

Université de Kisangani

Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables



B.P. 2012 Kisangani

Etude de conditions écologiques d'*Afzelia bipindensis* Harms (Fabaceae) dans la région de Kisangani, RD Congo



Par

Ingénieur Sylvain SOLIA EDONDOTO

Diplômé d'Etudes Supérieures en Gestion de la Biodiversité

Thèse :

**Présentée et soutenue en vue de l'obtention du grade de
Docteur en Sciences Agronomiques**

Promoteur : Pr Dr Ir Richard RISASI ETUTU

Co-promoteurs : Pr Dr Hippolyte NSHIMBA SEYA

Pr Dr Ir Jean-Pierre LOKOMBE D.

Année académique 2015 – 2016

Dédicace

A l'Eternel ...

Au feu Pr Dr Ir Jean-Pierre Lokombe Dimandja...

A mes parents ...

A mes frères et sœurs...

A ma femme...

A mes enfants ...

A tous ceux ...

Remerciements

Messieurs les professeurs Richard Risasi Etutu Lipaso, Hippolyte Nshimba Seya Wa Malale et Jean-Pierre Lokombe Dimanja se trouvent à l'origine de ce travail, tant sur le plan pratique que sur celui des idées. Ils m'ont guidé avec intelligence tout au long de cette entreprise, je les remercie très sincèrement et infiniment. Ma gratitude s'adresse aux Messieurs les professeurs Ferdinand Kombele Bishosha (Président de mon jury), Faustin Boyemba Bosela (Secrétaire de mon jury) et Adrien Moango Manga (Membre), qui ont amélioré ce texte et accepté de le juger.

Par ailleurs, ce travail n'aurait pu être réalisé sans l'appui financier de la Coopération Technique Belge (CTB) ainsi que le CIFOR via le Programme de relance de la recherche Agricole et Forestière en RD Congo (REAFOR), l'Université de Kisangani et l'Institut Facultaire des sciences Agronomiques de Yangambi, mon employeur.

Une foule d'autres visages souriants et enthousiastes me vient à l'esprit au moment d'exprimer ma reconnaissance envers les nombreuses personnes qui ont également participé à la réussite de cette entreprise. Messieurs Sindani, identificateur forestier de l'ISEA/Bengamisa, Dieu Bondele, technicien au programme de foresterie de l'INERA-Yangambi dans le cadre duquel ce travail fut effectué, Dr Piet Stofflen du jardin Botanique National de Belgique, Hans Beeckman du Musée Royal d'Afrique Centrale à Tervuren (MRAC), Gérard Itile, Paul Lisoma et Norbert Litemandia, ont apporté leurs contributions scientifique et technique indispensables à l'aboutissement de cette étude. Au-delà de la logique, ce sont surtout de solides liens de sympathie qui se sont tissés avec les professeurs Honorine Ntahobavuka, Jean Lejoly, Léopold Ndjele, Jean-Pierre Mate, Jean de Dieu Mangambu et doctorant Benjamin Toirambe, nous leurs disons grand merci.

Je remercie toute l'équipe de l'IFA-Yangambi, à l'occurrence, les professeurs, chefs de travaux, assistants et personnels administratifs, techniques et ouvriers pour leur dévouement et contribution à notre formation. Une pensée particulière va à l'endroit des familles suivantes : Pr Dr Jean-Pascal Manga Okenge (Recteur honoraire de l'Université de Kindu), Pr Dr Ir Okungo, Pr Dr Ir Saile, Pr Dr Ir Tshomba Manga

(mon ami d'enfance), Chef de travaux Ramazani Tabora (Maire adjoint de la ville de Kisangani), Solia, Asenga, Ohemba, pour leur amour et collaboration a cette entreprise scientifique.

C'est avec émotion que je me remémore l'atmosphère fantastique du camp Lusambila chez Dieu Bondele alias « Kibinda » : la joie, la gentillesse et la délicieuse cuisine de mes compagnons de terrain, je remercie en particulier, Lonema Chuda, responsable de l'antenne de la foresterie de l'INERA-Yangambi, Ir Paulin Yangambi, Justin Yailo et Augustin Iyokwa. Ils ont manifesté un foyer de comportement au cœur de tout, qui réconcilierait n'importe quel homme avec la nature. Pour cette même occasion, je remercie mes biens aimés, à l'occurrence : Pasteur Franck Elanga, frère Zozo, Evariste Byamnobe, Marie-Olivier Kalembe, Olivier Solia et Bernard Kolela pour les soutiens moral et spirituel, et leurs encouragements.

Je remercie de tout mon cœur, ma défunte maman, Madeleine Egola (Paix à son âme et que la terre de nos ancêtres te soit douce) et mon père, Dieudonné Solia Modika, mes parents, qui m'ont transmis dès le plus jeune âge, le goût de la forêt et celui de la découverte. Vous êtes un merveilleux soutien et une extraordinaire source de motivation.

Lylie Manga, ma chère épouse, tu comptes à la fois parmi les compagnons de lutte, les collaborateurs sociaux de ce travail. Tu es de loin, la personne qui a déployée le plus de la volonté pour accomplir mes longs séjours à Yangambi et à Yoko. Je te remercie d'avoir autant participé à cette aventure. Quant à vous, Jemima Solia, Ketsia Solia, Josaphat Solia, Keren Solia, Eliakim Solia... vos mots deviennent de jour en jour, plus précis, mais depuis longtemps vous aviez déjà compris que votre Papa vous remercie d'avoir consentis tant de sacrifices à son égard.

Merci à vous tous et à tous ceux que je n'ai pas mentionné mais auxquels je pense très fort.

Sylvain Solia Edondoto

Table des matières

| | |
|--|------|
| Dédicace..... | i |
| Remerciements..... | ii |
| Table des matières..... | iv |
| Liste des abréviations, sigles et symboles..... | ix |
| Liste des figures..... | xi |
| Liste des tableaux..... | xv |
| Résumé..... | xvii |
| Abstract..... | xx |
| Introduction..... | 1 |
| 0.1 Contexte et justification de l'étude | 2 |
| 0.2 Questions de recherche | 5 |
| 0.3 Hypothèses | 5 |
| 0.4 Objectifs | 6 |
| 0.4.1 Objectif global..... | 6 |
| 0.4.2 Objectifs spécifiques | 6 |
| 0.5 Plan de la thèse..... | 7 |
| Premier chapitre :Généralités..... | 9 |
| 1.1 Aperçu sur la relation « sol – plante » | 10 |
| 1.2 Exploitation forestière industrielle, base d'extinction des espèces exploitées. 12 | |
| 1.3 <i>Afzelia bipindensis</i> Harms, une espèce en extinction (UICN) | 14 |
| 1.3.1 Brève description | 14 |
| 1.3.2 Ecologie et aire de répartition géographique | 16 |
| 1.3.3 Particularités botanique et anatomique | 17 |
| 1.3.4 Exploitation et commerce international | 19 |
| 1.4 Répartition spatiale et principaux facteurs déterminants | 19 |
| 1.5 Intervention sylvicole pour <i>A. bipindensis</i> , un besoin très urgent | 22 |
| Deuxième chapitre :Milieu, matériel et approche méthodologique | 25 |
| 2.1 Milieu d'étude | 26 |

| | |
|--|----|
| 2.1.2 Cadre physique..... | 28 |
| 2.1.3 Formations végétales et faune..... | 35 |
| 2.1.4 Actions anthropiques | 40 |
| 2.2 Aperçu sur les matériels et méthodes..... | 41 |
| 2.2.1 Présentation des dispositifs de mesure..... | 41 |
| 2.2.2 Mesures des arbres..... | 45 |
| 2.2.3 Identifications botaniques | 46 |
| 2.2.4 Analyses statistiques | 46 |
| Troisième chapitre :Présentation de différentes études et discussion..... | 47 |
| Etude 1 : Germination des graines et croissance des plantules d' <i>Azelia bipindensis</i> Harms (Fabaceae) dans la RBY, RD Congo..... | 48 |
| Résumé..... | 48 |
| 1. Introduction..... | 49 |
| 2. Site d'étude et méthodes | 50 |
| 2.1 Site d'étude | 50 |
| 2.2 Méthodologie | 50 |
| 2.2.1 Provenance des semences | 50 |
| 2.2.2 Réalisation du semis, dispositif expérimental et observations..... | 51 |
| 2.2.3 Analyses statistiques | 53 |
| 3. Résultats..... | 53 |
| 3.1 Influence des substrats appliqués sur le taux de germination, la durée, l'échelonnement de levées, l'énergie germinative et vitesse de germination..... | 53 |
| 3.2 Influence des substrats appliqués sur la croissance en hauteur des plants étudiés | 55 |
| 3.3 Influence des substrats appliqués sur la croissance en diamètre des plants étudiés | 55 |
| 4. Discussion..... | 56 |
| 4.1 Influence des substrats appliqués..... | 56 |
| 4.1.1 Nombre des graines germées | 56 |
| 4.1.2 Examen des conditions nécessaires à la germination | 57 |
| 4.2 Influence des substrats appliqués sur la croissance en hauteur et en diamètre des plants..... | 57 |
| Conclusion | 58 |

| | |
|--|----|
| Etude 2 : Etude de structure spatiale d' <i>A. bipindensis</i> Harms (Fabaceae) dans la RBY, RD Congo | 59 |
| Résumé..... | 59 |
| 1. Introduction..... | 60 |
| 2. Milieu d'étude et méthodes..... | 62 |
| 2.1 Milieu d'étude..... | 62 |
| 2.2 Méthodologie adoptée..... | 62 |
| 3. Résultats..... | 64 |
| 3.1 Structure de diamètres..... | 64 |
| 3.1.1 Densité et surface terrière | 64 |
| 3.1.2 Structure diamétrique..... | 65 |
| 3.2. Distribution spatiale..... | 66 |
| 4. Discussion..... | 67 |
| 4.1 Structure de diamètres..... | 67 |
| 4.2. Structure spatiale..... | 68 |
| Conclusion | 70 |
| Etude 3 : Etude de la diversité floristique du peuplement ligneux sous <i>Afzelia bipindensis</i> Harms (Fabaceae) dans la RBY et la RFY, RD Congo | 72 |
| Résumé..... | 72 |
| 1. Introduction..... | 73 |
| 2. Sites d'étude et méthodes..... | 75 |
| 2.1 Sites d'étude..... | 75 |
| 2.2 Inventaire floristique des ligneux..... | 75 |
| 2.3 Méthodes d'analyse des données | 76 |
| 2.3.1 Paramètres structuraux de peuplement | 76 |
| 2.3.2 Indices de caractérisation floristique..... | 77 |
| 2.3.3 Indices de diversité et de similarité..... | 77 |
| 2.3.4 Traitements statistiques des données | 79 |
| 3. Résultats..... | 80 |
| 3.1 Caractéristiques structurales des peuplements étudiés..... | 80 |
| 3.1.1 Densité et surface terrière de peuplement forestier..... | 80 |
| 3.1.2 Structure diamétrique des peuplements | 81 |
| 3.2 Caractéristiques floristiques..... | 82 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.1 Richesse et diversité floristiques..... | 82 |
| 3.2.2 Abondance et Indice de Valeur d'Importance (IVI) des familles..... | 84 |
| 3.2.3 Similarité floristique | 85 |
| 3.3 Espèces caractéristiques des écosystèmes étudiés | 88 |
| 3.3.1 Espèces caractéristiques de milieu naturel (RFY) | 88 |
| 3.3.2 Espèces caractéristiques de milieu dégradé (RBY) | 90 |
| 4. Discussion..... | 92 |
| 4.1 Peuplements sous parcelles centrée Doussié et aléatoire constituent deux communautés végétales différentes sous milieu naturel..... | 93 |
| 4.2 Peuplements sous parcelles centrée Doussié et aléatoire constituent deux communautés végétales différentes sous milieu dégradé | 96 |
| Conclusion | 98 |
| Etude 4 : Influence des propriétés physico-chimiques du sol sous <i>Afzelia bipindensis</i> Harms dans la RFY et RBY, RD Congo | 100 |
| Résumé..... | 100 |
| 1. Introduction..... | 101 |
| 2. Site d'étude et méthodes | 104 |
| 2.1 Site d'étude | 104 |
| 2.2 Aperçu historique des sols étudiés..... | 104 |
| 2.3 Aspect méthodologique | 105 |
| 2.3.1 Prélèvement des échantillons du sol et leur conditionnement | 105 |
| 2.3.2 Méthodes d'analyse au laboratoire | 106 |
| 2.3.4 Analyses statistiques | 109 |
| 3. Résultats..... | 110 |
| 3.1 Granulométrie de sols étudiés..... | 110 |
| 3.1.1 Sol de plateau..... | 110 |
| 3.1.2 Sol de versant..... | 113 |
| 3.1.3 Synthèse comparative sur les propriétés physiques de deux types de sols : plateau et versant..... | 116 |
| 3.2 Propriétés chimiques des sols étudiés | 124 |
| 3.2.1 Sols de plateau | 124 |
| 3.2.2 Sols de versant | 132 |
| 3.2.3. Synthèse comparative sur les propriétés chimiques de sols étudiés | 142 |

| | |
|---|-----|
| 4. Discussion des résultats des propriétés physico-chimiques de sols étudiés : plateau et versant | 157 |
| 4.1 Fraction granulométrique..... | 158 |
| 4.2 pHeau | 160 |
| 4.3 Carbone organique total (COT) | 161 |
| 4.4 Matière organique du sol (MOS) | 162 |
| 4.5 Azote total (Nt) | 163 |
| 4.6 Rapport C/N | 164 |
| 4.7 Phosphore assimilable du sol | 165 |
| Conclusion | 167 |
| Quatrième chapitre : Discussion générale..... | 169 |
| 4.1 Problématique, méthodes et contraintes de l'analyse statistique dans un dispositif permanent..... | 170 |
| 4.2 Discussion des principaux résultats obtenus..... | 173 |
| 4.2.1 Gestion responsable d' <i>A. bipindensis</i> | 173 |
| 4.2.2 Interprétation de la répartition spatiale d' <i>A. bipindensis</i> | 176 |
| 4.2.3 Organisation de la diversité spécifique au sein de communautés végétales sous <i>A. bipindensis</i> | 178 |
| 4.2.4 Influence de propriétés physico-chimiques du sol sous <i>A. bipindensis</i> Harms dans la RFY et RBY, RD Congo..... | 180 |
| Conclusion générale et perspectives | 191 |
| Conclusion générale..... | 192 |
| Perspectives..... | 195 |
| Références bibliographiques | 196 |
| Annexes..... | 234 |

Liste des abréviations, sigles et symboles

- ANOVA : Analyse de variance
- AT : Alluvions de Tributaires
- ATIBT : Association Technique Internationale des Bois Tropicaux
- C/N : Rapport carbone/azote du sol
- CEC : Capacité d'Echange Cationique
- COT : Carbone Organique Total
- CTFT : Centre Technique Forestier Tropical
- DCA : Detrended Correspondance Analysis
- Ddl : Degré de liberté
- Dhp : Diamètre à la hauteur de poitrine
- DJF : Décembre, Janvier et Février
- FAO : Food and Agriculture Organisation (Organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture)
- Fd : Forêt dense
- FdA : Forêt dense à *A. bipindensis*
- IFA: Institut Facultaire des sciences Agronomiques de Yangambi
- INEAC : Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo
- INERA : Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques
- INS: Institut National des Statistiques
- ISEA : Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques

ISRIC: International Soil Reference and Information Centre

ISSS: International Society of Soil Science

Ja : Jachère arbustive

JaA : Jachère arbustive à *A. bipindensis*

JJA : Juin, Juillet et Août

JNB : Jardin National de Belgique

MAM : Mars, Avril et Mai

MOS : Matière Organique du Sol

Nt : Azote organique total

RBV: Réserve de Biosphère de Yangambi

RD Congo: République Démocratique du Congo

RFY : Réserve Forestière de la Yoko

SON : Septembre, Octobre et Novembre

SPIAF: Service Permanent d'Inventaire et d'Aménagement Forestier

TCP: Techniques Culturelles Paysannes

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

UNESCO: United Nations Educational, Sciences and Cultural Organization

USDA: United States Department of Agriculture

**WRB: World Reference of soil Resources ou en français la Base de Référence
Mondiale pour les ressources en sols.**

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1. Espèces commerciales les plus exploitées dans la zone d'étude par la CFT de 2010 à 2014 (volumes exploités en m ³)..... | 14 |
| Figure 2. (2a) Partie aérienne, (2b) gousses et graines de <i>A. bipindensis</i> Harms..... | 16 |
| Figure 3. <i>A. bipindensis</i> Harms (source, Herbar JNB /Meise/2010)..... | 17 |
| Figure 4. Classification morphologique des plantules selon Hladik et Miquel (1990)..... | 21 |
| Figure 5. République Démocratique du Congo et ses voisins (AfDB/OECD, 2008)..... | 27 |
| Figure 6. Localisation de sites d'étude par rapport à la ville de Kisangani (http://www.enge.ucl.ac.be/cartesDRC)..... | 28 |
| Figure 7. Diagrammes ombrothermiques pour les deux sites d'étude..... | 29 |
| Figure 8. Les sols récents et ferrallitiques de la RD Congo (Fahem, 1978)..... | 32 |
| Figure 9. Carte de végétation de l'Afrique (White, 1983). Cette carte délimite les principales phytochories de l'Afrique et Madagascar..... | 36 |
| Figure 10. Carte de végétation du Bassin du Congo (Vande Weghe, 2004)..... | 37 |
| Figure 11. La RD Congo : carte d'occupation des sols (Vancutsem <i>et al.</i> , 200 modifié par Boyemba, 2011)..... | 39 |
| Figure 12. (2a) Graine rongée, (2b) Présentation de prédateurs de graine de <i>A. bipindensis</i> dans le dispositif permanent de Yangambi..... | 40 |
| Figure 13. Présentation des dispositifs permanents dans les sites de Yangambi et Yoko..... | 43 |
| Figure 14. Dispersion des valeurs de surface terrière (St) par rapport aux densités des différentes espèces considérées. (14a) Le site de la RBY, (14b) le site de la RFY..... | 55 |
| Figure 15. Distribution diamétrique des tiges inventoriées dans chaque site étudié suivant les différentes parcelles aléatoires et centré doussié. (15a) Le site de la RBY, (15b) Le site de la RFY..... | 56 |
| Figure 16. Distribution diamétrique des tiges inventoriées dans chaque site étudié suivant les deux sites RBY et RFY..... | 65 |

Figure 17. Dispersion des valeurs de surface terrière (St) par rapport aux densités des différentes espèces considérées. (17a) le site de la RBY, (17b) le site de la RFY. La boîte représente l'intervalle dans lequel sont regroupés 50 % des surfaces terrières et la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la surface terrière médiane ; la barre basse indique la surface terrière minimale et la barre haute la surface terrière maximale.....82

Figure 18. Distribution diamétrique des tiges inventoriées dans chaque site étudié suivant les différentes parcelles aléatoires et centrées doussié. (18a) Le site de la RBY, (18b) Le site de la RFY. Signification des classes de diamètre : 1 = 10-20 cm dhp ; 2 = 20-30 cm ;82

Figure 19. Comparaison de la densité relative des familles dans les quadrats « centrés doussié » et « aléatoires » (40 m de côté, soit 0,16 ha x 20 quadrats = 3,2 ha ; $D_i = N_i/N_t$) de cinq familles les mieux représentées. (16ab) Le site de la RBY, (16cd) Le site de la RFY.....85

Figure 20. DCA représentant la répartition des groupements dans les deux sites d'étude.....87

Figure 21. Conditionnement des échantillons du sol (21a) étalage et séchage (21b) émottage au Laboratoire du Département de Phytotechnie à l'IFA/Yangambi.....106

Figure 22. Pourcentages moyens (n = 32) d'argile, de limon et de sable des couches de 0-20 et 20-40 cm de profondeur d'un ferralsol sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau.....112

Figure 23. Pourcentages moyens (n = 32) d'argile, de limon et de sable des couches de 0-20 et 20-40 cm de profondeur d'un ferralsol sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant.....115

Figure 24. Représentation des sites d'échantillonnage et des propriétés physiques de sols du plateau et versant dans l'espace factoriel (1,2) par l'ACP.....117

Figure 25. Distribution des teneurs moyennes en argiles, limons et sables des couches 0-20 et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, la forêt dense à *A. bipindensis*, la jachère arbustive et la jachère arbustive à *A. bipindensis* de deux niveaux topographiques et de sites d'étude (RFY et RBY).....122

Figure 26. Valeurs moyennes (n = 32) de pHeau des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau.....125

Figure 27. Teneurs moyennes (n = 32) en COT des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A.*

- bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau.....126
- Figure 28. Teneurs moyennes (n = 32) de MOS des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau.....128
- Figure 29. Teneurs moyennes (n = 32) en Nt des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau.....129
- Figure 30. Teneurs moyennes (n = 32) en rapport C/N des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau.....130
- Figure 31. Teneurs moyennes (n = 32) en phosphore assimilable des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau.....131
- Figure 32. Valeurs moyennes (n = 32) de pHeau des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant.....133
- Figure 33. Teneurs moyennes (n = 32) en COT des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant.....135
- Figure 34. Teneurs moyennes (n = 32) en MOS des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant.....136
- Figure 35. Teneurs moyennes (n = 32) en Nt des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant.....138
- Figure 36. Teneurs moyennes (n = 32) en rapport C/N des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant.....139

Figure 37. Teneurs moyennes (n = 32) en phosphore assimilable des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant.....141

Figure 38. Représentation des sites d'échantillonnage et des propriétés chimiques de sols de plateau et versante dans l'espace factoriel (1,2) par l'ACP.....142

Figure 39. Variation des valeurs moyennes (n = 32) de pHeau des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense (témoin), sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant.....146

Figure 40. Variation des teneurs moyennes (n = 32) en COT des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense (témoin), sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant.....147

Figure 41. Variation des teneurs moyennes (n = 32) en MOS des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous la forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et sous la jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant.....148

Figure 42. Variation des teneurs moyennes (n = 32) en Nt des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense (témoin), sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant.....150

Figure 43. Variation des teneurs moyennes (n = 32) du rapport C/N des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense (témoin), sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant.....151

Figure 44. Variation des valeurs moyennes (n = 32) en phosphore assimilable des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous la forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et sous la jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant.....152

Liste des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des substrats utilisés en pépinière... | 51 |
| Tableau 2. Influence des substrats appliqués sur le taux, la durée, l'échelonnement de levées, l'énergie germinative et vitesse germinative d' <i>A. bipindensis</i> | 54 |
| Tableau 3. Paramètres calculés : application de la méthode de la distance au plus proche voisin à partir des données récoltées dans la jachère arbustive à Yangambi.. | 66 |
| Tableau 4. Richesse et indices de diversité floristique dans les peuplements de différents sites d'étude (Yangambi et Yoko)..... | 83 |
| Tableau 5. Indice de similarité de Morisita-Horn dans le peuplement..... | 86 |
| Tableau 6. Valeurs propres et pourcentage de variance expliqués par les 4 premiers axes d'ordination de la DCA..... | 87 |
| Tableau 7. Indice de valeur d'importance de vingt espèces dans les parcelles «aléatoires» de milieu naturel..... | 89 |
| Tableau 8. Indice de valeur d'importance de vingt espèces dans les parcelles «centrées Doussié» de milieu naturel..... | 90 |
| Tableau 9. Indice de valeur d'importance de vingt espèces dans les parcelles « aléatoires » de milieu dégradé..... | 91 |
| Tableau 10. Indice de valeur d'importance de vingt espèces dans les parcelles « centrées Doussié » de milieu dégradé..... | 92 |
| Tableau 11. Résultats de l'ANOVA à un facteur et de Kruskal-Wallis testant l'effet de l'espèce sur les fractions granulométriques, d'un ferralsol de sols de plateau dans les couches 0-20 et 20-40 cm de profondeur..... | 113 |
| Tableau 12. Résultats de l'ANOVA à un facteur et de Kruskal-Wallis testant l'effet de l'espèce sur les fractions granulométriques, d'un ferralsol de sols de versant dans les couches 0-20 et 20-40 cm de profondeur..... | 116 |
| Tableau 13. Résumé des propriétés physiques (moyennes \pm écart-types) de sols des plateau et versant dans les couches 0-20 et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense, sous forêt dense à <i>A. bipindensis</i> , sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à <i>A. bipindensis</i> deux sites d'étude (RFY et RBY)..... | 118 |
| Tableau 14. ANOVA à 2 facteurs testant l'effet de type de sols, l'effet de l'occupation du sol (formation végétale) et l'interaction entre le type et l'occupation du sol (type*occupation sol) sur la granulométrie de sols de plateau et versant en RD Congo..... | 122 |

Tableau 15. Synthèse de résultats d'ANOVA à un facteur et du test de Kruskal-Wallis pour l'examen de l'effet de l'espèce sur les propriétés chimiques du sol de plateau dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur.....132

Tableau 16. Synthèse de résultats d'ANOVA à un facteur et de Kruskal-Wallis testant l'effet de l'espèce sur les propriétés chimiques du sol de versant dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur.....141

Tableau 17. Synthèse des propriétés chimiques (moyennes \pm écart-types) des sols de plateau et versant dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* deux sites d'étude (RFY et RBY).....144

Tableau 18. Synthèse de résultats d'ANOVA à 2 facteurs testant l'effet du type de sol (plateau et versant), l'effet de l'occupation du sol (formation végétale) et l'interaction entre le type et l'occupation du sol (site*occupation sol) sur les variables chimiques de sols étudiés.....153

Tableau 19. Synthèse globale de résultats des analyses physico-chimiques comparatives du sol des profils représentatifs de deux dispositifs d'étude (moyennes \pm écart-types) des sols de Yoko et Yangambi dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur.....154

Résumé

L'espèce *A. bipindensis* Harms (Fabaceae) connue commercialement sous le nom de Doussié rouge, se place parmi les meilleurs bois de construction et est présente dans le domaine congolais. Cette espèce est inscrite sur la liste rouge des espèces menacées de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature suite au constat du déclin marqué de ses populations dans toute son aire de répartition en Afrique, y compris la RD Congo. Pour tenter de résoudre le problème lié à sa disparition, une étude de conditions écologiques a été conduite dans la région de Kisangani, RD Congo. Cette investigation a été réalisée à quatre études et chaque étude a comportée un certain nombre d'expériences répétées dans le temps et dans l'espace afin d'appréhender les plus fidèlement possible les phénomènes étudiés. La collecte des données a été effectuée sur deux sites différents : la réserve de biosphère de Yangambi et la réserve forestière de la Yoko sur deux parcelles permanentes, l'une de 120 ha installée dans la réserve de biosphère de Yangambi (milieu dégradé) et l'autre de 50 ha installée dans la réserve forestière de la Yoko (milieu naturel).

L'objectif visé de la première étude est de faire un suivi de régénération et tempérament d'*A. bipindensis* pendant dix-huit mois pour voir le comportement en pépinière. Pour mieux comprendre des aspects importants de l'écologie reproductive de cette espèce, il a été nécessaire d'effectuer des observations ponctuelles sur la germination des graines en pépinière. Les paramètres simples tels que le taux de germination, la croissance en hauteur et en diamètre des plants sur deux types de substrat à savoir terreau forestier et ordure ménagère ont été mesurés. Les données obtenues ont été soumises à l'analyse de variance en utilisant un dispositif complètement randomisé. Les résultats obtenus indiquent que la germination se déroule de manière massive, ce qui révèle que l'excellent pouvoir germinatif des graines écarte tout soupçon : la germination n'est pas le facteur limitant qui explique la rareté des plantules dans le sous-bois, la lumière n'est pas non plus le seul facteur qui détermine son installation.

L'objectif visé de la deuxième étude est de caractériser et déterminer la distribution spatiale d'*A. bipindensis*. Pour caractériser cette répartition spatiale, 40 quadrats de 50 m x 50 m (0,25 ha), soit un total de 10 ha ont été utilisés. Nous avons procédé à l'inventaire en plein d'*A. bipindensis* à dhp \geq 10 cm à Yangambi, a été repéré et positionné géographiquement par une abscisse x et une ordonnée y. La méthode de la distance au plus proche voisin, mise au point par Clark et Evans (1954) a été appliquée pour caractériser la distribution spatiale observée de cette espèce. Les données obtenues ont été soumises au seuil de signification en utilisant de dispositif complètement randomisé. Les résultats obtenus indiquent que *A. bipindensis* est une espèce héliophile à répartition spatiale agrégée au niveau local à l'échelle de 1 à plusieurs hectares.

L'objectif visé de troisième étude est de caractériser et comparer l'environnement forestier immédiat de *A. bipindensis* dans une même forêt tropicale de plaine sous deux milieux différents en occurrence naturel et dégradé. Ainsi, 40 quadrats de 40 m x 40 m (0,16 ha), soit un total de 6,4 ha ont été mis en place respectivement à Yoko et Yangambi. Un inventaire en plein des espèces à dhp \geq 10 cm à 1,30 m autour et en dehors d'*A. bipindensis* (parcelles centrée Doussié et aléatoire) afin d'en déterminer les espèces compagnes. Les données obtenues ont été soumises au test t de Student et chi-deux en utilisant un dispositif complètement randomisé. Les résultats obtenus indiquent que le Doussié rouge n'appartient pas à un cortège d'essences compagnes. Il est ubiquiste, à l'exclusion des stations marécageuses et des bas fonds. Il est représenté par des individus jeunes et vieux dans les milieux dégradés ou naturels.

L'objectif visé de quatrième étude est de quantifier et comparer les propriétés physico-chimiques de sols identiques au plan de leur pédogenèse sous *A. bipindensis* et sans la présence de *A. bipindensis* comme témoin. Ensuite, tester si, parmi les propriétés physico-chimiques de sols mesurées, il existe pour chacune d'elles, une différence significative entre les moyennes de plateau et versant. Afin de comprendre les paramètres édaphique et topographique qui sont à la base de la répartition spatiale de l'espèce sous étude, 32 fosses pédologiques ont été creusées à raison de 16 fosses

par site. Des échantillons non perturbés du solum biodynamique des fosses de référence sans *A. bipindensis* (témoins) et sous *A. bipindensis* ont été prélevés entre 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur, en quatre répétitions, suivant deux niveaux topographiques : le plateau et le versant. Les données obtenues ont été soumises à l'analyse de variance à un facteur, à deux facteurs et à l'ACP en utilisant de dispositifs complètement randomisés. Les résultats obtenus indiquent que certains facteurs édaphiques jouent également un rôle : *A. bipindensis* préfère les sols sablo argileux, riches en phosphore assimilable pour se régénérer et former des agrégats de forte densité, en d'autres termes, l'espèce présente un énorme potentiel de fertilité.

Les deux types forestiers (milieu dégradé et naturel) ci-dessus présentés, diffèrent par leurs diversités floristiques, leurs structures et leurs fertilités potentielles. Toute stratégie cohérente et objective de cette espèce devra tenir compte de toutes ces caractéristiques étudiées.

Mots clés : conditions écologiques, *A. bipindensis*, région de Kisangani, RD Congo.

Abstract

The species *A. bipindensis* Harms (Fabaceae) commercially known under the name of red Doussié, is placed among the best lumber and timber and is present in Congolese domain. This species is subscribed on the red list of the species menaces of the international union for the nature conservation from the constant of the decrease marked of its populations in all area of repartition in Africa, including the DR Congo. On order to attempt to solve the problem linked to its disappearing, a study of ecologic conditions has been carried out in the region of Kisangani, DR Congo. This investigation has been realized in four studies and each study has included a certain number of repeated experiences in the time and in space in order to catch the most fiably possible the studied phenomena. The harvest of data has been effectuated on two different sites: the biosphere reserve of Yangambi and the forestry reserve of Yoko on the two permanent grounds, one of 120 ha found in the biosphere reserve of Yangambi (degradated milieu) and the other of 50 ha found in the forestry reserve of Yoko (natural milieu).

The aim of the first study is to follow the regeneration and the behavior of *A. bipindensis* during eighteen month in order to see the behavior in the pepiniere. On order to understand best the important aspects of reproductive ecology of this species, it was necessary to effectuate the punctual observations on the germination rates, the growth in height and in diameter of plants on the two types of substratum such as forestry terreau and ordure menagerie have been measured. The obtained data have been submitted to the analysis of variance using a dispositive completely randomized. The obtained results indicate that the germination is going of massive manner, this reveals that the excellent germinative power of the seeds does not give any suspicion: the germination is not a limitative factor which explains the rarity of young plants in the under plants, the light is not also the only factor which determines its installation.

The aim of the second study is to characterize to determine the spatial distribution of *A. bipindensis*. To characterize this spatial repartition, 40 quadrats of 50 m x 50 m

(0.25 ha), either a total of 10 ha have been used. We have proceeded to an inventory in full of *A. bipindensis* in $dbh \geq 10$ cm in Yangambi, has been repeated and positioned geographically by an abscise x an ordonated y. The method of the distance in the nearest neighbor put in point by Clark and Evans (1954) has been applied to characterize the spatial distribution observed of this species. The obtained data have been submitted to the seuil of signification using the dispositive completely randomized. The obtained results indicate that *A. bipindensis* is a heliophile species in spatial repartition aggregate in local level of the scale of one to several hectares.

The aim of the third study is to characterize and to compare the immediate forestry environment of *A. bipindensis* in the same tropical forest of plainer under two different milieu in occurrence natural and degraded. Hence, 40 quadrats of 40 m x 40 m (0.16 ha) either a total of 6,4 ha have been put in place respectively in Yoko and Yangambi. An inventory in full of species in $dbh \geq 10$ cm to 1.30 m around and outside of *A. bipindensis* areas centrated Doussié red and random in order to determinate the species companies. The obtained data have been submitted to the test t of student and chi-two by using a completely randomized dispositive. The obtained results indicate that the red Doussié does not belong to the cortege of essences companies it is ubiquities, to the exclusion of marecageuses stations and of bas-funds. It is represented by the individuals young and old in the degraded or natural milieu.

The aim of the fourth study is to quantify and compare the physic-chemical properties of identical soils in plan of their pedogenesis under *A. bipindensis* and without the presence of *A. bipindensis* as witness. Then, to test if among the physic-chemical properties of measured soils, it exists for each of them a significative difference between the medium of plateau and versant . In order to understand the edaphic and topographic parameters which are in base of spatial repartition of the species under study, 32 pedologic fosses have been dug in reason of 16 fosses per site. The non perturbed sample of slum biodynamic of the fosses of reference

without *A. bipindensis* (witness) under *A. bipindensis* have been preleased between 0-20 cm and 20-40 cm of deep in four repetitions, according two topographic levels : the plateau and versant. The obtained data have been submitted to the analysis of variance in one factor, in two factors and to the ACP by using the completely randomized dispositive. The obtained results indicate that certain edaphic factors play also a role: *A. bipindensis* prefers sablo argilo soils, rich in assailable phosphorous to regenerate and form the aggregates of strong density, in other words, the species presents an enormous potential of fertility.

The two forestry types (degradated and natural milieu) presented before differ by their floristic diversities, their structures and potential fertilities. All coherent strategy and objective of this species will take into account of the studied characteristics.

Keywords: ecologic conditions, *A. bipindensis*, region of Kisangani, DR of Congo.

Introduction

0.1 Contexte et justification de l'étude

Les forêts tropicales sont porteuses d'une charge symbolique, au point que leur destruction suscite une angoisse planétaire. Loin d'être une simple juxtaposition d'arbres, la forêt tropicale dense humide (sempervirente ou semi-décidue) est une combinaison de composantes végétales (arbres, arbustes, lianes, bambous, etc.), animales, édaphiques et climatiques en perpétuelles interactions (Guillaumet et Kahn, 1979 ; Arnauld, 1992 ; Gilarowski, 2002). Le peuplement forestier proprement dit est composé d'un grand nombre d'espèces d'arbres (Clément, 1991 ; Bawa et Krugman, 1991 ; Chauvet et Olivier, 1993 ; Bouvarel, 1994 ; Boyle et Sayer, 1995 ; ONF, 1996). On y dénombre en général, plusieurs centaines d'espèces, parfois difficiles à identifier (Monokaran *et al.*, 1990 ; Pascal, 1995 ; Dupuy, 1998).

D'apparence souvent inextricable (qu'on ne peut arracher), cet enchevêtrement d'arbres de diverses espèces a déjà fait l'objet de nombreuses études visant à en établir une représentation simple et réaliste (Wadsworth, 1977 ; Shugart, 1984 ; Swaine et Whitmore, 1988 ; Vanclay, 1989, 1991 ; Favrichon, 1995). A cet égard, les forêts africaines les mieux connues actuellement sont les forêts tropicales de plaines (Dupuy, 1990, 1998 ; Doumbia, 1994) du fait de leur extension et surtout leur intérêt commercial. Cet intérêt a très tôt conduit les gestionnaires à répartir l'ensemble des espèces forestières en deux catégories économiques distinctes : espèces commerciales dites espèces principales ou encore espèces de valeur et les espèces non-commerciales dites espèces secondaires (Aubreville, 1959 ; Ford-Robertson, 1977 ; ATIBT, 1986, 2001).

La connaissance des écosystèmes forestiers tropicaux présente de ce fait, une importance notoire et la conduite de recherches doit sans cesse être encouragée. Néanmoins, elle s'est très vite imposée par sa nécessité face aux menaces économiques et écologiques directement liées à la disparition rapide de la réserve mondiale de forêts tropicales (Loetsch *et al.*, 1973 ; Lanly, 1981 ; Dupuy, 1989 ; Maini, 1992 ; Janz, 1993) et aux différents services dont bénéficient les communautés locales et autochtones (Bolendjele *et al.*, 2013). Perçues comme le lieu

d'une biodiversité extrême, les forêts tropicales représentent dans l'imaginaire collectif, l'ultime recours contre la pollution et l'effet de serre (Froment et Bahuchet, 2003 ; Kouob, 2009). Ceci implique dès lors la nécessité impérieuse de préserver les étendues forestières.

Le Bassin du Congo, avec 1,9 million de km² compte parmi les plus grandes forêts denses humides au monde et pourvoit à la subsistance de plus de 20 millions d'individus, dont la plupart dépendent des ressources naturelles pour survivre (White et Edwards, 2001 ; Kouob, 2009). Dans cette même sous-région, 673 000 ha de forêt disparaissent chaque année, représentant un taux annuel de 0,28 % et même plus (FAO, 2007 ; Raves *et al.*, 2009). A ce rythme, sans tenir compte des conséquences imprévisibles des changements climatiques résultant de l'effet de serre, 15-25% des espèces vont probablement disparaître (Davis *et al.*, 1994). En Afrique centrale, la conservation a débuté au XIXe siècle, mais elle était essentiellement basée sur les espèces emblématiques (Kouob, 2009). Cette approche s'est avérée inadéquate en milieu forestier d'autant plus que le maintien des fonctions, de la structure et de la viabilité des populations exigeaient de penser et d'agir à l'échelle d'écosystèmes entiers (Kouob, 2009).

L'Afrique centrale qui abrite la deuxième plus grande étendue de forêt tropicale humide du monde, à savoir, une superficie de 2 millions de km² (Mayaux *et al.*, 1998), se caractérise par des taux de déforestation élevés, résultant d'abattages localisés associés aux activités agricoles itinérantes (Mayaux *et al.*, 2003 ; Hansen *et al.*, 2008). La superficie de forêt dense humide de basse altitude en RD Congo dont fait partie notre zone d'étude est estimée à 101 822 027 ha sur un total de 114 526 051 ha de forêt dense, soit 88,9 % (Verhegghen et Defourny, 2010). Selon OSFAC (2010), l'étendue de réduction du couvert forestier de la forêt dense de la RD Congo entre 2005 à 2010 s'élève à 701 10³ ha.

Cette situation trouve son explication dans la croissance démographique de la population congolaise. En effet, la population congolaise est passée de 29 millions en 1980 à 60,2 millions en 2006, et devrait atteindre 108 millions d'ici 2025 (FAO,

2009). A cette poussée démographique s'ajoute l'instabilité politique subséquente aux récents conflits armés et le faible développement des activités industrielles dans le pays. La pauvreté est aiguë (80 % de la population vit en dessous du seuil de pauvreté fixé à 2 dollars par jour).

Les besoins en bois sont les plus importants notamment pour les constructions, le feu (bois de chauffe), la production de charbon de bois et la fabrication des pirogues, etc. Le bois de chauffage constitue la principale source d'énergie pour la totalité des familles rurales et 91,5 % des familles urbaines en RD Congo (MECNT, 2009). Il représente à lui seul, environ 80 % de l'exploitation forestière totale de bois, soit une consommation annuelle de 45 millions de m³ de bois comme source d'énergie domestique (Mbala, 2007). L'exploitation et la production de bois se font en grande partie de manière artisanale, dans les zones forestières périurbaines, provoquant la déforestation et la dégradation des forêts autour des grands centres urbains (Boyemba, 2011).

En outre, l'agriculture qui constitue la principale activité des populations, est en grande partie du type traditionnel et repose partout en RD Congo sur l'itinérance avec le système « abattis brûlis » et dont la jachère reste le seul mode de régénération de la fertilité du sol. La jachère est longue et varie de 5 à 18 ans, et peut même aller jusqu'à 30 ans suivant les régions (Laudelout, 1990 ; Kombele, 2004). Les principales cultures vivrières pratiquées sont : le manioc (variétés douces et amères), les céréales (notamment le maïs et le riz), les bananes et les légumineuses (le soja, l'arachide, etc.). Ce type d'agriculture s'est maintenue en symbiose avec l'écosystème pendant des siècles, mais elle est devenue problématique à mesure que les périodes de-jachère ont été réduites pour répondre aux besoins accrus de terres arables afin d'augmenter la production agricole. Ce mode d'exploitation a rendu difficile la régénération des arbres, de la fertilité des sols et partant le déclin des rendements agricoles (Boahene, 1998 ; Kombele, 2004). Cette séquence s'observe surtout le long des axes de communication, autour des villages et à la périphérie des centres urbains (Devers et Van Weghe, 2007).

L'étude de conditions écologiques des espèces commerciales constitue le maillon de base dans les écosystèmes tropicaux et devrait faire partie des études prioritaires. Il ne s'agit pas simplement de lister une série d'espèces végétales commerciales, mais d'explorer les différents mécanismes qui permettent leur coexistence.

0.2 Questions de recherche

Pour bien cerner les stratégies de recherche à développer, quatre questions fondamentales méritent d'être soulevées :

- quelle est la base scientifique pour une sylviculture d'*A. bipindensis* (établissement de pépinières en polybacs), ainsi que la vitesse des croissances en hauteur et en diamètre ?
- quel est la répartition spatiale rencontrée chez *A. bipindensis*?
- pour les différents milieux naturel et dégradé, existe-t-il une différence vis-à-vis de la composition floristique pouvant causer une modification de la structure des populations sous *A. bipindensis* ?
- parmi les variables physico-chimiques du sol mesurées, existe-t-il pour chacune d'elles une différence significative entre les sols de plateau et versant pour les quatre types d'occupation du sol (forêt dense, forêt dense à *A. bipindensis*, jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis*) ?

0.3 Hypothèses

Pour répondre à ces questions de recherche, quatre hypothèses ont été émises comme suit :

Hypothèse 1 : Compte tenu de la rareté des arbres et plantules de « Doussié rouge », le suivi de pépinières en polybacs pendant 18 mois offre des perspectives pour une future plantation de bois d'*A. bipindensis*.

Hypothèse 2 : *A. bipindensis* a une répartition spatiale agrégative dans son biotope.

Hypothèse 3 : La diversité floristique importante observée est liée à l'historique de la colonisation de chaque site (par exemple occupations humaines) causant une modification de la structure des populations sous *A. bipindensis*.

Hypothèse 4 : Certains facteurs du milieu comme la topographie (la position des individus sur la pente : plateau et versant) et les éléments physico-chimiques du sol, sont limitants pour *A. bipindensis* car les individus ne survivent que dans les endroits riches en nutriments.

0.4 Objectifs

0.4.1 Objectif global

La présente étude de conditions écologiques a pour objectif global, d'identifier les conditions favorables à l'autoécologie d'*A. bipindensis* (Doussié rouge) en vue de proposer des modalités d'exploitation durable dans son aire de répartition.

0.4.2 Objectifs spécifiques

Pour arriver à l'objectif global de cette étude, les objectifs spécifiques suivants sont étudiés :

- (1) faire un suivi de régénération et tempérament d'*A. bipindensis* pendant dix-huit mois en pépinière en polybacs ;
- (2) caractériser et déterminer la distribution spatiale d'*A. bipindensis* ;
- (3) caractériser et comparer l'environnement forestier immédiat d'*A. bipindensis* dans une même forêt tropicale de plaine sous deux milieux différents en occurrence naturel et dégradé ;
- (4) quantifier et comparer les propriétés physico-chimiques de sols identiques au plan de leur pédogenèse sous *A. bipindensis* et sans la présence d'*A. bipindensis* comme témoin. Ensuite, tester si, parmi les propriétés physico-chimiques de sols mesurées, il

existe pour chacune d'elles, une différence significative entre les moyennes de plateau et versant.

0.5 Plan de la thèse

Hormis l'introduction et conclusion générale et perspectives, la présente dissertation comprend quatre chapitres dont le premier, aborde les généralités, le deuxième, décrit le milieu, matériel et approche méthodologique de la thèse, le troisième, présente les résultats obtenus et leur discussion et le quatrième traite d'une discussion générale. Ainsi, cette thèse est organisée comme suit :

- étude 1, considère les graines comme des individus potentiels ou « candidats-plantules ». La germination décrit comment se déroule l'apparition des semis, si on isole le Doussié rouge d'une partie de son environnement, par exemple, la prédation par les mammifères et l'ombrage du sous-bois. Les résultats de cette étude permettent de tester l'hypothèse 1 par une analyse de la dynamique des populations de cette espèce ;
- étude 2, a pour objectif, de tester l'hypothèse 2. Cette étude met en évidence l'influence de poids de graines sur la caractérisation de la répartition spatiale d'*A. bipindensis* ;
- étude 3, permet de tester la troisième hypothèse de ce travail. Cette étude, traite de diversité floristique comparative de peuplements issus de deux milieux différents (naturel et dégradé) présentant des densités contrastées en *A. bipindensis*. Elle est basée sur une comparaison directe des caractéristiques structurale et floristique entre les peuplements des parcelles centrée Doussié et aléatoire ;
- étude 4, met en évidence, l'influence des propriétés physico-chimiques du sol et des caractéristiques topographiques (plateau et versant) sous *A. bipindensis* et sans la présence d'*A. bipindensis* comme témoin : sous forêt dense (Fd), sous forêt dense à *A. bipindensis* (FdA), jachère arbustive (Ja) et sous jachère

arbustive à *A. bipindensis* (JaA) comme milieux (naturel et dégradé). Il permet de tester l'hypothèse 4 et de comparer les conditions édaphiques de ces deux différents milieux suivant la concentration d'*A. bipindensis* et autres profils témoins (c.à.d. sans la présence d'*A. bipindensis*), sous une forêt dense à Yoko et une jachère arbustive à Yangambi.

Premier chapitre :
Généralités

1.1 Aperçu sur la relation « sol – plante »

La relation « sol – plante » est l'un des plus difficiles et c'est celui qui, pour les chercheurs, est le moins achevé (Callot *et al.*, 1982 ; Duchaufour 1988). Il y a évidemment plusieurs raisons :

- les recherches qui les concernent demande une équipe multidisciplinaire, ce qui a partagé les laboratoires (unité de recherche) et les scientifiques ;
- les langages de ces derniers se différencient d'ailleurs de plus en plus. Or les enseignants et les ingénieurs d'application ont besoin de synthèses qui présentent l'ensemble du problème des relations « plante-sol » ;
- c'est le sol qui détermine avec le climat les potentialités de production des plantes. Celle ci par leurs racines modifient le sol et, pour une part, son évolution pédologique. La répartition géographique de la végétation est en grande partie déterminée par le climat. Ce dernier, non seulement est le premier facteur de la pédogenèse, mais aussi, il imprime à la végétation une physionomie et une morphologie particulière suivant les caractéristiques du sol. L'histoire de relations sol – plante paraît énigmatique et rappelle celle de la primauté de la poule ou de l'œuf. En effet, lors du processus pédogénétique, le climat joue le rôle capital comme facteur déterminant les grandes orientations de ce processus. La différenciation des types de sol dépend considérablement des zones climatiques et donne lieu à des biocénoses (floristiques de manière particulière) représentatives des conditions du biotope. Il se dégage de cette différenciation une physionomie par zonation, tant au niveau latitudinal qu'au niveau altitudinal ;
- d'autres raisons ont un caractère plus technique. Les observations et les expérimentations sur les racines, leur comportement, leur rôle dans la nutrition minérale, dans le milieu sol, sont extrêmement difficiles. C'est la raison pour laquelle, elles ont été relativement négligées pendant très longtemps, alors que selon certains auteurs, la masse racinaire est plus

abondante que celle des parties aériennes et a même conduit à la dénomination par d'autres auteurs de « half hidden » (Fogel, 1983 in Risasi *et al.*, 1999).

Fitzpatrick (1983) et Duchaufour (1988) observent également cette différenciation et soulignent qu' :

- au climat boréal, la néoformation des minéraux est nulle. Les sols, à dominance podzolique supportent la forêt de toundra ;
- en climat tempéré, la néoformation est nulle aux podzols (avec présence de mor) et faible aux sols bruns (avec présence de mull). La végétation dominante est la taïga, la prairie, la feuillue et les conifères ;
- dans le climat désertique caractérisé par la sécheresse pendant toute l'année, il s'en suit une absence généralisée de la végétation, à l'exception des algues qui colonisent les dunes ;
- quant au climat tropical, on observe dans le milieu drainé, des sols ferrugineux à profil A-B-C. La néoformation, issue de la monosiallisation est assez forte. En milieu confiné (vertique), il se produit une forte néoformation due à la présence de plusieurs ions dans le sol avec la bisiallisation comme processus pédogénétique dominant. La végétation est du type savanicole et steppique ; parfois, on rencontre la forêt claire ;
- dans le climat équatorial prédominant les sols ferrallitiques ou ferralsols à profil A-B_{ox}-C. La néoformation des minéraux est forte, surtout la kaolinite. L'allitisation y domine et la végétation est constituée des forêts denses et mixtes regorgeant plusieurs espèces.

1.2 Exploitation forestière industrielle, base d'extinction des espèces exploitées

D'une manière générale, comme dans tous les pays du bassin du Congo, l'exploitation forestière présente plusieurs caractéristiques (Debroux, 1988 ; Nanson, 2004). Elle est à la fois :

- sélective, car elle vise au maximum une vingtaine d'espèces (sur plus de 300 espèces ligneuses) et prélève 1 à 2 arbres par hectare ;
- extensive, car chaque entreprise occupe plusieurs dizaines de milliers d'hectares ;
- itinérante, puisque les entreprises se déplacent après avoir prélevé le volume de bois d'œuvre disponible. Les éventuelles « repasses » ou deuxièmes coupes prélèvent les tiges délaissées initialement.

En RD Congo, l'exploitation forestière telle que pratiquée actuellement semble avoir plus d'impacts négatifs que positifs. Comme impacts négatifs, nous pouvons mentionner ce qui suit :

- les espèces commerciales sont exploitées essentiellement sur le massif forestier en place et la plupart de ces espèces commerciales exploitées ont un tempérament héliophile, c'est-à-dire, nécessite une mise en lumière rapide et importante dès le stade « semis » pour poursuivre leur développement, d'où il y a risque d'érosion génétique (Doucet et Kouadio, 2007) ;
- leur régénération naturelle est rare dans le sous-bois et l'ouverture du couvert provoquée par l'exploitation forestière s'avère en général insuffisante pour permettre une régénération significative. On peut donc assister à un appauvrissement progressif des forêts en certaines espèces commerciales, notamment, les espèces exploitées à des fins commerciales ;
- dans certains cas, l'exploitation forestière a conduit à la rareté (diminution des populations d'arbres commerciales) ou encore à la vulnérabilité

(appauvrissement du potentiel biologique et génétique) des espèces commerciales très recherchées (Puig, 2001 ; Doucet et Kouadio, 2007), c'est par exemple, le cas d'*A. bipindensis* (Fabaceae) commercialisé sous le nom de « Doussié rouge » (African regional workshop, 1996).

Comme impacts positifs, il y a lieu de noter les éléments suivants :

- cette exploitation forestière n'affecte pas nécessairement la richesse spécifique dans un sens négatif. Son impact sur le couvert forestier demeure limité, avec environ 10 % du couvert perturbé (Doucet, 2003) ;
- les perturbations liées à l'exploitation peuvent créer de nouvelles conditions environnementales qui permettent, parfois, un accroissement de la diversité animale et végétale (Puig, 2001). Il faut néanmoins noter que ces perturbations soient de faible intensité, c'est-à-dire, avec un faible taux de prélèvement et de faibles dégâts d'exploitation. Les perturbations causées par une exploitation légère, comme celles induites par des chablis naturels, peuvent constituer des facteurs d'hétérogénéité et être source de biodiversité.

