Pericopsis elata* > *Hevea brasiliensis*. Pour ces trois éléments biogènes précités, les essences étudiées, notamment *Brachystegia laurentii* et *Guarea cedrata*, ont des capacités de restauration plus élevées que les six autres espèces voisines dans les conditions de Yangambi. *Brachystegia laurentii*, *Millettia laurentii*, *Pericopsis elata* et *Guarea cedrata* sont des essences à faible risque (apport azoté), et se distinguent des autres essences quant à leur faible capacité à

mettre en danger, à long terme, la fertilité chimique des sols. Cependant, les recommandations de gestion concernant ces trois essences dépendront du type de stations. Globalement, les restitutions des éléments biogènes sont plus proches entre les peuplements équiennes (âge égal) ; les différences observées sont imputables à la densité des peuplements. Selon Hättenschwiler *et al.* (2005), la litière foliaire représente jusqu'à 50 % des apports de la matière organique dans le sol. Ils ont montré des fortes variations entre espèce de la même communauté. Cette variation est particulièrement forte pour la concentration en phosphore, un élément qui est très peu disponible en forêt tropicale. Les restitutions de phosphore sont plus faibles sous *Eucalyptus*, le *Cassia*, l'*Acacia*, *Gilbertiodendron dewevrei*, en forêt dense humide en Côte d'Ivoire et en forêt semi-décidue de Kade ($1,5, 1,7, 4,8, 4,47 - 9,4$ et $7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ respectivement) (Dommergues, 1963). En Afrique, les apports en phosphore sont plus importants qu'en Asie ($4\text{-}14 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) mais moins élevés qu'en Amérique ($4\text{-}14$ contre $2\text{-}18$) selon Mosango, (1990). Nos résultats s'inscrivent dans le même ordre de grandeur que ceux obtenus par d'autres chercheurs africains (au Nigeria sous *Tectonia grandis* et en Tanzanie sous forêt hétérogène : 10 et $5,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ respectivement). Selon Rennie (1955), les peuplements des feuillus en Europe restituent jusqu'à 60 à $70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$. Ces variations sont imputables au type de végétation et à des conditions climatiques et édaphiques particulières. Pour cette étude, les restitutions en potassium sont comprises entre $19,7$ et $57,1$ pour les teneurs des litières foliaires seules. Mosango (1990) a trouvé dans la forêt primaire de l'Île Kongolo en RDC un apport de l'ordre de $119 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$. Les quantités de potassium retournées au sol sont plus faibles sous le peuplement de *Cassia*, *Eucalyptus*, la forêt dense humide en Côte d'Ivoire (particulièrement dans la forêt de Banco au plateau) suivant les données de Bernard, (1970). Ces variations sont aussi fonction du type de végétation, car Dommergues (1963) a montré que dans des formations forestières, la quantité de potassium stocké dépasse $500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ et



atteint 900 kg.ha⁻¹an⁻¹ dans les forêts à l'état

d'équilibre à Kade au Ghana.

6 CONCLUSION

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que les productions des litières foliaires sous ces peuplements sont comprises entre 4460 kg et 10900 kg de MS. Les restitutions en Ca, K et Mg sont plus importantes comparés autres éléments biogènes. Trois espèces de la famille de Fabacée se démarquent des autres espèces en restituant annuellement au sol, des quantités substantielles d'azote organique. Le rapport C/N est largement inférieur à 20 pour toutes les situations. Les éléments biogènes qui retournent au sol sous ces plantations, ont un temps de résidence très court en raison de la texture des sols étudiés et de la pédofaune broyeuse. Les apports atmosphériques et les pertes par exploitation comme la récolte de bois et le drainage, peuvent modifier la fertilité du sol à long terme. Une essence affecte le fonctionnement du cycle biologique en modifiant les paramètres *climatique* (nature du couvert foliaire), *chimiques* (apports atmosphériques ; l'eau ; la nature et la quantité de restitutions par les litières) et *biologiques* (organismes impliqués et la minéralisation des matières organiques).