Au niveau de la zone d'étude, deux exploitants forestiers émergent sur place dont la Compagnie Forestière et de Transformation « CFT » et Bego Congo. Néanmoins, l'unique entreprise qui exploite les bois ce dernier temps est la CFT c'est-à-dire de 2010 à 2014.

La Compagnie Forestière et de Transformation (en sigle CFT) a comme objet socioéconomique l'exploitation de bois et la transformation première de ce bois. Dans sa garantie d'approvisionnement, la portion de forêt que le gouvernement lui a attribuée, elle tire un seul type de produits : les grumes. Le volume de bois d'œuvre en grumes produit par la CFT en fonction des différentes années fait l'objet de la Figure 1. La production en grumes est négligeable et diminue régulièrement et ne dépasse pas 1000 m³ en 2014 pour la plupart des espèces commerciales autres que le Doussié rouge. Néanmoins pour cette dernière, la production est presque nulle chez le Doussié rouge (*Afzelia bipindensis* Harms).

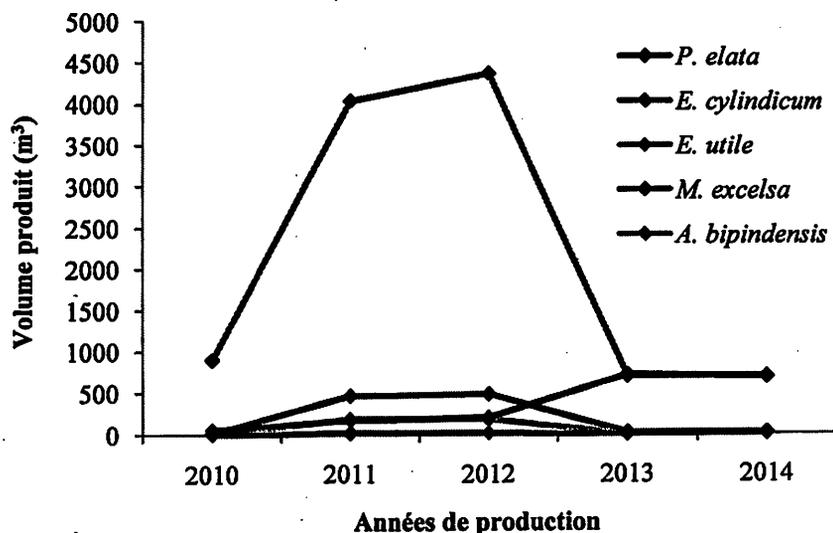


Figure 1. Espèces commerciales les plus exploitées dans la zone d'étude par la CFT de 2010 à 2014 (volumes exploités en m³). Source : Coordination Provinciale de MECNT, 2015).

La figure ci-haut montre que la CFT est active dans les forêts denses autour de la région de Kisangani avec une production ne dépassant pas 5000 m³. Les espèces les plus visées sont : Afrormosia (*Pericopsis elata* Harms) Van Meeuwen, Sapelli (*Entandrophragma cylindricum* Sprague), Sipo (*Entandrophragma utile* (Dawe et Sprague) Sprague), Iroko (*Milicia excelsa* (Welw.) C.C. Berg) et Doussié rouge (*Azelia bipindensis* Harms).

1.3 *Azelia bipindensis* Harms, une espèce en extinction (UICN)

1.3.1 Brève description

A. bipindensis, appartient à l'embranchement des Magnoliophyta; sous-embranchement des Rosophytina; la classe des Rosopsida; sous-classe des Rosidae; l'ordre des Fabales; la famille des Fabaceae et à la sous-famille des Caesalpinioideae (Leguminosae - Caesalpinioideae). Arbre de taille moyenne à assez grande atteignant 40 m de haut, sempervirent ou brièvement caducifolié; fût dépourvu de branches sur 25 m, droit et cylindrique, atteignant 140(-180) cm de diamètre, cannelé à la base ou à petits contreforts de 1,5 m de haut; surface de

l'écorce brun jaunâtre à brun rougeâtre, irrégulièrement écaillée et recouverte d'arêtes sinueuses, écorce interne granuleuse, brun jaunâtre, à stries blanchâtres, aromatique ; **cime** allongée à arrondie ou aplatie en fonction de l'âge et des conditions de croissance, à branches tortueuses, plus ou moins érigées ; jeunes rameaux glabres. **Feuilles** alternes, composées paripennées à (4-)5-7(-8) paires de folioles ; stipules à parties basales soudées et persistantes, parties supérieures libres, linéaires et caduques ; **pétiole** et **rachis** mesurant ensemble de 9-32 cm de long ; pétiolules de 3-7 mm de long, souvent légèrement tordus ; folioles opposées, oblongues à elliptiques, de 5-13(-20) cm × 2,5-6(-7) cm, obtuses à courtement acuminées à l'apex, glabres, pennatinervées à 9-13 paires de nervures latérales. **Inflorescence** : panicule terminale ou axillaire atteignant 18 cm de long, garnie de poils courts. Fleurs bisexuées, zygomorphes, parfumées ; pédicelle de 0,5-1 cm de long ; bractéoles de 0,5-1 cm × 0,5 cm, caduques ; hypanthium de 1,5-4,5 cm de long ; sépales 4, inégaux, de 1-2 cm de long, recouverts de poils courts et denses ; pétale 1, de 3-6 cm de long, muni d'un onglet long, 2-lobé, blanc à rose marqué d'une tache rouge au centre ; étamines fertiles 7, de 3-4 cm de long, étamines rudimentaires 2, d'environ 1,5 cm de long ; ovaire supère, d'environ 1 cm de long, à stipe court, légèrement poilu, style d'environ 4 cm de long. **Fruit** : gousse aplatie, réniforme, de (8-) 11-19,5 cm × 5,5-8 cm, brun foncé à noire, déhiscente par 2 valves ligneuses, renfermant jusqu'à 15 graines. **Graines** ovoïdes-ellipsoïdes, de 2,5-3,5(-4,5) cm de long, noires, recouvertes sur environ les 3/4 par le plus grand lobe d'un arille 2-lobé de couleur orange à rouge. **Plantule** à germination épigée ; hypocotyle de 6-16 cm de long, épicotyle de 9-20 cm de long, glabre ; cotylédons charnus, oblongs, érigés ; 2 premières feuilles opposées, à 2-3 paires de folioles, feuilles subséquentes alternes (Aubreville, 1968, 1970 ; www.prota4u.info, consulté le 14/01/2016 à 12 heures) (Figure 2).

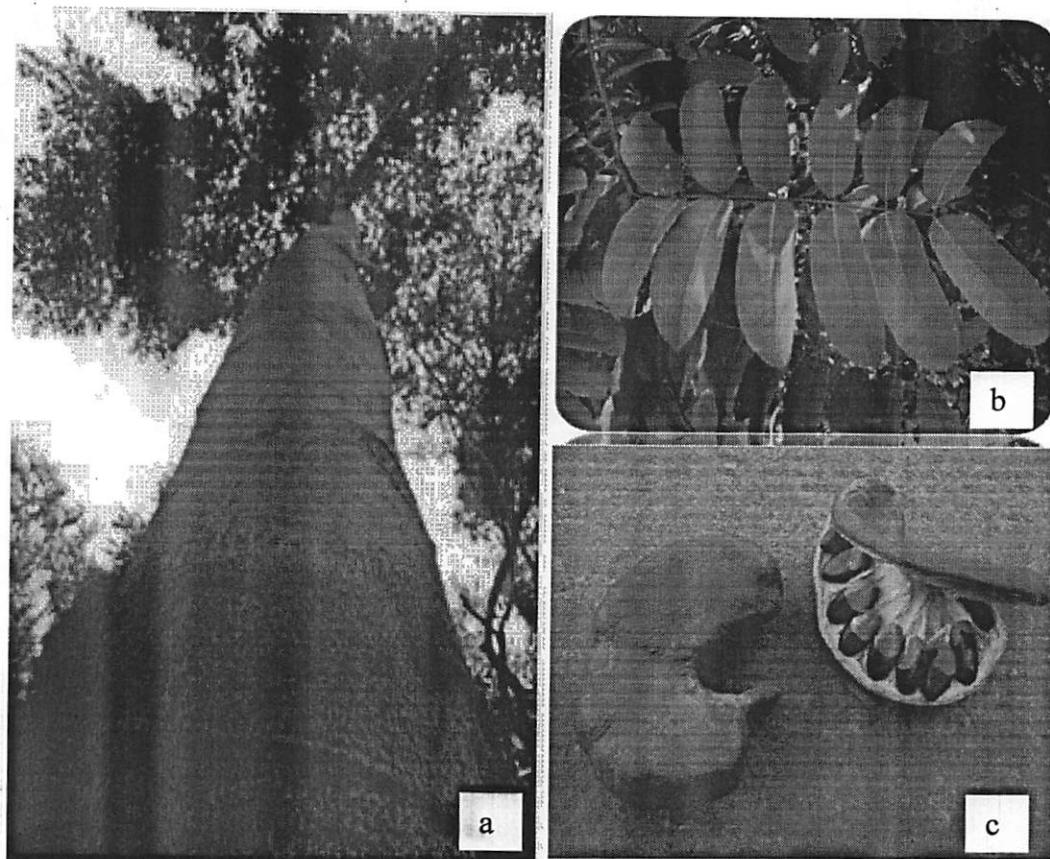


Figure 2. Partie aérienne (a), feuilles (b), gousses et graines (c) d'*A. bipindensis* Harms.

1.3.2 Ecologie et aire de répartition géographique

Afzelia bipindensis se rencontre dans la forêt sempervirente et semi-décidue jusqu'à 900 m d'altitude, normalement sur des sols bien drainés, dans la forêt primaire comme dans la forêt secondaire (www.prota4u.info, consulté le 14/01/2016 à 12 heures). Dans les domaines Cameroun-gabonais et congolais, le genre *Afzelia* est représenté par deux espèces de grands arbres, connues commercialement sous les noms de Doussié : *A. bipindensis* (Doussié rouge) et *A. pachyloba* (Doussié blanc).

L'aire de répartition d'*Afzelia bipindensis* s'étend depuis le sud du Nigeria jusqu'à l'ouest de l'Ouganda, et vers le sud jusqu'en RD Congo, au nord de la Zambie et au nord de l'Angola (Figure 3). En RD Congo, *A. bipindensis* se trouve dans le Kasai (Kekenga), Bas-Katanga (Kanda-kanda), secteur forestier central (Buta, Boende,

Mambasa, Kama-lumuna, Yangambi, Penge sur Arwimi, Bondisa, Nord-Ouest Beni), Ubangi-Uéle, Haut-Katanga, le domaine s'étendant de la Côte d'Ivoire à l'Angola et à l'Oubangi-chari, et enfin en Uganda (Aubreville, 1968, 1970 ; Tailfer, 1989).

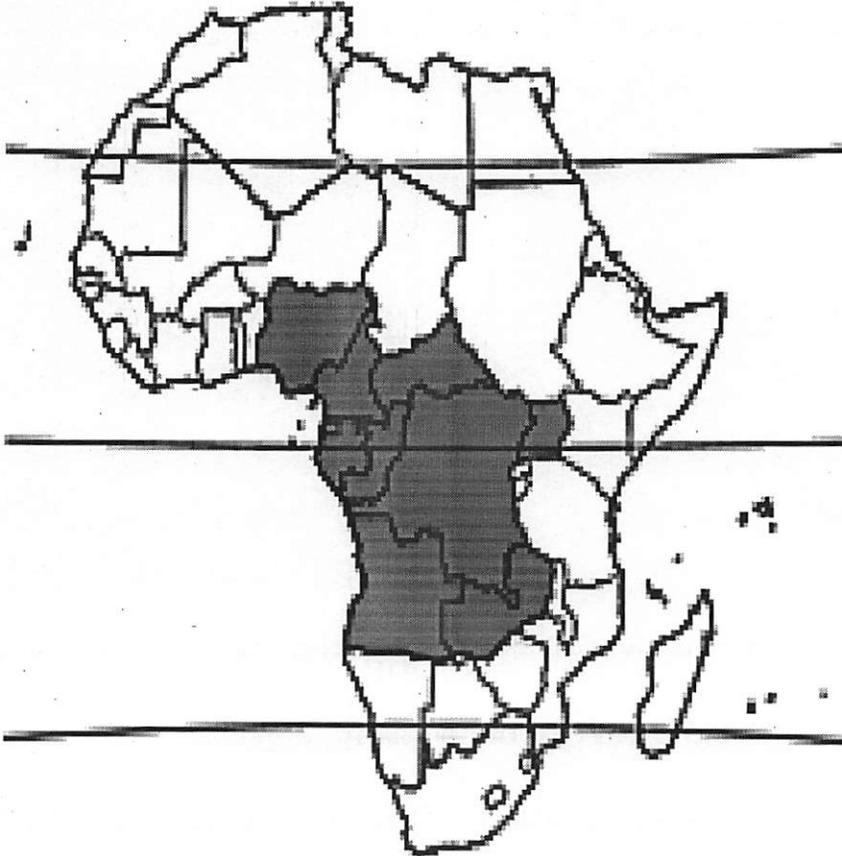


Figure 3. Aire de répartition d'*A. bipindensis* en Afrique. Sources des données: www.prota4u.info, consulté le 14/01/2016 à 12 heures)

1.3.3 Particularités botanique et anatomique

Le genre *Afzelia* comprend quelque 11 espèces, dont 7 sont présentes en Afrique tropicale et 4 en Asie du Sud-Est. Il est très proche d'*Intsia*. *Afzelia bipindensis* ressemble à *Afzelia bella* Harms, qui est généralement un arbuste ou un petit arbre d'Afrique centrale. Cependant, en Côte d'Ivoire et au Ghana (où *Afzelia bipindensis* n'est pas présent), *Afzelia bella* peut également atteindre de belles dimensions (www.prota4u.info, consulté le 14/01/2016 à 12 heures).

Aubier et bois différenciés. Bois parfait devenant brun rouge à la lumière. Bois dur et lourd ($d_{12} = 0,70$ à $0,90$) peu nerveux, retrait total très faible. Sèche sans se déformer ni se fendre mais lentement. Le bois résiste aux attaques des champignons, des insectes et même aux termites. Très bonne résistance à la compression de fil et à la flexion statique, moyennement élastique, cassant au choc, cohésion transversale moyenne. Travail assez facile. Rabotage parfois un peu délicat sur quartier ; les clous et vis s'enfoncent difficilement et ont tendance à fendre le bois. Finitions aisées (Sellenave, 1964, 1971).

Description anatomique du bois (codes IAWA pour les bois feuillus) : Cernes de croissance : 1 : limites de cernes distinctes. Vaisseaux : 5 : bois à pores disséminés ; 13 : perforations simples ; 22 : ponctuations intervasculaires en quinconce ; 23 : ponctuations alternes (en quinconce) de forme polygonale ; 25 : ponctuations intervasculaires fines ($4-7 \mu\text{m}$) ; 26 : ponctuations intervasculaires moyennes ($7-10 \mu\text{m}$) ; 29 : ponctuations ornées ; 30 : ponctuations radiovasculaires avec des aréoles distinctes ; semblables aux ponctuations intervasculaires en forme et en taille dans toute la cellule du rayon ; 42 : diamètre tangentiel moyen du lumen des vaisseaux $100-200 \mu\text{m}$; 43 : diamètre tangentiel moyen du lumen des vaisseaux $\geq 200 \mu\text{m}$; 46 : ≤ 5 vaisseaux par millimètre carré ; (47 : $5-20$ vaisseaux par millimètre carré) ; 58 : gomme ou autres dépôts dans les vaisseaux du bois de cœur. Trachéides et fibres : 61 : fibres avec des ponctuations simples ou finement (étroitement) aréolées ; 66 : présence de fibres non cloisonnées ; 69 : fibres à parois fines à épaisses. Parenchyme axial : 80 : parenchyme axial circumvasculaire étiré ; 81 : parenchyme axial en losange ; 82 : parenchyme axial aliforme ; 83 : parenchyme axial anastomosé ; 89 : parenchyme axial en bandes marginales ou semblant marginales ; (91 : deux cellules par file verticale) ; 92 : quatre ($3-4$) cellules par file verticale ; (93 : huit ($5-8$) cellules par file verticale). Rayons : 97 : rayons $1-3$ -sériés (larges de $1-3$ cellules) ; 104 : rayons composés uniquement de cellules couchées ; 115 : $4-12$ rayons par mm. Inclusions minérales : 136 : présence de cristaux prismatiques ; 142 : cristaux prismatiques dans les cellules cloisonnées du parenchyme axial (www.prota4u.info, consulté le 14/01/2016 à 12 heures).

1.3.4 Exploitation et commerce international

Le bois d'*Azelia bipindensis* est couramment vendu sous le nom de "Doussié rouge" sur le marché international des bois d'œuvre, bien qu'il soit souvent mélangé avec celui d'autres espèces, comme *Azelia pachyloba* Harms.

Suite à ses excellentes qualités de conservation, ses bonnes qualités physiques, notamment sa résistance mécanique, ses facilités relatives de travail et par ses belles dimensions, le « Doussié rouge » se place, parmi les meilleurs bois de construction lourde et durable. Son bois est utilisé dans la construction de charpente, des ponts, des escalades maritimes, des menuiseries extérieures, des traverses de chemin de fer, etc. C'est un remarquable bois de menuiserie intérieure. Il est particulièrement recommandé pour les escaliers et les parquets. Il devrait donner satisfaction en construction navale pour les pièces de charpentes et pour les aménagements intérieurs ou extérieurs. Il faut signaler aussi l'emploi de bois de Doussié rouge dans les constructions de cuves à produit chimique : c'est l'un des bois qui résiste le mieux aux acides (Sallenave, 1964, 1971).

1.4 Répartition spatiale et principaux facteurs déterminants

Nous inspirant des travaux de plusieurs auteurs (Hubbel, 1979; Ribbens *et al.* 1994 ; Collinet, 1997 ; Condit *et al.*, 2000 ; Goreaud, 2000 ; Harms *et al.*, 2001 ; Potts *et al.*, 2002 ; Hall *et al.*, 2004 ; Jesel, 2005 ; Bogaert et Mahamane, 2005 ; Boyemba, 2011), les considérations suivantes ont été faites :

(1) La répartition spatiale d'une espèce d'arbre au sein d'une forêt dépend de l'échelle d'observation à laquelle on se place. Pour notre étude, nous nous sommes placés à une échelle locale de l'ordre de plusieurs centaines d'hectares. La répartition spatiale d'*A. bipindensis* est localement agrégée, comme chez beaucoup d'espèces d'arbres structurantes des forêts tropicales.

(2) La lumière est considérée comme l'un des principaux facteurs d'agrégation des espèces d'arbres tropicaux. Pour des espèces ayant besoin de lumière pour germer et

ne pouvant pas croître sous intensités lumineuses (c'est le cas d'*A. bipindensis*), l'effet de taches de lumière peut entraîner une survie massive des individus. La lumière ne semble cependant pas être le seul facteur qui détermine le type de répartition.

(3) Le mode de dispersion des espèces, lorsqu'une espèce est agrégée, c'est-à-dire la probabilité est d'autant plus forte que la distance entre les individus est faible surtout la distance entre les individus reproducteurs. Une fois la graine arrivée dans un milieu, sa survie dépend de ses capacités de germination dans ce milieu. On qualifie généralement la germination d'épigée lorsque l'hypocotyle est développé, et d'hypogée dans le cas contraire. Pour cette espèce, Bokdam (1977) et Miquel (1987) complètent cette terminologie par la description des cotylédons : charnus ou foliacés, phanérocotyles (exposés) ou cryptocotyles (enfermés dans les téguments). *A. bipindensis*, appartient au groupe épigé, phanérocotyle et à cotylédons charnus, avec la particularité que l'hypocotyle est longue (± 2 cm). Dans la classification de NG (1978), on parlerait d'ailleurs de germination semi-hypogée. La figure 4, illustre les différents types de plantules définis par Hladik et Miquel (1990) : plantule phanérocotyle, épigée comme dans le cas de l'espèce *A. bipindensis* et à cotylédons foliacés (type 1), plantule phanérocotyle, épigée et à cotylédons charnus (type 2), plantule phanérocotyle et hypogée (type 3), plantule cryptocotyle et hypogée (type 4), plantule cryptocotyle et épigée (type 5).

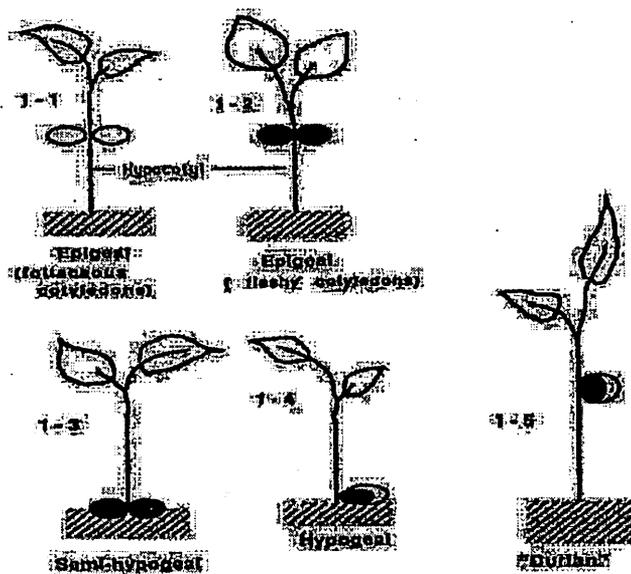


Figure 4. Classification morphologique des plantules selon Hladik et Miquel (1990).

(4) Les facteurs édaphiques et la topographie semblent également être impliqués dans le phénomène d'agrégation. En forêt tropicale, des études ont montré l'influence de facteurs liés au sol et/ou à la topographie sur la répartition spatiale des espèces à l'échelle du paysage (Baillie *et al.*, 1987; Swaine, 1996). Sollins (1998) a établi le bilan des principaux facteurs qui devraient avoir un effet direct sur la répartition spatiale. Cet auteur a incriminé les facteurs suivants :

- le phosphore assimilable, nutriment essentiel pour les plantes, souvent limitant en forêt et pouvant ainsi conditionner la répartition spatiale de certaines espèces d'arbres à l'échelle locale (Vitousek, 1984 ; Högberg, 1992 ; Hall *et al.*, 2004);
- la toxicité aluminique due au cation Al^{3+} , responsable de dysfonctionnement racinaire;
- la profondeur de la nappe phréatique indiquant la disponibilité en eau;
- la porosité du sol, responsable de la qualité du drainage et de l'aération du sol;
- la disponibilité en cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), en oligoéléments et en azote ;

- le pH du sol, presque toujours acide en forêt tropicale, a plutôt des effets indirects, au travers de la toxicité aluminique à laquelle, il est très fortement corrélé (Baize et Jabiol, 1995, 2000).

Dans la majorité des études portant sur l'analyse des effets des caractéristiques du sol sur la végétation, il apparaît clairement que la disponibilité en eau du sol joue un rôle important sur la répartition des espèces de forêts tropicales. Ce constat apparaît dans un grand nombre d'études réalisées sur la topographie, le drainage, l'engorgement (Collinet, 1997 ; Baraloto *et al.*, 2007) et la texture. Toutes ces caractéristiques sont reliées, en effet, à la dynamique de l'eau dans le sol, facteur majeur de l'organisation spatiale et de la diversité en forêt tropicale, au moins à l'échelle locale (Ashton et Brunig, 1975 ; Johnston, 1992 ; Nebel *et al.*, 2001).

La topographie en tant que telle n'a pas d'effet direct reconnu sur la répartition spatiale des espèces arbres. Elle agit au travers des caractéristiques du sol, auxquelles elle est souvent fortement corrélée (Chen *et al.*, 1997). Aussi, plusieurs auteurs ont montré que les teneurs en certains éléments chimiques du sol peuvent être corrélées à la topographie (pente et altitude) avec un effet significatif sur l'agrégation des espèces (Gartlan *et al.*, 1986 ; Clark *et al.*, 1998 ; Plotkin *et al.*, 2000 ; Webb et Peart, 2000 ; Plotkin *et al.*, 2002 ; Miyamoto *et al.*, 2003 ; Hall *et al.*, 2004 ; Jones *et al.*, 2006 ; Boyemba, 2011). Au delà, il existe un aspect très important concernant les liens entre la nature des espèces végétales et la composition chimique de cette dernière. Relation qui peut influencer la composition chimique des sols correspondants (Risasi *et al.*, 1998, 1999).

1.5 Intervention sylvicole pour *A. bipindensis*, un besoin très urgent

Il se pose manifestement un problème d'équilibre dans le cycle biologique d'*A. bipindensis*. Le constat d'une régénération naturelle très déficitaire se vérifie dans la région de Kisangani, en particulier et dans toute son aire de répartition, en général, car il y aurait peu d'arbres qui se fructifient et repartis dans un espace réduit, aussi la propagation par bourgeonnement/greffe serait envisageable (African Regional

Workshop, 1996). Ce déficit de régénération naturelle constitue un sérieux problème pour la gestion durable de l'espèce. La lumière est l'un des facteurs déterminant l'installation de cette espèce. Les observations faites par Louis et Fouarge (1943) lors de leurs parcours dans les forêts de Yangambi pour l'espèce *Pericopsis elata*. Ces auteurs ont attribués la faible survie de cette espèce aux conditions défavorables d'éclaircissement.

La recherche en foresterie tropicale date, de la fin du 19^{ème} siècle, avec l'action de premiers sylviculteurs dans les forêts de teck du Myanmar (Dupuy, 1998). Face à la complexité des peuplements naturels en forêt dense humide, plusieurs méthodes sylvicoles se sont développées en Afrique et portent l'accent, suivant les objectifs, soit sur les plantations, soit sur la régénération assistée. On distingue d'abord les méthodes qui visent à enrichir le peuplement initial par plantations d'espèces de valeur commerciale : sous le couvert (méthode de Martineau), en layons (méthode du Layon) ou en placeaux (méthode du Blanc-étoc) (Maudoux, 1958). Ces techniques furent appliquées principalement en Côte d'Ivoire et en République Démocratique du Congo (les plantations d'*A. bipindensis*, *Pericopsis elata* et autres espèces commerciales et non commerciales à Yangambi). D'autre part, on distingue des méthodes qui cherchent à stimuler la régénération naturelle des espèces commerciales : le *Tropical Shelterwood System* au Nigeria, l'Amélioration des Peuplements Naturels en Côte d'Ivoire et le *Selection System* au Ghana (Debroux, 1998). Toutes ces méthodes sylvicoles découlent de l'expérience des forestiers anglais dans les forêts à Diptérocarpacées du Sud-Est asiatique, riches en espèces commerciales héliophiles et en régénération naturelle pré-existante. Leur transposition vers les forêts africaines s'est avérée cependant compliquée, en raison de leur complexité, de leur coût excessif et de leurs résultats mitigés (Taylor, 1954 ; Barnard, 1955 ; Parren, 1991).

Plusieurs auteurs retracent l'évolution de la sylviculture tropicale (Bertault, 1986 ; Grieser Johns, 1997 ; Dupuy, 1998) et décrivent d'autres systèmes fondés sur la régénération naturelle. Les chercheurs de l'INEAC (Institut National d'Etudes

Agronomiques au Congo) se sont inspirés de ces méthodes pour favoriser la régénération en milieu contrôlé de *P. elata*, *A. bipindensis*,... à Yangambi. Leur expérimentation démontre l'impact très positif des éclaircies sur la régénération de *P. elata* et constitue une méthode à recommander pour toutes les espèces commerciales héliophiles qui afficheraient de déficit de régénération (i.e. *A. bipindensis*). Le système préconise des interventions sylvicoles dans les peuplements, parmi lesquelles figurent généralement l'inventaire et le suivi de la régénération, le délianage, l'éclaircie au profit des espèces commerciales (de manière systématique ou sélective). Les éclaircies favorisent non seulement la régénération des espèces, mais aussi la croissance des arbres préexistants. Pour ses expérimentations sylvicoles en Côte d'Ivoire, Maitre (1991) estime que les éclaircies peuvent entraîner une accélération de 50 à 100 % de la croissance en diamètre des tiges d'avenir des espèces commerciales.

A. bipindensis a fait l'objet de plantations forestières par l'INEAC (Institut National d'Etudes Agronomiques au Congo), actuel INERA (Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques) Centre de Recherche de Yangambi (CRY), dans le cadre des expérimentations qui datent des années 1937 – 1942 ; et qui avaient consisté à la comparaison de plusieurs méthodes, notamment :

- la méthode du layon, basée sur des tracés de couloirs rectilignes d'environ 2 m de large dans la forêt existante au sein desquels les arbres étaient plantés ;
- la méthode Martineau, impliquant la coupe de sous-bois constitué de tiges jusqu'à 10 cm de diamètre et à détruire chaque année le couvert principal autour des plants d'*A. bipindensis* repiqués, et cela, jusqu'à la dixième année;
- la méthode de la coupe à blanc-étoc, basée sur l'élimination de la forêt initiale avant de repiquer les plants d'*A. bipindensis*.

Deuxième chapitre :

Milieu, matériel et approche méthodologique

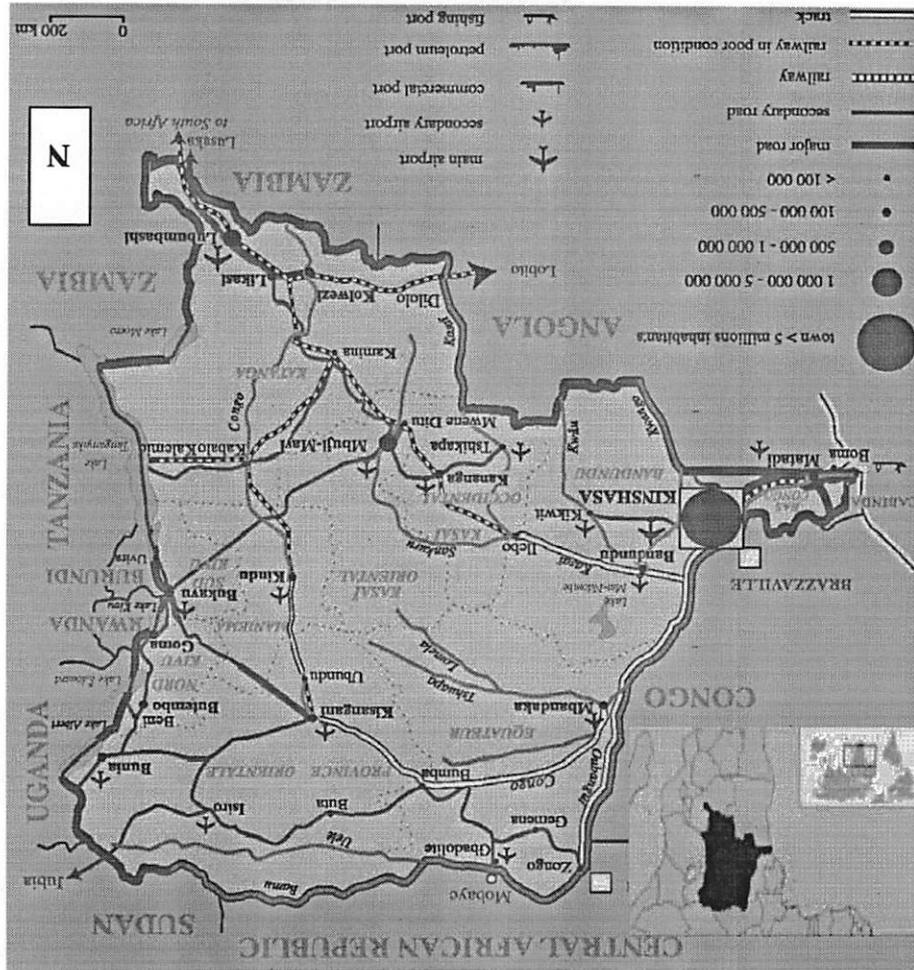
2.1 Milieu d'étude

2.1.1 Situation géographique

La zone d'étude est située dans la région de Kisangani, Province de la Tshopo en RD Congo (Figure 5). Localisée en Afrique centrale, la RD Congo (ex Zaïre) est un vaste pays, situé à cheval sur l'Equateur entre les latitudes de 5° 10' N et 13° 00' S et les longitudes de 11° 30' et 31° 00' E (Geodata, 1994 ; Kombele, 2004). Sa superficie d'environ 2 329 374 km² (De Wasseige *et al.*, 2009) la place présentement en deuxième position en Afrique après l'Algérie (2 380 000 km²), le Soudan étant divisé perd sa deuxième place. Elle est limitée au nord, par la République Centrafricaine et le Soudan, à l'est, par l'Ouganda, le Rwanda, le Burundi et la Tanzanie, au sud, par la Zambie et l'Angola, à l'ouest, par le Congo-Brazzaville et l'enclave angolaise de Cabinda.

Figure 5. République Démocratique du Congo et ses voisins (AFDB/OECD, 2008).

Les travaux ont été menés dans deux sites différents : le site de Yangambi situé entre 00° 46' et 00° 47' N, 24°29' et 25°22' E à 100 km à l'Ouest de la ville de Kisangani dans le Territoire d'Isangi et le site de Yoko situé entre 00° 15' et 00° 20' N, 25° 14' et 25° 20' E à 32 km au Sud-est de la ville de Kisangani dans le Territoire d'Ubandu (Figure 6).



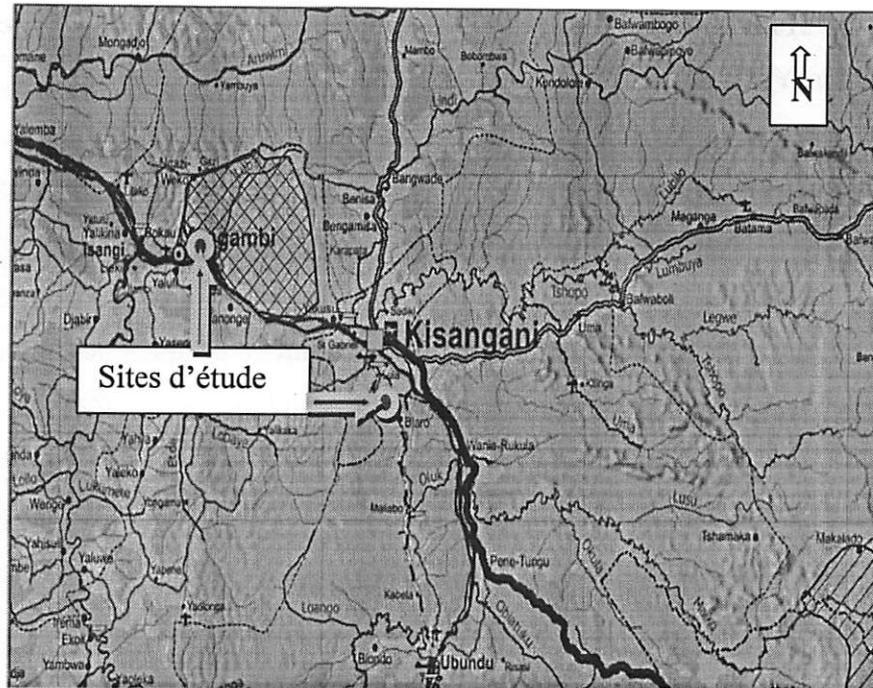


Figure 6. Localisation des sites d'étude par rapport à la ville de Kisangani (<http://www.enge.ucl.ac.be/cartes-DRC>).

2.1.2 Cadre physique

2.1.2.1 Contexte climatique

La RD Congo comprend plusieurs zones climatiques différentes. Contrairement à ce qui se passe dans les régions éloignées de l'Equateur où les variations de température moyenne distinguent les saisons, c'est avant tout la pluviométrie qui crée la différenciation saisonnière dans la plus grande partie du territoire national (Kombele, 2004 ; Ngongo *et al.*, 2009).

Situé dans la zone équatoriale, notre milieu d'étude bénéficie d'un climat équatorial : la température moyenne mensuelle varie entre 22,4 et 29,3 °C, avec une moyenne annuelle proche de 25 °C. Comme c'est le cas dans toute la zone de la cuvette forestière centrale, les précipitations annuelles varient entre 1500 et 2000 mm, avec une moyenne de 1750 mm (Vandenput, 1981).

D'après le système de classification de Köppen (1936), les deux sites d'étude, Yangambi et Yoko, se retrouvent dans une même zone climatique de type Af (pas de mois sec - mois où le double de la température est supérieur ou égal aux précipitations). D'après le régime moyen, les pluies semblent assez bien réparties sur toute l'année. Une lame d'eau annuelle de 1658,5 mm se distribue mensuellement entre 60,5 mm en Février et 210 mm en Octobre. Pendant nos travaux de terrain entre avril et octobre 2011, nous avons relevé les données de quelques paramètres du climat à la Section d'Agroclimatologie de l'INERA au km 5 entre 2000 – 2010 et de la station de l'aéroport à Kisangani entre 1987 – 1996 (pas de données récentes disponibles) pour la réserve forestière de la Yoko. La figure 7, présente les diagrammes ombrothermiques de la région établie à partir des mesures des différentes stations.

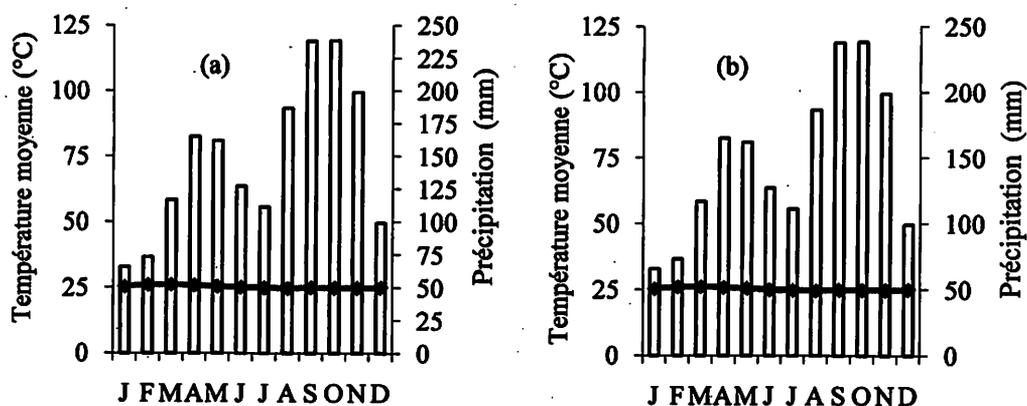


Figure 7. Diagrammes ombrothermiques pour la région de Kisangani : (7a) ville de Kisangani (site de Yoko), moyennes mensuelles des années 1987 – 1996 (pas de données récentes disponibles) ; (7b) centre de Yangambi, moyennes mensuelles des années 1990 – 2010.

Ces diagrammes ombrothermiques présentent des caractéristiques communes, notamment une forme générale en « dos de chameau », confirmant l'existence de 4 saisons : DJF (grande saison sèche) ; MAM (Petite saison des pluies) ; JJA (Petite saison sèche) et SON (Grande saison des pluies).

2.1.2.2 Contexte édaphique

a. Principaux traits géologique et géomorphologique

La RD Congo appartient aux grands ensembles tabulaires de l'Afrique centrale et son histoire géologique très ancienne fort tourmentée et complexe au Précambrien explique sa richesse minière. Selon Cahen (1954), la RD Congo comprend deux régions d'étendues très inégales. La première, de moins de 100 km de large, longe la côte atlantique où affleurent des couches mésozoïques et cénozoïques d'origine marine. La deuxième, comprend tout le reste du territoire. Dans cette deuxième région, les terrains se répartissent naturellement en deux grands ensembles : d'une part, les terrains de soubassement, plissés, métamorphiques et principalement d'âge précambrien; d'autre part, les terrains de couverture subhorizontaux, principalement d'origine continentale et d'âge allant du Paléozoïque récent au Pléistocène.

Les terrains du soubassement sont antérieurs au Carbonifère moyen et comprennent quatre grands ensembles dénommés groupes : Katanga, Kibara-Urundi, Kibali et Ruzizi. Les groupes inférieurs (Kibara-Urundi, Kibali et Ruzizi) sont plissés et très métamorphisés; le groupe du Katanga, plus récent, se présente en général sous une structure tabulaire et n'est pas métamorphique. Au Katanga cependant, et dans une moindre mesure au Bas-Congo et dans l'Ituri, le groupe du Katanga est plissé et localement métamorphique : au point de vue tectonique, il constitue une transition entre le soubassement et les terrains de couverture.

Les terrains de couverture occupent surtout la cuvette centrale et les régions du raccord entre elle et le bourrelet périphérique, seuls des lambeaux en subsistent dans ce dernier. Ils comprennent l'ensemble des couches depuis le Carbonifère supérieur, car, selon Cahen (1954), on y distingue le Paléozoïque (Carbonifère supérieur et Permien), le Mésozoïque (Jurassique supérieur, Crétacé inférieur et Crétacé supérieur), le Cénozoïque (Paléogène, Néogène et Pléistocène). Les terrains de couverture sont affectés de gauchissements et de failles; ils sont presque entièrement

continentaux et modérément fossilifères. Mais là où ils affleurent, ils déterminent des plateaux.

Depuis le début du Cénozoïque au moins, le bourrelet rocheux périphérique a marqué une tendance constante au soulèvement alors que la région littorale et celle de la cuvette centrale témoignent d'une tendance relative à l'affaissement. Ces déformations sont à la fois à l'origine du relief du bassin du Congo et de la répartition actuelle des terrains de couverture et du soubassement. Les terrains de couverture ont dû, au Paléozoïque et au Mésozoïque, recouvrir presque tout le pays, les soulèvements répétés accompagnés et suivis d'érosion les ont presque entièrement éliminés du bourrelet rocheux périphérique (où affleurent les terrains du soubassement) et rassemblés dans la cuvette centrale où, selon De Heinzelin (1952) et Pain (1978), l'altitude moyenne est de 500 m.

A partir de Kisangani où se situe la zone d'étude et vers le nord-ouest, l'altitude moyenne du fleuve Congo étant d'environ 400 m, la topographie peu accidentée se maintient entre 50-100 m au-dessus du fleuve: c'est le plateau d'Oubangui; vers le nord-est, elle s'élève progressivement pour atteindre 800 m au-dessus du fleuve au niveau du Parc National de la Garamba : c'est le territoire des collines d'Uélé (Pain, 1978). A partir de Kisangani et en allant droit vers l'est, on atteint le rebord oriental de la RD. Congo au niveau du Parc national de Virunga où la topographie atteint 2 000 m au-dessus du niveau moyen du fleuve: c'est le Rift africain large de 40 km et long de 1 400 km, s'allongeant de là vers le sud et logeant les lacs orientaux de la RD Congo : Albert (ex Mobutu), Idi Amin, Kivu, Tanganyika et Moero.

Au nord du parc et entre les lacs Albert et Idi Amin, s'élèvent les monts Bleus où culmine le Ruwenzori avec le Pic Marguerite à 5 119 m de hauteur. Vers le sud et à partir du lac Idi Amin, s'élèvent d'abord les monts Virunga où culmine plus d'une centaine de volcans à plus de 3 000 m de hauteur (dont Muhavura, Karisimbi, Visoke, Sabinio, Mikenno, Nyamulagira et Nyirangongo), ensuite les monts Mitumba allant jusque dans la province du Katanga (Pain, 1978). Vers le sud et à partir de

Kisangani, s'étendent deux plateaux : le Kasai vers le sud-est et le Kwango vers le sud-ouest.

b. Principaux types de sols

En RD Congo, il existe deux principaux types de sols : les sols récents (ou Fluvisols) et les sols ferrallitiques ou Ferralsols dans la classification de l'INEAC et/ou WRB (Figure 8).

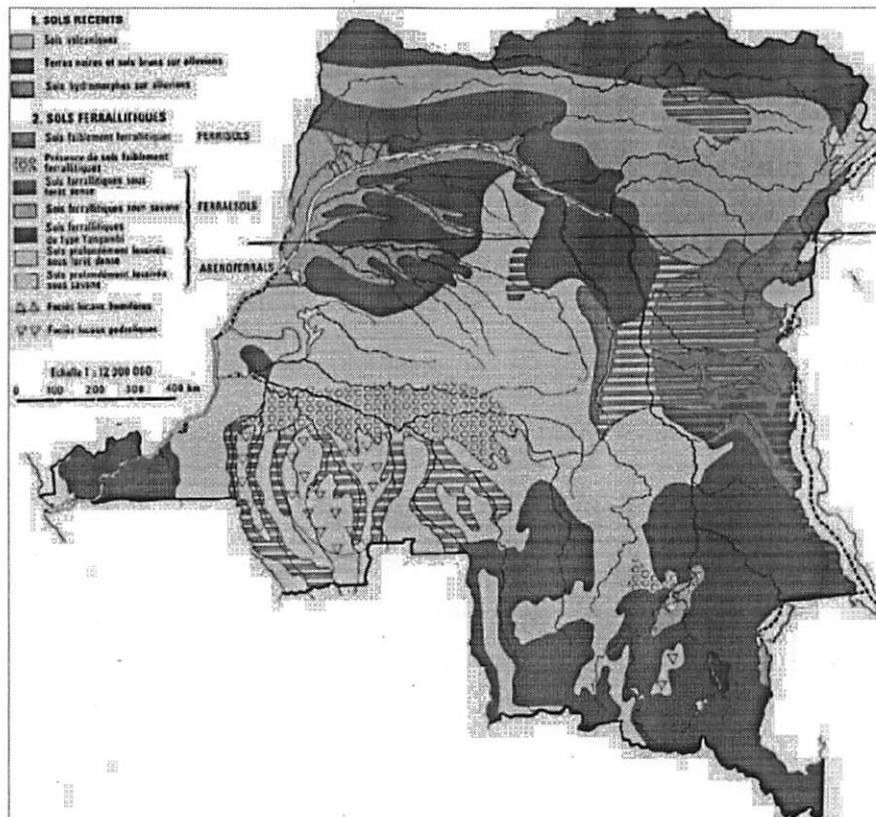


Figure 8. Les sols récents et ferrallitiques de la RD Congo (Fahem, 1978).

b₁. Sols récents ou Fluvisols

Les sols récents ou faiblement évolués couvrent de faibles superficies et apparaissent mal sur les cartes pédologiques à petite échelle de la RD Congo. Ce sont pourtant, selon Fahem (1978) et Kombele (2004), les sols les plus fertiles. Il s'agit principalement des sols hydromorphes (occupant la partie basse et mal drainée de la

cuvette centrale correspondant aux vallées du fleuve Congo et de cours inférieurs de ses principaux affluents : Lindi, Lomami, Aruwimi, Itimbiri, Mongala, Lulonga, Ikelemba, Ruki, Oubangui, Giri, Moeko), des sols volcaniques au pied de monts Virunga, des terres noires sur alluvions bien drainées et riches en matières organiques dans le nord et le sud du lac Idi Amin, des sols hydromorphes sur les rives des lacs, etc.

b₂. Sols ferrallitiques ou Ferralsols

Le processus pédogénétique de mise en place des sols ferrallitiques ou ferralsols s'appelle "ferrallitisation" et les sols zonaux qui en dérivent, selon Calembert (1995), sont des sols ferrallitiques dans la classification française. En effet, le climat chaud et pluvieux des tropiques humides possède un grand pouvoir d'altération vis-à-vis des diverses roches - mères géologiques (groupes du soubassement) au point de les réduire en une nouvelle roche - mère pédologique appelée altérite qui ne possède plus que trois principaux éléments constitutifs : la kaolonite, les sesquioxydes (de Fe et d'Al) et le quartz.

Au contact des eaux de pluies tropicales, chaudes et abondantes, les silicates complexes de la roche - mère géologique (acide : gneiss, granites, schistes; basique : basaltes, gabbros, etc.) subissent une hydrolyse totale, libérant la silice (SiO_2) à l'état colloïdal et les sesquioxydes de fer ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) et d'aluminium ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Les cations Ca, Mg, K et Na (des minéraux d'origine tels que feldspaths, micas, etc.) et une partie de la silice colloïdale sont entraînés par les eaux d'infiltration. Le profil s'acidifie, s'enrichit par différence en hydroxydes de fer et d'aluminium (goethite et gibbsite) et la silice restante se recombine avec l'aluminium pour donner la kaolonite, une argile de néoformation du type 1:1, à faible CEC. Calembert (1995) donne une classification des sols zonaux et azonaux tropicaux (quelques classes et sous-classes de la classification française de 1964-1967 (Boulaine, 1967), groupes et sous-groupes de la classification de la FAO et ordres et sous-ordres de la classification américaine publiée en 1989 par FAO, UNESCO et ISRIC, en 1998 par ISSS, ISRIC et FAO₂).

En RD Congo, les sols ferrallitiques typiques moyennement et fortement déssaturés, appauvris, remaniés ou non avec apports éoliens (Boulaine, 1967) couvrent en général les plateaux. Ils sont caractérisés par une faible teneur en bases échangeables, inférieure à 3 méq/100 g de sol sec, un faible taux de saturation en bases ($V < 40\%$), un pH acide ($\text{pH} < 6$), une couleur dominante rouge ou jaune. Dans le nord et l'extrême nord-est de la RD Congo, ils couvrent les plateaux d'Oubangui et d'Uélé et y alternent avec des zones de sols bisiallitiques, d'andosols ou de sols ferrugineux tropicaux (Ségalen, 1994, 1995 ; Van Wambeke, 1995 ; Duchauffour, 2001). Dans l'est où la dénivellation relativement prononcée sépare la cuvette centrale des rifts, ils couvrent les plateaux et s'étendent jusqu'à leurs extrêmes limites orientales, laissant la place dans les plaines environnantes aux sols ferrugineux tropicaux, aux vertisols et aux sols hydromorphes. Dans le sud, ils couvrent tous les plateaux jusque dans la haute vallée du Zambèze située à 1000 m d'altitude (Ségalen, 1994, 1995). Dans l'ouest et chaque fois que les roches s'y prêtent, les sols ferrallitiques jaunes ou rouges s'étendent jusqu'aux rivages.

Les sols ferrallitiques faiblement déssaturés, rajeunis ou peu évolués, avec apports éoliens, couvrent les hauts de versants, les versants et les paliers de faible pente à développement retardé ou rajeuni par l'érosion des matériaux continentaux tertiaires (Fahem, 1978). Ils sont caractérisés par une teneur en bases échangeables légèrement supérieure à celle des autres sols ferrallitiques, comprise entre 2-8 méq/100 g de sol sec, un degré de saturation en bases échangeables entre 40-70 % voire parfois 80 %, un pH entre 5,5 et 6,5. Ils contiennent une petite proportion de minéraux altérables et leur horizon B présente des cutanes argileux (Calembert, 1995).

c. Description de sols des sites d'étude (Yoko et Yangambi)

Nos deux parcelles d'étude se situent à Yoko et Yangambi. Selon Kombele (2004), le sol de Yoko se situe dans la catégorie des sols ferrallitiques des plateaux du type Yangambi. Ces sols sont caractérisés par une faible teneur en bases échangeables inférieures à 3 méq /100 g de sol sec, un faible taux de saturation en bases ($V < 40\%$), un pH acide (< 6) et une couleur rouge jaunâtre. Tandis que les sols de la série

Yakonde (Y₂) sont des sols de haut de versant, développés sur des sédiments nivéo-éoliens fort altérés et remaniés par colluvionnement, de texture sabloargileuse du système INEAC (20-30 % d'éléments fins), ocre jaune (7,5YR 6/4). Ces sols présentent en général une structure pulvérulente en surface, finement granuleuse ensuite, franchement granuleuse en profondeur. La couche humifère est plus développée et l'infiltration des matières humiques est plus profonde. La pente varie entre 3 et 7 %. Les termitières sont bien présentes mais moins développées que sur la série Yangambi (Kombele *et al.*, 1987 ; Kombele *et al.*, 1992).

2.1.3 Formations végétales et faune

2.1.3.1 Formations végétales

Notre zone d'étude a pour cadre la réserve de Yoko et la réserve de biosphère de Yangambi en pleine forêt dense humide de plaine qui s'étend sur la rive gauche et droite du fleuve Congo. La figure 9, représente la carte de végétation de l'Afrique établie par White (1983) et indique la zone d'étude qui se situe dans la région guinéo-congolaise. La figure 10, permet de localiser le massif de la réserve forestière de la Yoko et la réserve de biosphère de Yangambi, sur une carte de végétation du Bassin du Congo (Vande Weghe, 2004). Le massif de la zone d'étude se situe dans la partie nord-est de la forêt dense humide d'Afrique Centrale. Nous décrivons ici les deux principaux types de formations végétales qui couvrent la région d'étude.

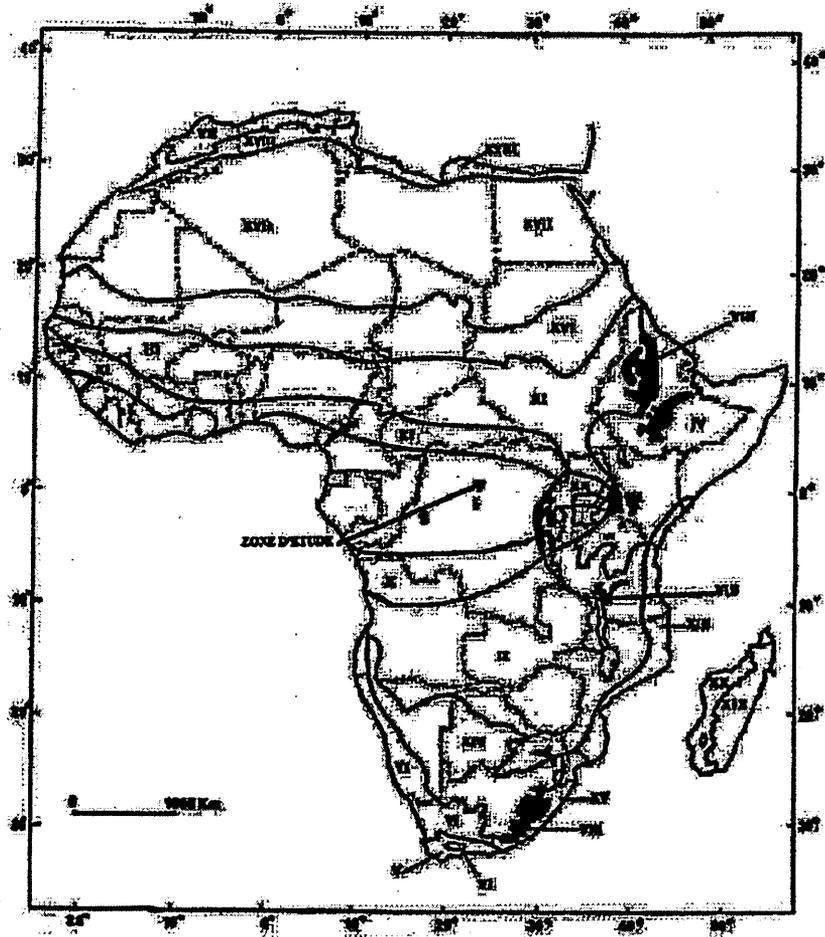


Figure 9. Carte de végétation de l'Afrique (White, 1983). Cette carte délimite les principales phytochories de l'Afrique et Madagascar. Les deux sites d'étude se situent dans la région guinéo-congolaise (I).

La forêt dense semi-décidue est une forêt mixte ou hétérogène, dont la strate supérieure est constituée d'un mélange d'espèces. Elle occupe la majorité de la cuvette centrale (32 % de la superficie de la RD Congo). La strate supérieure, irrégulièrement distribuée en diamètres, peut contenir une proportion variable d'espèces décidues, jusqu'à 70 % (Vancutsem *et al.*, 2006) (Figure 11). Sa composition floristique est fort variable, *Scorodophloeus zenkeri* Harms toutefois, est présente presque partout. De fortes dominances locales se présentent, les plus importantes étant : *Scorodophloeus zenkeri* Harms, *Cynometra hankei* Harms, *Cynometra alexandrii* C.H. Wright. D'autres espèces, notamment les espèces exploitées, sont plus abondantes par endroits, par exemple *Prioria balsamifera* (Vermoesen) Breteler, *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen, plusieurs espèces de Méliacées, etc. Le sous-bois est dominé principalement par *Scaphopetalum thonneri* De Wild. & Th. Dur. (Van Wambeke et Evrard, 1954 ; Evrard, 1968).

b. Forêts sur sols hydromorphes

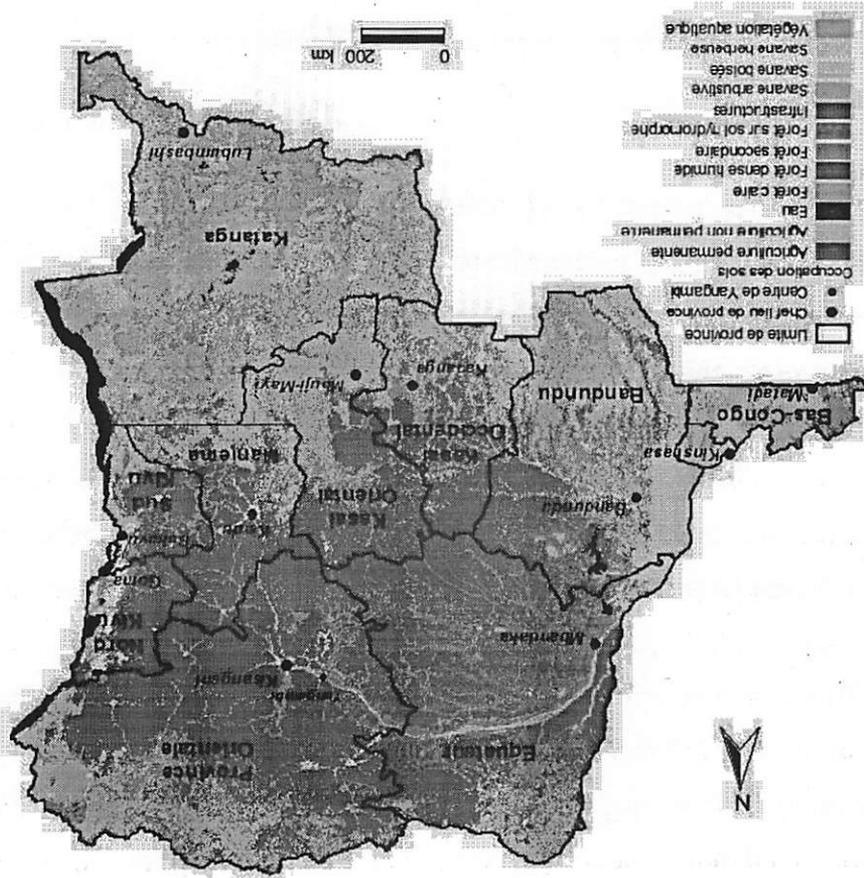
Les forêts denses sur sols hydromorphes, situées principalement le long du réseau hydrographique, résultent de la présence de sols mal drainés et/ou de fréquentes inondations (Lebrun, 1936 ; Léonard, 1953). Elles possèdent une flore endémique diversifiée, quoique assez pauvre (*Guibourtia demeusei* (Harms) J. Léonard, *Mitragyna spp.*, *Raphia spp.*, *Uapaca spp.*) (Evrard, 1968) et peuvent, dans les meilleures conditions, atteindre jusqu'à 45 m de hauteur.

La zone d'étude abrite encore les espèces les plus remarquables de la faune forestière : chimpanzé (*Pan troglodytes*), singe (*Cercopithecus*), etc. Néanmoins, on note l'absence de l'éléphant (*Loxodonta africana*), le gorille de plaine (*Gorilla*

(Kambale, 2007).
L'aire d'extension de la forêt dense dans la zone d'étude (réserve de biosphère de Yangambi et réserve de la Yoko) a sévèrement régressé au cours des dernières décennies sous l'effet d'une pression démographique et foncière et d'un morcellement des massifs qui progressent vers le nord surtout à Yangambi

2.1.3.2 Faune

Figure 11. La RD Congo : carte d'occupation des sols. La légende présente les principales formations végétales (Vancutsem *et al.*, 2006 telle que modifiée par Boyemba, 2011).



gorilla), le buffle (*Syncerus caffer*), suite à la consommation et aux activités anthropiques. Dans nos dispositifs, nous avons remarqué la présence de rat de Gambi (*Cricetomys emini*) prédateurs de graines d'*A. bipindensis* (Figure 12).

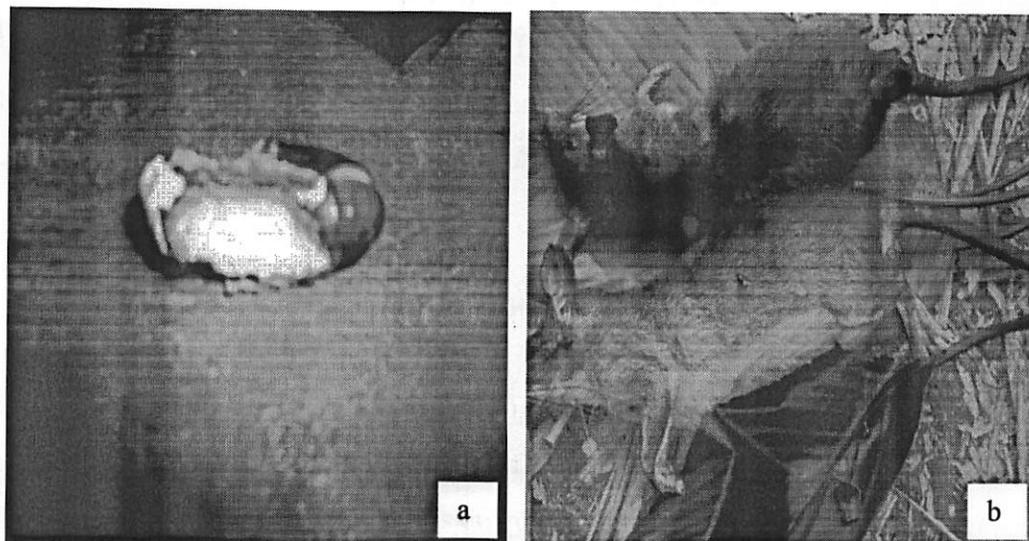


Figure 12. (12a) Graine rongée, (12b) Présentation de prédateurs de graine d'*A. bipindensis* dans le dispositif permanent de Yangambi (Source : Solia/2010).

2.1.4 Actions anthropiques

Les interventions humaines sur le couvert végétal sont multiples. Elles se traduisent par sa transformation, d'où une réduction de la biomasse et de la composition floristique. Elles s'opèrent principalement par la culture, l'élevage, l'exploitation forestière et le feu de brousse. C'est dans les zones les plus peuplées que le couvert végétal subit le plus de dégâts (Iyongo, 2007 ; Koffi, 2008).

La RD Congo renferme une hétérogénéité de population autochtone et allochtone, et elle ne vit que de l'agriculture itinérante, de la chasse et de la cueillette, comme dans la plupart des forêts africaines (Bahuchet et Joiris, 1993). Ces deux activités ont mené à sédentariser et concentrer les populations dans les villages le long des axes routiers pour des raisons liées à l'évacuation des produits et à la monétarisation. D'une façon générale, la région de Kisangani où se situe les deux sites d'études, renferme une population d'environ 2 163 000 habitants soit 30 % de la population totale de la Province Orientale démembrée (INS, 2009). Notons que plus de 80 % de

cette population sont tributaires des forêts (Boyemba, 2011). Les populations effectuent une chasse dite « traditionnelle », au piège ou au fusil, dans un but alimentaire ou commercial. Cette chasse vise toutes les espèces comestibles mais en particulier le Mamalia. La chasse excède le taux de renouvellement des espèces animales et conduit à leur épuisement (Dethier, 1995 ; Delvingt, 1996). A part ces deux activités, la présence d'exploitations forestières traditionnelles commanditées de l'extérieur aggrave encore l'impact sur les ressources surtout dans la périphérie de la zone d'étude.

2.2 Aperçu sur les matériels et méthodes

2.2.1 Présentation des dispositifs de mesure

Nous présentons succinctement la méthodologie générale, les méthodes propres à chaque opération étant exposées en détail dans les études concernées. Deux dispositifs permanents d'observation ont servi de support à notre étude : la parcelle du site de Yangambi (120 ha) installée dans une jachère arbustive et la parcelle du site de Yoko (50 ha) installée dans une forêt dense (Figure 13). La délimitation de chaque parcelle et la localisation des arbres ont été faites selon la méthode développée par Picard et Gourlet-Fleury (2008). La parcelle a été délimitée par des layons rectilignes, espacés de 100 m, orientés vers le Nord (y), et par de petites percées orientées vers l'Est (x). Ceci a permis de mettre en place des carrés de 1 ha.

Dans cette étude d'inventaire, nous avons rencontré quelques obstacles inhérents aux espèces ligneuses, et surtout accentués chez *A. bipindensis* : la croissance, la longévité des individus et la rareté de cette espèce, qui nous a obligés d'utiliser des parcelles très grandes pour disposer d'un nombre suffisant d'individus. C'est en fonction de nos objectifs et de ces contraintes que nous avons conçu les dispositifs et programmé les travaux. Les transects et les quadrats sont deux méthodes capables de mettre en évidence des phénomènes différents de la dynamique forestière. Les premières sont recommandées et utilisées notamment par White (1992), Fickinger (1992), Lejoly (1993), Van Rompaey (1993) et Condit (1995) et les autres par Maître

(1986). Sans entrer dans les considérations théoriques, on conçoit aisément que le transect met en évidence l'hétérogénéité, plus précisément le gradient des milieux traversés, alors que le quadrat permet de souder plus intensément une surface supposée homogène au départ, pour obtenir une masse critique d'informations que ne fournit pas le transect.

Entre septembre 2009 - 2011, nous avons effectué huit missions sur le terrain (24 mois au total), pour y réaliser travaux divers. L'ensemble de pieds d'*A. bipindensis* constitue donc une population-échantillon. Dans nos dispositifs (Figure 13), nous avons effectué l'inventaire et la cartographie de ces populations-échantillons. Nous avons mesuré ensuite la croissance des individus. Il en est résulté que la période de mesure varie entre 1,0 et 2,0 ans et on recommande donc également un suivi bisannuel pour le recrutement et la mortalité (Sheil, 1995b ; Sheil *et al.*, 1995 ; Sheil et May, 1996 ; Kubo *et al.*, 2000 ; Lewis *et al.*, 2004c ; Picard et Gourlet, 2008). La croissance se mesure pour les individus dont le diamètre initial est supérieur ou égal à 10 cm (les tiges d'avenir et les arbres adultes) et elle se mesure en hauteur et en diamètre. Ces mesures étaient effectuées à l'intervalle de 6 mois, en septembre et mars de chaque année. Dans notre site de Yangambi qui est sous la jachère arbustive suite à une action anthropique, la plupart de pieds d'*A. bipindensis* étaient en souche. Pour mieux comprendre la dynamique forestière (Picard et Gourlet, 2008) ; une technique de balivage est mise en place, dont le but final est de produire les sujets qui seront capables de donner un bois de qualité. Cette technique stipule qu'à chaque souche (composée de plusieurs tiges), on choisit une seule tige de bonne qualité et faciliter sa croissance et les autres tiges sont élaguées ou coupées (afin de faciliter la croissance de la tige dans le but de produire le bois de qualité et exploitable).

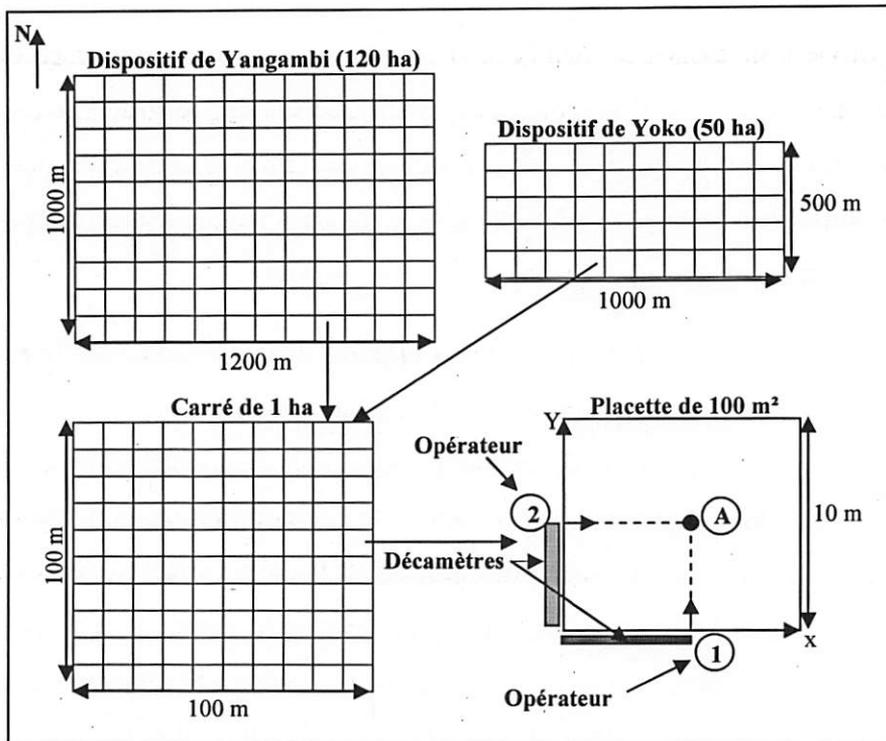


Figure 13. Présentation des dispositifs permanents dans les sites de Yangambi et Yoko.
Légende : A : *A. bipindensis*.

La présente étude a été réalisée en quatre étapes. Tout a commencé par la germination des graines et croissance des plantules d'*Azelia bipindensis* Harms dans la réserve de biosphère de Yangambi qui s'est fait hors dispositif, ensuite une étude de la répartition spatiale de cette espèce dans la réserve de la Biosphère de Yangambi, RD Congo, une étude de la diversité floristiques du peuplement ligneux sous l'espèce *Azelia bipindensis* dans la RFY et RBY, RD Congo et enfin, l'influence des propriétés physico-chimiques du sol sous *Azelia bipindensis* Harms dans la RFY et RBY, RD Congo.

1. Pour mieux comprendre des aspects importants de l'écologie reproductive de cette espèce, il est nécessaire d'effectuer des observations ponctuelles, par exemple sur la germination des graines. Nous avons effectué ces observations à l'extérieur du dispositif permanent, car elles ne doivent pas nécessairement se rapporter à une surface de référence ou se répéter à intervalle régulier. Par contre, elles sont liées à un événement ponctuel tel que la fructification de septembre – novembre 2009. Dans

le même ordre d'idées que Maître (1986) et Debroux (1998), nous avons choisis de mesurer principalement des paramètres simples tels que le taux de germination, la croissance en hauteur, la croissance en diamètre sur deux types de substrat (terreau forestier et ordure ménagère) à la disposition des populations riveraines, afin d'établir un modèle qui soit en relation avec les paramètres de l'aménagement forestier (nombre d'individus, production de semis) et de produire un modèle opérationnel sur le plan pratique, car nous optons pour une démarche de recherche appliquée dans les tropiques humides.

2. Pour mener à bien l'analyse de la répartition spatiale de cette espèce dans les quarante quadrats de 50 m x 50 m (0,25 ha) soit un total de 10 ha, nous avons procédé à l'inventaire en plein des espèces du genre *Azelia* dans les 120 ha de site de Yangambi. Les données collectées lors de l'inventaire, pour chaque arbre de plus de 10 cm de diamètre à 1,30 m (dhp), ont été repérées et positionnées géographiquement par une abscisse x et une ordonnée y. La méthode de la distance au plus proche voisin, mise au point par Clark et Evans (1954) a été appliquée pour caractériser la distribution spatiale observée de cette espèce.

3. Nous avons ensuite effectué l'inventaire des espèces à dhp \geq 10 cm à 1,30 m autour et en dehors d'*A. bipindensis* (parcelles centrée Doussié et aléatoire) afin d'en déterminer les espèces compagnes. Ainsi, quarante quadrats de 40 m x 40 m (0,16 ha) soit un total de 6,4 ha ont été mis en place respectivement à Yangambi et Yoko pour une étude floristique.

4. Enfin de comprendre les paramètres édaphique et topographique qui sont à la base de cette répartition (sols et topographie); une étude sur l'influence de propriétés physico-chimiques du sol en suivant la topographie (plateau et versant) sous *A. bipindensis* (la fertilité potentielle) a été mise en place sur la zone d'étude. Il permet de comparer les conditions édaphiques du milieu suivant la concentration d'*A. bipindensis* et autres profils témoins (c.à.d. sans la présence d'*A. bipindensis*), sous une forêt dense à Yoko et une jachère arbustive à Yangambi.

2.2.2 Mesures des arbres

Sur le plan pratique, nous avons effectué la plupart de travaux en équipe de cinq personnes. Monsieur Sindani, identificateur forestier de l'ISEA/Bengamisa engagé dans le projet REAFOR et Monsieur Bondele, technicien forestier de l'INERA/Yangambi nous ont aidés dans les identifications. Deux guides à Yoko ont été d'indispensables collaborateurs de terrain. Ils ont appris quelques techniques simples : orientation, mesures, prises de notes, etc. La circonférence des arbres a été mesurée à 1,30 m du sol en général ou, le cas échéant, au dessus des contreforts ou d'un gros défaut, à l'aide d'un ruban métrique. La hauteur de mesure est matérialisée sur l'arbre par un trait de peinture.

Nous avons réalisé quatre campagnes de mesure des arbres d'*A. bipindensis*, à intervalle de deux ans (2009 – 2011). A la deuxième campagne de mesure, nous avons rencontré un problème de précision de mesure, relevé déjà par Rondeux (1993) et Favrichon (1995), notamment celui de trait de peinture, parfois effacé, parfois plus large que le ruban. Ce qui a conduit à un risque de mauvais positionnement de ce dernier et à une nécessité de prendre le temps nécessaire pour bien le placer. Tous les nouveaux individus qui ont atteint 10 cm de dhp ont été inventoriés lors de la deuxième campagne d'inventaire. Ce sont les «recrutés» et leur effectif constitue le «recrutement». Il est déterminé pour chaque année (recrutement annuel). Pour les individus morts, le type de mortalité apparent a été noté, la mort d'un arbre pouvant appartenir à trois catégories : mort sur pied, chablis primaire, et chablis secondaire (arbre dont la chute a été causée par celle d'un chablis primaire).

Notons que tous les individus trouvés morts dans le cadre de cette étude sont des morts sur pied. La détection des individus morts n'est pas du tout aisée, elle exige une observation fine de chaque individu et notamment de son houppier et de son tronc. Certains individus morts peuvent échapper à la vigilance des opérateurs de terrain ou, inversement, un individu noté mort peut finalement ne pas l'être.

2.2.3 Identifications botaniques

Les inventaires des arbres nécessitent une analyse botanique fine, tant sur le terrain que dans les laboratoires pour identifier le plus correctement possible les arbres rencontrés dans les parcelles d'étude. En effet, les arbres mesurés ont été déterminés, pour la plupart, sur le terrain avec des récoltes systématiques de feuilles, de fleurs et/ou de fruits lorsque cela était possible. Un herbier a donc été confectionné surtout pour les spécimens difficiles à être identifiés sur le terrain. Les Flores (Volume I à V) de Lebrun et Stork (2008), les critères décrits par Letouzey (1982) et les caractéristiques d'architecture générale (Hallé, 2004), ont été utilisés pour la détermination. Pour notre cas, nos amis botanistes de l'Université d'Anvers (Belgique) et de l'INERA/Yangambi à Yangambi nous ont aidé pour la correction des noms scientifiques des espèces ainsi que leurs familles respectives.

2.2.4 Analyses statistiques

Nous avons utilisé différents logiciels pour réaliser l'ensemble des calculs, des analyses statistiques et la plupart de graphiques présentés dans ce manuscrit. En outre, le logiciel Excel nous a aidés à la réalisation des tableaux et certaines graphiques présentés dans ce travail. Les calculs d'indices de richesse, de diversité et de similarité floristique des peuplements étudiés et l'analyse multivariée (DCA – Detrended Correspondence Analysis qui est une méthode d'ordination et d'analyse indirecte de gradient basée sur l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)) réalisée dans l'étude 3, ont été réalisés grâce au logiciel PAST (PALaeontological STatistics ; Hammer *et al.*, 2001). Les tests statistiques (i.e. tests de Chi-carré, t de Student, ANOVA) effectués dans les différentes études 1, 2, 3 et 4, ont été réalisés avec les logiciels STATISTICA version 10 (Bar-Hen, 1998) et R version 3.1.1 (Cornillon *et al.*, 2008). Les différentes méthodes d'analyse utilisées dans le cadre de cette thèse sont présentées en détail dans les études concernées.

Troisième chapitre :

Présentation de différentes études et discussion

Les principaux résultats sont présentés en fonction d'étude sous forme de projets de quatre articles repris ci-dessous.

Etude 1 : Germination des graines et croissance des plantules d'*Afzelia bipindensis* Harms (Fabaceae) dans la RBY, RD Congo

Résumé

Le semis direct en pépinière des graines et la croissance des plantules de «Doussié rouge» ont été étudiés sur deux types de substrat de germination : le terreau forestier et l'ordure ménagère. L'objectif du présent travail était de faire un suivi de régénération et tempérament d'*A. bipindensis* pendant dix huit mois, afin de déterminer les possibilités de favoriser la germination et la croissance des graines de « Doussié rouge ». Le semis de 200 graines, respectivement 100 graines au terreau forestier et 100 graines à l'ordure ménagère, était effectué dans le sachet en polyéthylène disposé en blocs randomisés complets aux écartements de 40 cm x 40 cm en laissant 100 cm entre les deux séries de lignes. Les valeurs maximales calculées du taux de germination étaient de l'ordre respectif de 93 % pour les graines semées à l'ordure ménagère suivies de 90 % pour celles de terreau forestier. Les hauteurs moyennes étaient de 55,75 et 56,67 cm, tandis que les diamètres moyens au collet de toutes les tiges étaient de 0,98 et 0,97 cm après dix huit mois de semis. L'ANOVA à un facteur révèle qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements. Globalement, la germination a été meilleure (taux et croissance) dans tous les substrats. Du fait de leur simplicité et de leur coût faible, ces deux substrats peuvent être recommandés aux sylviculteurs et aux aménagistes ; de même que l'emploi d'un substrat forestier pour la réalisation du semis en pépinière.

Mots clés : Germination et croissance, *A. bipindensis*, semis direct, pépinière, Yangambi, RD Congo.

1. Introduction

L'insuffisance des connaissances biologiques et écologiques sur la plupart des essences indigènes constitue une limite et un grand handicap pour l'aménagement et la conservation des ressources génétiques des forêts tropicales (Debroux, 1998). Face aux tendances actuelles de la déforestation et de la dégradation des formations ligneuses tropicales (FAO, 1992, 2007 ; Gilarowski, 2002), il est intéressant d'apprécier les efforts faits pour créer des plantations forestières dans les buts soit, de la production de bois pour l'industrie, c'est-à-dire, des «plantations industrielles» soit, de la production de bois combustible et de bois de service ou de protection, c'est-à-dire, des «plantations non industrielles». Par peuplement, on entend ici, les peuplements forestiers établis artificiellement par boisement sur des terres qui ne portaient pas auparavant de couvert forestier ou dont le couvert forestier était de nature fondamentalement différente de celle de plantations qui le remplacent.

Il se dégage que le « Doussié rouge », est l'un des grands arbres du genre *Azelia*. Le genre paléotropical, compte une quinzaine d'espèces surtout africaines. Dans les domaines Cameroun-gabonais et congolais, il est représenté par deux espèces de grands arbres, connues commercialement sous le nom de Doussié rouge, il s'agit de l'espèce *A. bipindensis* et de Doussié blanc, l'espèce *A. pachyloba*, absentes du domaine libéro-ivoirien (Aubreville, 1968, 1970 ; Tailfer, 1989). Par ses excellences qualités de conservation, ses bonnes qualités physiques (très faible retrait), ses résistances mécaniques, ses facilités relatives de travail et par ses belles dimensions, le Doussié rouge se place, parmi les meilleurs bois de construction lourde et durable (Sallenave, 1964) et constitue une source de revenu très important pour les populations et les pays respectifs (Arbonnier, 2002 ; Ahoton, 2009). La mise en valeur de cette espèce en plantation peut relever l'économie d'un pays et créer de pôles de développement avec la possibilité d'enrichissements et de diversification de l'environnement (Palmberg, 1987).

Afin de mieux comprendre les aspects importants de l'écologie reproductive d'*A. bipindensis*, il est nécessaire d'effectuer des observations ponctuelles, par exemple

sur la germination des graines. Cette opération a pour objectif d'encourager la production artificielle ultime de cette espèce d'autant plus qu'on assiste de plus en plus à une faible régénération naturelle de jeunes pieds. Dans les écosystèmes congolais (RD Congo et tous les pays du bassin du Congo), il se passe une situation énigmatique. D'une part, l'exploitation de Doussié rouge constitue un frein à la production de semences, et d'autre part, le manque de semences ne permet pas d'avoir des arbres à exploiter. Il y a donc un problème de la régénération naturelle d'où il y a risque de disparitions de l'espèce. La survie de cette espèce devra désormais reposer sur des approches de gestion appropriées et associées à des techniques de régénération naturelle et/ou assistée. L'objectif du présent travail, est de faire un suivi de régénération et tempérament d'*A. bipindensis* pendant dix huit mois en milieu contrôlé, afin de déterminer les possibilités de favoriser la germination et la croissance des graines de « Doussié rouge » en utilisant deux types de substrat qui sont à la portée des populations riveraines.

2. Site d'étude et méthodes

2.1 Site d'étude

Le présent travail a été mené derrière le département de Phytotechnie de l'Institut Facultaire des sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi) à Yangambi, RD Congo. Yangambi est donc situé dans la zone climatique équatoriale au nord de la RD Congo, entre 0-2°N (Kombele, 2004), zone influencée par le climat du type A_f de Köppen (Bultot, 1972).

2.2 Méthodologie

2.2.1 Provenance des semences

Les semences utilisées dans ce travail sont des graines collectées dans une jachère arbustive de Yangambi, entre septembre et octobre 2010. Des lots de semences de l'espèce *A. bipindensis* ont été triés avant d'être semées dans le terreau forestier et l'ordure ménagère. L'ordure ménagère a été comparée au terreau forestier utilisé

comme témoin. Dans le tableau 1 sont reprises les caractéristiques physico-chimiques des substrats utilisés en pépinières pour réaliser les semis (analyses réalisées par le laboratoire de Science du sol de l'IFA-Yangambi à Kisangani).

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des substrats utilisés en pépinière

| Caractéristiques | Terreau forestier | Ordure ménagère |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------|
| pHeau | 5,40 | 6,25 |
| pH KCl | 4,90 | 5,55 |
| N total (%) | 0,05 | 0,08 |
| COT (%) | 1,05 | 1,57 |
| P ₂ O ₅ d (%) | 1,67 | 2,18 |
| Argile (%) | 9,00 | 11,00 |
| Limon (%) | 5,00 | 8,00 |
| Sable (%) | 86,00 | 81,00 |

2.2.2 Réalisation du semis, dispositif expérimental et observations

Les substrats ont été triés afin d'éliminer tous les éléments étrangers susceptibles de perturber l'expérimentation. Après remplissage de sachets, ceux-ci ont été déposés sur un terrain plat, dans une superficie de 16 m² qui bénéficie d'un éclairage direct et de l'ombrage de la végétation avoisinante composée d'*Acacia auriculiformis* A. Cunn. Ex Benth et autres. Le semis a été effectué dans les sachets en polyéthylène de 18 x 10 x 8 cm³ qui contenaient le terreau forestier ou l'ordure ménagère.

Au total, 200 sachets en polyéthylène ont été utilisés à raison de 100 sachets par substrat et une graine d'*A. bipindensis* a été semée par pot. L'arrosage a été réalisé deux fois par semaine. L'essai s'est déroulé du 1 décembre 2010 au 10 juin 2012. A partir du 14 décembre 2010, nous avons effectué hebdomadairement un comptage systématique des plantules ayant levé jusqu'au 10 juin 2012. La levée correspond à l'apparition d'une plantule avec deux feuilles cotylédonaire. L'atteinte de ce stade a également été prise en considération dans l'évaluation de la durée de la germination.

Les paramètres suivants ont été déterminés (De La Mensbruge, 1966; Bellefontaine et Gamène, 1998; Ouédraogo *et al.*, 2006) :

(1). Le taux de germination d'un essai de germination effectué à partir de N graines au cours duquel G graines ont germé s'exprime par trois paramètres (De La Mensbruge, 1966). D'abord, le nombre de jour du début de la germination ou « durée de vie latente » où (D) désigne le temps écoulé entre la date du semis (t_0) et la première germination (t_1). Ensuite, la durée de la germination ou « échelonnement » où (E) désigne le temps entre la première (t_1) et la dernière germination (t_2). Et enfin, le taux de germination est égal au quotient du nombre de graines germées par le nombre total de graines : $T = G / N * 100$;

(2). L'énergie germinative (E_g) indique la vitesse de germination des graines. On estime que 50 % de graines doivent germer au tiers de jours admis pour la germination. L'énergie germinative est calculée à partir de la moitié du temps d'observation du pouvoir germinatif (P_g) ou du taux de germination. Les formules respectives sont :

$E_g = \frac{n_{1/2}}{N} \times 100$ et $P_g = \frac{n}{N} \times 100$. Où $n_{1/2}$ = nombre de graines germées à la moitié du temps ; n = nombre total de graines germées ; N = nombre de graines soumises au test.

(3). La vitesse de germination (V_g) est le nombre de graines germées au tiers de jours admis pour la germination, dit autrement, c'est le tiers de pouvoir germinatif ou du taux de germination. $V_g = \frac{n_{1/3}}{N} \times 100$. Où : $n_{1/3}$ = nombre de graines germées au tiers du temps ;

(4). La prise de mesure de la croissance des plants en hauteur était effectuée à l'aide d'un décimètre graduée en cm et cela depuis le collet jusqu'au sommet de bourgeon terminal et la mesure de diamètre au collet était prise au moyen d'un pied à coulisse. Elle a eu lieu toutes les deux semaines du mois. En outre, les observations étaient

réalisées sur 50 plants pour la variante (V_1) et 50 plants pour la variante (V_2) en sens diagonal (Bono, 1981). Le nombre total de plants observés au cours de l'essai équivalait ainsi à 100 sur un ensemble de 183 plants survécus.

2.2.3 Analyses statistiques

Les données obtenues ont été soumises à l'analyse de la variance (ANOVA), en utilisant un dispositif complètement randomisé (Anderson et *al.*, 1999).

3. Résultats

3.1 Influence des substrats appliqués sur le taux de germination, la durée, l'échelonnement de levées, l'énergie germinative et vitesse de germination

Les résultats obtenus des lots de graines ayant évolué dans les différents substrats sont présentés au Tableau 2. Le semis avait eu lieu le 1 Décembre 2010. Néanmoins, la durée de la germination était de 21 jours dans les deux substrats (traitements). L'observation du tableau 2 révèle que le taux de germination au cours de 10 premiers jours d'observation était très élevé dans l'ordure ménagère suivie de terreau forestier. Ces deux variantes ont montré un même échelonnement de levées de 9 jours. On constate que le taux de germination atteint est systématiquement plus élevé en cas d'utilisation d'ordure ménagère et terreau forestier comme substrats de culture. Les différents taux élevés observés au niveau de ces deux traitements montrent que ceux-ci favorisent la germination de « Doussié rouge ». En ce qui concerne les substrats, on observe que les deux substrats sont poreux et présentent les meilleurs taux de germination.

Ainsi, les lots de graines : 100 sous terreau forestier et 100 sous ordure ménagère ; bien que soumis respectivement aux mêmes traitements donnent les taux de germination presque similaires (93 % et 90 %) en fonction des substrats utilisés. Cette nette différence s'explique surtout par le contraste entre les qualités physico-chimiques des substrats utilisés. L'ordure ménagère avec une structure grossière (81

% de sable, Tableau 1), a une compacité lui permettant de mieux conserver l'humidité du substrat par rapport au terreau forestier avec une structure plus grossière (86 % de sable, Tableau 1) se dessèche par contre plus vite en surface à cause de sa plus grande perméabilité et de l'infiltration plus au moins rapide en profondeur de l'eau d'arrosage. Il existe donc une meilleure aération des semences dans ces deux substrats ; ce qui facilite la germination.

De l'analyse du délai entre le semis et la première germination, il ressort que l'ordure ménagère a permis aux graines d'avoir un temps d'attente plus court par rapport aux graines sous terreau forestier (substrat témoin). De plus, le temps d'attente moyen des graines semées dans l'ordure ménagère est de 10 jours par rapport aux graines semées dans le terreau forestier 12 jours. Ceci montre le rôle important que joue l'argile dans la rétention de l'eau, l'un des trois principaux facteurs à l'origine de la germination.

La durée moyenne de germination des graines est de 13 jours (Tableau 2) sous terreau forestier (témoin) et l'ordure ménagère. L'échelonnement des germinations est très court au niveau des graines (9 jours) respectivement pour les deux types de substrat. L'énergie germinative moyenne est de $45,75 \pm 1,06$ % et la vitesse de germination moyenne est de $30,50 \pm 0,71$ % représentent toutes 92 graines germées, moitié de 183 graines germées.

Tableau 2. Influence des substrats appliqués sur le taux, la durée, l'échelonnement de levées, l'énergie germinative et vitesse germinative de *A. bipindensis*

| Paramètres | Terreau forestier | Ordure ménagère |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|
| Nombre total de graines (N) | 100,00 | 100,00 |
| Nombre de graines germées (G) | 90,00 | 93,00 |
| Taux de germination (T %) | 90,00 | 93,00 |
| Durée de germination (G en jr) | 13,00 | 13,00 |
| Echelonnement de levée (E en jr) | 9,00 | 9,00 |
| Energie germinative (Eg %) | 45,00 | 46,50 |
| Vitesse de germination (Vg %) | 30,00 | 31,00 |

3.2 Influence des substrats appliqués sur la croissance en hauteur des plants étudiés

La figure 14, présente les résultats des valeurs observées dans le temps (en mois) de la croissance en hauteur des plants selon les substrats. L'examen de cette figure révèle que les plants issus de graines semées au terreau forestier accusent une hauteur moyenne de 55,75 cm tandis que ceux issus de graines semées à l'ordure ménagère avec 56,67 cm de hauteur. L'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 1, Tableau 1.1) a montré un effet non significatif du facteur traitement du sol sur la croissance en hauteur des plants ($F = 0,941$; $p = 0,332$).

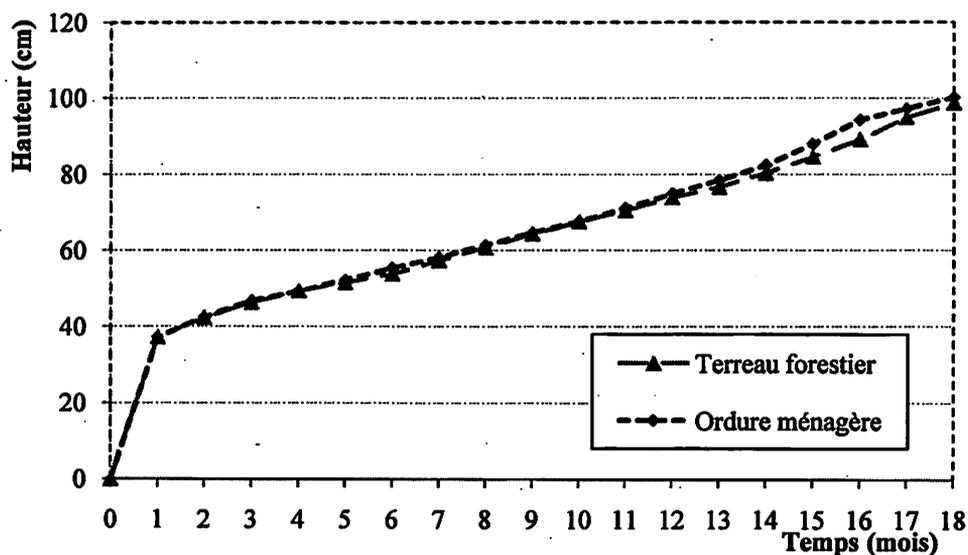


Figure 14. Influence de substrats appliqués sur la croissance en hauteur des plants.

3.3 Influence des substrats appliqués sur la croissance en diamètre des plants étudiés

La Figure 15, montre respectivement les résultats et l'évolution des mesures de l'accroissement du diamètre au collet des tiges selon les substrats. Ces résultats montrent que les plants issus de graines semées au terreau forestier comme celles semées à l'ordure ménagère accusent respectivement 0,98 et 0,97 cm de diamètres moyens. L'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 1, Tableau 1.2) a

montré un effet non significatif du facteur traitement du sol sur la croissance en diamètre au collet des plants ($F = 0,621$; $p = 0,431$).

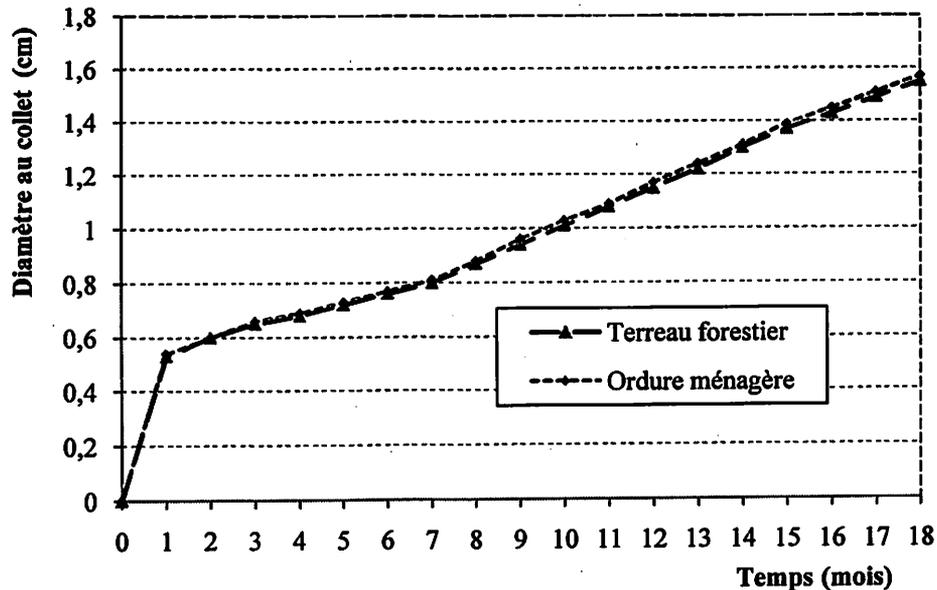


Figure 15. Influence de substrats appliqués sur la croissance en diamètre des plants.

4. Discussion

4.1 Influence des substrats appliqués

4.1.1 Nombre des graines germées

La germination se déroule de manière massive et concentrée chez *A. bipindensis* ; ce qui fournit deux précieuses informations. D'une part, l'excellent pouvoir germinatif des graines écarte tout soupçon : la germination n'est pas le facteur limitant qui provoque la rareté des plantules dans le sous-bois. D'autre part, puisque le Doussié rouge ne présente aucune dormance, il ne participe pas à la banque de graines du sol, phénomène important en forêt tropicale. Dans un modèle démographique, on n'aura donc pas à tenir compte des conséquences parfois complexes (Debroux, 1998), d'une germination postposée. Tout se passe ici comme si les plantules devaient être rapidement autonomes : pour échapper à la prédation ou pour bénéficier de la grande

saison des pluies. Le Doussié rouge n'affiche donc pas la même dépendance vis-à-vis du sol autant que d'autres espèces à large graine et tégument lignifié, telle *Baillonella toxisperma* Pierre (Debroux, 1988 ; Chapman *et al.*, 1992).

4.1.2 Examen des conditions nécessaires à la germination

Ce test révèle que ni le temps de conservation ni le milieu de germination ne sont strictement pour la germination. Les taux de germination obtenus sont presque tous plus élevés comme l'indique le Tableau 2. Les taux de germination obtenus dans le cadre de ce travail sont comparables voire élevés que ceux observées par Ouédraogo (1986), en étudiant la germination des graines de ces espèces sur le terreau forestier et l'ordure ménagère.

Des taux de germination plus au moins semblables ont été obtenus avec d'autres espèces dont les graines ont subi des prétraitements non comparables aux nôtres : *Leucaena leucocephala* (Lam. De Wit) 90 à 100 % (Avakoudjo, 1990) ; *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (syn. *Acacia albida* Del.) 95 % (Maydell, 1983) ; *Prosopis juliflora* (Sw.) Dc. 80 à 100 % (Maydell, 1983) ; *Canarium schweinfurthii* Engl. 95 % (Njoukam, 1997); *Hyphaene thebaica* 85 % (Moussa, 1998); *Prosopis africana* (Guill., Perrot. et Rich.) Taub., 85 % (Ahoton, 2009). Les taux de germination obtenus dans le cas de notre étude montrent que nos traitements ont donné de bons résultats.

4.2 Influence des substrats appliqués sur la croissance en hauteur et en diamètre des plants

Par rapport à la croissance des plants, nous avons obtenu après dix huit mois d'élevage en pépinière des hauteurs moyennes variant de 56,67 à 55,75 cm respectivement pour l'ordure ménagère et le terreau forestier d'une part et, d'autre part les diamètres au collet étaient de 0,98 et 0,97 cm respectivement pour l'ordure ménagère et le terreau forestier. La petite différence numérique observée peut être due à l'effet de l'ordure ménagère apportée aux plants sous forme de fumure organique en se décomposant, stimule ces derniers. Cela se traduit alors par une

croissance en hauteur et en diamètre accélérée au niveau de ces plants marquant ainsi la différence entre les substrats. La hauteur et le diamètre obtenus dans le cas de notre étude montrent que nos traitements ont donné de bons résultats, par rapport aux espèces suivantes : *Carapa procera*, *Bocoa prouancensis*, *Recordoxylon speciosum* et *Jacaranda copaia* pendant 690 jours (Têtès *et al.*, 1997). En outre, Têtès *et al.*, (1997) soulignent que la croissance en diamètre de la plupart des espèces suit à peu près celle de la hauteur.

Conclusion

L'objectif du présent travail, est de faire un suivi de régénération et tempérament de *A. bipindensis* pendant dix huit mois en pépinière, afin de déterminer les possibilités de favoriser la germination et la croissance des graines de « Doussié rouge » sur deux types de substrats de germination (terreau forestier et ordure ménagère) en vue de proposer des modalités d'exploitation durable dans le Bassin du Congo. Les résultats de cette étude ont montré que les graines d'*A. bipindensis* Harms ont accusé une bonne germination et une bonne croissance sur les deux types de substrats. Ces deux derniers peuvent donc être recommandés aux planteurs et aux pépiniéristes. En plus, ils sont peu coûteux et simples à réaliser.

Remerciements

Au terme de cette étude, nous tenons vivement à remercier pour leur financement, la Coopération Technique Belge (CTB) ainsi que le CIFOR via, le Programme de relance de la Recherche Agricole et Forestière en République Démocratique du Congo (REAFOR). Nous pensons aussi aux Messieurs Gérard Itilé de l'IFA/Yangambi et Dieu Bondele de la section foresterie de l'INERA/Yangambi pour leur aide à la récolte des données de terrain.

Etude 2 : Etude de structure spatiale d'*A. bipindensis* Harms (Fabaceae) dans la RBY, RD Congo

Résumé

L'étude de structure spatiale des arbres dans un paysage forestier dans le but de mieux comprendre leur rôle écologique dans chaque type d'écosystème (surtout en zone tropicale où la déforestation et la dégradation sont d'actualité) est un problème qui préoccupe beaucoup des chercheurs dans le domaine d'autoécologie des espèces commerciales ces dernières années. La présente étude vise à caractériser la répartition spatiale d'*A. bipindensis* Harms dans la réserve de biosphère de Yangambi, RD Congo. Un inventaire systématique de cette espèce a été effectué pied par pied. La méthode du plus proche voisin a été appliquée afin de caractériser le type de distribution sur une superficie de 10 hectares subdivisée en 40 placeaux de 50 m x 50 m. Au total, 167 individus à dhp ≥ 10 cm a été inventorié. Cette fréquence élevée d'individus s'explique par le fait que l'espèce se trouve dans un milieu à forte luminosité. La valeur de l'indice d'agrégation (R) pour la répartition spatiale de cette espèce n'était pas voisine de 1, ce qui présume une répartition spatiale agrégative. En outre, la déviation standard normale indique que la répartition spatiale de cette espèce est très significativement différente d'une répartition aléatoire, car sa valeur de z dépasse largement le seuil de significativité pour l'espèce ($\alpha = 0,05$). Il s'agit donc d'une distribution agrégée et cette espèce est héliophile.

Mots clés: Structure spatiale, *A. bipindensis*, méthode de distance au plus proche voisin, distribution agrégée, RBY, RD Congo

1. Introduction

La recherche forestière tropicale est une discipline ancienne qui a évolué très lentement à cause de la nature de son objet scientifique (Zobi, 2002). Elle vise à étudier les écosystèmes forestiers tropicaux dont la complexité n'est plus à démontrer : grande diversité biologique, espèces rares ou peu fréquentes, interactions complexes entre individus, longueur du cycle de développement des arbres, variabilité spatiale et temporaire de la composition floristique et même de la biomasse, etc. (Shugart, 1984 ; Leary, 1985 ; Dupuy, 1998). Cet intérêt a très tôt conduit les gestionnaires à répartir l'ensemble des espèces forestières en deux catégories économiques distinctes : espèces commerciales dites espèces principales ou encore espèces de valeur et les espèces non-commerciales dites espèces secondaires (Kouob, 2009). Ceci montre que l'exploitation forestière des espèces commerciales est du type sélectif (dans le bassin du Congo, en général et en RD Congo, en particulier), c'est-à-dire, elle consiste à prélever uniquement les arbres de quelques essences dont la valeur commerciale justifie leur recherche et elle ne s'accompagne d'aucune mesure en faveur du renouvellement des effectifs exploités. Pourtant, la valorisation de ces essences précieuses est essentielle car elles constituent la meilleure garantie pour le maintien de la capacité de charge des populations pour une exploitation forestière durable, voire un maintien à long terme de grands massifs forestiers.

De nombreux auteurs ont étudié la répartition spatiale des espèces d'arbres à l'échelle locale (quelques m² à centaines d'hectares) (Hubbell, 1979 ; Collinet, 1997 ; He *et al.*, 1997 ; Niiyama *et al.*, 1999 ; Condit *et al.*, 2000 ; Traissac *et al.*, 2009). Ces études mettent en évidence, une prédominance des espèces à répartition agrégée. L'agrégation concerne au moins 50 % des espèces étudiées, alors que la répartition régulière est rare ou inexistante. Ainsi, l'analyse de la structure spatiale des espèces peut être un outil utile. Elle permet d'améliorer la stratégie d'échantillonnage, d'aider à comprendre les mécanismes responsables de la dispersion de certains événements notamment, la maladie et d'améliorer en conséquence, les stratégies de gestion.

Plusieurs travaux, essentiellement en forêts tropicales, ont montré comment l'analyse de la structure spatiale pouvait servir de description des peuplements complexes, mais aussi donner des pistes sérieuses pour l'étude de leur dynamique (Goreaud, 2000 ; Chave, 2000, 2001), en particulier en montrant comment la structure spatiale observée pouvait rendre compte des différents processus naturels à l'origine de l'évolution de l'écosystème (régénération, croissance, mortalité). Plus récemment, la structure spatiale a été intégrée directement dans les modèles d'évolution des peuplements (Moeur, 1993).

Depuis longtemps, plusieurs méthodes statistiques ont été élaborées pour caractériser la structure spatiale de semis de points (Clark et Evans, 1954; Cressie, 1993; Goreaud, 2000). Les exemples forestiers ont souvent été utilisés pour illustrer ces méthodes (Ripley, 1977). Les écologistes des communautés ont démontré que chaque espèce est restreinte à une plus ou moins grande gamme d'habitats; l'hétérogénéité d'habitat étant le facteur principal qui détermine la distribution géographique des espèces. Même dans un habitat qui semble homogène, la distribution spatiale est souvent non-aléatoire (Plotkin *et al.*, 2000 ; Hardy et Sonké, 2004; Masumbuko *et al.*, 2008). Cela peut résulter de notre incapacité à détecter des détails plus fins d'hétérogénéité d'habitat, mais aussi du fait que les individus ont tendance à être agrégés sous une dispersion limitée ou dispersion assemblée (Hardy et Sonké, 2004).

En analysant les structures spatiales et leur dynamique, des déductions utiles au sujet des processus écologiques fondamentaux peuvent être faites, et vice versa (Bogaert et Mahamane, 2005). On discerne dans les communautés, trois grands types de configuration spatiale: aléatoire, en agrégats (ou en bouquets) et uniforme (ou régulière). Les caractéristiques de ces trois grands types de structure spatiale sont : (a) une structure spatiale aléatoire quand la probabilité qu'un autre individu se trouve à proximité et non affectée par la localisation d'un autre individu, (b) une structure spatiale agrégée quand cette probabilité est augmentée, (c) une structure spatiale uniforme quand cette probabilité est réduite (Clark et Evans, 1954). Cette étude porte

sur l'analyse de données ponctuelles d'*Azelia bipindensis* retrouvée dans une jachère arbustive à Yangambi, RD Congo. Ainsi la question suivante est posée : quel est le mode de répartition spatiale rencontrée chez *A. bipindensis*?

Nous formulons l'hypothèse spécifique suivante : *A. bipindensis* a une répartition spatiale agrégative dans son biotope. Le poids de graines joue un rôle important dans cette répartition spatiale. L'objectif poursuivi est de caractériser et déterminer la distribution spatiale d'*A. bipindensis* retrouvé à Yangambi, par l'application de la méthode de la distance au plus proche voisin. Cette étude veut contribuer à l'approfondissement des connaissances utiles à la gestion durable de cette espèce dans le bassin du Congo et particulièrement dans la région de Kisangani.