Toute intensification de la sylviculture, y compris le changement d'essence et de traitement, doit être précédée d'une estimation de son impact sur la fertilité chimique du sol, qui reste une ressource non renouvelable. La plantation d'une essence donnée ne conduit pas toujours à une perte, ou au maintien, de la fertilité du sol. L'effet des essences et de leur traitement est en forte interaction avec les conditions de station et ce sont surtout les caractéristiques géologiques, pédologiques et climatiques qui déterminent la fertilité et la sensibilité du milieu. Les résultats obtenus par cette étude attestent que le faible niveau de restitution en phosphore et en potassium reflète en partie les carences naturelles des sols de Yangambi, mais il peut également résulter d'une immobilisation plus forte de ces éléments dans les feuilles. Le phosphore est après l'azote, la seconde carence des sols ferrallitiques comme ceux de l'arboretum de Yangambi. Il

convient aussi de noter que dans les sols ferrallitiques, le phosphore est souvent bloqué par l'aluminium sous forme des complexes insolubles. Dans un contexte forestier, comme dans le bassin du Congo, les acides organiques sont en mesure de solubiliser ces complexes en formant des Chélates, qui eux même, peuvent migrer par chéluviation. Les concentrations d'azote dans les horizons holorganiques sont plus bonnes sous les peuplements de *Millettia laurentii*, *Guarea cedrata* et *Pericopsis elata*. Elles sont plus faibles sous les peuplements d'*Hevea brasiliensis* et de *Gilbertiodendron dewrei*. Ces teneurs sont généralement plus faibles dans ces litières aux sols que celles des litières en chute, conséquence du processus de décomposition et de libération des éléments minéraux qui affecte les résidus au sol. Pour caractériser notre station, un outil d'aide à la décision mérite d'être proposé. Étant une station sensible, certaines essences comme *Millettia laurentii*, *Brachystegia laurentii* et *Pericopsis elata* sont à recommander, ou devront être utilisées pour une sylviculture intensive dans la sous-région. Même si le choix porte sur ces trois essences, on ne devrait pas oublier que le choix d'une essence pour une station donnée se fait en prenant en compte un ensemble de critères permettant d'évaluer la sensibilité de la station et les contraintes qui s'y appliquent. Cette étude n'avait pas pour objectif d'établir un système de notation de chaque critère permettant une évaluation chiffrée de huit situations étudiées, mais il convient de noter que les résultats obtenus montrent que les sols de Yangambi sont très acides avec un pH compris entre 3 et 4. Cet indicateur nous permet de conclure que, quand le sol est pauvre chimiquement pour une production forestière, outre le choix de le laisser en l'état, une fertilisation-amendement de faible intensité peut permettre de redynamiser le fonctionnement naturel de ces plantations dans un contexte d'une sylviculture intensive.