2. Milieu d'étude et méthodes

2.1 Milieu d'étude

Le milieu d'étude dans lequel appartient la jachère arbustive étudiée est situé à Yangambi, dans la Province de la Tshopo, RD Congo. Yangambi est situé sur le fleuve Congo, dans la partie nord-est de la cuvette centrale congolaise. Ses coordonnées géographiques sont : 0° 49' de latitude Nord et 24° 29' de longitude Est à une altitude moyenne de 470 m (Van Wambeke *et al.*, 1956). Le climat est du type A_f selon la classification de Köppen. Le milieu d'étude se situe sur la série de sol Yakonde (Kombele, 2004 ; Solia, 2007).

2.2 Méthodologie adoptée

Un inventaire systématique a permis d'identifier cette espèce. Tous les individus à dhp \geq 10 cm étaient inventoriés et une étiquette portant un numéro leur était attribuée. Un ruban circonférentiel de 3 m et une perche de 1,30 m de long ont servi pour la prise de mesures sur le terrain.

La méthode du plus proche voisin («Nearest-Neighbor Method») mise au point par Clark et Evans a été adoptée pour caractériser la distribution spatiale des éléments du paysage dans notre site d'étude (Clark et Evans, 1954). Celle-ci stipule qu'une carte

exacte et complète de la distribution spatiale d'une population, avec les coordonnées (x, y) pour chaque individu, peut être utilisée pour l'analyse de la distribution spatiale par le calcul d'un indice d'agrégation (R). Les paramètres suivants étaient calculés pour les espèces dominantes afin d'appliquer la méthode de la distance au plus proche voisin (Clark et Evans, 1954; Bütler, 2000). Pour ces espèces, la densité ρ de la population était calculée comme suit :

$$\rho = \frac{n}{a} \quad (2.1)$$

Avec n le nombre d'individus dans la zone d'étude et a la surface de la zone d'étude. La distance moyenne r_o , calculée pour chaque individu de l'espèce concernée, observée jusqu'au voisin le plus proche sera :

$$r_o = \sum_{i=1}^n r_i / n \quad (2.2)$$

Avec r_i la distance au voisin le plus proche pour l'individu i . Chaque placeau a été étudié sur une base individuelle et la problématique de marge n'était pas considérée dans la détermination des distances (Clark et Evans, 1954 ; Sinclair, 1985 ; Bütler, 2000). Pour une grande population à distribution aléatoire, la distance moyenne attendue r_E jusqu'au voisin le plus proche a été calculée de la manière suivante :

$$r_E = 1 / 2\sqrt{\rho} \quad (2.3)$$

On pouvait ensuite mesurer l'éloignement de la distribution observée de la distribution aléatoire par le rapport R (appelé aussi l'indice d'agrégation) :

$$R = \frac{r_o}{r_E} \quad (2.4)$$

Si la distribution est aléatoire, $R = 1$. Si elle est agrégée, $R \rightarrow 0$. Pour une distribution uniforme, $R = 2,15$. Pour une distribution donnée, la distance moyenne au plus proche voisin est R fois plus grande (ou petite, si $R < 1$) qu'elle peut être attendue pour une distribution aléatoire ayant la même densité (Clark et Evans, 1954). Un test de la signification pour l'éloignement de la distribution aléatoire est donné par :

$$c = \frac{r_o - r_E}{s_r} \quad (2.5)$$

Avec c comme la déviation standard normale et s_r comme l'erreur standard de la distance attendue jusqu'au voisin le plus proche et mesurée suivant :

$$s_r = 0,26136 / \sqrt{np} \quad (2.6)$$

Les valeurs de c égales à 1,96 et à 2,58 représentent respectivement les seuils de signification de $\alpha = 0,05$ et $\alpha = 0,01$ (Clark et Evans, 1954).

La méthode du plus proche voisin ne nécessite pas l'usage d'un échantillon de taille particulière ; elle est facile car une seule mesure de la distance suffit. Ce qui la rend très pratique à appliquer sur le terrain et dans des conditions difficiles comme les végétations de haute densité trouvées dans des forêts tropicales humides, et enfin, après une série de calculs simples, les résultats peuvent être validés par un test statistique, ce qui augmente la fiabilité des résultats et des conclusions. D'après Sinclair (1985), sans marge, le test de Clark et Evans introduit un biais en régularisant les distributions: une distribution agrégée sera évaluée comme étant aléatoire, une distribution aléatoire comme uniforme. Ce biais est important pour des petites populations (n inférieur à 100). Afin de l'éviter, une marge a été prise en compte lors de cette étude.

3. Résultats

3.1 Structure de diamètres

3.1.1 Densité et surface terrière

La structure du peuplement est définie par le nombre d'individus par unité de surface (densité) d'une part, et la surface occupée par ces individus (surface terrière) d'autre part. La densité et la surfaces terrière de l'espèce sont significativement différentes entre les deux sites d'étude. Nous avons dénombré respectivement 167 tiges dans

une superficie de 10 ha, soit une densité de 17 individus/ha à Yangambi, et 13 tiges dans une superficie de cinq hectares, soit une densité de 2 individus/ha à Yoko.

Les surfaces terrières moyennes de cette espèce dans les deux sites d'étude sont respectivement de 0,36 m²/ha à Yangambi et 0,10 m²/ha à Yoko. La statistique t de student appliquée pour comparer la surface terrière de deux sites, indique qu'il y a une différence très significative au seuil de 5 % ($t = 11,25$, Ddl = 1, $p < 0,01$).

3.1.2 Structure diamétrique

La structure diamétrique de cette espèce dans les deux sites d'étude est représentée par classes de 10 cm (Figure 16). Les deux sites contiennent chacune plus de 87 % de tiges dans la première classe de diamètre (arbres de 10-20 cm dhp). Ils présentent tous la distribution diamétrique typique des futaies irrégulières, avec une structure en J inversée. La statistique Chi-carré qui est un test de proportion, appliquée pour comparer les structures au sein de deux sites, indique qu'il y a une différence significative entre les sites de Yangambi et de Yoko sur la distribution diamétrique ($\chi^2 = 0,88$; Ddl = 1 ; $p = 0,04$)

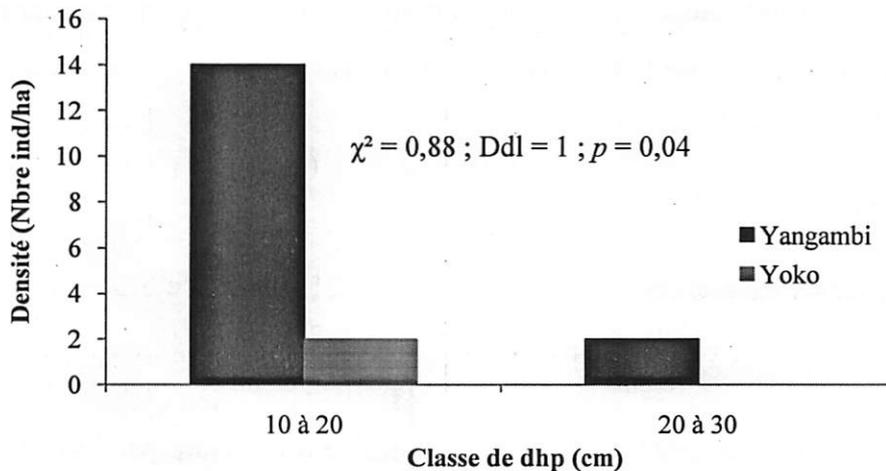


Figure 16. Distribution diamétrique des tiges inventoriées dans chaque site étudié suivant les deux sites RBY et RFY.

3.2. Distribution spatiale

Le résultat issu de la méthode de la distance au plus proche voisin de Clark et Evans est présenté au Tableau 3 et les données détaillées en annexe 2.

Tableau 3. Paramètres calculés : application de la méthode de la distance au plus proche voisin à partir des données récoltées dans la jachère arbustive à Yangambi.

| Paramètres calculés | <i>Afzella bipindensis</i> |
|---------------------|----------------------------|
| n | 167 |
| ρ | 0,00167 |
| r_{imin} (m) | 0,50 |
| r_{imax} (m) | 10,75 |
| \bar{r}_0 (m) | 4,04 |
| \bar{r}_E (m) | 12,19 |
| R | 0,33 |
| s_r | 0,49 |
| Z | -16,52* |

n =nombre d'individus dans la zone d'étude ; ρ =densité de la population au m^{-2} ; r_i =distance au voisin le plus proche pour l'individu i ; r_{imin} et r_{imax} correspondent aux distances minimale et maximale ; \bar{r}_0 = distance moyenne observée jusqu'au voisin le plus proche ; \bar{r}_E = distance attendue jusqu'au voisin le plus proche ; R = indice d'agrégation ; s_r = erreur standard de la distance attendue jusqu'au voisin le plus proche et z = déviation standard normale. "*" correspond à une significativité au niveau de alpha = 0,05 et "***" correspond à une significativité au niveau de alpha = 0,01.

La distance minimale cette espèce est faible ; la différence entre la distance moyenne \bar{r}_0 est surtout influencée par la valeur de distance maximale \bar{r}_E qui est de 10,75 m. Les moyennes sont très faibles et la valeur attendue \bar{r}_E est de 0,67 %. Ce résultat indique une tendance vers une distribution agrégée pour l'espèce. Aussi, sa valeur de R n'est pas proche de 1, cette valeur indique une distribution spatiale agrégée. Un test statistique est donc nécessaire pour déterminer le type de distribution en présence. La déviation standard normale indique que la répartition spatiale de cette espèce est significativement différente d'une répartition aléatoire. Sa valeur de z dépasse significativement le seuil (1,96 pour alpha = 0,05). On peut déduire de ce dernier résultat une répartition agrégée pour cette espèce.

4. Discussion

4.1 Structure de diamètres

Les densités et les surfaces terrières spécifiques faibles sont les plus fréquentes dans les différents inventaires. On observe des petites classes de diamètres, la distribution des abondances spécifiques est proche de la distribution log-normale, indiquant la prépondérance des faibles densités spécifiques (Condit *et al.*, 2005) (tel est le cas de notre site d'étude). Les faibles densités sont nettement plus représentées. Cette distribution similaire à celle observée dans les forêts hétérogènes et mono dominantes du Congo (Condit *et al.*, 2005) est associée à la dominance marquée d'un petit groupe d'espèces. Ces espèces, pour la plupart à haut potentiel de dispersion, sont largement distribuées dans le domaine Guinéo-congolais et figurent régulièrement parmi les espèces les plus dominantes soit en termes de surface terrière, soit en termes de densité dans différents sites (Sonké, 1998, 2004 ; Sunderland *et al.*, 2003 ; Senterre, 2005).

La comparaison de classes diamétriques obtenues pour cette espèce dans les deux sites, a été effectuée. Nombreux auteurs se sont penchés sur l'étude de la structure diamétrique des forêts tropicales (Rollet, 1969, 1974, 1979 ; Lokombe, 1996), et d'autres encore. Tous ces auteurs concluent, en général que les distributions de diamètres de tous les arbres d'un peuplement, toutes espèces confondues, montrent des caractères communs d'allure. En d'autres termes, ils démontrent que le nombre d'individus par classe décroît à peu près de la même manière quand on passe successivement des classes de petits diamètres, aux classes supérieures. Il existe donc une relation entre les effectifs de deux classes immédiatement voisines.

Dans cette étude, on a constaté aussi que, la densité de l'espèce *A. bipindensis* étant élevée à Yangambi par rapport à la Yoko, néanmoins, il ne s'est pas révélé aussi très riche en classes de diamètres. Dans tous les deux sites, la classe diamétrique comprise entre 10 cm – 19 cm était la seule à avoir un nombre d'individus élevé. L'explication qui en découle est que c'est dans cette classe que se trouvent beaucoup

de jeunes essences qui joueront le rôle de remplacement de vieux arbres qui tomberont. Nshimba (2008) et Lomba (2011) concluent en disant que la répartition d'arbres par classes de circonférence montre que les types forestiers de la région de Kisangani sont en pleine croissance, car on y compte beaucoup d'arbres à tiges dont la circonférence à 1,30 m du sol est inférieure ou égale à 10 cm. La présence d'un nombre assez élevé des individus de la première classe et d'un nombre très réduit de ceux de classes supérieures, nous a amené à supposer que l'espèce étudiée, aurait peut-être subi au cours de leurs croissances une série de perturbations d'origine anthropique (tel est le cas de la présente étude), ayant perturbé l'équilibre ancien et contribué au rajeunissement des plantes ; ce qui explique l'abondance d'arbres de petits diamètres.

Cependant, la connaissance des données historiques précises sur l'exploitation de cette occupation des terres auxquelles s'intéressent cette étude donc une jachère arbustive portant les pieds d'espèce identifiée sur la série Yakonde dans la RBY (milieu dégradé). La jachère arbustive identifiée sur la série de sol entoure les camps d'habitation (Lusambila et Ekutsu) à Yangambi et est généralement dominée par les arbres et arbustes de 5 à 15 m de hauteur et dont le sol a subi 4 à 6 cycles culturels, selon les paysans consultés à Yangambi, nous ont permis d'affirmer cette hypothèse. Mais la présence de beaucoup d'espèces de forêts dégradées est imputable aux effets anthropiques qui sont propices à la recolonisation par des espèces des forêts secondaires. Loreau (2004) considère que les zones perturbées constituent des stades de succession secondaire relativement jeunes, et les diamètres des arbres qui les composent sont faibles par rapport à ceux des zones voisines non perturbées présentant des stades de reconstitution forestière plus avancés mais ce qui n'est pas le cas pour cette espèce.

4.2. Structure spatiale

La caractérisation de la répartition spatiale d'une espèce d'arbre au sein d'une forêt dépend de l'échelle d'observation à laquelle on se place (Ribbens *et al.*, 1994 ; Goreaud, 2000 ; Bogaert et Mahamane, 2005). Pour notre étude, nous nous sommes

placés à une échelle locale de l'ordre de quelques centaines d'hectares. La répartition spatiale d'*A. bipindensis* est localement agrégée, comme chez beaucoup d'espèces d'arbres structurantes des forêts tropicales (Hubbell, 1979 ; Collinet, 1997 ; Condit *et al.*, 2000 ; Boyemba, 2011 ; Lomba, 2011). La lumière est considérée par nombreux auteurs comme un des principaux facteurs d'agrégation des espèces d'arbres tropicaux. Pour des espèces ayant besoin de lumière pour germer et ne pouvant pas croître sous de faibles intensités lumineuses (tel est le cas de cette espèce), l'effet de taches de lumière peut entraîner une survie massive des individus. Ce processus a été observé pour différents stades de développement : la germination, les plantules (Gavin et Peart, 1997), les jeunes plants < 10 cm de diamètre (Leemans, 1991), les arbres \geq 10 cm de diamètre selon Traissac (2003). La lumière ne semble cependant pas être le seul facteur qui détermine le type de répartition. Plusieurs auteurs ont démontré l'influence d'autres facteurs, comme le mode de dispersion de l'espèce (Nathan et Muller-Landau, 2000 ; Muller-Landau, 2002), le sol (texture, phosphore assimilable, capacité d'échange cationique, pH du sol) et la topographie : plateau et versant (Harms *et al.*, 2001 ; Potts *et al.*, 2002 ; Hall *et al.*, 2004 ; Boyemba, 2011), dans la mise en place de l'agrégation spatiale.

Selon Jesel (2005), la répartition spatiale des individus ne se fait pas au hasard. Lorsqu'une espèce est agrégée, la probabilité de trouver un autre individu de cette espèce dépend de la distance qui le sépare de ses congénères (particulièrement aux individus reproducteurs) et est d'autant plus forte que cette dernière est faible. Une fois la graine arrivée dans un milieu, sa survie dépend de ses capacités de germination dans ce milieu. Différents facteurs peuvent expliquer le phénomène d'agrégation. Les mosaïques d'habitats (Oldeman, 1989 ; Harms *et al.*, 2001 ; Potts *et al.*, 2002) et la limitation de la dispersion des diaspores (Nathan et Muller-Landau, 2000 ; Muller-Landau, 2002) sont respectivement des facteurs exogènes et endogènes qui peuvent générer de tels modes de répartition spatiale. Les facteurs endogènes de l'agrégation spatiale sont liés aux traits de vie des espèces. La dispersion des diaspores étant la seule phase mobile, elle joue donc un rôle clé dans leur répartition spatiale (Clark *et al.*, 1999 ; Howe et Miriti, 2004 ; Boyemba, 2011).

Une agrégation plus importante est souvent observée pour les espèces disséminées à courte distance (Hubbell, 1979 ; Condit *et al.*, 2000), 20 à 50 m du tronc du semencier (Sabatier, 1983 ; Traissac, 2003 ; Boyemba, 2011), quel que soit le mode de dispersion (zoochorie, anémochorie, etc.). Néanmoins, pour le ca échéant, ces deux espèces sont héliophiles à dispersions autochores (ballochore et barochore) suite aux dimensions de leurs graines.

Les facteurs édaphiques et la topographie semblent également impliqués dans le phénomène d'agrégation. En forêt tropicale, des études ont montré l'influence de facteurs liés au sol et/ou à la topographie sur la répartition spatiale des espèces à l'échelle du paysage (Baillie, 1987 ; Swaine, 1996), comme à l'échelle locale (Sabatier et Prévost, 1990b ; Clark, 1999 ; Plotkin, 2000 ; Veenendaal et Swaine, 1998). Selon Tilman (1990), une fois que l'individu a dépassé le stade plantule, pour survivre et soutenir une bonne croissance, il lui faut, avoir accès aux ressources en eau et nutriments de façon continue.

Conclusion

Cette étude a permis de caractériser la répartition spatiale de l'espèce *A. bipindensis* par le biais de la méthode de la distance au plus proche voisin (Clark et Evans, 1954). Cette structure spatiale est considérée comme indicatrice des facteurs écologiques fondamentaux de la présence et la dispersion des espèces. Les valeurs de l'indice d'agrégation (R) témoignent d'une répartition spatiale différente d'une distribution aléatoire. La vérification de la déviation standard normale a désigné cette différence comme significative. La compétition observée de l'espèce en question a probablement mené vers une distribution agrégée. Le fait de ne pas avoir considéré une marge dans l'application de la technique de Clark et Evans n'a pas pu biaiser les conclusions et vu aussi le nombre de distances utilisées pour les calculs des paramètres. Ces résultats constituent des données de base à l'étude écologique dans la région de Kisangani qui devrait aider à développer des stratégies d'une gestion durable de cette espèce dans la réserve de biosphère de Yangambi en particulier et en général dans toutes les aires de répartition.

Remerciements

Au terme de cette étude, nous tenons vivement à remercier pour leur financement, la Coopération Technique Belge (CTB) ainsi que le CIFOR via, le Programme de relance de la Recherche Agricole et Forestière en République Démocratique du Congo (REAFOR). Nous pensons aussi à Messieurs Dieu Bondele et Lonema Tchuda de la section foresterie de l'INERA/Yangambi pour leur aide à la récolte des données de terrain.

Etude 3 : Etude de la diversité floristique du peuplement ligneux sous *Azelia bipindensis* Harms (Fabaceae) dans la RBY et la RFY, RD Congo

Résumé

A. bipindensis est une espèce héliophile comme la plupart d'espèces de forêts tropicales humides. La caractérisation des peuplements de milieu naturel dans lequel, elle se développe et leur comparaison avec les peuplements de milieu dégradé à *A. bipindensis*, sont menées afin de déterminer si la présence de cette espèce est bien le reflet d'une cohorte d'espèces compagnes. En termes d'évolution, ce peuplement serait à un stade de succession moins avancé par rapport au peuplement voisin non perturbé. Deux parcelles, l'une de 120 ha installée à Yangambi (milieu dégradé) et l'autre de 50 ha installée à Yoko (milieu naturel) ont servi des terrains d'étude. Dans chaque milieu, des inventaires de tous les arbres ≥ 10 cm de diamètre, toutes espèces confondues dans deux types de parcelles (centrée Doussié et aléatoire), ont été réalisés sur 40 placettes carrées de 40 m de côté (0,16 ha), soit un total inventorié de 6,4 ha. Les peuplements présents ont été caractérisés du point de vue de leur structure (densité, surface terrière et structure diamétrique), de leur composition floristique (richesse et diversité, similarité, Indice de Valeur d'Importance entre les deux milieux) des espèces indicatrices de chaque milieu. Le peuplement forestier dans lequel cette espèce se développe n'est pas mono spécifique et est caractérisé par des Fabaceae comme famille de la succession secondaire, parmi lesquelles on trouve *Scorodophloeus zenkeri* (une espèce pionnière cicatricielle respectivement IVI = 15,50 % et 22,73 %) avec la valeur indicatrice la plus élevée pour les parcelles centrée Doussié et aléatoire de Yoko, tandis que la famille des Melastomataceae, au sein de laquelle on trouve *Belucia pentamera* Seem (respectivement IVI = 44,30 % et 29,89 %) avec la valeur indicatrice la plus élevée pour les parcelles centrée Doussié et aléatoire de Yangambi.

Mots-clés : Diversité floristique, peuplement ligneux, *A. bipindensis*, RFY et RBY, RD Congo

1. Introduction

Les forêts tropicales abritent une part importante de la biodiversité mondiale et sont appelées à jouer un grand rôle dans la régulation des conditions des grands courants climatiques globaux (Couralet, 2010). Sa gestion devient donc une question hautement stratégique au regard des menaces qui pèsent sur les équilibres écologiques au niveau de la planète (Anonyme, 2003). La CDB (Convention pour la Diversité Biologique) a adopté en 2002 une stratégie qui concerne particulièrement la conservation des plantes. Il s'agit de la GSPC (Global Strategy for Plant Conservation) qui fixe 16 objectifs pour aboutir en 2010 à une meilleure connaissance des espèces et des dangers qu'elles encourent afin de proposer des solutions de conservation. Parmi ces objectifs figure en bonne place la création d'une liste des espèces connues, une estimation de leur état de menace et une élimination du commerce illégal de la flore sauvage vulnérable (CBOL, 2009). Par ailleurs, un des programmes proposés lors du sommet de Johannesburg en 2002 touche particulièrement la compréhension et le maintien de la diversité forestière (www.cbd.int/forest/problem). Ce programme comporte trois volets : (1) Conservation, utilisation durable, partage des bénéfices, (2) Habilitation des institutions, étude socio-économique, (3) Connaissance, estimation et suivi. Atteindre les objectifs fixés par ce type de programmes implique pour les scientifiques de faire l'état des lieux des connaissances relatives aux composantes de la diversité, à sa distribution, à son maintien et à son fonctionnement. De même, à la lumière des informations disponibles, le développement d'outils et l'amélioration des connaissances apparaissent aujourd'hui indispensables à la gestion de cette crise de la biodiversité. Ceci semble d'autant plus urgent dans les régions tropicales, où la distribution même de la diversité est encore mal connue (Gonzalez, 2009).

La biodiversité peut être mesurée à différents niveaux d'organisation biologique (génome, population, communauté, paysage). Elle est souvent quantifiée à partir de trois critères complémentaires : le nombre d'entités distinctes, leur fréquence relative et la différence entre les entités. Au niveau de la communauté, mesurer la diversité

revient à quantifier la richesse spécifique, la fréquence relative des espèces, et la richesse de l'histoire évolutive ou fonctionnelle représentée par les lignées présentes. La quantification de la diversité est souvent partitionnée en trois échelles spatiales: l'échelle locale (α) tel est le cas de la présente recherche, l'échelle régionale (γ), et une échelle intermédiaire (β) qui représente la comparaison entre la diversité régionale et la diversité locale (Whittaker, 1972 ; Blondel, 1995).

Les écosystèmes forestiers de plaine congolaise, notamment ceux des faciès à *A. bipindensis* (Doussié rouge), ont fait l'objet de quelques études focalisées principalement sur l'inventaire floristique, la description structurale et le fonctionnement. Les causes de l'existence d'une forte diversité d'espèces végétales dans les forêts tropicales ont fait l'objet d'études et de nombreux débats au cours de ces cinq dernières décennies et demeurent un problème central en écologie (Seidler et Plotkin, 2006 ; Gonzalenz, 2009 ; Kouob, 2009). La plupart des études réalisées sur ce sujet ont porté sur l'identification des mécanismes permettant d'expliquer le maintien de cette diversité. Elles ont testé les hypothèses de densité-dépendance (Chave *et al.*, 2002), de limitation de la dispersion des diaspores, du recrutement (Hubbell, 2001 ; Muller-Landau, 2002) et de perturbations (trouées ou chablis) à l'échelle locale (Molino et Sabatier, 2001). Dans les perturbations de grande étendue, notamment celles causées par la présence humaine, les vents violents et/ou les feux, la richesse spécifique demeurent souvent moindres par rapport aux forêts anciennes ou matures non perturbées (Doucet, 2003). Tandis que les perturbations légères ou modestes, comme celles induites par des chablis naturels, constituent des sources d'hétérogénéité intra-forestière et peuvent augmenter la diversité (Puig, 2001).

Partant de ces différentes pensées, nous formulons les hypothèses spécifiques suivantes pour chaque écosystème étudié : (i) les peuplements à *A. bipindensis* constituent une communauté végétale spécifique sous parcelles centrées Doussié, différente de celle des peuplements sous parcelles aléatoires et (ii) la diversité dans les peuplements sous parcelles centrées Doussié (peuplements à *A. bipindensis*) est plus faible que dans les peuplements des parcelles aléatoires. Notre objectif est de

caractériser et comparer l'environnement forestier immédiat d'*A. bipindensis* dans une même forêt tropicale de plaine sous deux milieux différents en occurrence naturel, la Réserve Forestière de la Yoko (RFY) et dégradé, la Réserve de Biosphère de Yangambi (RBY). Les résultats de ce travail permettront d'améliorer les connaissances sur l'écologie de cette espèce très exploitée dans toute son aire de répartition en Afrique de l'Ouest et Centrale.

2. Sites d'étude et méthodes

2.1 Sites d'étude

Ce travail a été réalisé en 2009 dans la réserve forestière de la Yoko comme milieu naturel (RFY) et dans la réserve de biosphère de Yangambi comme milieu dégradé (RBY). Le choix de ces deux sites pour la réalisation de cette étude a été motivé par des raisons suivantes : la forte densité des pieds de l'espèce et les conditions d'accessibilité facile (Kombele, 2004 ; Solia, 2007).

2.2 Inventaire floristique des ligneux

Nous avons travaillé en 2009 dans deux parcelles d'observations permanentes : l'une de 120 ha, installée sous une jachère arbustive à Yangambi et l'autre de 50 ha installée dans la forêt dense hétérogène de la partie Sud de la RFY. Dans les deux sites, tous les individus d'*A. bipindensis* ≥ 10 cm de dhp (diamètre à hauteur de poitrine) ont été cartographiés (coordonnées (x, y)). Après analyse de la répartition spatiale de l'espèce (site de Yangambi), nous avons identifié dans chaque site, deux types des placettes (aléatoire et centrée Doussié) contrastées du point de vue de leur densité pour une étude floristique des ligneux.

Rappelons que les petites parcelles carrées et/ou quadrat de 40 m de côté (soit 0,16 ha) chacune dans chaque site, nous ont servi pour décrire la composition floristique, car le quadrat permet de sonder plus intensément une surface supposée homogène au départ, pour obtenir une masse critique d'informations que ne fournit pas le transect. Dans chacun de ces deux sites, nous avons inventorié tous les arbres ≥ 10 cm de dhp

dans 40 placettes carrées de 40 m de côté (0,16 ha/placette), soit un total de 40 quadrats inventoriés (6,4 ha) dont 20 placettes à RFY (soit 3,2 ha) et 20 placettes à RBY (3,2 ha). Le carré de 40 m de côté (soit 0,16 ha) correspond grossièrement au diamètre de la trouée créée par le chablis d'un grand arbre émergent (40-50 m de hauteur). Les placettes ont été installées de deux façons : dans les zones dépourvues d'*A. bipindensis*, choisies au hasard et autres centrées sur des pieds d'*A. bipindensis*. Pour le calcul de la densité relative et de la surface terrière de toutes les espèces inventoriées, nous avons considéré le diamètre des individus se trouvant dans les sites où les placettes ont été installées.

2.3 Méthodes d'analyse des données

2.3.1 Paramètres structuraux de peuplement

(i) La densité est le nombre d'arbres à dhp (diamètre à hauteur de poitrine) ≥ 10 cm recensés sur un hectare.

(ii) La surface terrière est définie comme la surface occupée par le tronc à la hauteur de poitrine ou 1,30 m au-dessus du sol. Elle a été calculée pour chaque essence par la sommation de la surface terrière de tous les individus de cette essence. Elle est exprimée en m²/ha (Mueller-Dombois, 1974 ; Reitsma, 1988 ; Lomba, 2007). Elle a été calculée en utilisant la relation suivante :

$$ST = \sum_{a=1}^N \frac{\pi}{4} D_a^2 \quad (1.1)$$

Où St = Surface terrière, Da = Diamètre, N = nombre total des pieds de chaque essence par hectare.

(iii) La distribution des grosseurs ou structure diamétrique indique le nombre des tiges inventoriées par classes de diamètre. Les diamètres à 1,30 m de hauteur de tous les pieds d'arbres inventoriés ont été mesurés à l'aide d'un ruban métrique et regroupés en plusieurs classes. La persistance d'une espèce dans les communautés

forestières dépend en effet pour la grande part de sa présence dans les différentes classes diamétriques (Sonké, 1998).

2.3.2 Indices de caractérisation floristique

Afin de procéder à une bonne analyse de la composition botanique de peuplement étudié, nous avons recouru aux indices ou paramètres ci-après (Reitsma, 1988 ; Lejoly, 1993 ; Doucet, 2003 ; Gillet *et al.*, 2003ab ; Solia, 2007 ; Nshimba, 2008) :

(i) la densité relative (Dr) d'une espèce correspond au nombre d'individus de la même espèce par unité de surface. La densité relative est le nombre de pieds d'une espèce (ou famille), pondéré au nombre de pieds total.

$$Dr = 100 \times \frac{\text{Nombre d'individus d'une espèce ou famille}}{\text{Nombre total d'individus présents dans l'échantillon}} \quad (1.2)$$

(ii) la dominance relative (Dor) d'une espèce (ou d'une famille) est le rapport de la surface terrière de cette espèce (ou famille) à la surface terrière totale.

$$Dor = 100 \times \frac{\text{Surface terrière d'une espèce ou famille}}{\text{Surface terrière totale de l'échantillon}} \quad (1.3)$$

(iii) l'importance relative ou indice de valeur d'importance (IVI), correspond pour une espèce donnée, à la somme de sa densité, de sa dominance et de sa fréquence relative. Notons que la densité, la dominance et la fréquence relative sont comprises entre 0 et 100 alors que l'importance relative est comprise entre 0 et 200 (Cottam et Curtis, 1956 ; Reitsma, 1988).

$$IVI = Dr + Dor \quad (1.4)$$

2.3.3 Indices de diversité et de similarité

(i) Un indice de diversité est fonction de la richesse spécifique de la communauté et de la structure de la communauté. Il permet d'évaluer rapidement, en un seul chiffre, la biodiversité d'un peuplement. Il renseigne sur la qualité et le fonctionnement des peuplements (Senterre, 2005). Un des premiers paramètres de l'analyse de la

biodiversité est la richesse spécifique (S) qui correspond au nombre d'espèces rencontrées sur une surface déterminée (Doucet, 2003). En plus de la richesse spécifique, les indices de diversité calculés dans ce travail afin de statuer sur la diversité des différents peuplements forestiers en étude, sont l'indice alpha de Fisher, l'indice de Simpson et l'indice de Shannon. L'indice α de Fisher est assez facile à calculer car, il ne nécessite que le nombre d'individus dans la communauté dont on cherche à évaluer la diversité. Il prend en compte les espèces rares et est stable en fonction de nombre d'individus.

$$S = \alpha \ln (1+N / \alpha) \quad (1.5)$$

Où S : richesse spécifique ; N : nombre d'individus et α : indice de Fisher.

A densité et richesse spécifique égales, deux peuplements peuvent présenter des structures très inégales. Pour tenir compte de cet aspect le recours aux indices de Simpson (D) et de Shannon (H) est envisageable (Doucet, 2003 ; Lomba, 2007). Ils s'obtiennent par les relations suivantes :

$$D = \sum Ni(Ni - 1) / N(N - 1) \quad (1.6)$$

Avec D = Indice de Simpson ; Ni = nombre d'individus de l'espèce donnée, N = nombre total d'individus pour l'ensemble des espèces. Il nous a permis de tester la probabilité pour que deux individus pris au hasard dans un peuplement appartiennent à la même espèce. Il varie entre 0 et 1 : il se rapproche de 0 lorsque les chances d'obtenir des individus d'espèces différentes sont élevées.

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \times \ln p_i \text{ avec } p_i = \frac{n_i}{N} \quad (1.7)$$

H = Indice de Shannon/Wiener ou indice de diversité et pi = proportion par espèce i allant de 1 à S. La valeur élevée de cet indice indique un nombre important d'espèces ou des fréquences peu différentes entre les espèces rencontrées dans une végétation.

(ii) Le calcul des coefficients de similitude permet de quantifier le degré d'association entre les espèces, ou encore le niveau de similitude entre deux sites (Nshimba, 2008). Plusieurs indices sont utilisés en fonction des données d'occurrence ou incidence des espèces (présence absence) ou selon les données de leurs abondances spécifiques. Lorsqu'on dispose des données d'abondances spécifiques, on peut faire recours aux indices de Bray-Curtis, Morisita-Horn, etc. L'indice de similarité calculé pour cette étude est celui de Morisita-Horn (CMH). Ce dernier indice a été choisi à raison de son efficacité et sa simplicité.

$$CMH = \frac{2 \sum (a_{ni} \times b_{ni})}{(d_a + d_b) a_N \times b_N} \quad (1.8)$$

Où a_N = nombre d'individus d'un site a ; b_N = nombre d'individus d'un site b ; a_{ni} = nombre d'individus de l'espèce i dans le site a ; b_{ni} = nombre d'individus de l'espèce i dans le site b ; d_a : nombre d'espèces spécifiques au site a ; d_b = nombre d'espèces spécifiques au site b (Magurran, 2004).

Pour vérifier que les peuplements forestiers étudiés ne constituent pas une même communauté végétale du point de vue de la composition floristique, en plus de l'indice de similarité de Morisita-Horn calculé, l'analyse par la DCA (Detrended Correspondance Analysis) qui est une méthode d'ordination et d'analyse indirecte de gradient basée sur l'Analyse Factorielle de Correspondance (CA)) selon leur similarité floristique en se servant des données d'abondance a également été déterminée (Nshimba, 2008).

2.3.4 Traitements statistiques des données

2.3.4.1 Test de comparaison des moyennes

Le test t de student, qui est un test paramétrique, a été employé pour comparer deux moyennes, notamment des densités et de surfaces terrières entre les deux peuplements forestiers en étude.

2.3.4.2 Comparaison des proportions

Pour réaliser les comparaisons des proportions, notamment entre les classes de diamètres, nous avons utilisé le test de conformité de chi-carré. Le chi-carré doit toujours être appliqué sur des valeurs observées brutes, jamais sur des valeurs transformées (Nshimba, 2008). L'autre condition essentielle requise pour s'assurer de la validité des résultats du test de chi-carré est la réalisation de la règle de Cochran (Milot, 2011) fixant un effectif minimum dans les classes : dans chaque classe les fréquences théoriques doivent être supérieures ou égales à 5, mais la possibilité d'avoir certaines classes avec des fréquences théoriques comprises entre 1 et 5 % est probable si 80 % minimum de la totalité des classes ont au moins 5 effectifs théoriques. Lorsque la règle de Cochran n'était pas respectée, le test exact de Fisher a été utilisé soit à la place du test de Chi-carré, soit concomitamment pour valider les résultats du Chi-carré.

3. Résultats

3.1 Caractéristiques structurales des peuplements étudiés

3.1.1 Densité et surface terrière de peuplement forestier

Les résultats obtenus des inventaires réalisés dans le peuplement sous *A. bipindensis* (1 hectare) indiquent que 196 et 149 individus ont été dénombrés respectivement pour les parcelles aléatoire et centrée Doussié de Yangambi, tandis que 408 et 356 individus ont été dénombrés respectivement pour les parcelles aléatoire et centrée Doussié de Yoko. Les surfaces terrières correspondantes (ramenées à l'hectare) sont respectivement de 5,23 m²/ha et 3,43 m²/ha respectivement pour les parcelles aléatoire et centrée Doussié du site de Yangambi, tandis que 41,95 m²/ha et 31,77 m²/ha pour le site de Yoko (Figure 17). La statistique t de student appliquée pour comparer la surface terrière de deux sites, indique qu'il y a une différence très significative au seuil de 5 % ($t = 15,25$, Ddl = 1, $p < 0,01$ et $t = 13,45$, Ddl = 1, $p < 0,01$) entre le site de Yangambi et le site de Yoko, respectivement pour les parcelles aléatoire et centrée Doussié. Tandis qu'au sein de chaque site, le test indique qu'il

n'y a pas de différence significative au seuil de 5 % ($t = 11,66$; $Ddl = 1$; $p = 0,09$ et $t = 09,11$; $Ddl = 1$; $p = 0,06$) respectivement pour les parcelles aléatoire et centrée Doussié dans les sites de Yangambi et de Yoko.

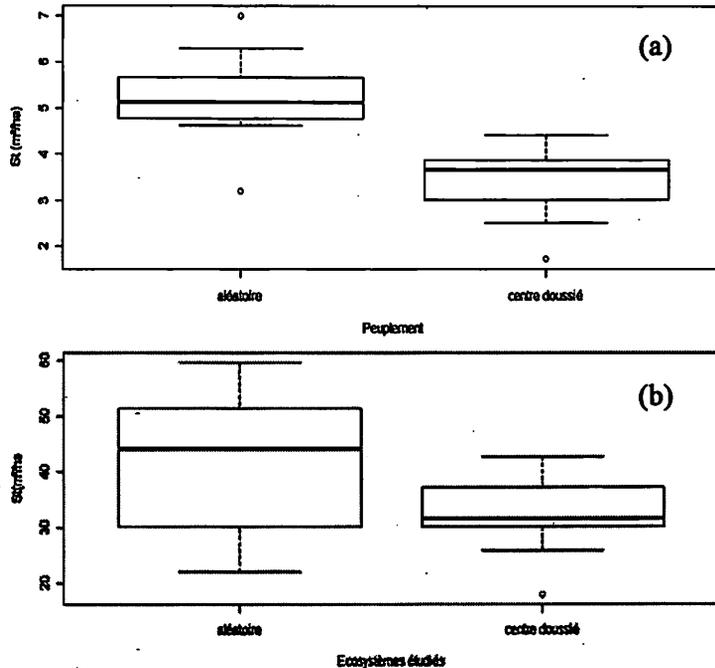


Figure 17. Dispersion des valeurs de surface terrière (St) par rapport aux densités des différentes espèces considérées. (17a) le site de la RBY, (17b) le site de la RFY. La boîte représente l'intervalle dans lequel sont regroupés 50 % des surfaces terrières et la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la surface terrière médiane ; la barre basse indique la surface terrière minimale et la barre haute la surface terrière maximale.

3.1.2 Structure diamétrique des peuplements

Les structures diamétriques des différents peuplements sont représentées par classes de 10 cm (Figure 18). Le diamètre moyen de l'arbre est respectivement de 17,10 cm (parcelle aléatoire) et 15,20 cm (parcelle centrée Doussié) pour le site de Yangambi, contre 29,80 cm et 28,00 cm respectivement parcelles aléatoire et centrée Doussié pour le site de Yoko. Les deux sites contiennent chacune plus de 50 % de tiges dans la première classe de diamètre (arbres de 10-20 cm dhp). Elles présentent toutes des distributions diamétriques typiques des futaies irrégulières, avec une structure en J inversée. La statistique Chi-carré qui est un test de proportion, appliquée pour

comparer les structures au sein de chaque site, indique qu'il n'y a pas une différence significative entre les parcelles aléatoire et centrée Doussié sur la distribution diamétrique ($\chi^2 = 0,98$; Ddl = 3 ; $p = 0,80$ pour le site de Yangambi) et ($\chi^2 = 0,51$; Ddl = 9 ; $p = 0,51$ pour le site de Yoko).

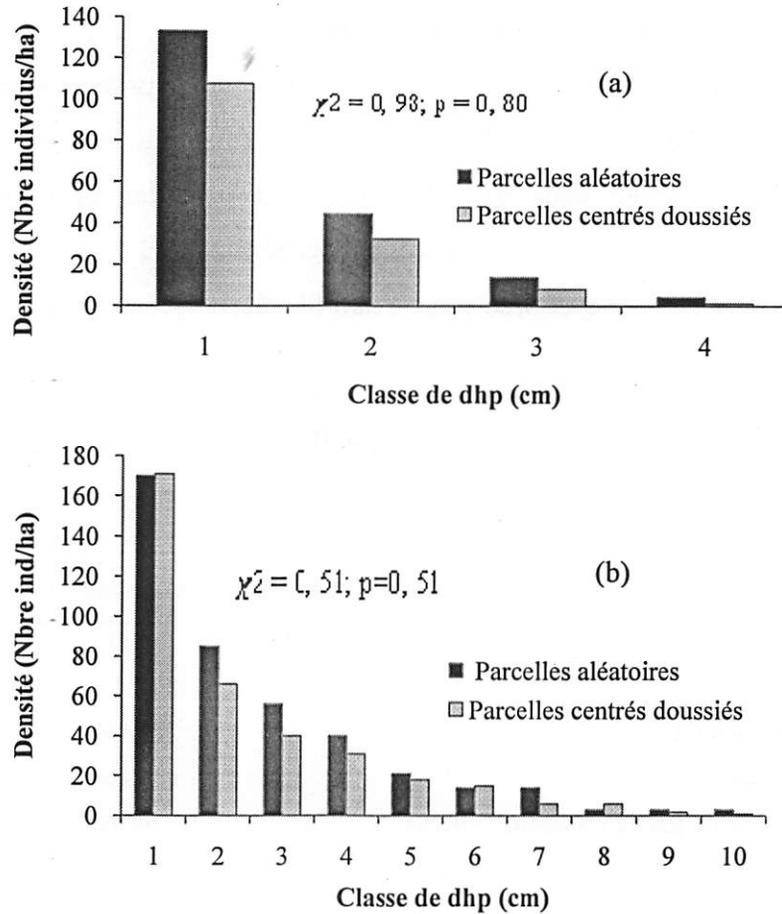


Figure 18. Distribution diamétrique des tiges inventoriées dans chaque site étudié suivant les différentes parcelles aléatoires et centrées Doussié. (18a) Le site de la RBY, (18b) Le site de la RFY. Signification des classes de diamètre : 1 = 10-20 cm dhp ; 2 = 20-30 cm ; ...

3.2 Caractéristiques floristiques

3.2.1 Richesse et diversité floristiques

Les peuplements sous *A. bipindensis* comptent respectivement 44 et 37 espèces (respectivement les parcelles aléatoire et centrée Doussié) pour le site de Yangambi,

contre 133 et 103 espèces (respectivement les parcelles aléatoire et centrée Doussié) pour le site de Yoko dans les quarante placettes inventoriées. Au total 25 et 20 familles pour le site de Yangambi, contre 33 et 27 familles botaniques pour le site de Yoko ont été dénombrées. Les valeurs de l'indice de diversité alpha de Fisher la plus élevée ($\alpha = 50,49$) se retrouvent sous les parcelles aléatoires Yoko, suivi de $\alpha = 36,73$ sous parcelles centrées Doussié Yoko), contre $\alpha = 13,95$ et $\alpha = 12,25$ respectivement sous parcelles aléatoire et centrée Doussié pour le site de Yangambi, pour les indices de Simpson $D = 0,93$ pour le site de Yangambi contre $D = 0,98$ pour le site de Yoko pour les deux sites, les différentes parcelles aléatoire et centrée Doussié présentent des valeurs similaires et de Shannon $H = 3,23$ et $3,16$ pour Yangambi, contre $H = 4,48$ et $4,26$ pour Yoko (Tableau 4). Les placettes de site de Yoko montrent une diversité plus élevée.

Tableau 4. Richesse et indices de diversité floristique dans les peuplements de différents sites d'étude (Yangambi et Yoko).

| Caractéristiques floristiques | Yangambi | | Yoko | |
|--|-----------|----------------|-----------|----------------|
| | Aléatoire | Centré Doussié | Aléatoire | Centré Doussié |
| Nombre d'espèces | 44 | 37 | 133 | 103 |
| Nombre de familles | 25 | 20 | 33 | 27 |
| Indice de Simpson (D) | 0,93 | 0,93 | 0,98 | 0,98 |
| Indice de Shannon (H) | 3,23 | 3,16 | 4,48 | 4,26 |
| Indice de diversité alpha de Fisher (α) | 13,95 | 12,25 | 50,49 | 36,73 |

En comparant les différents indices par le test t de Student d'indépendance pour les deux sites, il ressort qu'il y a une différence hautement significative pour les richesses spécifique et de famille dans le site de Yoko que celui de Yangambi ($t = 3,17$; $Ddl = 15$; $p = 0,01$). Tandis qu'au sein de chaque site, Yoko présente une différence significative pour l'indice de Shannon ($t = 2,45$; $Ddl = 15$; $p = 0,03$) et les restes des indices, il n'y a pas de différences significatives. Quant au site de Yangambi, il y a une différence significative pour les richesses de famille ($t = 2,77$; $Ddl = 17$; $p = 0,01$), tandis que pour les richesses spécifiques et les différents indices, il n'y a pas de différences significatives.

3.2.2 Abondance et Indice de Valeur d'Importance (IVI) des familles

L'indice d'importance des espèces (Importance Value Index = IVI) qui est la somme de l'abondance relative et de la dominance relative, indique les espèces qui caractérisent au mieux la flore étudiée (Tableaux en annexe 3). Le site de Yoko comprend le nombre le plus élevé d'espèces et de familles : 133 contre 103 espèces et 33 contre 27 familles respectivement les parcelles aléatoires et centrées Doussié (Tableau 4 ci-dessus). La famille de Melastomataceae (22 %) est la mieux représentée pour les parcelles aléatoires, en particulier du fait de la présence de *Belucia pentamera* (IVI = 44,30 %) et de Fabaceae (27 %) est la mieux représentée pour les parcelles centrées Doussié, en particulier du fait de la présence de *Vitex congolensis* (IVI = 19,70 %) du total des espèces de site de Yangambi. Tandis que la famille des Fabaceae est la mieux représentée (23 et 28 %), en particulier du fait de la présence de *Scorodophloeus zenkeri* (IVI = 15,50 % et 22,73 %) du total des espèces de site de Yoko respectivement les parcelles aléatoire et centrée Doussié (Figure 19). L'analyse des valeurs des indices de diversité calculés pour chaque site, montre que les parcelles renfermant une densité élevée d'*A. bipindensis* (centrées Doussié) possède les valeurs de diversité les plus faibles ($H = 3,16$ et $4,26$ respectivement pour le site de Yangambi et Yoko ; $\alpha = 12,25$ et $36,73$ respectivement pour le site de Yangambi et Yoko).

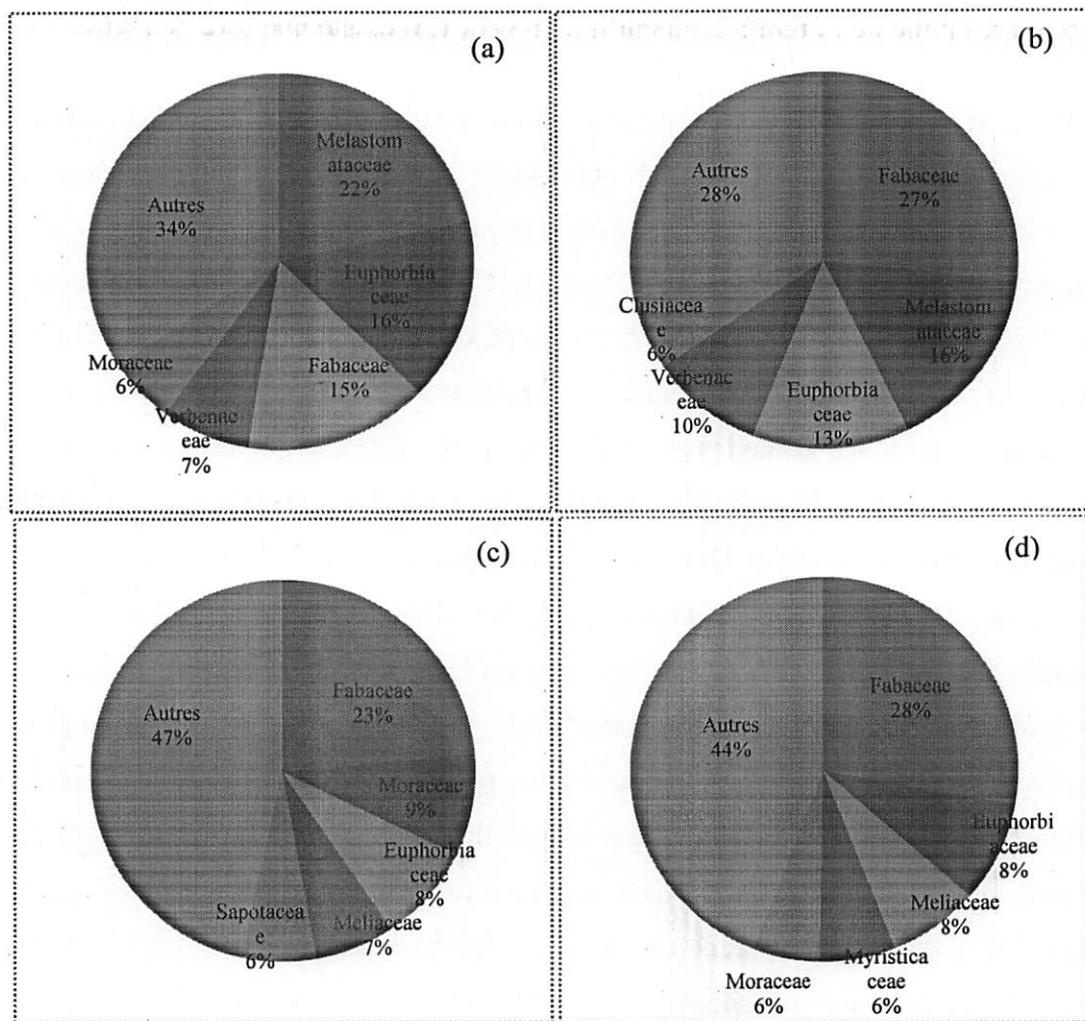


Figure 19. Comparaison de la densité relative des familles dans les quadrats « centrés doussié » et « aléatoires » (40 m de côté, soit 0,16 ha x 20 quadrats = 3,2 ha ; $Di = Ni/Nt$) de cinq familles les mieux représentées. (18ab) Le site de la RBY, (18cd) Le site de la RFY.

3.2.3 Similarité floristique

Les données d'abondance des espèces dans le peuplement en étude nous ont permis de calculer l'indice de similarité de Morisita-Horn (Tableau 5). Les indices de similarité expriment le degré de ressemblance spécifique entre deux communautés végétales, par la connaissance du nombre d'espèces qui les constituent. Lorsque ce coefficient tend vers 0, la similarité est faible et les deux communautés sont

différentes l'une de l'autre ; et lorsqu'il tend vers 1, il existe une forte similarité dans leur composition floristique.

Tableau 5. Indice de similarité de Morisita-Horn dans le peuplement

| | Al forêt | Al jachère | Cd forêt | Cd jachère |
|------------|----------|------------|----------|------------|
| Al forêt | 1,000 | | | |
| Al jachère | 0,003 | 1,000 | | |
| Cd forêt | 0,680 | 0,002 | 1,000 | |
| Cd jachère | 0,003 | 0,949 | 0,002 | 1,000 |

Al forêt = parcelles aléatoires sous forêt dense ; Al jachère = parcelles aléatoires sous jachère arbustive ; Cd forêt = parcelles centrées doussié sous forêt dense et Cd jachère = parcelles centrées doussié sous jachère arbustive.

Les résultats consignés dans le Tableau 5, montrent que les différents relevés réalisés dans les parcelles de peuplement sous *A. bipindensis* et dans les parcelles au hasard ne sont pas similaires du point de vue de la composition floristique, leur coefficient de similarité tend vers zéro entre le site de Yangambi et Yoko. Néanmoins, il y a une similarité au sein de chaque site c'est-à-dire les parcelles aléatoire et centré doussié, leur coefficient étant supérieur à 0,5 (compris entre 0,68 pour Yoko et 0,95 pour Yangambi).

La méthode de DCA a le mérite d'organiser de manière simple la matrice de données de départ et d'en identifier la structure majeure. Le programme regroupe des relevés qui ont une composition floristique proche. De même, il regroupe les espèces qui ont un patron de distribution semblable. Les quarante relevés phytosociologiques effectués dans les deux sites ont été soumis à l'analyse par la DCA (Detrended Correspondence Analysis) qui est une méthode d'ordination et d'analyse indirecte de gradient basée sur l'Analyse Factorielle de Correspondance (CA)). Une partition de ces relevés dans le plan des axes 1 et 2 de la DCA a mis en évidence deux groupements phytosociologiques (Figure 20). Le premier groupement est celui *Belucia pentamera* et *Vitex congolensis* et le deuxième à *Scorodophloeus zenkeri*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Petersianthus macrocarpus*. Les pourcentages cumulés

dynamique forestière. Etant donné la présence régulière des hommes au sein de ces forêts, leurs actions entraîneraient la présence favorisant ainsi le développement des espèces de jachère.

3.3 Espèces caractéristiques des écosystèmes étudiés

3.3.1 Espèces caractéristiques de milieu naturel (RFY)

Le site de Yokò comprend le nombre le plus élevé d'espèces et de familles : 133 contre 103 espèces et 33 contre 27 familles. Le constat peut être tiré de l'analyse des pourcentages de l'Indice de Valeur d'Importance (IVI) des espèces au niveau de deux types des parcelles. Deux espèces prennent chacune la tête du groupe d'espèces de parcelles (aléatoire et centrée Doussié): *Scorodophloeus zenkeri* vient en tête avec un pourcentage élevé (15,50 %), suivi de *Gilbertiodendron dewevrei* De Wild (11,92 %) respectivement parmi les vingt espèces dominantes dans les parcelles «aléatoires», tandis que dans les parcelles centrées Doussié, nous remarquons cette même présence de *Scorodophloeus zenkeri* (22,73 %), suivi de *Petersianthus macrocarpus* (Preuss) Stapf (7,58 %) à la Yoko comme milieu naturel. Le Doussié rouge n'appartient pas à un cortège d'essences compagnes. Il est ubiquiste, à l'exclusion des stations marécageuses et bas fonds. Les tableaux 7 et 8 montrent que la composition botanique des quadrats « centrés Doussié » diffère de celle des quadrats aléatoires, en tout cas au niveau des espèces.

Tableau 7. Indice de valeur d'importance de vingt espèces dans les parcelles «aléatoires» de milieu naturel.

| Espèces | D (N ind/ha) | St (m ² /ha) | Dr | Dor | IVI |
|-------------------------------------|--------------|-------------------------|--------------|--------------|---------------|
| <i>Scorodophloeus zenkeri</i> | 26 | 3,87 | 6,28 | 9,22 | 15,50 |
| <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> | 18 | 3,14 | 4,44 | 7,48 | 11,92 |
| <i>Petersianthus macrocarpus</i> | 14 | 1,15 | 3,52 | 2,75 | 6,27 |
| <i>Musanga cecropioides</i> | 12 | 0,88 | 2,91 | 2,1 | 5,01 |
| <i>Polyalthia swaveolens</i> | 5 | 1,87 | 1,23 | 4,46 | 5,69 |
| <i>Drypetes gossweileri</i> | 4 | 2,12 | 0,92 | 5,04 | 5,96 |
| <i>Microdesmis yafungana</i> | 8 | 1,17 | 1,99 | 2,78 | 4,77 |
| <i>Diospyros boala</i> | 6 | 1,52 | 1,53 | 3,63 | 5,16 |
| <i>Funtumia elastica</i> | 11 | 0,54 | 2,6 | 1,29 | 3,89 |
| <i>Pterocarpus soyauxii</i> | 7 | 0,86 | 1,68 | 2,05 | 3,73 |
| <i>Chrysophyllum lacourtiana</i> | 1 | 1,98 | 0,31 | 4,71 | 5,02 |
| <i>Pancovia harmsiana</i> | 6 | 1,00 | 1,38 | 2,38 | 3,76 |
| <i>Tridesmostemon claessens</i> | 4 | 1,22 | 1,07 | 2,91 | 3,98 |
| <i>Pycnanthus angolensis</i> | 8 | 0,36 | 1,99 | 0,86 | 2,85 |
| <i>Trilepisium madagascariensis</i> | 8 | 0,47 | 1,84 | 1,12 | 2,96 |
| <i>Pleiocarpa pycnantha</i> | 5 | 0,80 | 1,23 | 1,91 | 3,14 |
| <i>Pseudospondias macrocarpa</i> | 7 | 0,35 | 1,68 | 0,84 | 2,52 |
| <i>Myrianthus arboreus</i> | 8 | 0,18 | 1,84 | 0,43 | 2,27 |
| <i>Macaranga monandra</i> | 5 | 0,65 | 1,23 | 1,56 | 2,79 |
| <i>Heisteria parvifolia</i> | 6 | 0,26 | 1,53 | 0,62 | 2,15 |
| Total pour 20 espèces | 168 | 24,39 | 41,19 | 58,15 | 99,34 |
| Autres (119 espèces) | 240 | 17,56 | 58,81 | 41,85 | 100,66 |
| Total | 408 | 41,95 | 100 | 100 | 200,00 |

Tableau 8. Indice de valeur d'importance de vingt espèces dans les parcelles «centrées Doussié» de milieu naturel.

| Espèces | D (N ind/ha) | St (m ² /ha) | Dr | Dor | IVI |
|-------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <i>Scorodophloeus zenkeri</i> | 23 | 5,21 | 6,33 | 16,40 | 22,73 |
| <i>Petersianthus macrocarpus</i> | 10 | 1,51 | 2,81 | 4,77 | 7,58 |
| <i>Funtumia elastica</i> | 14 | 0,71 | 4,04 | 2,23 | 6,27 |
| <i>Rhinorea oblongifolia</i> | 13 | 0,70 | 3,51 | 2,19 | 5,70 |
| <i>Prioria balsamifera</i> | 9 | 1,01 | 2,64 | 3,18 | 5,82 |
| <i>Pycnanthus angolensis</i> | 12 | 0,56 | 3,34 | 1,76 | 5,10 |
| <i>Guarea thompsonii</i> | 5 | 1,45 | 1,41 | 4,58 | 5,99 |
| <i>Ricinodendron heudelotii</i> | 5 | 1,40 | 1,41 | 4,42 | 5,83 |
| <i>Sterculia tragacantha</i> | 9 | 0,47 | 2,64 | 1,49 | 4,13 |
| <i>Albizia gumifera</i> | 5 | 1,17 | 1,41 | 3,69 | 5,10 |
| <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> | 1 | 0,75 | 1,76 | 2,35 | 4,11 |
| <i>Gilletiodendron kisantuensis</i> | 8 | 0,51 | 2,11 | 1,61 | 3,72 |
| <i>Julbernardia seretii</i> | 6 | 0,65 | 1,76 | 2,05 | 3,81 |
| <i>Annonidium manni</i> | 8 | 0,24 | 2,28 | 0,77 | 3,05 |
| <i>Symphonia globilifera</i> | 4 | 0,68 | 1,23 | 2,15 | 3,38 |
| <i>Staudtia kamerunensis</i> | 6 | 0,22 | 0,88 | 2,84 | 3,72 |
| <i>Azelia bipindensis</i> | 6 | 0,30 | 1,76 | 0,93 | 2,69 |
| <i>Trilepisium madagascariensis</i> | 6 | 0,41 | 1,58 | 1,28 | 2,86 |
| <i>Macaranga spinosa</i> | 7 | 0,15 | 1,93 | 0,48 | 2,41 |
| <i>Musanga cecropioides</i> | 6 | 0,26 | 1,76 | 0,81 | 2,57 |
| Total pour 20 espèces | 164 | 18,36 | 46,57 | 59,97 | 106,54 |
| Autres (97 espèces) | 192 | 13,41 | 53,43 | 40,03 | 93,46 |
| Total | 356 | 31,77 | 100,00 | 100,00 | 200,00 |

3.3.2 Espèces caractéristiques de milieu dégradé (RBY)

Le site de Yangambi comprend le nombre le moins élevé d'espèces et de familles : 44 contre 37 espèces et 25 contre 20 familles. Le constat peut être tiré de l'analyse des pourcentages de l'Indice de Valeur d'Importance (IVI) des espèces au niveau de deux types des parcelles. Deux espèces prennent chacune la tête du groupe d'espèces de parcelles (aléatoire et centrée Doussié): *Belucia pentamera* Seem vient en tête avec un pourcentage élevé (44, 30 %), suivi de *Vitex congolensis* De Wild. & Th.Dur (16,53 %) respectivement parmi les vingt espèces dominantes dans les parcelles «aléatoires», tandis que dans les parcelles centrées Doussié, nous remarquons cette

même présence de *Belucia pentamera* Seem (29,89 %), suivi de *Vitex congolensis* De Wild. & Th.Dur (19,70 %) à Yangambi comme milieu dégradé. Les tableaux 9 et 10 montrent que la composition botanique des quadrats « centrés Doussié » ne diffère presque pas de celle des quadrats aléatoires, en tout cas au niveau des espèces.

Tableau 9. Indice de valeur d'importance de vingt espèces dans les parcelles « aléatoires » de milieu dégradé

| Espèces | D (N ind/ha) | St (m ² /ha) | Dr | Dor | IVI |
|----------------------------------|--------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <i>Belucia pentamera</i> | 39 | 1,26 | 20,13 | 24,17 | 44,30 |
| <i>Vitex congolensis</i> | 18 | 0,20 | 11,18 | 5,35 | 16,53 |
| <i>Macaranga monandra</i> | 8 | 0,23 | 7,03 | 7,88 | 14,91 |
| <i>Macaranga spinosa</i> | 11 | 0,26 | 5,43 | 4,99 | 10,42 |
| <i>Pycnanthus angolensis</i> | 10 | 0,21 | 5,11 | 3,99 | 9,10 |
| <i>Albizia ferruginea</i> | 8 | 0,26 | 4,15 | 4,93 | 9,08 |
| <i>Hymenocardia ulmoides</i> | 7 | 0,28 | 3,51 | 5,35 | 8,86 |
| <i>Garcinia epunctata</i> | 8 | 0,21 | 4,15 | 3,96 | 8,11 |
| <i>Musanga cecropioides</i> | 5 | 0,34 | 2,56 | 6,51 | 9,07 |
| <i>Morinda lucida</i> | 6 | 0,15 | 3,19 | 2,84 | 6,03 |
| <i>Macaranga spinosa</i> | 5 | 0,19 | 2,56 | 3,59 | 6,15 |
| <i>Pterocarpus soyauxii</i> | 4 | 0,15 | 2,24 | 2,85 | 5,09 |
| <i>Trichilia monadelpha</i> | 5 | 0,06 | 2,56 | 1,17 | 3,73 |
| <i>Treculia africana</i> | 4 | 0,10 | 1,92 | 1,89 | 3,81 |
| <i>Bacteria nigritana</i> | 4 | 0,08 | 1,92 | 1,44 | 3,36 |
| <i>Nauclea diderrichii</i> | 4 | 0,07 | 1,92 | 1,36 | 3,28 |
| <i>Millettia dubia</i> | 3 | 0,10 | 1,28 | 1,94 | 3,22 |
| <i>Petersianthus macrocarpus</i> | 3 | 0,08 | 1,28 | 1,56 | 2,84 |
| <i>Maesopsis eminii</i> | 3 | 0,05 | 1,60 | 0,91 | 2,51 |
| <i>Carapa procera</i> | 3 | 0,04 | 1,60 | 0,78 | 2,38 |
| Total pour 20 espèces | 157 | 4,32 | 85,30 | 87,44 | 172,74 |
| Autres (21 espèces) | 39 | 0,91 | 14,70 | 12,56 | 27,26 |
| Total | 196 | 5,23 | 100,00 | 100,00 | 200,00 |

Tableau 10. Indice de valeur d'importance de vingt espèces dans les parcelles « centrées Doussié » de milieu dégradé

| Espèces | D (N ind/ha) | St (m ² /ha) | Dr | Dor | IVI |
|----------------------------------|--------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <i>Belucia pentamera</i> | 28 | 0,39 | 18,41 | 11,48 | 29,89 |
| <i>Vitex congolensis</i> | 13 | 0,37 | 8,79 | 10,91 | 19,70 |
| <i>Garcinia epunctata</i> | 11 | 0,18 | 7,11 | 5,20 | 12,31 |
| <i>Morinda lucida</i> | 6 | 0,25 | 4,18 | 7,38 | 11,56 |
| <i>Azelia bipindensis</i> | 6 | 0,25 | 4,18 | 7,16 | 11,34 |
| <i>Hymenocardia ulmoides</i> | 8 | 0,17 | 5,02 | 4,90 | 9,92 |
| <i>Albizia ferruginea</i> | 7 | 0,13 | 4,60 | 3,66 | 8,26 |
| <i>Pterocarpus soyauxii</i> | 4 | 0,25 | 2,51 | 7,16 | 9,67 |
| <i>Pycnanthus angolensis</i> | 6 | 0,15 | 3,77 | 4,26 | 8,03 |
| <i>Paramacrolobium coeruleum</i> | 6 | 0,13 | 3,77 | 3,74 | 7,51 |
| <i>Macaranga spinosa</i> | 4 | 0,05 | 3,35 | 1,60 | 4,95 |
| <i>Anthonotha macrophylla</i> | 3 | 0,14 | 2,09 | 4,05 | 6,14 |
| <i>Millettia dubia</i> | 5 | 0,05 | 3,35 | 1,34 | 4,69 |
| <i>Macaranga monandra</i> | 4 | 0,07 | 5,02 | 3,71 | 8,73 |
| <i>Piptadeniastrum africanum</i> | 3 | 0,11 | 1,67 | 3,15 | 4,82 |
| <i>Bacteria nigritana</i> | 3 | 0,10 | 1,67 | 2,85 | 4,52 |
| <i>Voacanga chlotiana</i> | 3 | 0,09 | 1,67 | 2,53 | 4,20 |
| <i>Dialium pachyphyllum</i> | 3 | 0,04 | 1,67 | 1,10 | 2,77 |
| <i>Musanga cecropioides</i> | 2 | 0,06 | 1,26 | 1,81 | 3,07 |
| <i>Canarium schweinfurthii</i> | 3 | 0,02 | 1,67 | 0,71 | 2,38 |
| Total pour 20 espèces | 123 | 3,00 | 85,77 | 88,69 | 174,46 |
| Autres (16 espèces) | 26 | 0,43 | 14,23 | 11,31 | 25,54 |
| Total | 149 | 3,43 | 100,00 | 100,00 | 200,00 |

4. Discussion

Les résultats obtenus indiquent des différences entre, d'une part, les parcelles aléatoires et les parcelles centrées Doussié au sein de chaque site, et d'autre part, entre les deux sites présentant des densités contrastées en *A. bipindensis* entre-elles.

4.1 Peuplements sous parcelles centrée Doussié et aléatoire constituent deux communautés végétales différentes sous milieu naturel

Les résultats obtenus de relevés phytosociologiques ainsi que ceux de mesures de diamètres (dans les placettes) ont révélé l'importance de certaines familles en ce qui concerne leur richesse en espèces. Sur un total général de 133 et 103 espèces ; 33 et 27 familles respectivement sous parcelles aléatoire et centrée Doussié du site de Yoko, les familles des Fabaceae, des Moraceae, des Euphorbiaceae, des Meliaceae et des Sapotaceae sont mieux représentées et ont présenté une diversité spécifique plus élevée dans des parcelles aléatoires, en particulier du fait de la présence de *Scorodophloeus zenkeri* (15,50 %), *Gilbertiodendron dewevrei* (11,92 %), *Petersianthus macrocarpus* (6,27 %), *Polyalthia swaveolens* (5,69 %), *Drypetes gossweileri* (5,96 %), *Diospyros boala* (5,16 %), *Chrysophyllum lacourtiana* (5,02 %), *Musanga cecropioides* (5,01 %), *Microdesmis yafungana* (4,77 %), *Funtumia elastica* (3,89 %), *Pterocarpus soyauxii* (3,73 %), etc.

Tandis que dans les parcelles centrées Doussié, les familles des Fabaceae, des Euphorbiaceae, des Meliaceae, des Myristicaceae et des Moraceae sont mieux représentées et ont enregistré une diversité spécifique plus élevée par rapport à d'autres, en particulier du fait de la présence de *Scorodophloeus zenkeri* (22,73 %), *Petersianthus macrocarpus* (7,58 %), *Funtumia elastica* (6,27 %), *Rhinorea oblongifolia* (5,70 %), *Prioria balsamifera* (5,82 %), *Pycnanthus angolensis* (5,10 %), *Guarea thompsonii* (5,99 %), *Ricinodendron heudelotii* (5,83 %), *Sterculia tragacantha* (4,13 %), *Albizia gumifera* (5,10 %) et autres. Il est intéressant de constater que la richesse de ces familles en espèces a depuis longtemps été soulignée par plusieurs auteurs dans les forêts tropicales entre autres (Evrard 1968 ; Lebrun et Gilbert, 1954 ; Schnell 1971 ; Doucet, 2003 ; Kouob, 2009). En effet, Guillaumet (1979) et Lomba (2007) les signalent comme étant très abondantes dans les forêts denses sempervirentes et mésophiles semi-décidues. En comparant les différents indices par le test d'indépendance de χ^2 de Student dans le site de Yoko, il se dégage qu'il y a une différence hautement significative pour les richesses spécifique et de

famille ($t = 3,17$; $Ddl = 15$; $p < 0,01$) tandis que l'indice de Shanon présente une différence significative ($t = 2,45$; $Ddl = 15$; $p < 0,01$). Les restes des indices, il n'y a pas de différence significative.

Dans les forêts tropicales, les densités des arbres d'au moins 10 cm de dhp varie entre 300 et 700 arbres/ha (Richards, 1996). Cette moyenne correspond à environ plus de 400 arbres/ha pour les arbres de dhp compris entre 10 cm et 30 cm et environ 100 arbres pour les arbres d'au moins 30 cm de dhp (Senterre, 2005). Les densités moyennes dans les 2 types d'inventaires ne sont pas significativement différentes de celles observées dans le domaine Guinéo-congolais (Sonké, 1998 ; Kouka, 2002 ; Makana, 2004 ; Kenfack, 2006 ; Tchouto *et al.*, 2006). Ces densités sont aussi régulièrement rencontrées dans les forêts tropicales amazoniennes et d'Asie du sud-est, avec une tendance à la hausse pour les petites classes de diamètre, dans les sites où la pluviométrie est élevée (Lee *et al.*, 2002 ; Valencia *et al.*, 2004). Les densités élevées de l'ensemble des arbres dominants aussi bien dans les grandes classes que dans les petites classes de diamètres contribuent au maintien de la voûte forestière. L'adaptation d'espèces constitutives de cet ensemble structural aux faibles conditions d'éclairement du sous-bois dans les premiers stades de croissance et leur épanouissement, totalement ou partiellement exposées au rayonnement solaire direct permettent la coexistence des ensembles des arbres dominés et émergents.

La surface terrière des strates arborescentes ($dhp \geq 10$ cm) dans les forêts tropicales est estimée entre 27 et 32 m^2/ha (Schulz, 1967). Elle augmente généralement des strates dominées vers les strates dominantes. Malgré la densité élevée, la surface terrière dans l'inventaire des arbres de dhp compris entre 10 et 30 cm représente un peu moins de la moitié de celle obtenue dans l'inventaire des arbres d'au moins 30 cm. Nos résultats ne s'éloignent pas de ceux obtenus dans le domaine Guinéo-congolais (Makana *et al.*, 2004 ; Kenfack, 2006). Dans les forêts d'Amazonie, les arbres de dhp compris entre 10 cm et 30 cm présentent des surfaces terrières légèrement plus élevées, alors que dans les forêts d'Asie du sud-est, la tendance à la hausse est plutôt observée pour les arbres d'au moins 30 cm de dhp (Losos et Leigh,

2004). La croissance secondaire des végétaux est tributaire du patrimoine génétique et de l'environnement. Dans les forêts tropicales matures, les surfaces terrières, notamment dans les petites classes de diamètre semblent augmenter avec la pluviométrie annuelle, c'est du moins ce que semble indiquer les relevés du CTFS (Losos et Leigh, 2004). Dans les deux types d'inventaire, 9 familles dont 6 communes sont écologiquement dominantes. La plupart de ces familles (Euphorbiaceae, Fabaceae, Olacaceae, Anonaceae) figurent parmi les familles les plus dominantes du domaine Guinéo-congolais (Sunderland *et al.*, 2003 ; Chuyong *et al.*, 2004 ; Tchouto *et al.*, 2006). Certaines de ces familles notamment les 2 premières citées (Euphorbiaceae et Fabaceae) sont également dominantes aussi bien dans les forêts tropicales d'Amazonie que de celles de l'Asie du sud-est (Gentry, 1988 ; Losos et Leigh, 2004).

La notion de rareté spécifique reste assez subjective, elle dépend des compartiments explorés et de la taille de l'échantillon. Toutes les forêts tropicales comptent de nombreuses espèces rares qui présentent généralement de forts risques d'extinction (Kenfack, 2006). Les difficultés d'identification de la plupart de ces espèces conduisent à des pertes d'informations sur leurs distributions géographiques, ce qui ne permet pas d'affiner les conclusions concernant la rareté et les risques d'extinction (Ruokolainen *et al.*, 2002). Les proportions d'espèces absolument rares sont identiques dans les 2 types d'inventaires, ce qui signifie que ce phénomène est indépendant des compartiments dynamiques. Dans plusieurs études, c'est plutôt la rareté relative qui est privilégiée (Hubbell et Forster, 1986 ; Kenfack, 2006), et sur cette base, l'inventaire des arbres d'au moins 30 cm de dhp présente la proportion la plus élevée.

Les valeurs obtenues dans les forêts tropicales africaine, amazonienne et même d'Asie du sud-est sont inférieures aux nôtres (Condit *et al.*, 2005). Cette différence tient essentiellement aux méthodes de collecte de données. La prise en compte des ligneux des strates herbacées et arbustives diminue significativement les espèces rares. Quelque soit la méthode d'évaluation de la rareté spécifique adoptée, la

représentativité de l'échantillon doit être prise en compte. Les espèces menacées de la liste rouge de l'UICN sont celles dont la distribution couvre moins de 2 degrés carrés soit environ 20000 km² (Linder, 2001 ; Burgess *et al.*, 2005). Il est donc plus logique de prendre en compte la rareté absolue lorsque l'étude est réalisée à l'échelle locale, la rareté relative étant plus adaptée à l'échelle régionale.

L'analyse de la structure diamétrique montre aussi des différences significatives entre les parcelles aléatoire et centrée Doussié en ce qui concerne la surface terrière ($t = 2,23$; Ddl = 13 ; $p = 0,01$) et des différences hautement significatives en ce qui concerne la densité ($t = 3,70$; Ddl = 17 ; $p < 0,001$). Néanmoins, le test Chi-carré qui est un test de proportion, appliquée pour comparer les structures au sein de chaque site, indique qu'il n'y a pas une différence entre les parcelles aléatoire et centrée doussié sur la distribution diamétrique ($\chi^2 = 0,51$; Ddl = 9 ; $p = 0,51$). Les résultats indiquent que pour les parcelles aléatoires, ce sont les arbres des classes de diamètre ≥ 80 cm, 70-80 cm et 60-70 cm, qui participent le plus à la différence significative observée entre les parcelles aléatoires et les parcelles centrées doussiés. Cette variabilité « intra-forestière » en surface terrière a déjà été notée par de nombreux auteurs comme Hall et Swaine (1981) pour les forêts du Ghana, Maury-Lechon et Poncy (1986) pour les forêts d'Amazonie brésilienne, Boyemba (2011) pour la forêt de Yoko. Elle est une des facettes de l'hétérogénéité de la mosaïque forestière, liée à des différences d'évolution entre éco-unités ou zones (i.e. zones non perturbée, à perturbation faible, et à perturbation forte) (Oldeman, 1989). Cette hétérogénéité de la mosaïque forestière est observée à l'échelle du paysage comme à l'échelle locale (zone homogène du point de vue pédoclimatique).

4.2 Peuplements sous parcelles centrée Doussié et aléatoire constituent deux communautés végétales différentes sous milieu dégradé

Les peuplements des parcelles aléatoire et centrée Doussié sous jachère arbustive appartiennent à une même communauté végétale caractérisée par la présence de nombreuses espèces pionnières. Les résultats obtenus de relevés phytosociologiques ainsi que ceux de mesures de diamètres (dans les placettes) ont révélé l'importance

de certaines familles en ce qui concerne leur richesse en espèces sur le total général de 44 et 37 espèces regroupées à 25 et 20 familles respectivement sous parcelles aléatoires et centrées Doussié. Les familles des Melastomataceae, des Euphorbiaceae, des Fabaceae, des Verbenaceae et des Moraceae, sont mieux représentées et ont présenté une diversité spécifique plus élevée dans les parcelles aléatoires, en particulier du fait de la présence de *Belucia pentamera* (44,30 %), *Vitex congolensis* (16,53 %), *Macaranga spinosa* (14,91 %), *Macaranga spinosa* (10,42 %), *Pycnanthus angolensis* (9,10 %), *Albizia ferruginea* (9,08 %), *Hymenocardia ulmoides* (8,86 %), *Garcinia epunctata* (8,11 %), *Macaranga monandra* (6,15 %), etc. Par contre, dans les parcelles centrées Doussié, les familles des Fabaceae, des Melastomataceae, des Euphorbiaceae, des Verbenaceae et des Clusiaceae sont mieux représentées et ont enregistré une diversité spécifique plus élevée par rapport à d'autres, en particulier du fait de la présence de *Belucia pentamera* (29,89 %), *Vitex congolensis* (19,70 %), *Garcinia epunctata* (12,31 %), *Morinda lucida* (11,56 %), *Azalia bipindensis* (11,34 %), *Hymenocardia ulmoides* (9,92 %), *Pterocarpus soyauxii* (9,67 %), *Macaranga monandra* (8,73 %), *Albizia ferruginea* (8,26 %), etc.

Il est intéressant de constater que la richesse de ces familles en espèces a depuis longtemps été soulignée par plusieurs auteurs dans les forêts tropicales entre autres, (Lebrun et Gilbert, 1954 ; Evrard, 1968 ; Schnell, 1971 ; Doucet, 2003 ; Kouob, 2009). En effet Guillaumet (1979) et Lomba (2007) les signalent comme étant très abondantes dans les forêts denses sempervirentes et mésophiles semi-décidues. Il ressort qu'il y a une différence significative pour les richesses de famille ($t = 2,77$; Ddl = 18 ; $p < 0,01$). Tandis que pour les richesses spécifiques et les différents indices, il n'y a pas de différences significatives. L'analyse de la structure diamétrique montre cependant des différences hautement significatives entre les parcelles aléatoire et centrée Doussié en ce qui concerne la surface terrière ($t = 4,32$; Ddl = 17 ; $p < 0,001$) et des différences hautement significatives en ce qui concerne la densité ($t = 6,92$; Ddl = 15 ; $p < 0,001$). Néanmoins, le test Chi-carré qui est un test de proportion, appliquée pour comparer les structures au sein de chaque site,

indique qu'il n'y a pas une différence entre les parcelles aléatoire et centrée Doussié sur la distribution diamétrique ($\chi^2 = 0,98$; Ddl = 3 ; $p = 0,80$).

Les résultats indiquent que pour les parcelles aléatoires, ce sont les nombreux pieds des classes de diamètre ≥ 10 cm, qui participent le plus à la différence numérique significative observée entre les parcelles aléatoires que les parcelles centrées Doussié. Cette variabilité « intra-forestière » en surface terrière a déjà été notée par de nombreux auteurs comme Hall et Swaine (1981) pour les forêts du Ghana, Maury-Lechon et Poncy (1986) pour les forêts d'Amazonie brésilienne, Lomba (2007) pour les forêts de Yoko. Elle est une des facettes de l'hétérogénéité de la mosaïque forestière, liée à des différences d'évolution entre éco-unités ou zones (i.e. zones non perturbée, à perturbation faible, et à perturbation forte) (Oldeman, 1989). Cette hétérogénéité de la mosaïque forestière est observée à l'échelle du paysage comme à l'échelle locale (zone homogène du point de vue pédoclimatique).

Conclusion

Cette étude a permis de caractériser la diversité floristique du peuplement ligneux sous *A. bipindensis* dans deux écosystèmes différents en occurrence la RFY et la RBY. Nous avons montré que : (i) les surfaces terrières et les structures diamétriques sont significativement différentes entre les peuplements des parcelles aléatoires et les peuplements des parcelles centrées Doussié rouge dans les deux sites différents à l'occurrence un milieu naturel et un milieu dégradé. les arbres les plus gros, se trouvent dans le site de Yoko (une forêt dense) et dans les peuplements des parcelles aléatoires que dans les peuplements centrés Doussié, (ii) les peuplements de milieu naturel des parcelles aléatoire et centrée Doussié constituent, du point de vue de la composition floristique, une même communauté végétale, différente de celle de milieu dégradé (jachère arbustive); les perturbations auraient modifié la composition floristique de ces peuplements, (iii) deux espèces prennent chacune la tête du groupe d'espèces indicatrices et permettent de distinguer les deux groupes (forêts et jachère arbustive *A. bipindensis*) ; il s'agit de *Scorodophloeus zenkeri* (IVI = 15,50 %) pour les peuplements sous forêt dense, une espèce de la canopée de forêt au stade

d'équilibre, et *Belucia pentamera* (IVI = 44,30 %) pour les peuplements de jachère arbustive à *A. bipindensis*, une espèce pionnière des jachères arbustives au stade de succession secondaire, (iv) le Doussié rouge n'appartient pas à un cortège d'essences compagnes. Il est ubiquiste, à l'exclusion des stations marécageuses et des bas fonds. Il est représenté par des individus jeunes et vieux dans les faciès dégradés ou matures. Ceci met en doute l'image classique du Doussié rouge comme espèce caractéristique de la forêt dense, (v) les perturbations, qui auraient favorisé l'installation d'*A. bipindensis*, auraient également contribué à la baisse de la diversité spécifique à Yangambi. Cent pourcent (100 %) d'espèces sont caractéristiques de chaque site et sont des espèces pionnières de lumière ou héliophile. *A. bipindensis* aurait effectivement profité des perturbations (présence humaine) pour s'installer (i.e. site de Yangambi, un milieu dégradé) d'où une forte densité par rapport à Yoko. Le peuplement forestier dans lequel elle se développe est caractérisé par des espèces des stades relativement jeunes (espèces pionnières) de la succession secondaire. Etant donné que c'est une espèce héliophile à répartition agrégée, la perturbation doit très vraisemblablement influencer l'installation de la population. L'ensemble de ces constats doit permettre d'élaborer des nouvelles orientations dans les pratiques de gestion de forêts pour une exploitation plus adaptée d'*A. bipindensis*.

Remerciements

Au terme de cette étude, nous tenons vivement à remercier pour leur financement, la Coopération Technique Belge (CTB) ainsi que le CIFOR via, le Programme de relance de la recherche Agricole et Forestière en République Démocratique du Congo (REAFOR). Nous pensons aussi aux Messieurs Dieu Bondele et Lonema chuda de la section foresterie de l'INERA/Yangambi pour leur aide à la récolte des données de terrain.

Etude 4 : Influence des propriétés physico-chimiques du sol sous *Azelia bipindensis* Harms dans la RFY et RBY, RD Congo

Résumé

La présente étude s'est fixée comme tâche, de quantifier et comparer les propriétés physico-chimiques du sol sous *A. bipindensis* dans deux différents écosystèmes : RFY et RBY, RD Congo. Ensuite, tester si, parmi les propriétés physico-chimiques de sols mesurées, il existe pour chacune d'elle, une différence significative entre le plateau et le versant. Pour atteindre ce but, 32 fosses pédologiques de 1 m x 1 m x 0,5 m respectivement L x l x h ont été creusé à raison de seize fosses sous chaque site. Des échantillons non perturbés du solum biodynamique des fosses de référence (témoins) et sous *A. bipindensis* ont été prélevées entre 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur, suivant deux niveaux topographiques : le plateau et le versant, à raison de huit fosses sur le plateau et huit autres sur le versant. Au total, 256 échantillons de sol ont été prélevés, conditionnés et acheminés à Kisangani au laboratoire de science du sol de l'IFA-Yangambi pour les analyses physico-chimiques. Notre démarche a consisté à comparer les propriétés de sols identiques au plan de leur pédogenèse, sous forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* de façon à quantifier l'effet de l'espèce sur les propriétés des sols vice et versa. Les résultats obtenus ont montré que la forêt dense ou la réserve forestière de Yoko (RFY) manifeste une supériorité des teneurs par rapport à la jachère arbustive ou réserve de biosphère de Yangambi (RBY), ceci étant dû à la présence de la matière organique sur les tranches superficielles du solum biodynamique. Les fractions granulométriques par contre montrent que les teneurs en argile (éléments fins) augmentent avec la profondeur et les teneurs en sable (éléments grossiers) diminuent avec la profondeur. Quant au potentiel chimique du sol en général (pH, COT, MOS, Nt et phosphore assimilable) est meilleur au niveau des forêts denses par rapport aux jachères arbustives. Les différentes teneurs en carbone et azote totaux et phosphore assimilable du sol ont été significativement plus

élevées sous forêts denses que les jachères arbustives. En outre, les sols sous *A. bipindensis* manifestent une supériorité par rapport aux témoins. Néanmoins, les rapports C/N du sol sont faibles en forêts qu'aux jachères. Ceci se justifie par le fait que les techniques culturales paysannes (TCP) s'articulant autour du feu comme moyen principal qu'utilisent les agriculteurs tropicaux pour se débarrasser d'importantes masses végétales coupées provoquent une augmentation plus ou moins sensible du stock en COT du sol et une baisse en Nt; cette baisse s'accompagne d'une augmentation du rapport C/N. *A. bipindensis* préfère les sols sabloargileux et plutôt riches en phosphore assimilable pour se régénérer et former des agrégats de forte densité, en d'autres termes, l'espèce présente un énorme potentiel de fertilité.

Mots clés : Influence, propriétés physico-chimiques du sol, topographie, *A. bipindensis*, RFY et RBY, RD Congo.

1. Introduction

Le problème de la gestion rationnelle de la fertilité du sol est toujours d'actualité dans les tropiques humides. Il s'intègre de plus en plus dans un ensemble de réflexions sur les schémas méthodologiques à mettre en œuvre pour juguler la fertilité fragile des sols tropicaux soumis à une forte pression démographique, à même de modifier les conditions environnementales (Kombele, 2004). L'identification et la caractérisation de sites de référence à vocation agro-environnementale constituent, selon Bock (2002), un des axes majeurs de recherche en science du sol pour répondre aux besoins forestiers (en bois) sans cesse croissants des populations tropicales nombreuses. Ils doivent servir de base à une recherche appliquée multidisciplinaire afin d'amorcer harmonieusement un développement intégré des milieux ruraux (Mathieu, 1998; Kombele, 2004).

La surexploitation des ressources naturelles par l'humanité, suite à la forte croissance démographique, a fait un bond ces quarante dernières années entraînant d'énormes modifications des écosystèmes, lesquelles ont aussi des répercussions sur le climat, la biodiversité et l'occupation des sols. Ce rythme de consommation des ressources

naturelles excède leurs rythmes de renouvellement (Djibu, 2007). En effet, la définition fonctionnelle de sols devient un passage obligé depuis que les considérations environnementales s'imposent de plus en plus dans la plupart des méthodes de gestion durable des ressources naturelles tropicales. Le sol, qui en est une des principales composantes, est considéré depuis quelques décennies comme l'interface environnementale dans les collectivités. En tant qu'écosystème de base, toutefois, sa diversité typologique dans les tropiques humides et la complexité de processus dont il est le siège constituent à ce jour autant de problèmes auxquels se heurtent les écologistes afin de dénicher les problèmes liés à chaque espèce végétale pour permettre aux sylviculteurs (écologistes) des tropiques d'augmenter leur production en bois afin de satisfaire les marchés local et international.

Les écologistes de communauté ont démontré que chaque espèce est restreinte à plus ou moins une gamme d'habitats, et que l'hétérogénéité d'habitat est un facteur principal qui détermine la distribution géographique des espèces. De prime abord, il importe de hiérarchiser ces problèmes en définissant clairement les priorités répondant absolument aux attentes des sylviculteurs d'arrière-pays. Les analyses pédologiques visant à connaître les apports mutuels sol-plante en vue de satisfaire le besoin en bois, d'une part et en produits agricoles, d'autre part, se présentent aujourd'hui comme une nécessité impérieuse.

Parmi les exigences écologiques, les caractéristiques particulières de la topographie (plateau, versant,...) et du sol (les composantes de la fertilité : granulométrie, azote, phosphore, COT, pH, capacité d'échange cationique,...) jouent un rôle essentiel (Hall *et al.*, 2004). La croissance des végétaux pourrait dès lors être expliquée par les facteurs topographiques et/ou pédologiques. Sollins (1998) a fait un bilan des facteurs pédologiques ayant un effet sur la composition spécifique des forêts tropicales. Parmi les principaux facteurs pouvant jouer un rôle majeur, l'auteur mentionne : le phosphore assimilable, nutriment essentiel pour les plantes et pouvant conditionner (comme l'aluminium et l'azote) qui peuvent conditionner la répartition spatiale de certaines espèces d'arbres tropicaux à l'échelle locale (de 1 à plus de 100

ha) (Högberg, 1992; Hall *et al.*, 2004). Le pH du sol, quant à lui, a plutôt des effets indirects, par le biais de la toxicité aluminique à laquelle il est très fortement corrélé.

En outre, les données de la littérature (Boissezon *et al.*, 1973 ; Dabin, 1981 ; Sanchez, 1982) ne permettent pas toujours de définir précisément ce qu'est la matière organique des sols tropicaux qui apparaît tantôt, uniforme tantôt, très hétérogène. Ceci est dû au fait que les paramètres utilisés pour sa caractérisation (COT, MOS, rapport C/N, quantité totale,...) sont interdépendants et d'ordres différents. Ils peuvent en même temps expliciter des caractéristiques communes à tous les sols tropicaux et fluctuer fortement d'un site à l'autre, d'où l'impossibilité apparente d'établir une hiérarchie des caractères et, les difficultés rencontrées jusqu'alors pour définir des types d'humus spécifiques aux sols tropicaux sont multiples (Perraud, 1971 ; Turenne, 1977 ; Dabin, 1981).

Pour les espèces tropicales héliophiles, ces variables édaphiques interagissent souvent avec la lumière pour influencer la répartition spatiale de leurs populations (Ashton *et al.*, 1995; Molino et Sabatier, 2001). Elles peuvent avoir besoin, pour soutenir une bonne croissance des individus, d'un sol riche en nutriments, notamment l'azote, le phosphore assimilable,... (Högberg, 1986, 1992 ; Duchaufour, 2001). Néanmoins, nous partons d'un concept de base selon lequel, chaque espèce ligneuse a un rythme de croissance qui dépend des conditions éco-climatiques (Mariaux, 1969, 1970; Eckstein *et al.*, 1995; Gourlay, 1995), surtout que la haute diversité d'espèces dans les tropiques humides et leurs préférences écologiques variables autorisent potentiellement une haute diversité de réactions dans les communautés des arbres (Couralet, 2010) et ces dernières dépendent de chaque milieu (sol, topographie,...).

Afin de déceler le dynamisme des éléments physico-chimiques dans le sol, cette étude se fonde sur l'hypothèse selon laquelle les espèces prospèrent mieux là où les sols sont riches en nutriments. Concernant le sol comme facteur du milieu, l'hypothèse spécifique suivante est testée : *A. bipindensis* préfère les sols riches en éléments nutritifs notamment le rapport C/N élevé, le phosphore assimilable,....

L'objectif de cette étude, est de quantifier et comparer les propriétés physico-chimiques de sols identiques au plan de leur pédogenèse sous une forêt dense (Yoko) et une jachère arbustive (Yangambi) sous *A. bipindensis* Harms et sans la présence de *A. bipindensis* comme témoin. Ensuite, tester si, parmi les propriétés physico-chimiques de sols mesurées, il existe pour chacune d'elle, une différence significative entre les moyennes de plateau et versant : sous forêt dense (Fd), sous forêt dense à *A. bipindensis* (FdA), sous jachère arbustive (Ja) et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* (JaA) comme milieux (naturel et anthropique). Les résultats devraient ainsi contribuer à l'amélioration des connaissances sur l'autoécologie de cette espèce, afin de proposer des mesures appropriées pour sa gestion durable dans toute son aire de répartition en RD Congo, en particulier et Afrique, en général. Ils devront, par exemple, guider le gestionnaire forestier dans le choix des endroits à pratiquer la sylviculture car sa régénération naturelle pose problème.

2. Site d'étude et méthodes

2.1 Site d'étude

Ce travail a été réalisé au mois d'avril 2010 dans la réserve forestière de la Yoko et dans la Réserve de biosphère de Yangambi. Le choix de la réserve de la Yoko comme milieu naturel et la Réserve de biosphère de Yangambi comme milieu dégradé pour la réalisation de cette étude a été motivé par des raisons suivantes : la densité des pieds de l'espèce et les conditions d'accessibilité.

2.2 Aperçu historique des sols étudiés

Les sols de nos sites sont des sols ferrallitiques, profondément altérés sous l'action du climat chaud et humide, riches en fer et aluminium (Fahen, 1978; Duchaufour, 2001 ; Van Wambeke, 1995). Pour bien appréhender l'état de la fertilité de sols dans les sites d'études, nous avons considéré principalement la partie superficielle du solum appartenant à la rhizosphère et intensément influencée par le climat et la

matière organique, c'est-à-dire le solum biodynamique (Manil, 1953 ; Nanson et Gennart, 1960 ; Kombele, 2004).

Les sols sont considérés comme les résultats des interactions entre le climat et les formations géologiques de la croûte terrestre. Selon Van Wambeke (1995), ces interactions intègrent des réactions chimiques et physiques et sont partout influencées par les facteurs biologiques. Les principales occupations des terres auxquelles s'intéressent cette étude est une jachère portant les pieds de l'espèce *A. bipindensis* identifiée sur la série Yakonde dans la RBY (milieu anthropisé) et la RFY (milieu naturel). La jachère arbustive identifiée sur la série de sol entoure les camps d'habitation (Lusambila et Ekutsu) à Yangambi et est généralement dominée par les arbres et arbustes de 5 à 15 m de hauteur et dont le sol a subi 4 à 6 cycles culturaux, selon les paysans consultés à Yangambi. La forêt dense située à la réserve forestière de la Yoko est dominée par des essences arborescentes et atteignent une hauteur de 15 à 50 m et dont le sol n'a subi aucun cycle cultural.

2.3 Aspect méthodologique

2.3.1 Prélèvement des échantillons du sol et leur conditionnement

Les prélèvements des échantillons du sol ont suivi une disposition se basant sur la topographie et la concentration d'*A. bipindensis* d'une part et d'autre part quelques fosses témoins (c.à.d. sans la présence d'*A. bipindensis*). Pour y arriver, 32 fosses pédologiques de 1 m x 1 m x 0,5 m ont été creusées ; avec seize fosses sous chaque site, c'est-à-dire sous forêt dense (RFY) et sous une jachère arbustive (RBY) suivant deux niveaux topographiques : le plateau et le versant, à raison de huit fosses sur le plateau et huit autres fosses sur le versant. La profondeur de ces fosses orientées est-ouest (Mambani, 1987) a été dictée par la densité racinaire et la présence d'humus remarquable surtout par la teinte sombre (Kombele, 1998, 2002). Les observations macroscopiques dans les fosses de dispositifs ont relevé deux horizons principaux (H_1 et H_2) sensiblement influencés par la matière organique dans la partie

superficielle du solum comme l'ont constaté (Manil, 1953 ; Nanson et Gennart, 1960; Duchaufour, 1988, 2001 ; Kombele, 2004).

Les échantillons ont été prélevés entre 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur pour les analyses physico-chimiques du sol, suivant la concentration d'*A. bipindensis* et autres fosses témoins (c.à.d. sans la présence d'*A. bipindensis*), retrouvée sous forêt dense et sous jachère arbustive. Ainsi pour chaque site, 32 échantillons simples de sol ont été prélevés en quatre répétitions, conditionnés à raison de 128 échantillons par site. Au total, 256 échantillons ont été acheminés au laboratoire de l'IFA-Yangambi à Kisangani pour les analyses physico-chimiques. Le conditionnement des échantillons du sol à Yangambi et Yoko a consisté en un séchage, un émottage, un tamisage au tamis de 2 mm (la terre fine) et un ensachage (Figure 21).

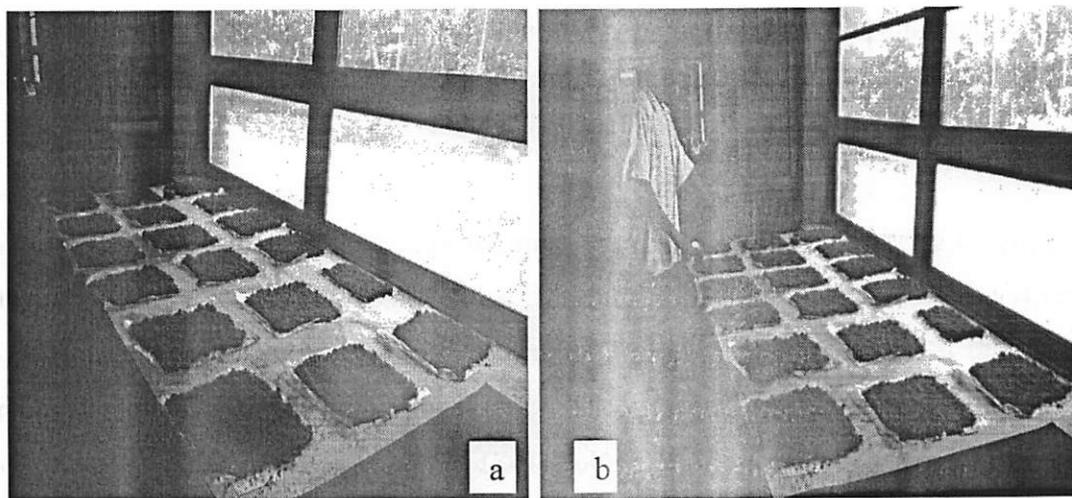


Figure 21. Conditionnement des échantillons du sol (21a) étalage et séchage (21b) émottage au Laboratoire du Département de Phytotechnie à l'IFA/Yangambi (Source : Solia/2010).

2.3.2 Méthodes d'analyse au laboratoire

Au laboratoire de sol et eau de l'IFA-Yangambi à Kisangani, les échantillons ont été conditionnés encore une fois. Nos échantillons représentent les sols de plateau et de versant sous l'espèce *A. bipindensis* et autres fosses témoins (c.à.d. sans la présence d'*A. bipindensis*). Les analyses étaient menées pour la détermination de certains paramètres physico-chimiques qui, en corrélation avec les deux types d'écosystème

sous l'espèce étudiée, afin, de bien conduire à un judicieux diagnostic intégré de la fertilité et à la connaissance des statuts nutritionnels des sols sous *A. bipindensis* dans la cuvette centrale congolaise en particulier et dans toute son aire de répartition en général pour leur bonne gestion.

2.3.2.1 Granulométrie

Le but de l'analyse granulométrique est de déterminer la distribution pondérale des particules minérales selon leur classe de dimension en dessous de 2000 μ (2 mm). L'élimination de la matière organique a été réalisée par oxydation avec l'eau oxygénée et la destruction des liens calciques (surtout entre les fractions colloïdales) par une attaque à l'acide chlorhydrique suivie d'un ou plusieurs lavages à l'eau distillée. La peptisation est réalisée par ajout de 50 ml d'une solution d'hexamétaphosphate de sodium (sel de Graham) et de carbonate de sodium (Juo, 1981 ; Baize, 2000).

2.3.2.2 pH_{eau}

Le pH du sol est mesuré avec un potentiomètre (pH-mètre) muni d'une électrode de verre et d'une électrode de référence. L'acidité "actuelle" (pH à l'eau) exprime l'activité d'ions hydrogènes de la liqueur obtenue par la mise en suspension de la terre dans l'eau distillée; dans notre cas, 10 g de terre ont été mis en suspension dans 25 ml d'eau distillée (rapport 1:2,5) (Juo, 1981 ; Pauwels *et al.*, 1992).

2.3.2.3 % MOS et % COT

La teneur en matières organiques du sol a été évaluée par la méthode de perte au feu (Mathieu et Pieltain, 2003 ; Alongo, 2013). Cette méthode consiste à mettre au four à la température de 600°C environ 10g de sols préalablement séché dans l'étude à 105°C (Ps). Seize heures plus tard, l'échantillon est placé au dessiccateur pour son refroidissement. Les cendres sont ensuite pesées à la température ambiante (Pc). La proportion de matières organiques du sol correspond au rapport de la masse perdue

(lors du séjour de l'échantillon au four) sur la masse totale sèche pesée avant l'essai, Le pourcentage des matières organiques du sol est obtenu par la relation suivante :

$$\text{MOS (\%)} = \frac{PS - Pc}{Ps} \times 100$$

Comme la matière organique renferme au moins 58% de carbone organique dans les conditions des tropiques humides (Mathieu et Pieltain, 2003 ; Kombele, 2004), le pourcentage de carbone organique total est calculé à l'aide du facteur de conversion 1,724 généralement admis dans la littérature pour les sols tropicaux de la manière suivante :

$$\text{COT (\%)} = \frac{\% \text{MOS}}{1,724}$$

2.3.2.4 Azote total du sol (%)

Le dosage de l'azote total (Nt) se fait en trois étapes : la minéralisation, la distillation et la titration du distillat. L'acide sulfurique détruit, par son action oxydante, la matière organique et libère l'azote sous forme d'ammonium (NH_4^+) qui est fixé sous forme de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ et $(\text{NH}_4)\text{HSO}_4$. La minéralisation est accélérée par l'emploi du mélange "sélénium + Na_2SO_4 " comme catalyseur et par l'augmentation de la température. La minéralisation se fait dans le "Digestor" et la distillation dans le "Distillation Unit" par entraînement à la vapeur de l'azote sous forme de NH_3 après alcalinisation de l'extrait minéralisé avec la soude caustique 30 %. Le distillat est piégé dans l'acide borique 4 % et ensuite titré sous agitation avec l'acide chlorhydrique 0,01N (Juo, 1981 ; Pauwels *et al.*, 1992).

2.3.2.5 Phosphore assimilable ($\mu\text{g/g}$)

Pour la détermination du phosphore disponible, la méthode adoptée est celle proposée par la méthode Bray 1 (Bray et Kurtz, 1954) dont le principe est le suivant : les orthophosphores forment avec les molybdates en milieu acide des sels solubles, le complexe qui se forme est réduit par le molybdène. Il se forme un complexe soluble de couleur bleue. L'intensité de la couleur de la solution est proportionnelle à la

quantité de phosphore présent mesurée au spectrophotomètre à 650 nm (Juo, 1981 ; Pauwels *et al.*, 1992).

2.3.4 Analyses statistiques

2.3.4.1 Tests d'hypothèses et de comparaisons de moyennes

L'effet de l'occupation du sol sur l'ensemble des paramètres pédologiques a été testé par un test d'analyse de variance (ANOVA) à un facteur (Anderson *et al.*, 1999 ; Bar-Hen, 2001), afin de comparer les moyennes des variables édaphiques entre les différentes formations végétales (forêt dense et jachère arbustive). Le test post-hoc de Tukey HSD, *Honest Significant Differences* a été utilisé pour réaliser des comparaisons multiples de moyennes.

Pour chaque variable édaphique présentée ci-dessus, nous avons commencé par vérifier la normalité des résidus avec le test de Breusch-Pagan d'hétéroscédasticité (Bar-Hen, 2001). L'hypothèse nulle de ce test est que les données suivent une loi normale. Une p-value significative implique donc que les données ne sont pas normales. Lorsque la distribution était anormale, les données ont été transformées (i.e. log10) puis nous avons vérifié à nouveau la normalité des résidus des données transformées, pour respecter les conditions de normalité et d'homogénéité de la variance requises pour utiliser ces tests paramétriques. Si à contrario, la normalité n'était toujours pas obtenue, nous avons finalement opté pour des tests de Kruskal-Wallis. Lorsque les différences étaient significatives ($p < 0,05$), nous avons effectué le test post hoc de Wilcoxon pour comparer les moyennes deux à deux entre les différentes occupations (forêt dense, forêt dense à *A. bipindensis*, jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis*) du sol, en fonction des couches. Les analyses statistiques ont été réalisées grâce aux logiciels STATISTICA version 10 et R version 3.1.1.

2.3.4.2 Analyse en composante principale (ACP)

Après, les résultats d'analyses physico-chimiques de laboratoire ont été transformés puis analysés statistiquement à l'aide d'une analyse multivariée (ACP) pour faire une visualisation spatiale de la fertilité physico-chimique des sols entre les différents sites étudiés (Picard, 2010). L'hypothèse d'un effet du type et/ou l'interaction entre le type et l'occupation du sol sur les propriétés physico-chimiques des sols a été testée par une ANOVA à 2 facteurs (deux niveaux topographiques du sol : plateau et versant et quatre types d'occupation (forêt dense, forêt dense à *A. bipindensis*, jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis*) du sol pour tester les effets des sources de variations.