7 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Atangana A., Khasa D., Chang, S. et Degrande, A. (2014). *Agroforestry tropicale* (1^{ère} éd., traduit par A. Atangana, M. Beaudoin-Nadeau et D. Khasa), Québec : Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, 412 p
- Augusto L., (1999) .Étude de l'impact de quelques essences forestières sur le fonctionnement biogéochimique de la végétation de sols acides. – Université de Nancy I, 1999. 161 p. (Thèse de doctorat).
- Augusto L., Ranger J., Bonneau M, (2000) Influence des essences sur la fertilité chimique des sols. Conséquences sur les choix sylvicoles. *Rev. Fr. Lil – 6 – p.* 507-518.
- Avery ME, Cannell MGR, ONG CK (EDS) (1990) – *Biophysical research for Asian agroforestry*. Oxford Press, New Delhi, Indian.
- Bonneau M., et Ranger J., (1999) – Evolution de la fertilité chimique des sols forestiers. *Recommandations pour une gestion durable. – La forêt prévue, n°243, 1999, pp.* 51-64.
- Bernhard – Reversat (1970) – Etude de la litière et de sa contribution au cycle des éléments minéraux en forêt ombrofile de la Côte d'Ivoire. *Oecol. Plant., 5 : 247 – 266.*
- Dambrine E et Prevosto B., (1988). Flux des éléments minéraux dans un écosystème forestier d'altitude soumis à la pollution atmosphérique : relation avec dépérissement. *Rapport Sci. Prog DEFORRA CEE Dg XII, ministère de la recherche et ministère de l'Environnement* 20p.
- De Leenheer L., D'Hoore J. et Sys K. (1952) Cartographie et caractérisation pédologique de la catena de Yangambi. *Yangambi : Publ. INEAC., série scient. n° 55, 62p.*
- DIAF, (2009) Liste des essences forestières de la République Démocratique du Congo. *Guide opérationnel p.9-33*
- Dommergues Y., (1963). Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux dans les formations tropicales. *O.R.S.T.O.M ; n°87 : p 17 – 21.*
- Doucet, J-L, (2007). *Dynamique des peuplements forestiers d'Afrique centrale*. Faculté Universitaire des sciences Agronomiques de Gembloux. 50p.
- Espiau P e Peyronel, (1977) .Acidité d'échange dans les sols. Application à une séquence altitudinale des sols du massif du mont Aigonal. *Science du sol, 1 : 25 – 44.*
- Gnahoua G.M., (2004). Contribution des légumineuses à la régénération des jachères : Intérêts et limites des arbres fixateurs d'azote en zone forestière de Côte d'Ivoire. Thèse de Docteur Ingénieur en Sciences Agronomiques. Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 142 p.
- Gnahoua. (2013) Production et retombées minérales des litières chez de légumineuses arborées, utilisées en amélioration de jachères (*Journal Applied Biociences*).
- Hättenschwiler S., (2005) .Effets of tree species diversity on litter quality and decomposition. In: Scherer-Lorenzen M., Korner CH., Schulze E.D. (eds), *Forest diversity and fuction: temperate and boreal systems. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany*, p. 149-164.
- Kang BT, Reynolds L, Atta-Krah An (1990) Alley farming. *Advance in Agronomy* 43 : 315-359.
- Kombe F.B.M., (2004). Diagnostic de la fertilité des sols dans la cuvette central congolaise : cas des séries Yangambi et Yakonde. Thèse.
- Laclau, J. P., (2001). *Dynamique du fonctionnement minéral d'une plantation d'Eucalyptus. Effets du reboisement sur un sol de savane du littoral congolais ;*



- conséquences pour la gestion des plantations industrielles. In, institut National Agronomique, Paris-G.
- Mosango, M. (1990) Contribution à l'étude botanique et biogéochimique de l'écosystème forêts en région équatoriale (Ile Kongolo, Zaïre). Lab. Ecol. Végétale, Université libre de Bruxelles, p 42, 135 – 212, 359 – 356).
- Nair PKR (1993) An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publisher, The Hague, The Netherlands.
- NYS C. (1987) Fonctionnement du sol d'un écosystème forestier. Conséquences des enrésinements. Université de Nancy I, 207 p. (Thèse de Doctorat).
- Ranger J., Collin-Belgrand M, (1995) – *Bioinorganic dynamics of a forest ecosystem : quantifying rotations of chestnut tree* (Castanea sativa Mill.) coppice stand. (For. Ecol. Manag., sous press).
- Rennie, P.J., (1955) The uptake of nutrients by mature forest growth. Plant and Soil, 7(1) : 49-95.
- Rhoades (SC), (1995) .Seasonal pattern of nitrogen mineralisation and soil moisture beneath *Faidherbia albida* (syn *Acacia albida*) in central Malawi. *Agroforestry Systems*, 29 : 133-145.
- Szott LT, Fernandes ECM, Sanchez PA (1991) – Soil-plant interactions in agroforestry systems. In: Jarvis PG (ed) *Agroforestry: Principles and practice*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. pp. 127-152.