3. Résultats

Les moyennes des résultats obtenus au cours de nos investigations sont reprises dans les figures 22 à 44 et les tableaux 11 à 19, pour les paramètres physico-chimiques, en ce qui concerne les quatre occupations du sol étudiés, tandis que les données détaillées des variations des tranches superficielles et profondes du sol ainsi que les analyses statistiques y afférentes sont consignées dans les annexes.

3.1 Granulométrie de sols étudiés

3.1.1 Sol de plateau

Les teneurs des fractions granulométriques du sol varient d'une occupation à l'autre (Figure 22), leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* étant présentées dans le Tableau 11. La teneur en argile augmente avec la profondeur pour chacune des occupations du sol alors que la fraction sableuse varie inversement et est la plus importante dans la couche arable quelle que soit l'occupation du sol. Le test de Breusch-Pagan a indiqué deux cas : un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 0,0088$; $p = 0,92$) dans la tranche de 0-20 cm, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, un écart significatif à

une distribution normale des données (c.à.d. hétéroscédasticité) ($BP = 5,6999$; $p < 0,01697$) pour les tranches étudiées avant et après deux transformations préalables.

L'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 3, Tableau 3.1) a montré un effet hautement significatif du facteur occupation du sol sur la teneur en argile ($p < 0,001$). En comparant nos résultats deux à deux par le test post hoc de Tukey HSD, il ressort qu'il existe une différence hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$), sauf entre la jachère arbustive et la forêt dense comme témoins dans la tranche de 0-20 cm de profondeur que l'effet est non significatif. Tandis que dans la tranche de 20-40 cm, la normalité n'étant pas atteinte, nous avons opté pour le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a montré un effet très significatif du facteur occupation du sol ($W = 84,4402$; $Ddl = 3$; $p < 0,001$) sur le taux d'argile (Annexe 3, Tableau 3.2). La comparaison des occupations du sol deux à deux par le test de Wilcoxon a permis de mettre en évidence un effet très significatif du facteur occupation du sol, sauf entre la forêt dense à *A. bipindensis* et la forêt dense et, entre la jachère arbustive et la forêt dense à *A. bipindensis* où l'effet est non significatif.

Concernant la fraction limoneuse, (Annexe 3, Tableau 3.2), la comparaison de la teneur entre les quatre types d'occupations du sol, le test de Breusch-Pagan a indiqué deux cas : un écart significatif à une distribution normale des données (c.à.d. hétéroscédasticité) ($BP = 13,4295$; $p = 0,0002477$) dans la tranche de 0-20 cm, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 0,0792$; $p = 0,7784$) pour les tranches étudiées avant et après deux transformations préalables.

En revanche, dans la tranche de 0-20 cm, la normalité n'étant pas atteinte, nous avons opté pour le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a montré un effet très significatif du facteur occupation du sol ($W = 12,7$; $Ddl = 3$; $p < 0,01$) (Annexe 3, Tableau 3.3). La comparaison des occupations du sol deux à deux par le test de Wilcoxon a permis de mettre en évidence un effet très significatif du facteur occupation du sol, sauf entre la forêt dense à *A. bipindensis* et la jachère arbustive à

A. bipindensis, la jachère arbustive et la forêt dense à *A. bipindensis* ainsi qu'entre la jachère arbustive et la jachère arbustive à *A. bipindensis* où l'effet est non significatif. Tandis que, l'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 3, Tableau 3.4) a montré un effet hautement significatif du facteur occupation du sol sur la teneur en limon dans la tranche de 20-40 cm ($p < 0,001$).

En comparant nos résultats deux à deux par le test post hoc de Tukey HSD, on obtient une différence hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$), sauf entre les occupations suivantes : la forêt dense à *A. bipindensis* et la forêt dense, la jachère et la forêt dense, la jachère arbustive à *A. bipindensis* et la forêt dense ainsi qu'entre la jachère et la forêt dense à *A. bipindensis* où l'effet est non significatif. De façon générale, il n'y a eu pratiquement pas des changements en ce qui concerne la teneur des particules grossières sur l'ensemble des sites. En utilisant le système USDA, les sols étudiés entrent dans les classes de « sablo argileux ».

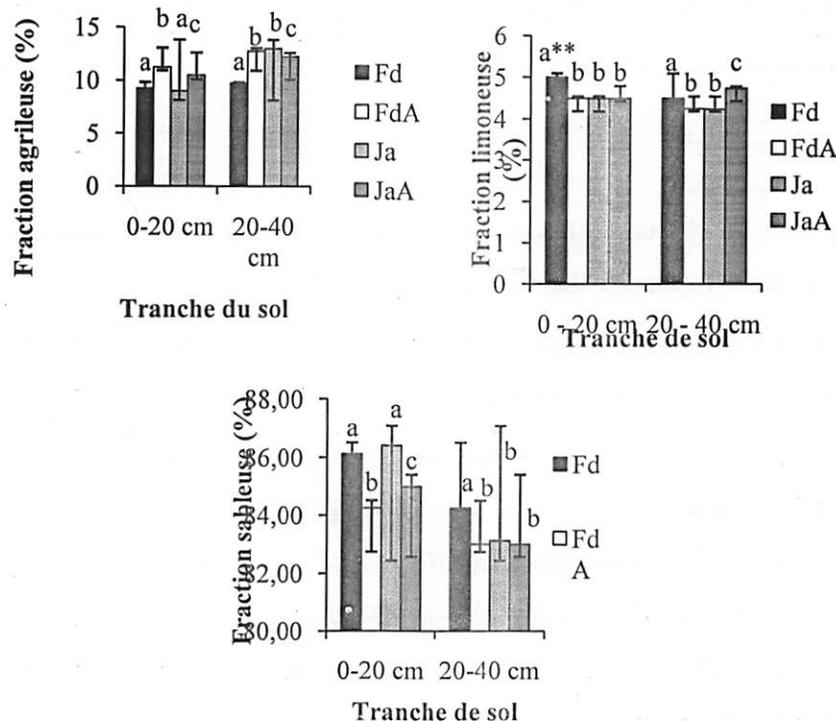


Figure 22. Pourcentages moyens ($n = 32$) d'argile, de limon et de sable des couches de 0-20 et 20-40 cm de profondeur d'un ferralsole sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau. Les barres correspondent aux écarts-types des moyennes

tandis que les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Test de Wilcoxon et Tukey HSD, *Honest Significant Differences*).

Tableau 11. Résultats de l'ANOVA à un facteur et de Kruskal-Wallis testant l'effet de l'espèce sur les fractions granulométriques, d'un ferralsol de sols de plateau dans les couches 0-20 et 20-40 cm de profondeur.

| Variabes | SC | Ddl | CM | F | p-value |
|-----------------|---------|-----|----------|-------|---------|
| Argile 0-20 cm | 1,066 | 3 | 0,3554 | 43,2 | < 0,001 |
| Argile 20-40 cm | - | 3 | - | - | < 0,001 |
| Limon 0-20 cm | - | 3 | - | - | < 0,01 |
| Limon 20-40 cm | 0,2739 | 3 | 0,09129 | 8,744 | < 0,001 |
| Sable 0-20 cm | 0,01325 | 3 | 0,004418 | 39,38 | < 0,001 |
| Sable 20-40 cm | - | 3 | - | - | < 0,01 |

Une p-value en gras indique un effet de l'espèce sur la variable considérée ; p-value significative, mais non en gras indique que la l'espèce à des effets similaires soit avec la jachère soit la forêt qu'elle sépare sur la variable considérée ; le tiret (-) indique les résultats de test de Kruskal-Wallis ; SC : Somme de Carrées (des écarts à la moyenne), Ddl : Degrés de liberté ; MC : variance (Carré Moyen) ; F : F de Fisher calculé ; p-value : erreur alpha. p < 0,01 : différence très significative; p < 0,001 : différence très hautement significative

3.1.2 Sol de versant

Les teneurs des fractions granulométriques du sol varient d'une occupation à l'autre (Figure 23), leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* étant présentées dans le Tableau 12. La teneur en argile augmente avec la profondeur pour chacune des occupations du sol alors que la fraction sableuse varie inversement et est la plus importante dans la couche arable quelle que soit l'occupation du sol. Le test de Breusch-Pagan a indiqué deux cas : un écart significatif à une distribution normale des données (c.à.d. hétéroscédasticité) ($BP = 7,0737$; $p = 0,007822$) dans la tranche de 0-20 cm, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 2,6382$; $p = 0,1043$) pour les tranches étudiées avant et après deux transformations préalables.

Dans la tranche de 0-20 cm, la normalité n'étant pas atteinte, nous avons opté pour le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a montré un effet très significatif du

facteur occupation du sol ($W = 52,7856$; $Ddl = 3$; $p < 0,001$) sur le taux d'argile (Annexe 3, Tableau 3.7). La comparaison des occupations du sol deux à deux par le test de Wilcoxon a permis de mettre en évidence un effet très significatif du facteur occupation du sol, sauf entre la jachère arbustive à *A. bipindensis* et la jachère arbustive où l'effet est non significatif. En revanche, dans la tranche de 20-40 cm de profondeur, l'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 3, Tableau 3.8) a montré un effet hautement significatif du facteur occupation du sol sur la teneur en argile ($p < 0,001$). En comparant nos résultats deux à deux par le test post hoc de Tukey HSD, on obtient une différence hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$), sauf entre la jachère arbustive *A. bipindensis* et la forêt dense où l'effet est non significatif.

S'agissant de la fraction limoneuse, la comparaison de la teneur entre les quatre types d'occupations du sol, le test de Breusch-Pagan a indiqué deux cas : un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscélasticité) ($BP = 0,7109$; $p = 0,3991$) dans la tranche de 0-20 cm, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, un écart significatif à une distribution normale des données (c.à.d. hétéroscélasticité) ($BP = 56,3916$; $p < 0,001$) pour les tranches étudiées avant et après deux transformations préalables. L'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 3, Tableau 3.9) a montré un effet hautement significatif du facteur occupation du sol sur la teneur en limon dans la tranche de 0-20 cm ($p < 0,001$). En comparant nos résultats deux à deux par le test post hoc de Tukey HSD, on obtient une différence hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$), sauf entre les occupations suivantes : la forêt dense à *A. bipindensis* et la forêt dense, la jachère et la forêt dense ainsi qu'entre la jachère arbustive à *A. bipindensis* et la jachère arbustive (témoin) où l'effet est non significatif. En revanche, dans la tranche de 20-40 cm, la normalité n'étant pas atteinte, nous avons opté pour le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a montré un effet très significatif du facteur occupation du sol ($W = 25,4$; $Ddl = 3$; $p < 0,001$) (Annexe 3, Tableau 3.10). La comparaison des occupations du sol deux à deux par le test de Wilcoxon a permis de mettre en évidence un effet très significatif du facteur occupation du sol, sauf entre la

forêt dense à *A. bipindensis* et la jachère arbustive à *A. bipindensis* où l'effet est non significatif. De façon générale, il n'y a eu pratiquement pas des changements en ce qui concerne la teneur des particules grossières sur l'ensemble des sites. En utilisant le système USDA, les sols étudiés entrent dans les classes de « sablo argileux ».

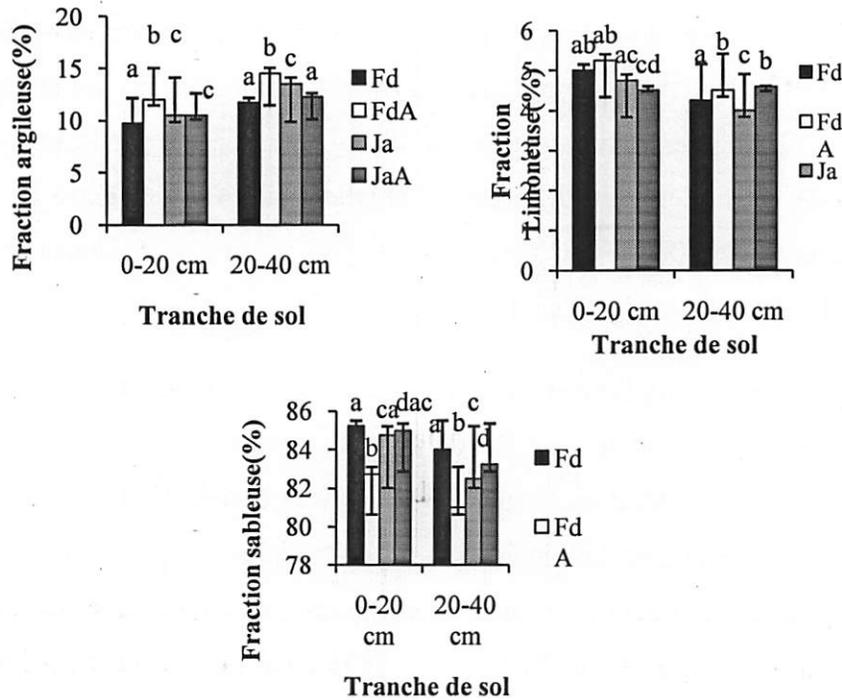


Figure 23. Pourcentages moyens ($n = 32$) d'argile, de limon et de sable des couches de 0-20 et 20-40 cm de profondeur d'un ferralsol sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant. Les barres correspondent aux écarts-types des moyennes tandis que les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Test Tukey HSD, *Honest Significant Differences* et Wilcoxon).

Tableau 12. Résultats de l'ANOVA à un facteur et de Kruskal-Wallis testant l'effet de l'espèce sur les fractions granulométriques, d'un ferralsol de sols de versant dans les couches 0-20 et 20-40 cm de profondeur.

| Variables | SC | Ddl | CM | F | p-value |
|-----------------|---------|-----|----------|-------|---------|
| Argile 0-20 cm | - | 3 | - | - | < 0,01 |
| Argile 20-40 cm | 0,8589 | 3 | 0,28628 | 49,29 | < 0,001 |
| Limon 0-20 cm | 0,4284 | 3 | 0,1428 | 11,37 | < 0,001 |
| Limon 20-40 cm | - | 3 | - | - | < 0,01 |
| Sable 0-20 cm | 0,01782 | 3 | 0,005939 | 53,69 | < 0,001 |
| Sable 20-40 cm | - | 3 | - | - | < 0,01 |

Une p-value en gras indique un effet de l'espèce sur la variable considérée ; p-value significative, mais non en gras indique que la l'espèce à des effets similaires soit avec la jachère soit la forêt qu'elle sépare sur la variable considérée ; le tiret (-) indique les résultats de test de Kruskal-Wallis ; SC : Somme de Carrées (des écarts à la moyenne), Ddl : degrés de liberté ; MC : variance (Carré Moyen) ; F : F de Fisher calculé ; p-value : erreur alpha. p < 0,01 : différence très significative; p < 0,001 : différence très hautement significative

3.1.3 Synthèse comparative sur les propriétés physiques de deux types de sols : plateau et versant

Dans cette synthèse, une analyse en composante principale a été réalisée sur la granulométrie de sols des deux niveaux topographiques (plateau et versant) en fonction des quatre types d'occupation du sol comparables deux à deux. Ensuite, une ANOVA à deux facteurs a été effectuée pour tester les effets des sources de variations sur la granulométrie des sols des deux types en fonction des quatre types d'occupation (forêt dense, forêt dense à *A. bipindensis*, jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis*).

3.1.3.1 Analyse en composante principale (ACP)

La figure 24, donne une représentation des propriétés physiques de sols de plateau et versant en fonction des quatre types d'occupation sur les plans factoriels 1,2. La synthèse des résultats analytiques est fournie dans le tableau 13.

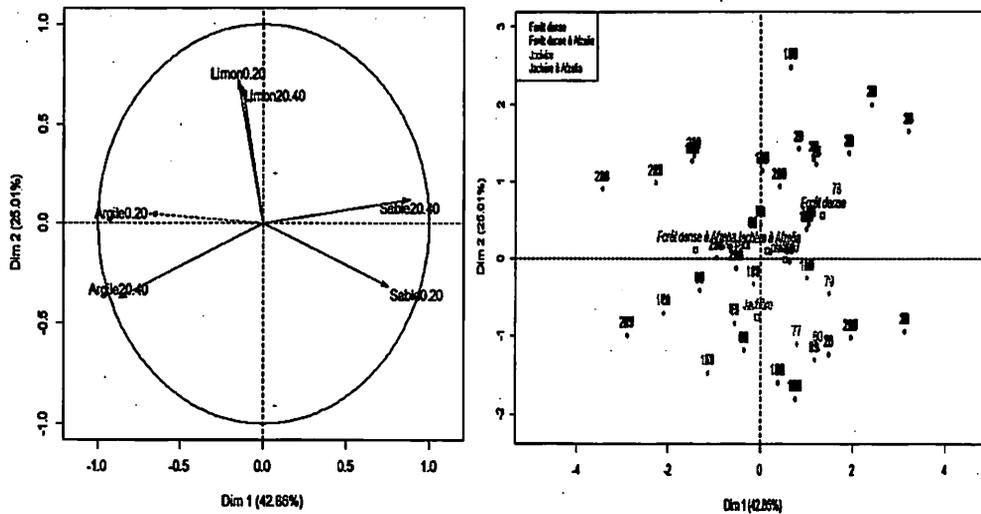


Figure 24. Représentation des sites d'échantillonnage et des propriétés physiques de sols du plateau et versant dans l'espace factoriel (1,2) par l'ACP. Abréviations : *Argile0.20* : argile dans la couche 0-20 cm, *Argile20.40* : argile dans la couche 20-40 cm ; *Limon0.20* : limon dans la couche 0-20 cm, *Limon20.40* : limon dans la couche 20-40 cm ; *Sable0.20* : sable dans la couche 0-20 cm, *Sable20.40* : sable dans la couche 20-40 cm. 1-32: Ja plateau, 33-64 : JaA plateau, 65-97 : Fd plateau, 97-128 : FdA plateau ; 129-160: Ja versant, 161-192 : JaA versant, 193-224 : Fd versant, 225-256 : FdA versant.

De l'analyse des résultats de l'ACP, il se dégage que la contribution des axes principaux à l'inertie totale est de 42,86 % pour l'axe 1 et 25,01 % pour l'axe 2, ce qui fait un total de 67,87 %. La projection des objets dans l'espace des composantes principales 1 et 2 montre que les propriétés physiques étudiées diffèrent très nettement en fonction des quatre types d'occupation (Ja, JaA, Fd et FdA) considérés, et ce, dans les deux types de sols. En effet, l'axe 1 (42,86 %) sépare mieux les deux niveaux de sols alors que l'axe 2 (25,01 %) sépare les occupations du sol.

La composante principale 2 (25,01 %) explique davantage la variance dans la distribution des fractions granulométriques (argile et sable) entre les occupations de sols des deux niveaux topographiques. Cela permet ainsi d'établir une relative discrimination entre les sols de Jachères et des forêts des sites étudiés. On observe que les sols des forêts ne diffèrent pas nettement des ceux des jachères, car d'une façon générale, il n'y a eu pratiquement pas des changements en ce qui concerne la teneur des particules grossières ou sable sur l'ensemble des sites. Néanmoins, on

observe que le sable est fortement corrélé (positivement) aux deux niveaux topographiques dans la tranche de 20-40 cm de profondeur, tandis que l'argile est fortement corrélée (négativement) aux deux niveaux topographiques dans la tranche de 20-40cm de profondeur.

Quant au limon, cette variable est fortement corrélée (positivement) au niveau des quatre types d'occupation (Fd, FdA, Ja et JaA) considérés dans les deux couches étudiées. Cela confirme l'ANOVA à un facteur, (Annexe 3, Tableau 3.9) a montré un effet hautement significatif du facteur occupation du sol sur la teneur en limon dans la tranche de 0-20 cm ($p < 0,001$). Alors que les sols des Jachères comme témoins, occupent une position intermédiaire en fonction de la topographie, soit plus proche des sols des forêts comme témoins, suggérant l'influence de la jachère arbustive perturbée suite au front d'abattage (au niveau de plateau et versant).

Tableau 13. Résumé des propriétés physiques (moyennes \pm écart-types) de sols des plateau et versant dans les couches 0-20 et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* deux sites d'étude (RFY et RBY).

| Propriétés | Plateau | | | | | |
|---------------------|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | N | Fd | FdA | Ja | JaA | Gradient |
| Argile 0-20 cm (%) | 32 | 9,00 \pm 0,84 | 11,25 \pm 0,84 | 9,00 \pm 0,72 | 10,50 \pm 1,14 | FdA>JaA>Fd>Ja |
| Argile 20-40 cm (%) | 32 | 10,00 \pm 0,84 | 12,75 \pm 0,84 | 12,75 \pm 0,72 | 12,25 \pm 0,84 | Ja> FdA> JaA>Fd |
| Limon 0-20 cm (%) | 32 | 5,00 \pm 0,72 | 4,50 \pm 0,51 | 4,50 \pm 0,51 | 4,50 \pm 0,51 | Fd> FdA=JaA=Fd |
| Limon 20-40 cm (%) | 32 | 5,00 \pm 0,51 | 4,25 \pm 0,44 | 4,25 \pm 0,44 | 4,75 \pm 0,44 | JaA> Fd> Ja=FdA |
| Sable 0-20 cm (%) | 32 | 86,00 \pm 0,79 | 84,25 \pm 0,44 | 86,50 \pm 0,61 | 85,00 \pm 1,44 | Ja> Fd> JaA>FdA |
| Sable 20-40 cm (%) | 32 | 85,00 \pm 1,81 | 83,00 \pm 0,72 | 83,00 \pm 1,34 | 83,00 \pm 0,72 | Fd>Ja> JaA=FdA |
| Propriétés | Versant | | | | | |
| | N | Fd | FdA | Ja | JaA | Gradient |
| Argile 0-20 cm (%) | 32 | 9,75 \pm 0,84 | 12,00 \pm 0,72 | 10,50 \pm 1,13 | 10,50 \pm 1,13 | FdA>JaA= Ja > Fd |
| Argile 20-40 cm (%) | 32 | 11,75 \pm 0,84 | 14,50 \pm 1,13 | 13,50 \pm 1,13 | 12,25 \pm 0,84 | FdA >Ja >JaA>Fd |
| Limon 0-20 cm (%) | 32 | 5,00 \pm 0,72 | 5,25 \pm 0,44 | 4,75 \pm 0,44 | 4,50 \pm 0,51 | FdA> Ja>Fd >Jaa |
| Limon 20-40 cm (%) | 32 | 4,25 \pm 0,44 | 4,50 \pm 0,51 | 4,00 \pm 0,00 | 4,50 \pm 0,51 | JaA=FdA > Fd> Ja |
| Sable 0-20 cm (%) | 32 | 85,25 \pm 0,84 | 82,75 \pm 0,84 | 84,75 \pm 0,84 | 85,00 \pm 1,02 | Fd >JaA> Ja>FdA |
| Sable 20-40 cm (%) | 32 | 84,00 \pm 0,72 | 81,00 \pm 1,24 | 82,50 \pm 1,14 | 83,25 \pm 1,11 | Fd >JaA> Ja>FdA |

Fd : forêt dense ; FdA : forêt dense à *Azelia bipindensis* ; Ja : jachère arbustive et JaA : jachère arbustive à *Azelia bipindensis*.

3.1.3.2 Comparaison de deux types de sols par une ANOVA à deux facteurs

Les résultats de la granulométrie (%) de deux types de sols en fonction de quatre types d'occupation comparables sont illustrés dans la Figure (25). D'une manière générale, les sables dominant dans les deux types de sols. Leurs teneurs dans la couche de surface (0- 20 cm de profondeur) sont supérieures à celles des couches de profondeur (20-40 cm de profondeur). De plus, les teneurs en argiles de plateau varient entre 9,00 % (jachère arbustive) et 11,25 % (forêt dense à *A. bipindensis*) dans la couche de 0-20 cm, tandis qu'elles varient de 9,75 % (témoin forêt dense) à 13,00 % (témoin jachère) dans la tranche de 20-40 cm. Contrairement au versant, la tranche de 0-20cm, les teneurs en argile varient de 9,75 % (témoin forêt dense) à 12 % (forêt dense à *A. bipindensis*), tandis que dans la tranche de 20-40 cm, elles sont de 11,75 % à 14,50 % dans les mêmes types d'occupation et sont presque partout supérieures à celles de plateau.

Les teneurs en limon sont presque similaires entre les différentes tranches et les différentes occupations et différents types de sol (Figure 25). Les deux couches superficielles 0-20 et 20-40 cm de profondeur dans les fosses pédologiques de deux niveaux topographiques (plateau et versant) appartiennent respectivement à la classe texturale «sablo argileuse» du système USDA. De façon générale, il n'y a eu pratiquement pas des changements en ce qui concerne la teneur des particules fines, ni du sable sur l'ensemble des sites.

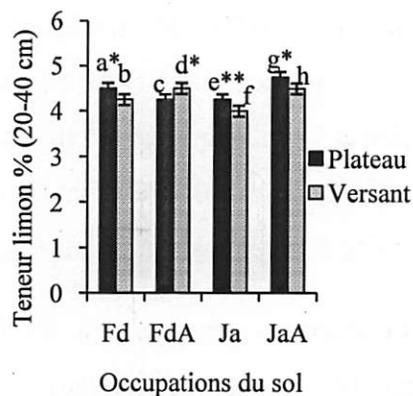
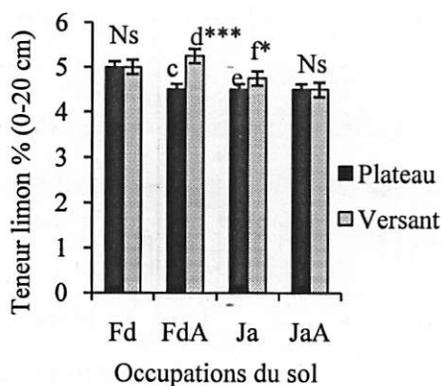
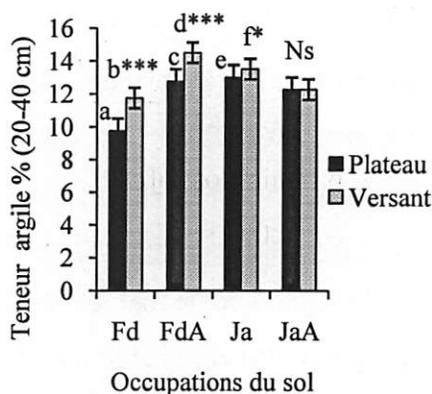
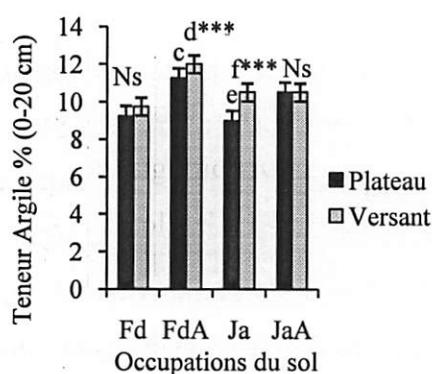
Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 13 ; Annexe 3, Tableaux 3.13 et 3.14) pour les teneurs en argile montrent un effet hautement significatif des facteurs respectivement occupation et types de sol ($F = 47,82$; $p < 0,001$ et $F = 26,52$; $p < 0,001$) mais une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 11,21$; $p < 0,001$) sur la teneur moyenne en argile dans la couche 0-20 cm. Le test de séparation des moyennes indique que, dans la

couche 0-20 cm, le sol de la forêt comme témoin n'est pas significativement différent de celui de jachère arbustive à *A. bipindensis*. Le sol de deux dernières occupations présente des teneurs en argile très significativement inférieures par rapport à celui de la forêt dense à *A. bipindensis* et jachère arbustive comme témoin ($p < 0,001$); par contre les deux dernières sont similaires, tandis que dans la tranche de 20-40 cm de profondeur, les teneurs en argile montrent un effet hautement significatif des facteurs respectivement occupation et types de sol ($F = 105,96 ; p < 0,001$ et $F = 49,92 ; p < 0,001$) mais une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 29,78 ; p < 0,001$). Le test de séparation des moyennes indique des différences pratiquement, sous la jachère arbustive à *A. bipindensis* où l'effet est non significatif ($p > 0,05$).

Concernant la fraction limoneuse, le test indique un effet hautement significatif du facteur occupation (Tableau 13 ; Annexe 3, Tableaux 3.15 et 3.16) dans la couche 0-20 cm de profondeur ($F = 11,66 ; p < 0,001$), alors que l'interaction entre le type et l'occupation n'y est pas significative ($F = 1,21 ; p > 0,05$). Le test de séparation des moyennes indique que le sol de la forêt dense à *A. bipindensis* est hautement significatif ($p < 0,05$) et la jachère comme témoin, l'effet est significatif, alors que la forêt dense comme témoin et la jachère arbustive à *A. bipindensis*, il n'y a pas de différence ($p > 0,05$). En revanche, dans la couche 20-40 cm, il existe un effet hautement significatif des facteurs occupation et type de sol ($F = 14,21 ; p < 0,001$ et $F = 15,50 ; p < 0,001$) et une interaction non significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 0,00 ; p > 0,05$) sur le taux en limon. Le test de séparation des moyennes indique des différences significatives ($p < 0,05$).

Pour la fraction sableuse, les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 14 ; Annexe 3, Tableaux 3.17 et 3.18) montrent une interaction hautement significative entre l'effet du type, l'occupation ainsi que l'interaction type du sol et l'occupation ($F = 62,93 ; p < 0,001 ; F = 41,73 ; p < 0,001$ et $F = 13,59 ; p < 0,001$) dans la couche 0-20 cm de profondeur. Le test de t de Student indique des différences hautement significatives entre les différentes occupations, sauf sous

jachère arbustive à *A. bipindensis*, il n'y a pas de différence ($p > 0,05$). A l'inverse, dans la couche 20-40 cm, le test d'ANOVA à deux facteurs indique un effet hautement significatif du facteur occupation ($F = 35,54$; $p < 0,001$) et une interaction non significative entre l'effet du type du sol ainsi que le type et l'occupation du sol ($F = 1,49$; $p > 0,05$; $F = 2,29$; $p > 0,05$). La comparaison multiple des moyennes révèle de différence hautement significative sous forêt dense à *A. bipindensis* ($p < 0,001$), tandis que sous jachère arbustive comme témoin, la différence est significative ($p < 0,05$) et entre le témoin de la forêt dense et jachère arbustive à *A. bipindensis*, les deux types de sols ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$).



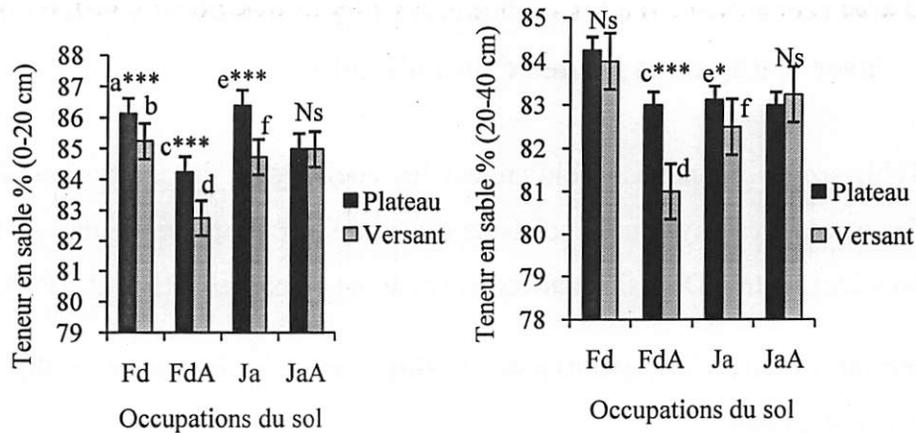


Figure 25. Distribution des teneurs moyennes en argiles, limons et sables des couches 0-20 et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, la forêt dense à *A. bipindensis*, la jachère arbustive et la jachère arbustive à *A. bipindensis* de deux niveaux topographiques et de sites d'étude (RFY et RBY). Le triple astérisque (***) indique une interaction très hautement significative ($p < 0,001$), le double astérisque (**) indique une interaction hautement significative entre le site (type de sol) et l'occupation du sol ($p < 0,01$), un astérisque (*) indique un effet significatif du facteur site ($p < 0,05$), le Ns indique des différences non significatives sur la variable considérée. Les barres verticales représentent les écarts-types de la moyenne. Les moyennes par type d'occupation du sol avec les lettres différentes sont significativement différentes (Test t de student).

Tableau 14. ANOVA à 2 facteurs testant l'effet de type de sols, l'effet de l'occupation du sol (formation végétale) et l'interaction entre le type et l'occupation du sol (type*occupation sol) sur la granulométrie de sols de plateau et versant en RD. Congo

| Variables | Effet type du sol | | Effet occupation du sol | | Type*occupation du sol | |
|---------------------|-------------------|---------|-------------------------|---------|------------------------|---------|
| | F | p-value | F | p-value | F | p-value |
| Argile 0-20 cm (%) | 26,52 | <0,001 | 47,82 | <0,001 | 11,21 | <0,001 |
| Argile 20-40 cm (%) | 49,92 | <0,001 | 105,96 | <0,001 | 29,78 | <0,001 |
| Limon 0-20 cm (%) | 1,21 | Ns | 11,66 | <0,001 | 1,21 | Ns |
| Limon 20-40 cm (%) | 15,50 | <0,001 | 14,21 | <0,001 | 0,00 | Ns |
| Sable 0-20 cm (%) | 41,73 | <0,001 | 62,93 | <0,001 | 13,59 | <0,001 |
| Sable 20-40 cm (%) | 1,49 | Ns | 35,54 | <0,001 | 2,29 | Ns |

F : F de Fisher calculé ; p-value : erreur alpha ; Ns : non significatif ; $p < 0,01$: effet très significatif ; $p < 0,001$: effet très hautement significatif.

3.1.3.3 Corrélations entre les paramètres physiques de sols entre eux et/ou avec le dhp dans les deux sites d'étude

Les Tableaux de l'annexe 5 contiennent les coefficients de corrélation (Pearson) entre les paramètres physiques choisis de sols entre eux et/ou avec le dhp en fonction des parcelles (centrée Doussié et aléatoire) pour les deux sites (RBY et RFY).

a. Corrélation entre les paramètres physiques étudiés de sols et le dhp pour le milieu dégradé

Les paramètres ne sont pas significativement corrélés entre eux. Ainsi, dans le sol de milieu dégradé (RBY) (Annexe 5, Tableau 5.1), les principales corrélations obtenues sont:

- négative très hautement significative entre l'argile et le limon ($r = - 31,0 ; p < 0,000$) et très hautement significative entre l'argile et le sable ($r = - 92 ; p < 0,000$).
- négative très hautement significative entre le limon et l'argile ($r = - 31,0 ; p < 0,000$) et non significative entre le limon et le dhp ($r = - 05 ; p < 0,4392$), tandis que positive non significative entre le limon et le sable ($r = 02,0 ; p < 0,7306$).
- négative très hautement significative entre le sable et l'argile ($r = - 92,0 ; p < 0,000$) et non significative entre le sable et le dhp ($r = - 05 ; p < 0,4107$), tandis que positive non significative entre le sable et le limon ($r = 02,0 ; p < 0,7306$).

b. Corrélation entre les paramètres physiques étudiés de sols entre eux et/ou le dhp pour le milieu naturel

Les paramètres ne sont pas significativement corrélés entre eux et/ou avec le dhp. Ainsi, dans le sol de milieu naturel (Annexe 5, Tableau 5.2), les principales corrélations obtenues sont:

- negative très hautement significative entre l'argile et le limon ($r = - 31,0 ; p < 0,000$) et le sable ($r = - 84 ; p < 0,000$) tandis que positive non significative entre le limon et le dhp ($r = 04,0 ; p < 0,5711$).
- negative très hautement significative entre le limon et l'argile ($r = - 31,0 ; p < 0,000$) et non significative entre le limon et le dhp ($r = - 09 ; p < 0,1622$), tandis que positive non significative entre le limon et le sable ($r = 04,0 ; p < 0,4841$).
- negative très hautement significative entre le sable et l'argile ($r = - 84,0 ; p < 0,000$) et non significative entre le sable et le dhp ($r = - 03 ; p < 0,6833$), tandis que positive non significative entre le sable et le limon ($r = 04,0 ; p < 0,4841$).

3.2 Propriétés chimiques des sols étudiés

3.2.1 Sols de plateau

3.2.1.1 pHeau

Les valeurs de pHeau des échantillons simples de sol de la jachère arbustive et ceux de la forêt dense comme occupations du sol sont présentées dans la Figure (26), leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* sont consignées dans le Tableau (15). L'analyse des résultats obtenus montre d'une façon générale que les sols sous les quatre types d'occupation étudiés sont acides ($p\text{Heau} < 5,0$) selon l'échelle de Baize et Jabiol (1995). Néanmoins, les valeurs de pHeau sont assez élevées dans le sol de forêt dense sous *A. bipindensis* ($\text{pH} = 4,59 \pm 0,27$ à 0-20 cm ; $\text{pH} = 4,31 \pm 0,26$ à 20-40 cm), suivi de la jachère arbustive sous *A. bipindensis* ($\text{pH} = 4,37 \pm 0,22$ à 0-20 cm ; $\text{pH} = 4,23 \pm 0,20$ à 20-40 cm), puis sous forêt dense ($\text{pH} = 4,09 \pm 0,24$ à 0-20 cm ; $\text{pH} = 3,96 \pm 0,28$ à 20-40 cm) et enfin sous jachère arbustive ($\text{pH} = 4,04 \pm 0,13$ à 0-20 cm ; $\text{pH} = 3,77 \pm 0,11$ à 20-40 cm). En effet, les valeurs pHeau varient significativement entre les quatre types d'occupation du sol et la gamme des valeurs enregistrées est relativement large pour un même niveau de profondeur (3,96 à 4,59 pour la forêt dense et 3,77 à 4,37 pour la jachère arbustive). Le test de Breusch-

Pagan a indiqué un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 3,5469$; $p = 0,05966$ et $BP = 2,032$; $p = 0,154$) pour les tranches étudiées, avant et après deux transformations préalables.

L'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 3, Tableau 3.19 et 3.20) a montré un effet hautement significatif du facteur occupation du sol sur le pHeau ($p < 0,001$). En comparant nos résultats deux à deux par le test post hoc de Tukey HSD, on obtient une différence très hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$), sauf entre la jachère et la forêt dense où la différence est non significative ($p < 0,05$) pour la tranche de 0-20 cm de profondeur, tandis que dans la tranche de 20-40 cm de profondeur ce test montre qu'il existe une différence très hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$), sauf entre la jachère arbustive à *A. bipindensis* et la forêt dense à *A. bipindensis* où la différence est non significative ($p < 0,05$).

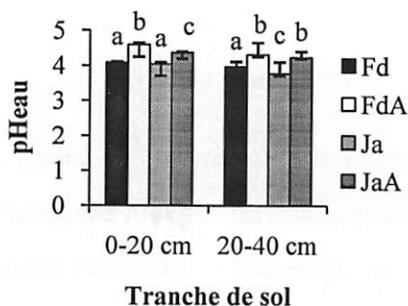


Figure 26. Valeurs moyennes ($n = 32$) de pHeau des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau. Les barres représentent les écarts-types des moyennes tandis que les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Tukey HSD, *Honest Significant Differences*).

3.2.1.2 Carbone organique total (COT)

Les teneurs moyennes en COT dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur du sol sous forêt dense et sous jachère arbustive sont présentées dans la Figure (27), leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* sont consignées dans le Tableau (15). Pour le carbone organique total (COT), les moyennes sont assez élevées dans le sol

de forêt dense sous *A. bipindensis* ($3,21 \pm 0,16$ % à 0-20 cm ; $2,82 \pm 0,44$ % à 20-40 cm), suivi de la jachère arbustive sous *A. bipindensis* ($2,67 \pm 0,10$ % à 0-20 cm ; $2,37 \pm 0,26$ à 20-40 cm), puis sous la forêt dense ($2,16 \pm 0,12$ à 0-20 cm ; $1,78 \pm 0,10$ à 20-40 cm) et enfin sous jachère arbustive ($1,79 \pm 0,11$ à 0-20 cm ; $1,32 \pm 0,14$ à 20-40 cm). Le test de Breusch-Pagan a indiqué un écart significatif à une distribution normale des données (c.à.d. hétéroscédasticité) ($BP = 6,3253$; $p = 0,0119$ et $BP = 13,2702$; $p = 0,0002697$) pour les tranches étudiées, avant et après deux transformations préalables.

La normalité n'étant pas atteinte, nous avons opté pour le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a montré un effet très significatif du facteur occupation du sol (Chi deux = 119,2934 ; Ddl = 3 ; $p < 0,01$) sur le taux de carbone organique (Annexe 3, Tableau 3.21 et 3.22). La comparaison des occupations du sol deux à deux (Wilcoxon) a permis de mettre en évidence un effet très significatif du facteur occupation du sol, sauf entre les occupations : la forêt dense et la forêt dense à *A. bipindensis* et entre la forêt dense et la jachère à *A. bipindensis* (non significatifs) dans la tranche de 20-40 cm de profondeur. Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de l'espèce sur le taux de carbone organique du sol.

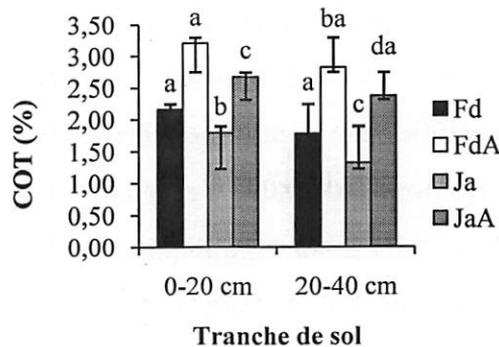


Figure 27. Teneurs moyennes ($n = 32$) en COT des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau. Les barres représentent les écarts-types des moyennes tandis que les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Wilcoxon).

3.2.1.3 Matière organique du sol (MOS)

Les teneurs en MOS du sol sous les quatre types d'occupation sont présentées dans la Figure 28, la synthèse de leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* étant fournie dans le Tableau 15. En comparant les sols sous les quatre types d'occupation en ce qui concerne leurs teneurs en MOS, on constate qu'il se produit une importante accumulation de matières organiques issues de la litière de végétation dans le sol de la forêt dense sous *A. bipindensis* ($7,94 \pm 0,47$ à 0-20 cm ; $7,46 \pm 0,44$ à 20-40 cm), suivi de la jachère arbustive sous *A. bipindensis* ($7,57 \pm 0,37$ à 0-20 cm ; $7,31 \pm 0,35$ à 20-40 cm), puis sous forêt dense ($7,07 \pm 0,42$ à 0-20 cm ; $6,86 \pm 0,48$ à 20-40 cm) et enfin sous jachère arbustive ($7,00 \pm 0,23$ à 0-20 cm ; $6,52 \pm 0,20$ à 20-40 cm).

En effet, les teneurs en MOS varient significativement entre les quatre types d'occupation du sol et la gamme des valeurs enregistrées est relativement large pour un même niveau de profondeur (3,96 à 4,59 pour la forêt et 3,77 à 4,37 pour la jachère). Le test de Breusch-Pagan a indiqué un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 3,5469$; $p = 0,05966$ et $BP = 2,032$; $p = 0,154$ pour les tranches étudiées) avant et après deux transformations préalables. L'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 3, Tableaux 3.23 et 3.24) a montré un effet hautement significatif du facteur occupation du sol sur la teneur en MOS ($p < 0,001$). En comparant nos résultats deux à deux par le test post hoc de Tukey HSD, on obtient une différence très hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$), sauf entre la jachère et la forêt dense comme témoins où la différence est non significative ($p > 0,05$) pour la tranche de 0-20 cm de profondeur, tandis que dans la tranche de 20-40 cm de profondeur ce test montre qu'il existe une différence très hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$), sauf entre la jachère arbustive à *A. bipindensis* et la forêt dense à *A. bipindensis* où la différence est non significative ($p > 0,05$).

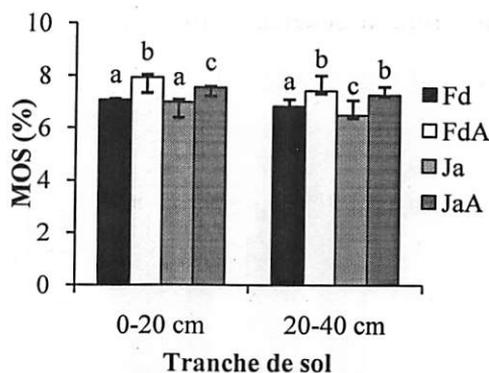


Figure 28. Teneurs moyennes ($n = 32$) de MOS des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau. Les barres représentent les écarts-types des moyennes tandis que les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Tukey HSD, *Honest Significant Differences*).

3.2.1.4 Azote organique total (Nt) du sol

Les teneurs moyennes en Nt dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur du sol sous forêt dense et sous jachère arbustive sont présentées dans la Figure 29, leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* étant consignées dans le Tableau (15). Pour l'azote organique total du sol, les moyennes sont assez élevées dans le sol de forêt dense sous *A. bipindensis* ($0,43 \pm 0,02$ % à 0-20 cm ; $0,37 \pm 0,03$ % à 20-40 cm), suivi de la forêt dense comme témoin ($0,36 \pm 0,03$ % à 0-20 cm ; $0,30 \pm 0,02$ à 20-40 cm), puis sous jachère arbustive à *A. bipindensis* ($0,32 \pm 0,03$ à 0-20 cm ; $0,21 \pm 0,02$ à 20-40 cm) et enfin sous jachère arbustive ($0,25 \pm 0,03$ à 0-20 cm ; $0,22 \pm 0,02$ à 20-40 cm). Le test de Breusch-Pagan a indiqué un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 3,5358$; $p = 0,06$ et $BP = 0,4044$; $p = 0,5248$ pour les tranches étudiées) avant et après deux transformations préalables. L'ANOVA à un facteur contrôlé (Annexe 3, Tableaux 3.25 et 3.26), a montré qu'il existe des différences très hautement significatives entre les quatre types d'occupation du sol par rapport à leurs effets sur l'azote organique total ($p < 0,001$). Le test post hoc de Tukey a montré qu'il existe des différences très hautement significatives entre les quatre types d'occupation du sol en les comparant deux à

deux. Ces résultats montrent à nouveau que l'espèce *A. bipindensis* a un effet améliorant, avec le temps sur l'azote organique du sol.

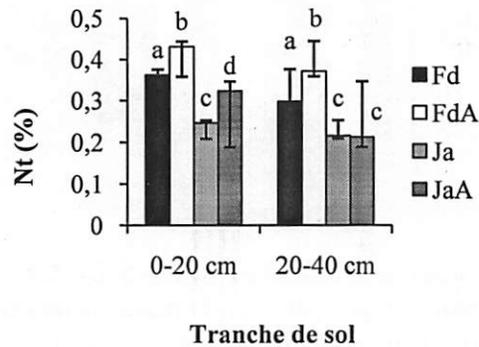


Figure 29. Teneurs moyennes ($n = 32$) en Nt des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau. Les barres représentent les écarts-types des moyennes tandis que les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (*Tukey HSD, Honest Significant Differences*).

3.2.1.5 Rapport C/N du sol

Les valeurs du rapport C/N du sol sous les quatre types d'occupation sont présentées dans la Figure 30, la synthèse de leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* sont fournies dans le Tableau 15. En comparant les sols sous les quatre types d'occupation en ce qui concerne leurs rapports C/N, les moyennes sont assez élevées dans le sol de jachère arbustive à *A. bipindensis* ($8,32 \pm 0,70$ à 0-20 cm ; $11,26 \pm 1,37$ à 20-40 cm), suivi de la forêt dense sous *A. bipindensis* ($7,46 \pm 0,50$ à 0-20 cm ; $7,59 \pm 1,09$ à 20-40 cm), puis sous jachère arbustive comme témoin ($7,36 \pm 0,98$ à 0-20 cm ; $6,18 \pm 0,62$ à 20-40 cm) et enfin sous forêt dense comme témoin ($5,99 \pm 0,57$ à 0-20 cm ; $6,00 \pm 0,56$ à 20-40 cm). Le test de Breusch-Pagan a indiqué un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 0,7676$; $p = 0,381$ et $BP = 0,999$; $p = 0,3176$) pour les tranches étudiées, avant et après deux transformations préalables.

L'ANOVA à un facteur (Annexe 3, Tableaux 3.27 et 3.28) a révélé qu'il existe un effet significatif ($p < 0,01$) du facteur occupation du sol sur le rapport C/N moyen du

sol. Le test de Tukey permet ainsi de dégager une différence très hautement significative ($p < 0,001$), sauf, entre la jachère arbustive et la forêt dense à *A. bipindensis* où la différence est non significative dans la tranche de 0-20 cm de profondeur, tandis que la même observation se manifeste dans la tranche de 20-40 cm de profondeur, sauf entre la jachère arbustive et la forêt dense où la différence est non significative. Les différences significatives des valeurs moyennes du rapport C/N entre la jachère arbustive et la forêt dense peuvent être liées aux caractéristiques chimiques de la litière : sa teneur en azote dont dépend la vitesse de la décomposition et de transfert des résidus au sol ; sa teneur en lignine et en substances carbonées hydrosolubles.

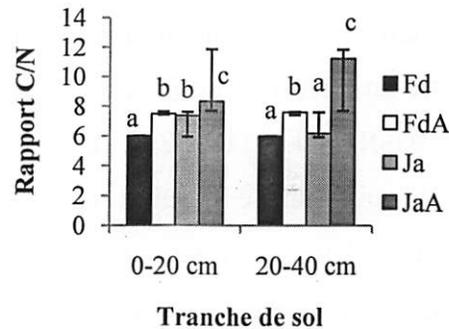


Figure 30. Teneurs moyennes ($n = 32$) en rapport C/N des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau. Les barres représentent les écarts-types des moyennes tandis que les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (*Tukey HSD, Honest Significant Differences*).

3.2.1.6 Phosphore assimilable du sol ($\mu\text{g/g}$)

Les résultats des teneurs moyennes en phosphore assimilable sous les quatre types d'occupations du sol étudiés sont présentés dans la Figure 31, la synthèse de leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* est consignée dans le Tableau 15. D'une façon générale, on observe un gradient décroissant des teneurs moyennes en phosphore assimilable de la forêt dense vers la jachère arbustive, alors que les teneurs en phosphore assimilable sont relativement élevées en forêt dense sous *A.*

bipindensis comparativement aux trois autres occupations du sol. Les moyennes sont assez élevées dans le sol de forêt dense sous *A. bipindensis* ($3,07 \pm 0,25 \mu\text{g/g}$ à 0-20 cm ; $2,55 \pm 0,09 \mu\text{g/g}$ à 20-40 cm), suivi de la jachère arbustive à *A. bipindensis* ($2,51 \pm 0,10 \mu\text{g/g}$ à 0-20 cm ; $2,03 \pm 0,08 \mu\text{g/g}$ à 20-40 cm), puis sous forêt dense comme témoin ($1,90 \pm 0,10 \mu\text{g/g}$ à 0-20 cm ; $1,61 \pm 0,12 \mu\text{g/g}$ à 20-40 cm) et enfin sous jachère arbustive ($1,51 \pm 0,23 \mu\text{g/g}$ à 0-20 cm ; $1,37 \pm 0,07 \mu\text{g/g}$ à 20-40 cm). Le test de Breusch-Pagan a indiqué un écart significatif à une distribution normale des données (c.à.d. hétéroscédasticité) ($BP = 13,1039$; $p = 0,0002947$ et $BP = 13,3738$; $p = 0,0002552$) pour les tranches étudiées, avant et après deux transformations préalables.

La normalité n'étant pas atteinte, nous avons opté pour le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a montré un effet très significatif du facteur occupation du sol ($W = 119,2934$; $Ddl = 3$; $p < 0,001$ et $W = 119,3799$; $Ddl = 3$; $p < 0,001$) sur la teneur en phosphore assimilable du sol (Annexe 3, Tableaux 3.29 et 3.30). La comparaison des occupations du sol deux à deux par le test de Wilcoxon a permis de mettre en évidence un effet très significatif du facteur occupation du sol dans les tranches du sol étudiées. Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de l'espèce sur la teneur en phosphore assimilable du sol.

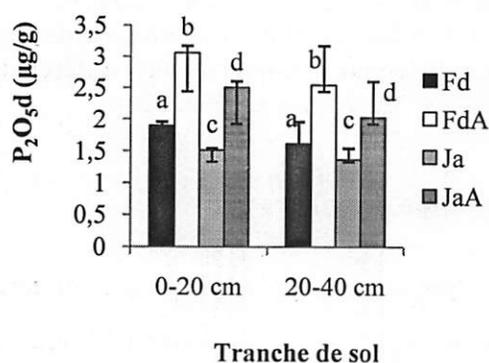


Figure 31. Teneurs moyennes ($n = 32$) en phosphore assimilable des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le plateau. Les barres représentent les écarts-types des moyennes tandis que les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Wilcoxon).

Tableau 15. Synthèse de résultats d'ANOVA à un facteur et du test de Kruskal-Wallis pour l'examen de l'effet de l'espèce sur les propriétés chimiques du sol de plateau dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur.

| Variabes | SC | Ddl | CM | F | p-value |
|--|--------|-----|----------|-------|---------|
| pH 0-20 cm | 0,3371 | 3 | 0,11235 | 42,25 | < 0,001 |
| pH 20-40 cm | 0,3617 | 3 | 0,120055 | 42,81 | < 0,001 |
| COT 0-20 cm | - | 3 | - | - | < 0,001 |
| COT 20-40 cm | - | 3 | - | - | < 0,001 |
| MOS 0-20 cm | 0,3371 | 3 | 0,11235 | 42,25 | < 0,001 |
| MOS 20-40 cm | 0,3617 | 3 | 0,12055 | 42,81 | < 0,001 |
| Nt 0-20 cm | 0,3193 | 3 | 0,10642 | 271 | < 0,001 |
| Nt 20-40 cm | 0,3364 | 3 | 0,11214 | 391,6 | < 0,001 |
| C/N 0-20 cm | 1,816 | 3 | 0,6054 | 59,19 | < 0,001 |
| C/N 20-40 cm | 8,031 | 3 | 2,6769 | 180,5 | < 0,001 |
| P ₂ O ₅ d 0-20 cm | - | 3 | - | - | < 0,001 |
| P ₂ O ₅ d 20-40 cm | - | 3 | - | - | < 0,001 |

Une p-value en gras indique un effet de l'espèce sur la variable considérée ; p-value significative, mais non en gras indique que la l'espèce à des effets similaires soit avec la jachère soit la forêt qu'elle sépare sur la variable considérée ; le tiret (-) indique les résultats de test de Kruskal-Wallis ; SC : Somme Carrées (des écarts à la moyenne), Ddl : Degrés de liberté ; MC : variance (Carré Moyen) ; F : F de Fisher calculé ; P : erreur alpha. p<0,01 : différence très significative; p<0,001 : différence très hautement significative

3.2.2 Sols de versant

3.2.2.1 pHeau

Les valeurs de pHeau des échantillons simples de sol de la forêt dense et ceux de la jachère arbustive comme occupations du sol sont présentées dans la Figure 32, leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* sont consignées dans le Tableau 16. L'analyse des résultats obtenus montre d'une façon générale que les sols sous les quatre types d'occupation étudiés sont acides (pHeau < 5,0) selon l'échelle de Baize et Jabiol (1995). Néanmoins, les valeurs des pHeau sont assez élevées dans le sol de la jachère arbustive sous *A. bipindensis* (pH = 4,70 ± 0,21 à 0-20 cm ; pH = 4,33 ± 0,16 à 20-40 cm), suivi de jachère arbustive (pH = 4,55 ± 0,32 à 0-20 cm ; pH = 4,20 ± 0,21 à 20-40 cm), puis sous forêt dense comme témoins (pH = 4,07 ± 0,22 à 0-20 cm ; pH = 3,79 ± 0,11 à 20-40 cm) et enfin sous forêt dense à *A. bipindensis* (pH =

4,05 ± 0,17 à 0-20 cm ; pH = 3,85 ± 0,14 à 20-40 cm). En effet, les valeurs pHeau varient significativement entre les quatre types d'occupation du sol et la gamme des valeurs enregistrées est relativement large pour un même niveau de profondeur (4,20 à 4,70 pour la jachère arbustive et 3,79 à 4,07 pour la forêt dense). Le test de Breusch-Pagan a indiqué un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 1,6472$; $p = 0,1993$ et $BP = 3,6953$; $p = 0,05456$ pour les tranches étudiées) avant et après deux transformations préalables.

L'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 3, Tableaux 3.31 et 3.32) a montré un effet hautement significatif du facteur occupation du sol sur le pHeau ($p < 0,001$). En comparant nos résultats deux à deux par le test post hoc de Tukey HSD, montre qu'il existe une différence très hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$), sauf entre la forêt dense à *A. bipindensis* et la forêt dense et entre la jachère arbustive et la jachère à *A. bipindensis* où les différences sont non significatives ($p > 0,05$) pour la tranche de 0-20 cm de profondeur, tandis que dans la tranche de 20-40 cm de profondeur ce test post hoc révèle qu'il existe une différence hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,01$), sauf entre la forêt dense à *A. bipindensis* et la forêt dense où la différence est non significative ($p > 0,05$).

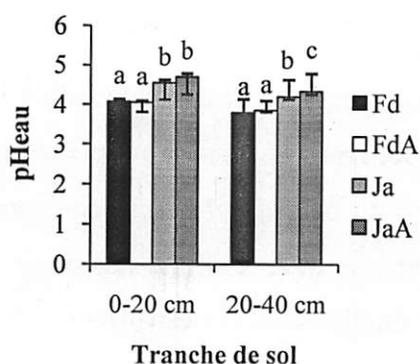


Figure 32. Valeurs moyennes ($n = 32$) de pHeau des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant. Les barres représentent les écarts-types des moyennes tandis que les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Tukey HSD, *Honest Significant Differences*).

3.2.2.2 Carbone organique total (COT)

Les teneurs moyennes en COT dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur du sol sous la jachère arbustive et la forêt dense sont présentées dans la Figure (33), leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* étant consignées dans le Tableau (16). L'examen des résultats tels qu'illustrés par la Figure (33) montre un gradient décroissant des teneurs en COT en profondeur et en différentes occupations du sol (jachère arbustive et forêt dense). Les moyennes observées sont assez élevées dans le sol de la jachère arbustive sous *A. bipindensis* ($3,05 \pm 0,10$ % à 0-20 cm ; $2,81 \pm 0,13$ % à 20-40 cm), suivi de jachère arbustive comme témoin ($2,59 \pm 0,40$ % à 0-20 cm ; $2,03 \pm 0,07$ % à 20-40 cm), puis sous forêt dense comme témoins ($2,04 \pm 0,08$ % à 0-20 cm ; $1,98 \pm 0,09$ % à 20-40 cm) et enfin sous forêt dense à *A. bipindensis* ($1,84 \pm 0,21$ % à 0-20 cm ; $1,61 \pm 0,40$ à 20-40 cm). Le test de Breusch-Pagan a indiqué deux cas : un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscélasticité) ($BP = 0,7364$; $p = 0,3908$) dans la tranche de 0-20 cm, tandis que dans la tranche de 20 – 40 cm, un écart significatif à une distribution normale des données (c.à.d. hétéroscélasticité) ($BP = 38,2688$; $p < 0,001$) pour les tranches étudiées avant et après deux transformations préalables.

L'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 3, Tableau 3.33) a montré un effet hautement significatif du facteur occupation du sol sur le COT ($p < 0,001$). En comparant nos résultats deux à deux par le test post hoc de Tukey HSD, on obtient une différence très hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$) pour la tranche de 0-20 cm de profondeur, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, la normalité n'étant pas atteinte, nous avons opté pour le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a montré un effet très significatif du facteur occupation du sol ($W = 84,4402$; $Ddl = 3$; $p < 0,001$) sur le taux de carbone organique (Annexe 3, Tableau 3.34). La comparaison des occupations du sol deux à deux par le test de Wilcoxon a permis de mettre en évidence un effet très significatif du facteur occupation du sol, sauf entre la forêt dense et la forêt dense à *A. bipindensis* où la

différence n'est pas significatif. Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de l'espèce sur le taux de carbone organique du sol.

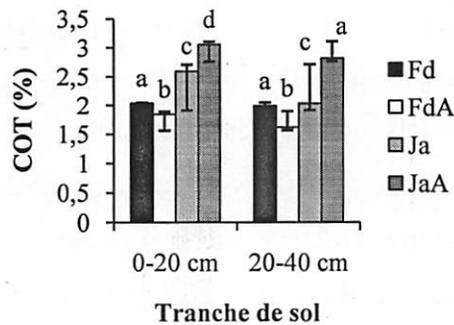


Figure 33. Teneurs moyennes ($n = 32$) en COT des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant. Les barres représentent les écarts-types des moyennes et les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Tukey HSD, Honest Significant Differences et Wilcoxon).

3.2.2.3 Matière organique du sol (MOS)

Les teneurs en MOS du sol sous les quatre types d'occupation sont représentées dans la Figure 34, la synthèse de leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* est fournie dans le Tableau (16). En comparant les sols sous les quatre types d'occupation en ce qui concerne leurs teneurs en MOS, on constate qu'il se produit une importante accumulation de matières organiques issues de la litière de végétation dans le sol de la jachère arbustive sous *A. bipindensis* ($8,13 \pm 0,37$ % à 0-20 cm ; $7,50 \pm 0,27$ % à 20-40 cm), suivi de jachère arbustive ($7,87 \pm 0,55$ % à 0-20 cm ; $7,26 \pm 0,36$ % à 20-40 cm), puis sous forêt dense comme témoins ($7,04 \pm 0,37$ % à 0-20 cm ; $6,56 \pm 0,19$ % à 20-40 cm) et enfin sous forêt dense à *A. bipindensis* ($7,00 \pm 0,29$ % à 0-20 cm ; $6,65 \pm 0,25$ % à 20-40 cm). Le test de Breusch-Pagan a indiqué un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 1,6472$; $p = 0,1993$ et $BP = 3,6953$; $p = 0,05456$) pour les tranches étudiées avant et après deux transformations préalables.

L'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 3, Tableaux 3.35 et 3.36) a montré un effet hautement significatif du facteur occupation du sol sur la teneur en MOS ($p < 0,01$). En comparant nos résultats deux à deux par le test post hoc de Tukey HSD, on obtient une différence hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,01$), sauf entre les occupations suivantes : la forêt dense à *A. bipindensis* et la forêt dense et entre la jachère arbustive à *A. bipindensis* et la jachère arbustive où la différence est non significative ($p > 0,05$) pour la tranche de 0-20 cm de profondeur, tandis que dans la tranche de 20-40 cm de profondeur ce test montre qu'il existe une différence hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$), sauf entre la forêt dense à *A. bipindensis* et la forêt dense où la différence est non significative ($p > 0,05$).

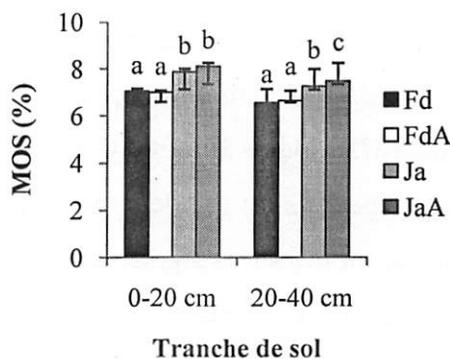


Figure 34. Teneurs moyennes ($n = 32$) en MOS des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant. Les barres représentent les écarts-types des moyennes et les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Tukey HSD, *Honest Significant Differences*).

3.2.2.4 Azote organique total (Nt) du sol

Les teneurs moyennes en Nt dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur du sol sous la jachère arbustive et la forêt dense sont présentées dans la Figure 35, leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* sont consignées dans le Tableau (16). Pour l'azote organique total du sol, les moyennes sont assez élevées dans le sol de la

jachère arbustive sous *A. bipindensis* ($0,41 \pm 0,03$ % à 0-20 cm ; $0,32 \pm 0,02$ % à 20-40 cm), suivi de jachère arbustive ($0,35 \pm 0,02$ % à 0-20 cm ; $0,20 \pm 0,01$ % à 20-40 cm) et sous forêt dense comme témoins ($0,35 \pm 0,03$ % à 0-20 cm ; $0,27 \pm 0,02$ % à 20-40 cm) et enfin sous forêt dense à *A. bipindensis* ($0,24 \pm 0,03$ % à 0-20 cm ; $0,20 \pm 0,02$ % à 20-40 cm). Le test de Breusch-Pagan a indiqué deux cas : un écart significatif à une distribution normale des données (c.à.d. hétéroscédasticité) ($BP = 6,5138$; $p = 0,0107$) dans la tranche de 0-20 cm, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 0,1659$; $p = 0,6838$) pour les tranches étudiées avant et après deux transformations préalables.

L'analyse de variance ANOVA à un facteur, (Annexe 3, Tableau 3.37) a montré un effet hautement significatif du facteur occupation du sol sur l'Nt ($p < 0,001$). Dans la tranche de 0-20 cm, la normalité n'étant pas atteinte, nous avons opté pour le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a montré un effet très significatif du facteur occupation du sol ($W = 103,4673$; $Ddl = 3$; $p < 0,001$) sur la teneur en azote total du sol. La comparaison des occupations du sol deux à deux par le test de Wilcoxon a permis de mettre en évidence un effet très significatif du facteur occupation du sol, sauf entre la forêt dense et la jachère arbustive à *A. bipindensis* comme occupation qui est non significatif, tandis que dans la tranche 20-40 cm de profondeur (Annexe 3, Tableau 3.38). La comparaison de nos résultats deux à deux par le test post hoc de Tukey HSD, montre qu'il existe une différence hautement significative entre les différentes occupations ($p < 0,001$), sauf entre la jachère arbustive à *A. bipindensis* et la jachère arbustive. Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de l'espèce sur la teneur en azote total du sol.

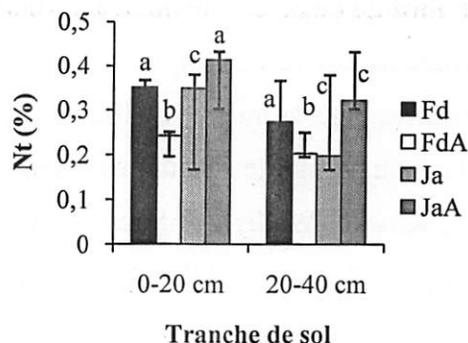


Figure 35. Teneurs moyennes ($n = 32$) en Nt des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant. Les barres représentent les écarts-types des moyennes et les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Wilcoxon et Tukey HSD, *Honest Significant Differences*).

3.2.2.5 Rapport C/N

Les teneurs du rapport C/N du sol sous les quatre types d'occupation du sol sont présentées dans la Figure 36, la synthèse de leurs réponses face à l'effet de lisière étant fournie dans le Tableau 16. En comparant les sols sous les quatre types d'occupation en ce qui concerne leurs rapports C/N, on note que les moyennes sont assez élevées dans le sol de forêt dense sous *A. bipindensis* ($7,76 \pm 1,55$ à 0-20 cm ; $8,04 \pm 2,34$ à 20-40 cm), suivi de la jachère arbustive ($7,41 \pm 0,91$ à 0-20 cm ; $10,27 \pm 0,80$ à 20-40 cm), puis sous la jachère arbustive à *A. bipindensis* ($7,37 \pm 0,30$ à 0-20 cm ; $8,76 \pm 0,89$ à 20-40 cm) et enfin sous forêt dense ($5,87 \pm 0,74$ à 0-20 cm ; $7,28 \pm 0,49$ à 20-40 cm). Le test de Breusch-Pagan a indiqué deux cas : un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 1,5234$; $p = 0,2171$) dans la tranche de 0-20 cm, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, un écart significatif à une distribution normale des données (c.à.d. hétéroscedasticité) ($BP = 14,4494$; $p = 0,000144$) pour les tranches étudiées, avant et après deux transformations préalables.

L'ANOVA à un facteur (Annexe 3, Tableau 3.39) a révélé qu'il existe un effet significatif ($p < 0,01$) du facteur occupation du sol sur le rapport C/N moyen du sol.

Le test de Tukey permet ainsi de dégager une différence hautement significative ($p < 0,001$), sauf entre la jachère arbustive à *A. bipindensis* et la jachère arbustive où la différence est non significative dans la tranche de 0-20 cm de profondeur. Tandis que dans la tranche de 20-40 cm, la normalité n'étant pas atteinte, nous avons opté pour le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a montré un effet très significatif du facteur occupation du sol ($W = 84,4402$; Ddl = 3 ; $p < 0,001$) sur le rapport C/N du sol (Annexe 3, Tableau 3.40). La comparaison des occupations du sol deux à deux par le test de Wilcoxon a permis de mettre en évidence un effet significatif du facteur occupation du sol, sauf entre la forêt dense et la jachère arbustive et entre la jachère arbustive et la forêt dense à *A. bipindensis* où l'effet est non significatif. Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique de l'espèce sur le rapport C/N du sol. Les différences significatives des valeurs moyennes du rapport C/N entre la jachère arbustive et la forêt dense peuvent être liées aux caractéristiques chimiques de la litière : sa teneur en azote dont dépend la vitesse de la décomposition et de transfert des résidus au sol ; sa teneur en lignine et en substances carbonées hydrosolubles.

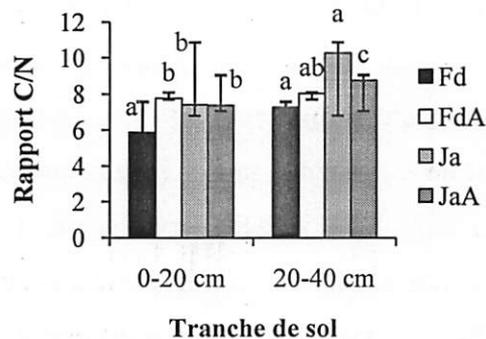


Figure 36. Teneurs moyennes ($n = 32$) en rapport C/N des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant. Les barres représentent les écarts-types des moyennes et les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (Tukey HSD, *Honest Significant Differences* et Wilcoxon).

3.2.2.6 Phosphore assimilable du sol ($\mu\text{g/g}$)

Les résultats des teneurs moyennes en phosphore assimilable sous les quatre types d'occupations du sol étudiés sont représentés dans la Figure 37, la synthèse de leurs réponses face à l'espèce *A. bipindensis* est consignée dans le Tableau 16. D'une façon générale, on observe un gradient décroissant des teneurs moyennes en phosphore assimilable. Les teneurs en phosphore assimilable sont relativement élevées en jachère arbustive comparativement à forêt dense. Les moyennes sont assez élevées dans le sol de la jachère arbustive sous *A. bipindensis* ($2,79 \pm 2,27 \mu\text{g/g}$ à 0-20 cm ; $2,48 \pm 0,09 \mu\text{g/g}$ à 20-40 cm), suivi de jachère arbustive ($2,29 \pm 0,24 \mu\text{g/g}$ à 0-20 cm ; $1,93 \pm 0,12 \mu\text{g/g}$ à 20-40 cm) et sous forêt dense ($2,01 \pm 0,22 \mu\text{g/g}$ à 0-20 cm ; $1,63 \pm 0,10 \mu\text{g/g}$ à 20-40 cm) et enfin sous forêt dense à *A. bipindensis* ($1,69 \pm 0,18 \mu\text{g/g}$ à 0-20 cm ; $1,42 \pm 0,20 \mu\text{g/g}$ à 20-40 cm). Le test de Breusch-Pagan a indiqué deux cas : un écart non significatif à une distribution normale des données (c.à.d. homoscedasticité) ($BP = 1,1351$; $p = 0,2867$) dans la tranche de 0-20 cm, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, un écart significatif à une distribution normale des données (c.à.d. hétéroscedasticité) ($BP = 26,2762$; $p < 0,001$) pour les tranches étudiées, avant et après deux transformations préalables.

L'ANOVA à un facteur (Annexe 3, Tableau 3.41) a révélé qu'il existe un effet significatif ($p < 0,01$) du facteur occupation du sol sur le rapport phosphore assimilable moyen du sol. La comparaison des moyennes deux à deux par le test post hoc de Tukey HSD permet ainsi de dégager une différence hautement significative ($p < 0,001$) entre les différentes occupations du sol, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, la normalité n'étant pas atteinte, nous avons opté pour le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a montré un effet très significatif du facteur occupation du sol ($W = 109,4082$; $Ddl = 3$; $p < 0,001$) sur le phosphore assimilable du sol (Annexe 3, Tableau 3.42). La comparaison des différentes occupations du sol deux à deux par le test post hoc de Wilcoxon a permis de mettre en évidence un effet très significatif du facteur occupation du sol sur cette tranche. Ces résultats mettent

en évidence l'effet bénéfique de l'espèce sur la teneur en phosphore assimilable du sol.

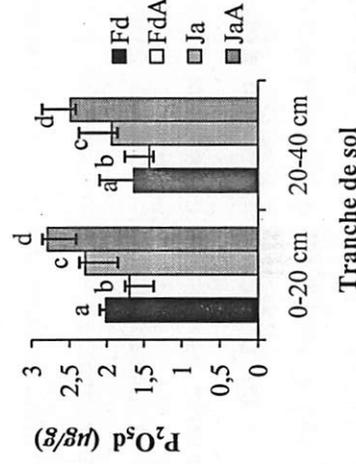


Figure 37. Teneurs moyennes ($n = 32$) en phosphore assimilable des échantillons du sol dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbutive et jachère arbutive à *A. bipindensis* (Yoko et Yangambi) dans le versant. Les barres représentent les écarts-types des moyennes et les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (*Tukey HSD, Honest Significant Differences* et *Wilcoxon*).

Tableau 16. Synthèse de résultats d'ANOVA à un facteur et de Kruskal-Wallis testant l'effet de l'espèce sur les propriétés chimiques du sol de versant dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur.

| Variables | SC | Ddl | CM | F | p-value |
|--|---------|-----|---------|-------|---------|
| pH 0-20 cm | 0,5611 | 3 | 0,18704 | 65,45 | < 0,001 |
| pH 20-40 cm | 0,4079 | 3 | 0,13596 | 89,3 | < 0,001 |
| COT 0-20 cm | 5,028 | 3 | 1,676 | 163,7 | < 0,001 |
| COT 20-40 cm | - | 3 | - | - | < 0,001 |
| MOS 0-20 cm | 0,5611 | 3 | 0,18704 | 65,45 | < 0,001 |
| MOS 20-40 cm | 0,4079 | 3 | 0,13596 | 89,3 | < 0,001 |
| Nt 0-20 cm | - | 3 | - | - | < 0,001 |
| Nt 20-40 cm | 0,21598 | 3 | 0,07199 | 294,5 | < 0,001 |
| C/N 0-20 cm | 1,479 | 3 | 0,493 | 28,11 | < 0,001 |
| C/N 20-40 cm | - | 3 | - | - | < 0,001 |
| P ₂ O ₅ d 0-20 cm | 4,267 | 3 | 1,4224 | 130,8 | < 0,001 |
| P ₂ O ₅ d 20-40 cm | - | 3 | - | - | < 0,001 |

Une p-value en gras indique un effet de l'espèce sur la variable considérée ; p-value significative, mais non en gras indique que la l'espèce à des effets similaires soit avec la jachère soit la forêt qu'elle sépare sur la variable considérée ; le tiret (-) indique les résultats de test de Kruskal-Wallis ; SC : Somme Carrées (des écarts à la moyenne), Ddl : Degrés de liberté ; MC : variance (Carré Moyen) ; F :

L'analyse des résultats de l'ACP montre que la contribution des axes principaux à l'inertie totale est de 59,90 % pour l'axe 1 et 17,07 % pour l'axe 2. En général, la projection des objets dans l'espace des composantes principales 1 et 2 montre une tendance à la séparation des variables chimiques des deux niveaux topographiques de sols en fonction des quatre types d'occupation. Par contre, les deux axes séparent distinctement les occupations du sol dégradées (jachère arbustive comme témoin et jachère arbustive à *A. bipindensis*) et non-dégradées (forêt dense comme témoin et forêt dense à *A. bipindensis*). Les deux principaux axes expliquent 76,97 % de la variance totale, soit environ 9,10 % plus élevée que l'ACP sur les paramètres physiques suggérant d'une part, l'effet de nombre élevé des variables chimiques analysées, mais d'autre part cela traduit que les distinctions des deux niveaux topographiques de sols en fonction des quatre types d'occupation considérés semblent plus frappantes pour les paramètres physiques (catena texturale de Yangambi) que chimiques (grande unicité géologique).

La deuxième composante principale (Dim2 = 17,07 %) permet de séparer les occupations du sol dégradées caractérisées par forte dispersion des valeurs (jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis*) et non dégradées (forêt dense et forêt dense à *A. bipindensis*). Tandis que le quadrant sous la composante principale 1 (Dim 1 = 59,90 %) sépare les occupations sous l'espèce *A. bipindensis* et les témoins en suivant les deux niveaux topographiques étudiés. Ainsi, on voit que par rapport au premier axe, toutes les variables sont fortement corrélées positivement et assez fortement avec la fertilité biochimique (pH, COT, MOS, Nt, C/N et phosphore biodisponible) et de ce fait, semblent donc se distinguer des jachères arbustives et des forêts denses par leur statut en MOS et en nutriments plus élevé. Ce qui confirme les résultats de l'ANOVA à un facteur démontrant que la richesse MOS fournit un moyen efficace pour séparer les sols des jachères arbustives et des forêts denses, comme le montre la projection des objets dans les plans de composantes 1 et 2, illustrée dans la Figure 38.

Tableau 17. Synthèse des propriétés chimiques (moyennes \pm écart-types) des sols de plateau et versant dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense, sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* deux sites d'étude (RFY et RBY).

| Propriétés | Plateau | | | | | |
|---|---------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|
| | N | Fd | FdA | Ja | JaA | Gradient |
| pH 0-20 cm | 32 | 4,09 \pm 0,24 | 4,59 \pm 0,27 | 4,04 \pm 0,13 | 4,37 \pm 0,22 | FdA>JaA>Fd>Ja |
| pH 20-40 cm | 32 | 3,96 \pm 0,28 | 4,31 \pm 0,26 | 3,77 \pm 0,11 | 4,23 \pm 0,20 | FdA>JaA>Fd>Ja |
| COT 0-20 cm (%) | 32 | 2,16 \pm 0,12 | 3,21 \pm 0,16 | 1,79 \pm 0,11 | 2,67 \pm 0,10 | FdA>JaA>Fd>Ja |
| COT 20-40 cm (%) | 32 | 1,78 \pm 0,10 | 2,82 \pm 0,44 | 1,32 \pm 0,14 | 2,37 \pm 0,26 | FdA>JaA>Fd>Ja |
| MOS 0-20 cm (%) | 32 | 7,07 \pm 0,42 | 7,94 \pm 0,47 | 7,00 \pm 0,23 | 7,57 \pm 0,37 | FdA>JaA>Fd>Ja |
| MOS 20-40 cm (%) | 32 | 6,86 \pm 0,48 | 7,46 \pm 0,44 | 6,52 \pm 0,20 | 7,31 \pm 0,35 | FdA>JaA>Fd>Ja |
| Nt 0-20 cm (%) | 32 | 0,36 \pm 0,03 | 0,43 \pm 0,02 | 0,25 \pm 0,03 | 0,32 \pm 0,03 | FdA>Fd>JaA>Ja |
| Nt 20-40 cm (%) | 32 | 0,30 \pm 0,02 | 0,37 \pm 0,03 | 0,22 \pm 0,02 | 0,21 \pm 0,02 | FdA>Fd>Ja>JaA |
| C/N 0-20 cm | 32 | 5,99 \pm 0,57 | 7,46 \pm 0,50 | 7,36 \pm 0,98 | 8,32 \pm 0,70 | JaA>FdA >Ja>Fd |
| C/N 20-40 cm | 32 | 6,00 \pm 0,56 | 7,59 \pm 1,09 | 6,18 \pm 0,62 | 11,26 \pm 1,37 | JaA>FdA >Ja>Fd |
| P ₂ O ₅ d 0-20 cm (μ g/g) | 32 | 1,90 \pm 0,10 | 3,07 \pm 0,25 | 1,51 \pm 0,23 | 2,51 \pm 0,10 | FdA>JaA>Ja>Fd |
| P ₂ O ₅ d 20-40 cm (μ g/g) | 32 | 1,61 \pm 0,12 | 2,55 \pm 0,09 | 1,37 \pm 0,07 | 2,03 \pm 0,08 | FdA>JaA>Fd>Ja |

| Propriétés | Versant | | | | | |
|---|---------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|
| | N | Fd | FdA | Ja | JaA | Gradient |
| pH 0-20 cm | 32 | 4,07 \pm 0,22 | 4,05 \pm 0,17 | 4,55 \pm 0,32 | 4,70 \pm 0,21 | JaA> Ja>Fd>FdA |
| pH 20-40 cm | 32 | 3,79 \pm 0,11 | 3,85 \pm 0,14 | 4,20 \pm 0,21 | 4,33 \pm 0,16 | JaA> Ja>FdA>Fd |
| COT 0-20 cm (%) | 32 | 2,04 \pm 0,08 | 1,84 \pm 0,21 | 2,59 \pm 0,40 | 3,05 \pm 0,10 | JaA> Ja>Fd>FdA |
| COT 20-40 cm (%) | 32 | 1,98 \pm 0,09 | 1,61 \pm 0,40 | 2,03 \pm 0,07 | 2,81 \pm 0,13 | JaA> Ja>Fd>FdA |
| MOS 0-20 cm (%) | 32 | 7,04 \pm 0,37 | 7,00 \pm 0,29 | 7,87 \pm 0,55 | 8,13 \pm 0,37 | JaA> Ja>Fd>FdA |
| MOS 20-40 cm (%) | 32 | 6,56 \pm 0,19 | 6,65 \pm 0,25 | 7,26 \pm 0,36 | 7,50 \pm 0,27 | JaA> Ja>FdA>Fd |
| Nt 0-20 cm (%) | 32 | 0,35 \pm 0,03 | 0,24 \pm 0,03 | 0,35 \pm 0,02 | 0,41 \pm 0,03 | JaA> Ja>Fd>FdA |
| Nt 20-40 cm (%) | 32 | 0,27 \pm 0,02 | 0,20 \pm 0,02 | 0,20 \pm 0,01 | 0,32 \pm 0,02 | JaA>Fd>Ja=FdA |
| C/N 0-20 cm | 32 | 5,87 \pm 0,74 | 7,76 \pm 1,55 | 7,41 \pm 0,91 | 7,37 \pm 0,30 | FdA>Ja>JaA>Fd |
| C/N 20-40 cm | 32 | 7,28 \pm 0,49 | 8,04 \pm 2,34 | 10,27 \pm 0,80 | 8,76 \pm 0,89 | Ja>JaA >FdA>Fd |
| P ₂ O ₅ d 0-20 cm (μ g/g) | 32 | 2,01 \pm 0,22 | 1,69 \pm 0,18 | 2,29 \pm 0,24 | 2,79 \pm 0,27 | JaA> Ja>Fd>FdA |
| P ₂ O ₅ d 20-40 cm (μ g/g) | 32 | 1,63 \pm 0,10 | 1,42 \pm 0,20 | 1,93 \pm 0,12 | 2,48 \pm 0,09 | JaA>Ja>Fd>FdA |

Fd : forêt dense (témoin) ; FdA : forêt dense à *Afzelia bipindensis* ; Ja : jachère arbustive (témoin) et JaA : jachère arbustive à *Afzelia bipindensis*.

3.2.3.2 Comparaison de deux types de sol par une ANOVA à deux facteurs

a. pHeau

Dans le plateau, les valeurs du pHeau sous les quatre types d'occupation du sol sont comprises entre $4,04 \pm 0,13$ (sous Jachère arbustive comme témoin) et $4,59 \pm 0,27$ (sous forêt dense à *A. bipindensis*) dans la tranche de 0-20 cm de profondeur (Figure 39), Tableau 17. En revanche, dans la tranche de 20-40 cm, les valeurs sont comprises entre $3,77 \pm 0,11$ et $4,31 \pm 0,26$ sous les mêmes occupations, tandis que sur le versant, les valeurs sont comprises entre $4,05 \pm 0,17$ et $4,70 \pm 0,21$ respectivement sous jachère arbustive comme témoin et forêt dense à *A. bipindensis* dans la tranche de 0-20 cm. En revanche, dans la tranche de 20-40 cm, les valeurs varient entre $3,79 \pm 0,11$ sous la forêt dense et $4,33 \pm 0,16$ sous la forêt dense à *A. bipindensis*. Néanmoins, la forêt dense et la jachère arbustive à *A. bipindensis*, dans la tranche de 0-20 cm de profondeur ainsi que la tranche de 20-40 cm, la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* présentent des valeurs de pHeau intermédiaires en suivant les deux niveaux topographiques (Figure 39). Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17 ; Annexe 3, Tableaux 3.43 et 3.44) montrent qu'il y a un effet significatif du facteur type de sol ($F = 5,40$; $p < 0,05$) et une interaction non significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 2,56$; $p > 0,05$) dans la tranche de 0-20 cm toutefois un effet significatif a été obtenu en ce qui concerne l'occupation du sol ($F = 105,25$; $p < 0,001$), tandis que dans la tranche de 20-40 cm, l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Annexe 3, Tableaux 3.43 et 3.44) montrent qu'il n'y a pas d'effet significatif du facteur type de sol ($F = 1,10$; $p > 0,05$) et une interaction significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 5,00$; $p < 0,05$). Signalons également qu'un effet significatif a été obtenu en ce qui concerne l'occupation du sol ($F = 108,30$; $p < 0,001$).

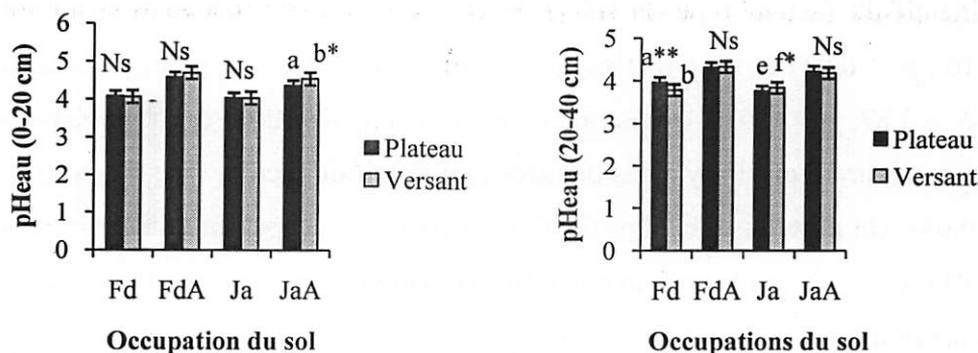


Figure 39. Variation des valeurs moyennes ($n = 32$) de pHeau des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense (témoin), sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant. Les astérisques (*) et (**) indiquent respectivement une interaction significative, très significative et hautement significative entre le type de sol et l'occupation du sol ($p < 0,05$) sur la variable considérée. Les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes des deux occupations du sol comparables des deux types de sols. Ns indique des différences non significatives entre les moyennes des occupations du sol comparables de deux types de sols (Test t de student).

b. Carbone organique total (COT) du sol

Les teneurs moyennes en COT dans les deux types du sol présentent un gradient décroissant du plateau vers le versant dans les différentes occupations du sol (Figure 40). Dans le plateau et dans la tranche de 0-20 cm, les valeurs de COT sont comprises entre $1,79 \pm 0,11$ et $3,21 \pm 0,16\%$ respectivement sous la jachère arbustive et la forêt dense à *A. bipindensis*. Tandis que dans la tranche de 20-40 cm, elles varient entre $1,32 \pm 0,14\%$ et $2,82 \pm 0,44\%$ respectivement sous jachère arbustive et sous forêt dense à *A. bipindensis*. Néanmoins, la forêt dense comme témoin et la jachère arbustive à *A. bipindensis* ont des teneurs intermédiaires. En revanche sur le versant, les mêmes observations se manifestent comme sur le plateau et sont comprises entre $1,84 \pm 0,21\%$ et $3,05 \pm 0,10\%$ pour la tranche de 0-20 cm et entre $1,61 \pm 0,40\%$ et $2,81 \pm 0,13\%$ pour la tranche de 20-40 cm de profondeur.

Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17 ; Annexe 3, Tableaux 3.45 et 3.46) dans la tranche de 0-20 cm montrent qu'il y a un effet très

significatif du facteur type de sol ($F = 10,81$; $p < 0,01$), occupation du sol ($F = 611,16$; $p < 0,01$) et l'interaction très significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 3,87$; $p < 0,01$), tandis que dans la tranche de 20-40 cm, l'ANOVA à deux facteurs montrent qu'il n'y a pas un effet significatif du facteur type du sol ($F = 1,47$; $p > 0,05$). On note un effet significatif concernant l'occupation du sol ($F = 348,26$; $p < 0,01$) et également une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 21,51$; $p < 0,001$).

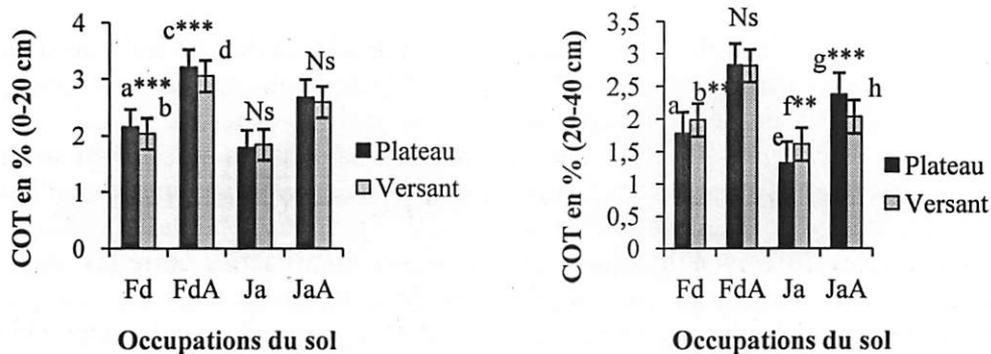


Figure 40. Variation des teneurs moyennes ($n = 32$) en COT des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense (témoin), sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant. Les astérisques (*), (**) et (***) indiquent respectivement une interaction significative, très significative et hautement significative entre le type de sol et l'occupation du sol ($p < 0,05$) sur la variable considérée. Les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes des deux occupations du sol comparables des deux types de sols. Ns indique des différences non significatives entre les moyennes des occupations du sol comparables de deux types de sols (Test t de student).

c. Matière organique du sol (MOS)

Les teneurs moyennes en MOS dans les deux types du sol présentent un gradient décroissant du plateau vers le versant dans les différentes occupations du sol (Figure 41). Les teneurs en MOS dans le plateau, sous les quatre types d'occupation du sol sont comprises entre $7,00 \pm 0,23\%$ sous la jachère arbustive et $7,94 \pm 0,47\%$ sous la forêt dense à *A. bipindensis* dans la tranche de 0-20 cm de profondeur. En revanche, dans la tranche de 20-40 cm, les teneurs sont comprises entre $6,52 \pm 0,20\%$ et $7,46 \pm 0,44\%$ sous les mêmes occupations, tandis que sur le versant, les valeurs sont

comprises entre $7,00 \pm 0,29\%$ et $8,13 \pm 0,37\%$ respectivement sous la jachère arbustive et la forêt dense à *A. bipindensis* dans la tranche de 0-20 cm. En revanche, dans la tranche de 20-40 cm, les teneurs varient $6,56 \pm 0,19$ sous la forêt dense et $7,50 \pm 0,27\%$ sous la jachère arbustive à *A. bipindensis*.

Néanmoins, la forêt dense et la jachère arbustive à *A. bipindensis* dans la tranche de 0-20 cm de profondeur et dans la tranche de 20-40 cm, la jachère arbustive et jachère arbustive à *A. bipindensis* présentent des teneurs en MOS intermédiaires dans les deux types de sols. Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17 ; Annexe 3, Tableaux 3.47 et 3.48) montrent qu'il y a un effet significatif du facteur type de sol ($F = 5,40$; $p < 0,05$), on note une interaction hautement significative concernant l'occupation du sol ($F = 105,25$; $p < 0,001$) et une interaction non significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 2,56$; $p > 0,05$) dans la tranche de 0-20 cm, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Annexe 3, Tableaux 3.45 et 3.46) montrent qu'il n'y a pas d'effet significatif du facteur type de sol ($F = 1,10$; $p > 0,05$), on note une interaction hautement significative concernant l'occupation du sol ($F = 108,30$; $p < 0,01$) et une interaction significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 5,00$; $p < 0,01$).

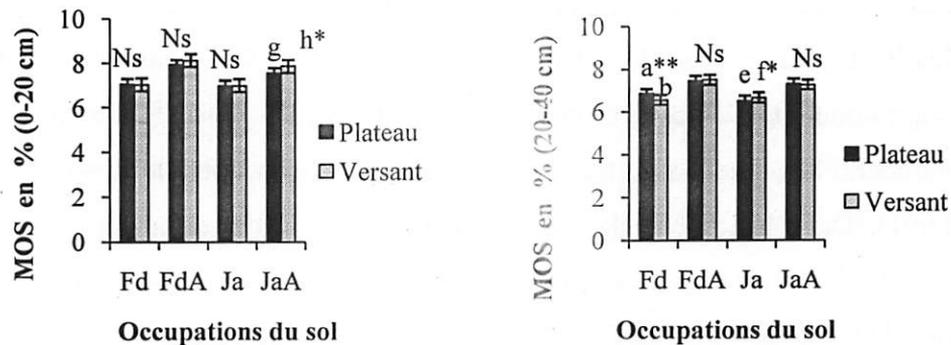


Figure 41. Variation des teneurs moyennes ($n = 32$) en MOS des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous la forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et sous la jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant. Les astérisques (*) et (**) indiquent respectivement une interaction significative et très significative entre le type de sol et l'occupation du sol ($p < 0,05$) sur la variable considérée. Les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes des deux

occupations du sol comparables des deux types de sols. Ns indique des différences non significatives entre les moyennes des occupations du sol comparables de deux types de sols (Test t de student).

d. Azote organique total (Nt) du sol

Pour l'azote organique total, les teneurs moyennes dans les deux types du sol présentent un gradient décroissant du plateau vers le versant dans les différentes occupations du sol (Figure 42). Dans le plateau et dans la tranche de 0-20 cm, les teneurs en Nt sont comprises entre $0,25 \pm 0,03$ % et $0,43 \pm 0,02$ % respectivement sous la forêt dense et la forêt dense à *A. bipindensis*, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, elles varient entre $0,21 \pm 0,02$ % et $0,37 \pm 0,03$ % respectivement sous la jachère arbustive et sous la jachère arbustive à *A. bipindensis*. En revanche sur le versant, les mêmes observations se manifestent comme sur le plateau dans les différentes occupations et sont comprises entre $0,24 \pm 0,03$ % et $0,41 \pm 0,03$ % respectivement sous la forêt dense et la forêt dense à *A. bipindensis* pour la tranche de 0-20 cm et entre $0,20 \pm 0,02$ % et $0,32 \pm 0,02$ % respectivement sous la jachère arbustive et sous la jachère arbustive à *A. bipindensis* pour la tranche de 20-40 cm de profondeur.

Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17 ; Annexe 3, Tableaux 3.49 et 3.50) dans la tranche de 0-20 cm montrent qu'il n'y a pas effet significatif du facteur type de sol ($F = 0,24$; $p > 0,05$). Par contre il y a un effet significatif concernant l'occupation du sol ($F = 4918$; $p < 0,01$). De même on note une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 7,72$; $p < 0,001$). Dans la tranche de 20-40 cm, l'ANOVA à deux facteurs (Annexe 3, Tableaux 3.47 et 3.48), montre qu'il y a un effet hautement significatif du facteur type du sol ($F = 87,59$; $p < 0,001$). On note un effet hautement significatif également pour l'occupation du sol ($F = 691,64$; $p < 0,001$), de même qu'une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 11,01$; $p < 0,001$).

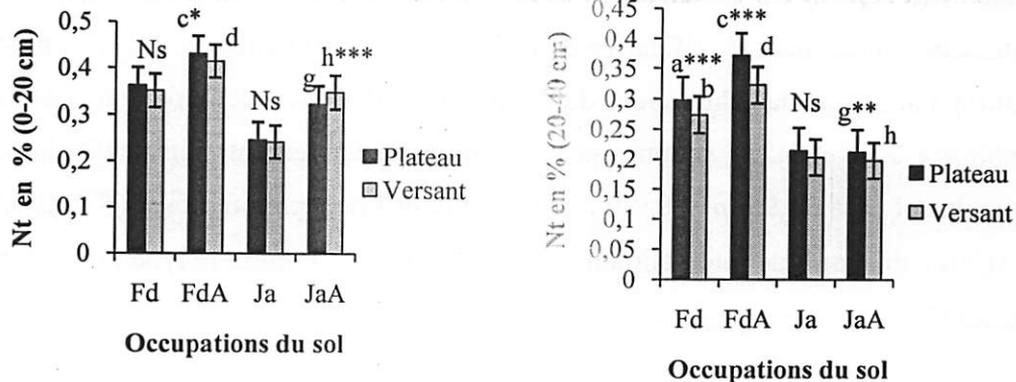


Figure 42. Variation des teneurs moyennes ($n = 32$) en Nt des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense (témoin), sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant. Les astérisques (*), (**) et (***) indiquent respectivement une interaction significative, très significative et très hautement significative entre le type de sol et l'occupation du sol ($p < 0,05$) sur la variable considérée. Les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes des deux occupations du sol comparables des deux types de sols. Ns indique des différences non significatives entre les moyennes des occupations du sol comparables de deux types de sols (Test t de student).

e. Rapport C/N

Les résultats moyens du rapport C/N dans les deux types du sol présentent un gradient décroissant du plateau vers le versant dans les différentes occupations du sol (Figure 43). Dans le plateau et dans la tranche de 0-20 cm, les valeurs du rapport C/N sont comprises entre $5,99 \pm 0,57$ et $8,32 \pm 0,70$ respectivement sous la jachère arbustive et la forêt dense à *A. bipindensis*. Tandis que dans la tranche de 20-40 cm, elles varient entre $6,00 \pm 0,56$ et $11,26 \pm 1,37$ respectivement sous forêt dense et sous jachère arbustive à *A. bipindensis*. En revanche sur le versant, les observations suivantes se présentent $5,87 \pm 0,74$ sous la forêt dense et $7,76 \pm 1,55$ sous la jachère arbustive pour la tranche de 0-20 cm et $7,28 \pm 0,49$ sous la forêt dense et $10,27 \pm 0,80$ sous la jachère arbustive à *A. bipindensis* pour la tranche de 20-40 cm de profondeur.

Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17; Annexe 3, Tableaux 3.51 et 3.52) dans la tranche de 0-20 cm montrent qu'il n'y a pas effet significatif du facteur type de sol ($F = 2,88; p > 0,05$). Par contre il y a un effet

hautement significatif concernant l'occupation du sol ($F = 64,65$; $p < 0,001$) et une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 6,48$; $p < 0,001$), tandis que dans la tranche de 20-40 cm, l'ANOVA à deux facteurs (Annexe 3, Tableaux 3.51 et 3.52), montre qu'il y a un effet hautement significatif du facteur type du sol ($F = 31,95$; $p < 0,001$) de même pour l'occupation du sol ($F = 159,05$; $p < 0,001$) ainsi qu'une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 18,15$; $p < 0,001$).

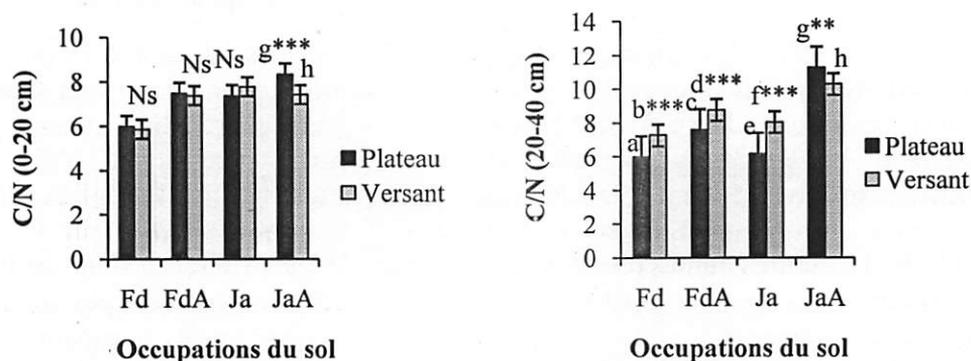


Figure 43. Variation des teneurs moyennes ($n = 32$) du rapport C/N des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous forêt dense (témoin), sous forêt dense à *A. bipindensis*, sous jachère arbustive et sous jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant. Les astérisques (**) et (***) indiquent respectivement une interaction très significative et très hautement significative entre le type de sol et l'occupation du sol ($p < 0,05$) sur la variable considérée. Les lettres minuscules différentes indiquent une différence significative entre les moyennes des deux occupations du sol comparables de deux types de sols. Nous indique des différences non significatives entre les moyennes des occupations du sol comparables de deux types de sols (Test t de student).

f. Phosphore assimilable du sol ($\mu\text{g/g}$)

Les résultats des teneurs moyennes en phosphore sous les quatre types d'occupation des deux niveaux topographiques sont présentés dans la Figure 44. La comparaison des teneurs moyennes présentent un gradient croissant de plateau vers le versant. Dans le plateau et dans la tranche de 0-20 cm, les teneurs en phosphore assimilable sont comprises entre $1,51 \pm 0,23 \mu\text{g/g}$ et $3,07 \pm 0,25 \mu\text{g/g}$ respectivement sous la forêt dense et la forêt dense à *A. bipindensis*. Tandis que dans la tranche de 20-40 cm, elles varient entre $1,37 \pm 0,07 \mu\text{g/g}$ et $2,55 \pm 0,09 \mu\text{g/g}$ respectivement sous la jachère

arbustive et sous la forêt dense à *A. bipindensis* et épousent la même allure que dans la couche de sol de 0-20 cm. En revanche sur le versant, dans la tranche de 0-20 cm, les teneurs varient respectivement $1,69 \pm 0,18 \mu\text{g/g}$ et $2,79 \pm 0,27 \mu\text{g/g}$ sous la forêt dense et la forêt dense à *A. bipindensis* et $1,42 \pm 0,20 \mu\text{g/g}$ et $2,48 \pm 0,09 \mu\text{g/g}$ pour la tranche de 20-40 cm de profondeur respectivement pour la forêt dense à *A. bipindensis* et la jachère arbustive à *A. bipindensis* épousant ainsi la même allure que dans la couche de sol de 0-20 cm.

Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17 ; Annexe 3, Tableau 3.53 et 3.54) dans la tranche de 0-20 cm montrent qu'il n'y a pas effet significatif du facteur type de sol ($F = 3,64$; $p > 0,05$). On note par contre un effet hautement significatif concernant l'occupation du sol ($F = 481,26$; $p < 0,001$), ainsi qu'une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 19,59$; $p < 0,001$), tandis que dans la tranche de 20-40 cm, l'ANOVA à deux facteurs (Annexe 3, Tableaux 3.53 et 3.54), montre qu'il n'y a pas d'un effet significatif du facteur type de sol ($F = 2,97$; $p > 0,05$). Par contre, il y a un effet hautement significatif concernant l'occupation du sol ($F = 1139,52$; $p < 0,001$) ainsi qu'une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 6,95$; $p < 0,001$).

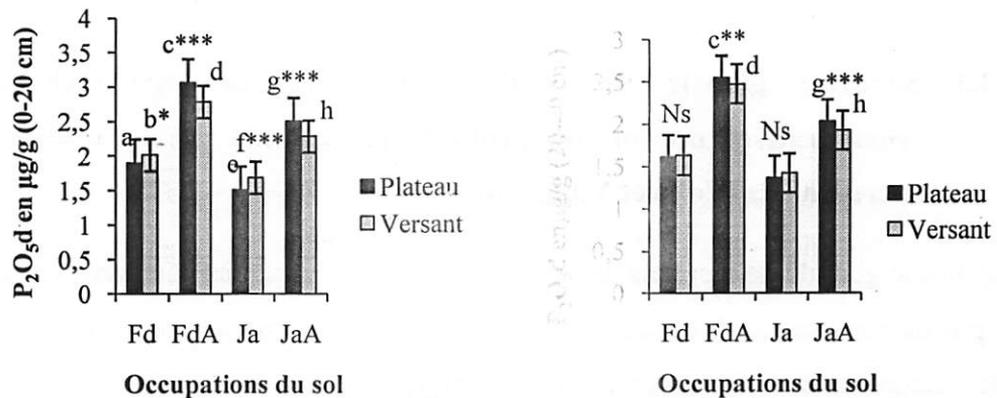


Figure 44. Variation des valeurs moyennes ($n = 32$) en phosphore assimilable des échantillons du sol et de leurs écarts-types dans la couche 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur sous la forêt dense, sous la forêt dense à *A. bipindensis*, sous la jachère arbustive et sous la jachère arbustive à *A. bipindensis* de plateau et versant. Les astérisques (*), (**) et (***) indiquent respectivement une interaction significative, très significative et hautement significative entre le type de sol et l'occupation du sol ($p < 0,05$) sur la variable considérée. Les lettres minuscules différentes indiquent une

différence significative entre les moyennes des deux occupations du sol comparables des deux types de sols. Ns indique des différences non significatives entre les moyennes des occupations du sol comparables de deux types de sols (Test t de student).

Tableau 18. Synthèse de résultats d'ANOVA à 2 facteurs testant l'effet du type de sol (plateau et versant), l'effet de l'occupation du sol (formation végétale) et l'interaction entre le type et l'occupation du sol (site*occupation sol) sur les variables chimiques de sols étudiés.

| Variables | Effet type du sol | | Effet occupation du sol | | Type * occupation du sol | |
|--|-------------------|---------|-------------------------|---------|--------------------------|---------|
| | F | p-value | F | p-value | F | p-value |
| pH 0-20 cm | 5,40 | <0,05 | 105,25 | <0,001 | 2,56 | Ns |
| pH 20-40 cm | 1,10 | Ns | 108,30 | <0,001 | 5,00 | <0,01 |
| COT 0-20 cm | 10,81 | <0,01 | 611,16 | <0,001 | 3,87 | <0,01 |
| COT 20-40 cm | 1,47 | Ns | 348,26 | <0,001 | 21,51 | <0,001 |
| MOS 0-20 cm | 5,40 | <0,05 | 105,25 | <0,001 | 2,56 | Ns |
| MOS 20-40 cm | 1,10 | Ns | 108,30 | <0,001 | 5,00 | <0,01 |
| Nt 0-20 cm | 0,24 | Ns | 491,81 | <0,001 | 7,72 | <0,001 |
| Nt 20-40 cm | 87,59 | <0,001 | 691,64 | <0,001 | 11,01 | <0,001 |
| C/N 0-20 cm | 2,88 | Ns | 64,65 | <0,001 | 6,48 | <0,001 |
| C/N 20-40 cm | 31,95 | <0,001 | 159,05 | <0,001 | 18,15 | <0,001 |
| P ₂ O ₅ d 0-20 cm | 3,64 | Ns | 481,26 | <0,001 | 19,59 | <0,001 |
| P ₂ O ₅ d 20-40 cm | 2,97 | Ns | 1139,52 | <0,001 | 6,95 | <0,001 |

3.2.3.3 Synthèse globale de résultats des analyses physico-chimiques comparatives du sol des profils représentatifs de deux dispositifs permanents (Yoko et Yangambi)

La synthèse globale de résultats des analyses physico-chimiques comparatives du sol des profils représentatifs de deux dispositifs d'étude en occurrence Yoko comme milieu naturel et Yangambi comme milieu anthropisé est consignée dans le Tableau 19.

Tableau 19. Synthèse globale de résultats des analyses physico-chimiques comparatives du sol des profils représentatifs de deux dispositifs d'étude (moyennes \pm écart-types) des sols de Yoko et Yangambi dans les couches 0-20 cm et 20-40 cm de profondeur.

| Propriétés | N | Yoko | | Yangambi | |
|---|----|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | Sans <i>A.</i> <i>bipindensis</i> | Sous <i>A.</i> <i>bipindensis</i> | Sans <i>A.</i> <i>bipindensis</i> | Sous <i>A.</i> <i>bipindensis</i> |
| Physiques | | | | | |
| Argile 0-20 cm (%) | 32 | 9,50 \pm 0,87 | 11,63 \pm 0,86 | 9,75 \pm 1,21 | 10,50 \pm 1,13 |
| Argile 20-40 cm (%) | 32 | 10,75 \pm 1,31 | 13,63 \pm 1,33 | 13,25 \pm 0,98 | 12,25 \pm 0,84 |
| Limon 0-20 cm (%) | 32 | 5,00 \pm 0,71 | 4,88 \pm 0,60 | 4,63 \pm 0,49 | 4,50 \pm 0,50 |
| Limon 20-40 cm (%) | 32 | 4,38 \pm 0,49 | 4,38 \pm 0,49 | 4,13 \pm 0,33 | 4,63 \pm 0,49 |
| Sable 0-20 cm (%) | 32 | 85,69 \pm 0,92 | 83,50 \pm 1,01 | 85,58 \pm 1,11 | 85,00 \pm 1,23 |
| Sable 20-40 cm (%) | 32 | 84,13 \pm 1,37 | 82,00 \pm 1,43 | 82,81 \pm 1,27 | 83,13 \pm 0,93 |
| Chimiques | | | | | |
| pH 0-20 cm | 32 | 4,08 \pm 0,23 | 4,64 \pm 0,25 | 4,04 \pm 0,15 | 4,46 \pm 0,28 |
| pH 20-40 cm | 32 | 3,88 \pm 0,23 | 4,32 \pm 0,21 | 3,81 \pm 0,13 | 4,21 \pm 0,21 |
| COT 0-20 cm (%) | 32 | 2,10 \pm 0,12 | 3,13 \pm 0,16 | 1,82 \pm 0,17 | 2,63 \pm 0,29 |
| COT 20-40 cm (%) | 32 | 1,88 \pm 0,14 | 2,82 \pm 0,32 | 1,47 \pm 0,33 | 2,20 \pm 0,26 |
| MOS 0-20 cm (%) | 32 | 3,63 \pm 0,21 | 5,41 \pm 0,27 | 3,14 \pm 0,29 | 4,55 \pm 0,51 |
| MOS 20-40 cm (%) | 32 | 3,25 \pm 0,24 | 4,87 \pm 0,56 | 2,54 \pm 0,57 | 3,81 \pm 0,44 |
| Nt 0-20 cm (%) | 32 | 0,36 \pm 0,03 | 0,42 \pm 0,03 | 0,24 \pm 0,03 | 0,34 \pm 0,03 |
| Nt 20-40 cm (%) | 32 | 0,29 \pm 0,02 | 0,35 \pm 0,03 | 0,21 \pm 0,02 | 0,21 \pm 0,02 |
| C/N 0-20 cm | 32 | 5,93 \pm 0,66 | 7,42 \pm 0,41 | 7,56 \pm 1,30 | 7,86 \pm 0,93 |
| C/N 20-40 cm | 32 | 6,64 \pm 0,84 | 8,18 \pm 1,15 | 7,11 \pm 1,94 | 10,77 \pm 1,22 |
| P ₂ O ₅ d 0-20 cm (μg/g) | 32 | 1,96 \pm 0,18 | 2,93 \pm 0,29 | 1,60 \pm 0,23 | 2,40 \pm 0,21 |
| P ₂ O ₅ d 20-40 cm (μg/g) | 32 | 1,62 \pm 0,11 | 2,51 \pm 0,10 | 1,40 \pm 0,15 | 1,98 \pm 0,12 |

3.2.3.4 Corrélations entre les paramètres chimiques de sols entre eux et/ou avec le dhp de deux sites d'étude

Les Tableaux de l'annexe 5, contiennent les coefficients de corrélation (Pearson) entre les paramètres physico-chimiques choisis de sols entre eux et/ou avec le dhp pour les deux sites (RBY et RFY) en fonction des parcelles (centrée Doussié et aléatoire).

a. Corrélation entre les paramètres chimiques étudiés de sols entre eux et/ou avec le dhp pour le milieu dégradé

Les paramètres sont significativement corrélés entre eux. Ainsi, dans le sol de milieu dégradé (Annexe 5, Tableau 5.1), les principales corrélations obtenues sont :

- positive très hautement significative entre le pH et le rapport C/N ($r = 19,0$; $p < 0,001$), le COT ($r = 71,0$; $p < 0,000$), la MOS ($r = 71,0$; $p < 0,000$), l'Nt ($r = 59,0$; $p < 0,000$) et le P₂O₅d ($r = 66,0$; $p < 0,000$) traduisant que l'augmentation du pH du sol entraîne l'amélioration de tous ces paramètres cités ci-haut du sol, tandis que non significative entre le pH et le dhp ($r = 04,0$; $p < 0,4871$).
- positive très hautement significative entre le COT et le rapport C/N ($r = 52,0$; $p < 0,000$), la MOS ($r = 100,0$; $p < 0,000$), l'Nt ($r = 60,0$; $p < 0,000$), le P₂O₅d ($r = 84,0$; $p < 0,000$) et le pH ($r = 71,0$; $p < 0,000$) traduisant que l'augmentation du COT du sol entraîne l'amélioration de tous ces paramètres cités ci-haut du sol, tandis que non significative entre le COT et le dhp ($r = 12,0$; $p < 0,0647$).
- positive très hautement significative entre la MOS et le rapport C/N ($r = 52,0$; $p < 0,000$), le COT ($r = 100,0$; $p < 0,000$), l'Nt ($r = 60,0$; $p < 0,000$), le P₂O₅d ($r = 84,0$; $p < 0,000$) et le pH ($r = 71,0$; $p < 0,000$), tandis que non significative entre le COT et le dhp ($r = 12,0$; $p < 0,0647$).
- positive très hautement significative entre l'Nt et le COT ($r = 60,0$; $p < 0,000$), la MOS ($r = 60,0$; $p < 0,000$), le P₂O₅d ($r = 60,0$; $p < 0,000$), le pH du sol ($r = 59,0$; $p < 0,000$) et non significative entre l'Nt et le dhp ($r = 02,0$; $p < 0,7004$), tandis que négative très hautement significative entre l'Nt et le rapport C/N ($r = - 36,0$; $p < 0,000$).
- positive très hautement significative entre le rapport C/N et le COT ($r = 52,0$; $p < 0,000$), la MOS ($r = 52,0$; $p < 0,000$), le P₂O₅d ($r = 33,0$; $p < 0,000$), le pH ($r = 19,0$; $p < 0,001$) et non significative entre le rapport C/N et le

dhp ($r = 12,0 ; p < 0,0568$). Tandis que negative très hautement significative entre l'Nt et le rapport C/N ($r = - 36,0 ; p < 0,000$).

- positive très hautement significative entre le P₂O_{5d} et le rapport C/N ($r = 33,0 ; p < 0,000$), le COT ($r = 84,0 ; p < 0,000$), la MOS ($r = 84,0 ; p < 0,000$), l'Nt ($r = 60,0 ; p < 0,000$) et le pH ($r = 66,0 ; p < 0,000$) et non significative entre le P₂O_{5d} et le dhp ($r = 07,0 ; p < 0,2662$).
- positive très hautement significative entre le dhp et le rapport C/N ($r = 12,0 ; p < 0,0568$), le COT ($r = 12,0 ; p < 0,0647$), la MOS ($r = 12,0 ; p < 0,0647$), l'Nt ($r = 02,0 ; p < 0,7004$), le P₂O_{5d} ($r = 07,0 ; p < 0,2662$) et le pH du sol ($r = 04,0 ; p < 0,4871$).

b. Corrélation entre les paramètres chimiques étudiés de sols et le dhp pour le milieu naturel

Les paramètres sont significativement corrélés entre eux et/ou avec le dhp. Ainsi, dans le sol de milieu naturel (Annexe 5, Tableau 5.2), les principales corrélations obtenues sont :

- positive très hautement significative entre le pH et le rapport C/N ($r = 34,0 ; p < 0,000$), le COT ($r = 71,0 ; p < 0,000$), la MOS ($r = 71,0 ; p < 0,000$), l'Nt ($r = 62,0 ; p < 0,000$) et le P₂O_{5d} ($r = 72,0 ; p < 0,000$) traduisant que l'augmentation du pH du sol entraine l'amélioration de tous ces paramètres cités ci-haut du sol, tandis que negative très significative entre le pH et le dhp ($r = - 19,0 ; p < 0,0027$).
- positive très hautement significative entre le COT et le rapport C/N ($r = 68,0 ; p < 0,000$), la MOS ($r = 100,0 ; p < 0,000$), l'Nt ($r = 68,0 ; p < 0,000$), le P₂O_{5d} ($r = 87,0 ; p < 0,000$) et le pH ($r = 71,0 ; p < 0,000$) traduisant que l'augmentation du COT du sol entraine l'amélioration de tous ces paramètres cités ci-haut du sol, tandis que negative significative entre le COT et le dhp ($r = - 14,0 ; p < 0,0242$).
- positive très hautement significative entre la MOS et le rapport C/N ($r = 68,0 ; p < 0,000$), le COT ($r = 100,0 ; p < 0,000$), l'Nt ($r = 68,0 ; p < 0,000$), le

- P_2O_5d ($r = 87,0 ; p < 0,000$) et le pH ($r = 71,0 ; p < 0,000$), tandis que negative significative entre le MOS et le dhp ($r = - 14,0 ; p < 0,0242$).
- positive très hautement significative entre l'Nt et le COT ($r = 68,0 ; p < 0,000$), la MOS ($r = 68,0 ; p < 0,000$), le P_2O_5d ($r = 74,0 ; p < 0,000$), le pH du sol ($r = 62,0 ; p < 0,000$), tandis que negative non significative entre l'Nt et le rapport C/N ($r = - 07,0 ; p < 0,2658$) et très hautement significative entre l'Nt et le dhp ($r = - 24,0 ; p < 0,0001$).
 - positive très hautement significative entre le rapport C/N et le COT ($r = 68,0 ; p < 0,000$), la MOS ($r = 68,0 ; p < 0,000$), le P_2O_5d ($r = 45,0 ; p < 0,000$), le pH ($r = 34,0 ; p < 0,001$) et non significative entre le rapport C/N et le dhp ($r = 05,0 ; p < 0,4672$). Tandis que negative non significative entre l'Nt et le rapport C/N ($r = - 07,0 ; p < 0,2658$).
 - positive très hautement significative entre le P_2O_5d et le rapport C/N ($r = 45,0 ; p < 0,000$), le COT ($r = 87,0 ; p < 0,000$), la MOS ($r = 87,0 ; p < 0,000$), l'Nt ($r = 74,0 ; p < 0,000$) et le pH ($r = 72,0 ; p < 0,000$), tandis que negative très significative entre le P_2O_5d et le dhp ($r = - 19,0 ; p < 0,0025$).
 - positive non significative entre le dhp et le rapport C/N ($r = 05,0 ; p < 0,4672$), tandis que negative très significative entre le dhp et l'Nt ($r = - 24,0 ; p < 0,0001$), le P_2O_5d ($r = - 19,0 ; p < 0,0025$) et le pH du sol ($r = - 19,0 ; p < 0,0027$) et significative entre le dhp et le COT ($r = - 14,0 ; p < 0,0242$) et la MOS ($r = - 14,0 ; p < 0,0242$).

4. Discussion des résultats des propriétés physico-chimiques de sols étudiés : plateau et versant

Les données concernant les comparaisons des données des analyses physico – chimiques sont comparées dans les paragraphes suivants avec celles des études ayant porté sur les mêmes paramètres dans le même milieu et/ou ceux d'ailleurs dans les tropiques humides où se trouvent les sols ferrallitiques. De telles comparaisons sont

souvent difficiles à établir à raison des différentes méthodes d'analyses utilisées, également en ce qui concerne la taille et la conception de l'échantillonnage.

4.1 Fraction granulométrique

Dans le système USDA que nous avons utilisé et en suivant les deux niveaux topographiques considérés (plateau et versant), les résultats de l'analyse granulométrique (%) des échantillons simples des couches et horizons superficiels des fosses pédologiques étudiées montrent que le pourcentage moyen en argile de plateau est significativement inférieur au pourcentage moyen en argile de versant. Bien que les études sur l'influence des pratiques agricoles sur les propriétés des sols tropicaux (Alongo, 2013) mettent rarement en évidence un changement de la texture du sol, la présente étude a permis de mettre en exergue l'influence de l'espèce *A. bipindensis* sur les teneurs en fractions granulométriques en suivant deux tranches des échantillons simples du solum biodynamique des fosses de référence et sous *A. bipindensis*, pour deux différents écosystèmes : une forêt dense (RFY) et une jachère arbustive (RBY) en RD Congo.

L'argile est la fraction granulométrique la plus « active » car non seulement elle s'associe aux matières organiques humifiées, mais elle a aussi une grande capacité de rétention en eau et contribue aussi à la fixation des cations et anions sur ses sites d'échanges avec les plantes (Baize, 2000 ; Ngongo *et al.*, 2009). L'argile influence suffisamment la texture et partant le comportement d'un sol. A l'occurrence, dans le triangle américain, au delà de 20% le terme argile intervient dans la dénomination des classes texturales au niveau de préfixe ou suffixe (Anonyme, 1986). Le même constant s'applique pour les sols congolais à la différence ici, on considère plutôt la teneur en élément fin (argile + limon), avec la limite inférieure de 15% (Sys *et al.*, 1961).

Quant au rôle des limons et sables, il doit être pris en compte lorsque l'échantillon comporte moins de 35 % d'argile (Baize, 2000). La moyenne de l'argile pour les deux niveaux topographiques varie de 9,00 % à 13,00 % pour le plateau et de 9,75 %

à 14,50 % pour le versant. Suivant le diagramme ou triangle de classification des textures USDA (Jamagne, 1967), les deux types de sol peuvent donc être qualifiés des sols sablo argileux.

Les résultats de ce travail (Figures 23 et 24) indiquent que l'on se trouve en présence de deux types de sols distincts de la topographie (par exemple la catena texturale de Yangambi) dont la pente est l'unique facteur spatial discriminant. En effet, De Leenheer *et al.*, (1952), Van Wambeke et Evrard (1954), Van Wambeke *et al.*, (1956), Van Wambeke et Liben (1957) et Van Wambeke (1995) ont écrit que la distribution spatiale des séries de sols dans la catena texturale de Yangambi est causée par la pente, de telle sorte que les séries les moins riches en argile (et en éléments fins) occupent le bas de versants tandis que les séries qui en sont les plus riches, le plateau et le versant. Par ailleurs, ces auteurs ont observé que la teneur en argile (et en éléments fins) au sein d'une même série de sol dans la catena texturale de Yangambi augmente avec la profondeur, quel que soit le degré de la pente où est située la série.

La variation des teneurs en argile (et en éléments fins) observée à travers les couches et horizons des profils représentatifs va dans le même sens, car les teneurs en ces fractions actives du sol augmentent de l'interface vers la profondeur du solum biodynamique. A contrario, les teneurs en sables (et en sable grossier) évoluent dans le sens contraire que celles d'argile au sein d'une même fosse et à travers la pente de la catena : elles diminuent avec la profondeur et augmentent avec la pente. Cette diminution du taux d'argile peut être attribuée, d'une part, à la pratique des jachères rotatives de très courtes durées qui, en dénudant le sol pendant la longue période de mise en culture, affaiblit la stabilité des agrégats suite à l'appauvrissement du sol en matières organiques dans les horizons superficiels.

Le taux en limon, très faible et caractéristique des sols ferrallitiques (Kauffman *et al.*, 1998 ; Kombele, 2004) est numériquement similaire, mais significativement très différent dans les différentes tranches étudiées en suivant les deux niveau topographiques (plateau et versant) et les quatre occupations de sols étudiées ($p <$

0,001). Le rapport *limon/argile* du sol des deux niveaux topographiques étant supérieur 0,20 (Van Wambeke, 1959, 1962), l'unique paramètre granulométrique d'évaluation de sa fertilité reste sa richesse en argile. En effet, plus les couches et horizons superficiels du sol sont riches en argile (et en éléments fins), plus la probabilité de formation des complexes organo-minéraux capables de fixer les ions et d'effectuer des échanges chimiques est plus élevée. Suivant ce critère, la balance est en faveur du versant ; mais à lui seul, ce critère n'est pas suffisant, car il faut qu'il y ait dans le sol suffisamment de matière organique de bonne qualité pour une complexation organo-minérale active. Ces variations des teneurs des fractions granulométriques et surtout la fraction argileuse du sol peuvent avoir un impact négatif sur les autres propriétés du sol telles que la capacité de rétention de nutriments, etc. (Alongo, 2013).

4.2 pHeau

Les valeurs moyennes de pHeau varient de la couche superficielle vers les couches profondes, une variation séquentielle pour toutes les tranches. Du moins, la couche superficielle est toujours comprise, pour toutes les occupations, dans la gamme des sols acides et sa valeur ne dépasse pas 5 (Baize et Jabiol, 1995). Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17) montrent qu'il y a un effet significatif du facteur type de sol ($F = 5,40$; $p < 0,05$) et une interaction non significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 2,56$; $p > 0,05$) dans la tranche de 0-20 cm, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17) montre qu'il n'y a pas d'effet significatif du facteur type de sol ($F = 1,10$; $p > 0,05$) et une interaction significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 5,00$; $p < 0,05$).

Les valeurs de notre pH sont inférieures à 5,0 donc comprises dans la catégorie de sol à potentiel de fertilité très bas selon l'échelle de la fertilité de Dabin (1961) et Baize et Jabiol (1995). Cet aspect fait bien ressortir l'une des caractéristiques des sols tropicaux où l'acidité est élevée et qui est due à la disponibilisation des ions H^+ pour l'échange avec les cations des minéraux dans le cas d'hydrolyse totale

(Duchaufour, 1988). Dans certaines conditions tropicales, les pH ne sont pas nécessairement en relation avec la présence d'ions H^+ . Il existe aussi une acidité d'origine aluminique qui fait que les ions aluminium sont adsorbés par les échangeurs et diminuent ainsi la fixation des bases par ces derniers. Ensemble avec le fer, ils complexent les ions phosphates, rendant ainsi cet élément moins disponible pour les plantes.

Les résultats du présent travail corroborent avec ceux de Kombele (2004) qui, travaillant dans le sol ferrallitique, a observé des valeurs caractéristiques des sols hyperacides, avec une diminution de pH avec la profondeur. Comparativement aux résultats antérieurs présentés dans la littérature, ces sols accusent une acidification progressive (Sys *et al.*, 1961). Cette situation peut être due à l'action continue d'hydrolyse dans le milieu ainsi qu'à la libération des acides organiques suite à la décomposition des débris végétaux. Cette acidification constitue déjà un problème pour la pratique agricole dans la région et peut-être aussi pour la conduite sylvicole d'autant plus que la plupart des végétaux possèdent une marge de pH acceptable pour l'assimilation de chaque élément nutritif. Landon (1991) a observé que l'intervalle de variation des pH eau préférables pour la plupart des cultures ou des espèces forestières dans les tropiques s'inscrit dans la gamme de 5,5 à 7,0. Suivant l'échelle de cet auteur, le sol de notre dispositif, situé dans le domaine Yakonde pourrait être un sol problématique. Les espèces qui s'y trouvent connaîtraient probablement trois types de problèmes : acidité aluminique, excès en Co, Cu, Fe, Mn et Zn et carences en Ca, K, N, Mg, Mo, P, S et B.

4.3 Carbone organique total (COT)

Les teneurs moyennes en COT (%) varie de la couche superficielle vers la couche profonde et adoptent ainsi la même allure que le pH eau, une variation séquentielle observée pour toutes les tranches du sol tous les deux écosystèmes étudiés. Cela confirme selon Kombele (2004) l'une des caractéristiques des sols tropicaux. Les teneurs en COT (%) du sol, dans la tranche de 0 - 20 cm sont supérieures à celles de tranche de 20-40 cm en tenant compte de leur distribution verticale, ceci est logique

étant donné que c'est la tranche d'intenses activités biologiques conduisant à la décomposition des débris végétaux et animaux tombant sur la surface du sol. Dans tous les cas, les valeurs moyennes du COT varient autour de $1,55 \pm 0,27$ et $3,01 \pm 0,38$ pour le plateau et tandis que sur le versant, les teneurs sont comprises entre $1,73 \pm 0,33$ et $2,93 \pm 0,1$. En outre, ces teneurs sont largement supérieures dans l'un comme dans l'autre cas à celles observées par Van Wambeke *et al.*, (1957) dans le sol de la série Yakonde (Y_2) qui serait de 1%. Nous pouvons justifier cette supériorité par des interventions anthropiques (abattages des futaies) d'une part pour la jachère arbustive (Yangambi) et d'autre part pour une forte concentration des débris organiques (feuilles et branches) sous la forêt dense (Yoko) qui constituent une forme d'apports des matières organiques dans ce sol.

4.4 Matière organique du sol (MOS)

Les teneurs en MOS obtenues dans ce travail sont de loin supérieures à celles obtenues par Kombele (2004) dans la région. La différence de méthode de dosage, la variabilité de sol et des sites dans le même plateau de Yangambi peuvent expliquer cette divergence. Toutefois, la tendance selon laquelle la MOS diminue de la surface vers la profondeur et des zones moins anthropisées vers les zones fortement anthropisées reste la même.

La matière organique du sol est l'un des principaux indicateurs de la fertilité et de la qualité du sol tant pour l'agriculture que pour les fonctions environnementales (Robert, 1999 ; Kombele, 2004 ; Calvet, 2013). Dans les régions tropicales particulièrement dans la région de Yangambi, les sols ferrallitiques profondément altérés sous l'action du climat chaud et humide sont en général sableux, acide, pauvres en bases échangeables et en phosphore assimilable et riches en oxyde de fer et d'aluminium (Boyer, 1982). Selon Feller *et al.*, (1987), Azontonde *et al.*, (1998) et Kombele (2004), la source la plus importante d'éléments nutritifs pour les cultures dans les régions tropicales humides est la matière organique qui, en se décomposant, enrichit le sol en différents éléments ou composés chimiques indispensables pour les plantes. Le défrichage et la mise en culture des paysages forestiers provoquent une

dégradation de la structure des sols liée à la dégradation de leur statut organique. Saïdi *et al.*, (1999) en analysant la sensibilité de la surface du sol des plaines de Chélif, affirment que la matière organique combinée à l'effet de la composition granulométrique est parmi les principales caractéristiques du sol qui influencent la stabilité structurale. Pour ces auteurs, la matière organique est le paramètre le plus déterminant de la stabilité structurale. Dans une étude récente conduite dans la région de Yangambi, Ilonga *et al.*, (2014) ont mis en évidence la supériorité de la matière organique dans la stabilité structurale des sols par rapport à un autre ciment important à savoir l'argile.

4.5 Azote total (Nt)

Les résultats moyens de l'azote total (%) varient de la couche superficielle vers la couche profonde même allure que le pH_{eau} et le COT. La comparaison des moyennes par l'ANOVA à deux facteurs au seuil $p < 0,05$, montre qu'il y a une différence hautement significative pour tous les traitements et les témoins dans les deux écosystèmes étudiés (Yangambi et Yoko), pour les différentes tranches du sol étudiées et les deux niveaux topographiques : le plateau et le versant.

Les résultats du présent travail montrent que les teneurs moyennes de Nt (%) des tranches du sol sous traitements (*A. bipindensis*) et les tranches du sol (témoins), varient des couches superficielles aux tranches de profondeur et en suivant les deux niveaux topographiques. Selon Coulter (1972), Camargo et Rodriguez (1979) et Horgnies (1983), l'intervalle de variation des Nt (%) dans les sols des tropiques s'inscrit entre 0,07 à 0,41 %. L'analyse globale des moyennes et des écarts types (Figure 18) montrent que, pour toutes les tranches, les teneurs du Nt varient autour de $0,23 \pm 0,03$ et $0,40 \pm 0,04$ pour le plateau et $0,22 \pm 0,03$ et $0,37 \pm 0,05$ sur le versant dans les deux écosystèmes étudiés. Selon l'échelle de Kupper *et al.*, (1963), un sol sous culture dont Nt (%) est compris entre 0,10 à 0,30 est d'une fertilité moyenne. Les tranches des sols sous témoins sont d'une fertilité moyenne tandis que les sols sous *A. bipindensis* sont d'une fertilité élevée, cela peut se justifier notamment par le fait que l'espèce *A. bipindensis* est une légumineuse.

Par ailleurs, les distributions verticales de teneur en Nt (%) montrent que les teneurs en Nt (%) dans les tranches superficielles du sol sous tous les écosystèmes d'interaction sont plus élevées ; ces teneurs diminuent en fonction de la profondeur comme dans le cas des teneurs en carbone organique total du sol sous les mêmes écosystèmes étudiés (Kombele, 2004). Cette distribution est logique du fait que les couches superficielles sont plus aérées (riches en oxygène) et constituent le siège d'intenses activités biologiques qui, dominées par la minéralisation, libèrent d'importantes quantités d'éléments nutritifs dont l'azote sous forme oxydée. Toutefois, l'enrichissement de certaines tranches du sol en azote peut être attribuable à la mobilité de formes oxydées de N (NO_2^- et NO_3^-) migrant facilement en profondeur par les eaux d'abondantes pluies qui tombent dans la région.

4.6 Rapport C/N

Les résultats moyens du rapport C/N du sol montrent que les différentes occupations et tranches du sol varient dans le sens inverse, c'est-à-dire les teneurs en Nt (%) du sol sont très faibles, tandis que les teneurs en COT (%) sont très élevées et varient de la couche superficielle vers les couches profondes ; une variation séquentielle pour toutes les tranches du sol dans toutes les occupations. Du moins, les valeurs de la couche superficielle sont toujours supérieures à celles des couches de profondeur pour toutes les occupations du sol. Cela constitue aussi une des caractéristiques des sols tropicaux (Duchaufour, 2001).

La comparaison des moyennes par l'ANOVA à deux facteurs au seuil de 5 % montre qu'il y a une différence hautement significative pour tous les traitements (c'est-à-dire, sols sous *A. bipindensis*) et les témoins (c'est-à-dire, sols sans la présence de *A. bipindensis*) dans les deux écosystèmes étudiés (Yangambi et Yoko), pour les différentes tranches du sol étudiées et les deux niveaux topographiques : le plateau et le versant. Par ailleurs, les distributions verticales des rapports C/N montrent que les rapports C/N dans la jachère arbustive (Yangambi) sont plus élevés que dans la forêt dense (Yoko).

Les cas d'augmentation des C/N moyens du sol observés sous la jachère arbustive par rapport à la forêt dense sous *A. bipindensis* indiquent que les techniques culturales paysannes (TCP) s'articulant autour du feu comme moyen principal qu'utilisent les agriculteurs tropicaux pour se débarrasser d'importantes masses végétales coupées provoquent une augmentation plus ou moins sensible du stock en matière organique du sol; cette augmentation s'accompagnant de celle du rapport C/N (Kombele, 2004). Les cas d'augmentation des C/N moyens observée sous la jachère arbustive à Yangambi dans les tranches 0-20 cm et 20-40 cm indiquent plutôt une augmentation marquée des COT moyens avec une diminution sensible de Nt moyen du sol. L'analyse globale des écarts types et des moyennes montrent que, pour toutes les tranches, les rapports C/N du sol varient autour de $6,77 \pm 1,00$ à $9,79 \pm 0,83$ pour la jachère arbustive (Yangambi) et $5,99 \pm 0,58$ - $7,53 \pm 0,84$ pour la forêt dense (Yoko). L'intervalle de variation des C/N dans les tropiques signalé par Horgnies (1983), s'inscrivant entre 6,1-16,9. Nos résultats s'inscrivent dans cet intervalle.

4.7 Phosphore assimilable du sol

Les teneurs de phosphore biodisponible obtenues pour les deux sites étudiés sous les quatre différentes occupations du sol sont généralement faibles et traduisent un déficit en cet élément dans l'écosystème (Figure 40). Cette déficience est plus sévère à la jachère que sous la forêt sur le plateau, tandis qu'au versant nous avons remarqué le cas inverse. Les teneurs en phosphore disponible inférieures à 20 ppm de sol sont considérées comme trop faibles pour assurer une nutrition phosphatée appropriée de la plupart des plantes. Duchaufour (1991) avaient signalé des carences en P_2O_5 très préoccupantes dans les régions de la Crête Congo Nil (< 2 ppm) et du Plateau Central (< 6 ppm) à cause du pouvoir fixateur élevé des sols. Duchaufour (2001) affirme que la fixation des composés phosphorés par les oxydes de fer et d'aluminium, et par la matière organique, ainsi que leur degré d'insolubilité sont responsables de la faible disponibilité des formes assimilables par les cultures. Ce

phénomène s'avère encore plus sévère dans les sols acides tropicaux riches en argiles de type 1:1 et en sesquioxydes (Duchaufour, 2001).

Néanmoins, la teneur en phosphore assimilable varie de la couche superficielle vers les couches profondes ; une variation séquentielle pour toutes les tranches. Du moins, la couche superficielle est toujours comprise, pour toutes les tranches en suivant la topographie, dans la gamme des sols à problème pour le phosphore assimilable. Les valeurs de P_2O_5d obtenues indiquent que dans les sols étudiés, la tranche de 0-20 cm de profondeur est plus fournie en cet élément. Cette tendance montre que le phosphore en question est sous la forme organique. Ainsi, la biodisponibilité du Phosphore (et des autres éléments) est donc fonction de déterminants chimiques, physiques et biologiques qui peuvent contribuer à la minéralisation de la matière organique (Hinsinger *et al.*, 2005). C'est la raison pour laquelle, la fraction biodisponible du phosphore du sol peut largement varier en fonction des systèmes sol-plante étudiés.

L'intervalle de variation du phosphore assimilable trouvé dans le présent travail et précisément dans les deux sites d'étude (Yoko et Yangambi) sous les quatre occupations du sol est de loin inférieur au seuil critique de 20-30 ppm proposé pour les cultures tropicales (Dabin, 1970 ; Duchaufour, 2001 ; Kombele, 2004 ; Alongo, 2013). En effet, selon ces auteurs, le seuil critique est fixé entre 20-30 ppm dans les sols ferrallitiques pauvres à faible pouvoir fixateur, et aux environs de 50 ppm pour les sols riches en phosphore. Le sol Ferrallitiques à faible pouvoir fixateur quant à eux, le seuil critique recommandé se situe entre 50-100 ppm.

Ceci s'explique par l'activité des microorganismes telluriques évoluant de manière décroissante au niveau du solum en allant de la surface vers la profondeur ainsi que par la nature texturale de ce sol, cette hypothèse est en accord avec Gervy (1970). L'intervalle de variation ainsi observé dans les différentes occupations est compris entre 1,37 et 3,07 $\mu\text{g/g}$ pour le plateau et tandis que sur le versant, les teneurs sont comprises entre 1,42 et 2,79 $\mu\text{g/g}$. Toutefois, Kombele (2004) a trouvé des valeurs très faibles variant entre 0,7 et 75,8 $\mu\text{g/g}$ dans la région.

Conclusion

Le présent travail a étudié l'influence des propriétés physico-chimiques des sols et de la topographie sous *A. bipindensis* entre une forêt dense dominée par des essences arborescentes et atteignant une hauteur de 15 à 50 m et dont le sol n'a subi aucun cycle cultural (Yoko) et une jachère arbustive qui est généralement dominée par les arbustes de 5 à 15 m de hauteur et dont le sol a subi 4 à 6 cycles culturaux (Yangambi), en se référant à l'espèce *A. bipindensis* et en suivant deux niveaux topographiques : le plateau et le versant. Pour y arriver, 32 profils pédologiques de 1 m x 1 m x 0,5 m respectivement L x l x h ont été creusés en suivant deux tranches de sol de 20 cm de profondeur. En tout, 64 échantillons de sol en quatre répétitions ont été prélevés, conditionnés et acheminés au laboratoire de l'IFA-Yangambi à Kisangani pour les analyses physico-chimiques.

Les résultats analytiques des échantillons des profils révèlent, en général, une diminution différentielle de certains paramètres comme le pHeau, le COT, l'Nt et le P_2O_{5d} manifestent une diminution de la couche superficielle (0-20 cm) à la couche profonde (20-40 cm) aussi bien au niveau du plateau que du versant dans les deux écosystèmes étudiés sous *A. bipindensis*. En faisant, une comparaison entre les différentes teneurs moyennes du sol dans ces différents écosystèmes étudiés (i) il ressort que la forêt dense manifeste une supériorité des teneurs par rapport à la jachère arbustive. (ii) Les teneurs sont presque similaires en suivant les deux niveaux topographiques : le plateau et le versant. Ceux-ci se justifient par l'accumulation des débris végétaux (et à faible proportion, les déchets animaux) et la minéralisation rapide due aux températures constamment élevée. Mais, l'inaptitude de cette jachère arbustive à former l'humus et la faible action de lessivage due à la résistance de la couverture végétale à cette action justifie l'accumulation de ces éléments à la couche superficielle en défaveur de ceux de profondeur. Néanmoins, on enregistre les cas d'augmentation des rapports C/N moyens du sol observés sous la jachère arbustive par rapport à la forêt dense sous *A. bipindensis* indiquent que les techniques culturales paysannes (TCP) s'articulant autour du feu comme moyen principal

qu'utilisent les agriculteurs tropicaux pour se débarrasser d'importantes masses végétales coupées provoquent une augmentation plus ou moins sensible du stock en COT du sol et une baisse en Nt; cette baisse s'accompagnant d'augmentation du rapport C/N, tandis que pour l'analyse granulométrique toutefois, les teneurs en argile et en éléments fins augmentent avec la profondeur et les teneurs en sable et en éléments grossiers diminuent avec la profondeur.

Remerciements

Au terme de cette étude, nous tenons vivement à remercier pour leur financement la Coopération Technique Belge (CTB) ainsi que le CIFOR via le Programme de relance de la recherche Agricole et Forestière en République Démocratique du Congo (REAFOR). Nous pensons aussi à Messieurs Dieu Bondele de la section foresterie de l'INERA/Yangambi pour leur aide à la récolte des données de terrain et Paul Lisoma laborantin au Département de Pédologie de l'IFA-Yangambi pour les analyses du sol.

Quatrième chapitre :

Discussion générale

Notre objectif consiste à faire une étude de conditions écologiques d'*Afzelia bipindensis* Harms (Fabaceae) dans les formations forestières de la région de Kisangani, RD Congo, enfin d'identifier les conditions favorables à la survie (croissance) en vue de proposer les modalités d'exploitation durable. La présente discussion générale est organisée en deux sections : la première, fait une brève mise au point sur la problématique, méthodes et contraintes de l'analyse statistique dans un dispositif permanent ou parcelle permanente et la deuxième, discute les résultats obtenus des sites étudiés, qui s'articule en quatre axes de recherche complémentaire.

Dans un premier temps, nous mettons en évidence l'apport de la thèse sur une gestion responsable d'*A. bipindensis* ; deuxièmement, faire une interprétation de la répartition spatiale d'*A. bipindensis* qui est l'une de cause d'extinction des espèces commerciales dans les tropiques humides ; troisièmement, analyser l'organisation de la diversité spécifique au sein de communautés végétales sous *A. bipindensis* Harms (Fabaceae) dans deux occupations différentes (RFY et RBY) et enfin quatrièmement, révéler l'influence des propriétés physico-chimiques des sols en suivant deux niveaux topographiques (le plateau et le versant) sous *A. bipindensis* en comparaison avec un milieu sans *A. bipindensis* comme témoin.

Néanmoins, les données concernant les comparaisons des données des nos recherches sont comparées dans les paragraphes suivants avec celles d'études ayant porté sur les mêmes paramètres dans le même milieu ou ceux d'ailleurs dans les tropiques humides. De telles comparaisons sont souvent difficiles à établir en raison des différences de méthodes utilisées, particulièrement en ce qui concerne la taille et la conception de l'échantillonnage.

4.1 Problématique, méthodes et contraintes de l'analyse statistique dans un dispositif permanent

Il est hors de propos de faire un tour exhaustif des questions soulevées par les problèmes d'installation et toutes les méthodes d'analyse de nos dispositifs ou parcelles permanentes, car certaines techniques classiques sont reprises dans (Alder

et Synnott, 1995 ; Bar-Hen, 1998). Le but premier de ce point, est de définir les différentes problématiques étudiées à l'aide des parcelles permanentes en forêt tropicale dense humide et de fournir quelques voies de résolution de ces problématiques.

Selon Favrichon *et al.*, (1998), un dispositif de recherche en forêt naturelle basé sur des parcelles permanentes peut être défini comme un ensemble de parcelles, matérialisées de façon permanente, sur lesquelles on procède à des observations répétées dans le temps. Les données prélevées permettent de décrire la composition floristique, les structures et la dynamique (recrutement, croissance, mortalité), la fertilité potentielle du sol, ... sous peuplement forestier. Il faut rester conscient du fait que le dispositif mis en place à l'origine ne sera pas optimum pour répondre à toutes les nouvelles questions et qu'il conviendra d'être prudent dans l'analyse des données.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes placé délibérément à l'échelle du peuplement c'est-à-dire que la superficie prise en compte est de l'ordre de un à plusieurs hectares. Une analyse correcte des données issues des dispositifs permanents suppose une connaissance minimale en écologie et/ou notamment en écologie forestière (Rollet, 1969 ; Barbault, 1995 ; Frontier et Pichod-Viale, 1993 ; Whitmore, 1998). Il convient de souligner tout particulièrement l'importance de notions fondamentales telles que sylvigénèse, diversité biologique et coévolution, tempérament spécifique, etc. (Grubb, 1977 ; Hallé *et al.*, 1978 ; Oldeman et Van Dijk, 1989 ; Blondel, 1995). Même lorsque ces principes de base sont respectés, l'analyse des données présente toujours des difficultés d'ordre statistique.

Les méthodes présentées dans ce travail de thèse sont classiques, de type soit descriptif, soit inférentiel (Bar-Hen, 1998). Elles ne sont pas les seules envisageables et il peut être nécessaire de les adapter dans certains cas. Leur application à chaque cas réel doit être précédée d'une réflexion sur leur validité et il convient de rester prudent dans les conclusions (Bar-Hen, 1998 ; Favrichon *et al.*, 1998). Afin de

garantir un minimum de fiabilité (Warren, 1986 ; Bar-Hen, 1998), ces méthodes supposent la prise de certaines précautions concernant :

- (1) l'objectif pour lequel le dispositif est conçu : on construit un dispositif pour répondre à des questions précises et il est hasardeux de changer de question en cours de route ;
- (2) la validité des données initialement disponibles pour la mise en place des parcelles et la validité des mesures effectuées (prend-on en compte les bons paramètres ? Le pas de temps a-t-il été bien réfléchi ? Etc.) ;
- (3) le choix correct des populations sur lesquelles portent les tests : sont-elles « identiques » (par exemple même espèce et même classe de diamètre) et le nombre d'individus permet-il d'estimer les variables de façon suffisamment fiable ?
- (4) le calcul de la valeur moyenne d'un paramètre, qui doit toujours être accompagné de sa précision ;
- (5) la présentation des tests statistiques. Qu'ils soient exploratoires ou inférentiels, il faut systématiquement (i) vérifier les hypothèses de base et, si l'on s'en éloigne, la robustesse des tests ; (ii) donner les valeurs exactes des tests ; (iii) donner si possible leur puissance ;
- (6) on doit garder à l'esprit que les statistiques développent des critères objectifs pour aider à la décision face à l'incertain et que les tests n'éliminent pas mais quantifient cette incertitude. C'est au décideur d'interpréter ensuite l'analyse « objective » selon sa connaissance du sujet biologique. D'où, pour de nombreux auteurs, l'importance de la connaissance de la valeur exacte des tests et en particulier des « *p-values* » et du seuil retenu, qui sont les éléments à partir desquels le décideur est libre d'interpréter les résultats comme « significatifs » ou non. En général, les « *p-values* » indiquent la probabilité que les écarts à l'hypothèse testée H_0 soient dus au hasard. Un seuil de 5%

signifie donc qu'il y a moins de 5% de chance que l'écart à H_0 soit dû au hasard et conduit, au seuil de 5%, à rejeter H_0 .

Dans le présent travail, on se place dans un cadre général minimum représenté par un dispositif en blocs complets randomisés composé de P parcelles de forme carrée. Ces parcelles de grande taille peuvent être découpées en carrés unitaires ou Unités d'Echantillonnages (UE) d'au moins un hectare, de manière à simplifier la gestion de la numérotation des individus. Deux dispositifs d'observation permanents ont servi de support à notre étude : la parcelle du site de Yangambi (120 ha) installée dans une jachère arbustive et la parcelle du site de Yoko (50 ha) installée dans une forêt dense (Cfr figure 13 au point 2.2.1). La délimitation de chaque parcelle et la localisation des arbres ont été faites selon la méthode développée par Picard et Gourlet-Fleury (2008). Les parcelles ont été délimitées par des layons rectilignes, espacés de 100 m, orientés vers le Nord (y), et par de petites percées orientées vers l'Est (x). Ceci a permis de mettre en place des carrés de 1 ha ainsi que ceux de 1 centiare.

4.2 Discussion des principaux résultats obtenus

4.2.1 Gestion responsable d'*A. bipindensis*

Une gestion forestière responsable est un concept créé suite à la conférence de Rio en 1992 par certaines ONG, notamment le FSC (*Forest Stewardship Council*). Cette ONG milite pour que l'exploitation actuelle des ressources forestières en général, et du bois en particulier, puisse tenir compte des générations futures (la durabilité de l'exploitation). *A. bipindensis* est très exploitée pour le bois d'œuvre. Son exploitation est à la base de la diminution de ses populations dans les pays de son aire de répartition en Afrique. Il est illusoire de vouloir stopper net l'exploitation de son bois très demandé sur le marché international. Cependant, des règles appropriées de gestion peuvent être mises en œuvre pour l'espèce.

Une gestion appropriée implique que l'exploitation forestière en particulier puisse tenir compte de l'autoécologie de l'espèce concernée. *A. bipindensis* est héliophile comme le *P. elata* (Swaine et Whitmore, 1988 ; Kyereh *et al.*, 1999 ; Boyemba,

2011) dont l'installation dépend de perturbations. Elle a tendance à se développer en populations denses sur les sols sabloargileux contenant de faibles teneurs en aluminium échangeable et plutôt riches en phosphore assimilable. Par ailleurs, l'effet de plantation négatif comme celles qui ont été pratiquées à Yangambi, montre que l'espèce exige des perturbations de grande taille.

On peut donc recommander, si le but est de permettre à *A. bipindensis* de s'étendre, des ouvertures fortes du milieu, c'est-à-dire des éclaircies dont l'étendue est de taille supérieure à celle des chablis naturels. Il faut faire en sorte que le gradient de lumière soit profondément modifié (Nebel *et al.*, 2001) dans le peuplement et autour de semenciers, et que les surfaces touchées ou perturbées puissent se situer dans la gamme supérieure de celles affectées naturellement par les chablis (cf. Durrieu de Madron, 1994). Il est alors fort probable que la communauté végétale à la prochaine rotation sera très différente floristiquement de celle existant avant exploitation. Pour réconcilier la régénération de *A. bipindensis* et le maintien de la diversité au sein du peuplement, nous recommandons au gestionnaire le compartimentage de la forêt. Selon Dutrève *et al.*, (2001), l'idéal des gestionnaires doit être celui d'une relation d'équilibre entre habitats et diversité spécifique.

Une gestion bénéfique et viable implique que le mode d'exploitation de la ressource soit économiquement profitable à long terme à tous les acteurs impliqués (populations locales, travailleurs, gestionnaire forestier, gouvernement), sans pour autant porter atteinte à l'intégrité de la ressource. Elle incite donc les acteurs à s'orienter vers le maintien de la ressource et par conséquent vers le respect d'un plan de gestion à long terme. Une préoccupation majeure concerne le temps nécessaire au renouvellement de la ressource et de l'effectif exploitable qui sera présent lors du prochain passage en coupe. L'analyse des effets de l'exploitation et de la simulation de l'évolution d'*A. bipindensis* après l'exploitation, permet de dégager quelques pistes.

La plupart des recommandations d'aménagement des forêts tropicales prévoient soit de rehausser les diamètres d'exploitation des espèces commerciales (Doucet et

Kouadio, 2007), soit d'allonger la durée de rotation, soit de pratiquer des éclaircies. Cependant, il sied de constater que ces mesures ne sont pas souvent appliquées et par conséquent ne permettent pas de résoudre le problème du maintien de la ressource. Les échecs peuvent être dus au manque de régénération naturelle préexistante, à l'irrégularité des fructifications, mais le plus souvent, ce sont des motifs économiques (complexité, main d'œuvre et coût des opérations) ou les aléas du contexte institutionnel qui sont en cause.

Actuellement, une infime proportion des forêts denses africaines jouit d'un aménagement qui laisse espérer une production soutenue de bois d'œuvre. En RD Congo, par exemple, l'activité forestière se résume à une simple extraction, régie par des diamètres légaux d'exploitabilité qui ne permettent manifestement pas le renouvellement des effectifs abattus. Ces échecs montrent que seules des recommandations simples (Doucet, 2003) et des techniques peu coûteuses ont une chance d'être appliquées. Par conséquent, l'évolution actuelle, au moins pour les forêts africaines, tend vers une simplification des systèmes sylvicoles, c'est-à-dire une réduction des opérations en dehors de l'exploitation elle-même.

On conçoit que l'aménagement des forêts naturelles doit être souple et que l'exploitation constitue la principale, voire la seule intervention sylvicole envisageable. A ce titre, il est fondamental de déterminer les différents paramètres de cette exploitation en fonction de deux objectifs :

- réduire son impact sur le peuplement total ;
- permettre aux espèces exploitées de reconstituer une partie suffisante de leur effectif exploitable initial dans le délai d'une rotation.

Selon Gayot et Sist (2004), l'impact de l'exploitation varie considérablement d'une espèce à l'autre selon les propres caractéristiques écologiques de chacune. Une étude fine de la capacité de reconstitution des populations doit être faite, et cela pour chaque espèce, en se basant sur les données réelles de terrain.

4.2.2 Interprétation de la répartition spatiale d'*A. bipindensis*

Le fonctionnement de l'écosystème forestier dépend fortement de la structure verticale et horizontale des arbres qui le composent (Goreaud, 2000 ; Condit *et al.*, 2000 ; Lomba, 2011). Ainsi, l'analyse de la répartition spatiale (structure horizontale) d'une population, c'est-à-dire de l'organisation des arbres dans l'espace est d'un intérêt capital en écologie. La répartition spatiale détermine en particulier l'environnement local autour de chaque arbre (les voisins ainsi que l'habitat) et par conséquent les limites de ses conditions d'installation.

De nombreux processus écologiques (interactions biotiques) et stochastiques (dispersion limitée, mortalité aléatoire) sont connus pour jouer un rôle dans la distribution spatiale des espèces. En outre, la distribution d'une espèce dépend en particulier du mode de dissémination des graines. La nature et la composition de la faune et de la flore sont souvent interdépendantes. Depuis longtemps, plusieurs méthodes statistiques ont été élaborées pour caractériser la structure spatiale de semis de points (Clark et Evans, 1954; Cressie, 1993; Goreaud, 2000). Les exemples forestiers ont souvent été utilisés pour illustrer ces méthodes (Ripley, 1977).

Il nous paraît utile de préciser dans cette étude comment le « Nearest-Neighbor Method » et l'indice de « Clark et Evans » se situent par rapport aux grandes familles de méthodes d'analyse de la structure spatiale. Contrairement aux autres méthodes, elle ne nécessite pas l'usage d'un échantillon de taille particulière ; elle est facile car une seule mesure de la distance suffit. Ce qui la rend très pratique à appliquer sur le terrain et dans des conditions difficiles comme avec des végétations de haute densité trouvées dans des forêts tropicales humides et enfin, après une série de calculs simples, les résultats peuvent être validés par un test statistique, ce qui augmente la fiabilité des résultats et des conclusions (Clark et Evans, 1954 ; Bogaert et Mahamane, 2005). D'après Sinclair (1985), sans marge, le test de Clark et Evans introduit un biais en régularisant les distributions: une distribution agrégée sera évaluée comme étant aléatoire, une distribution aléatoire comme uniforme. Ce biais

est important pour des petites populations (n inférieur à 100). Afin de l'éviter, une marge a été prise en compte lors de cette étude.

Plusieurs auteurs ont étudié la répartition spatiale des arbres en forêt tropicale parmi lesquels Hubbell (1979), Collinet (1997), He *et al.* (1997), Condit *et al.* (2000) et Traissac (2003). Les espèces étudiées sont souvent les plus communes ou ayant une densité minimum nécessaire aux analyses spatiales (environ 1 pied/ha et plus). Toutes les études mettent en évidence une prédominance des espèces à répartition spatiale agrégée (au moins 50 % des espèces étudiées), alors que les répartitions régulières sont soit inexistantes soit rares.

Les modèles qui tentent d'expliquer la répartition spatiale des espèces d'arbres de forêt tropicale font intervenir des mécanismes spatiaux comme les perturbations (Schupp *et al.*, 1989 ; Whitmore, 1989 ; Molino et Sabatier, 2001) ou des facteurs biotiques : densité ou distance-dépendants comme dans les modèles proposés par Jansen (1970), Connell (1971), Clark et Clark (1984), Condit *et al.* (1992). Selon Jansen (1970) et Connell (1971) les prédateurs et les parasites sont les principaux agents de mortalité des graines et des plantules en milieu tropical. Ces facteurs entraîneraient une mortalité plus élevée des graines et des plantules près des semenciers. Aussi, le recrutement de plantules en fonction de la densité de graines, de la probabilité de survie et de la distance à l'arbre parent n'est attendu qu'à une certaine distance de l'arbre parent. On peut donc observer une répartition de moins en moins agrégée des stades de vie les plus jeunes aux stades les plus vieux.

La répartition spatiale d'*A. bipindensis* n'est pas bien expliquée par ce modèle de Jansen et Connell qui prédit une répartition aléatoire ou du moins une mise à distance de plus en plus marquée des individus de la même espèce. Dans les conditions naturelles de son installation à Yoko, les semis (1 à 10 cm dhp) sont regroupés autour des semenciers (arbres \geq 30 cm dhp), ils sont d'ailleurs répartis de manière dépendante par rapport à ces derniers. Certaines autres espèces tropicales présentent une répartition spatiale particulière contradictoire au modèle proposé par Jansen et

Connell. Nous citons, à titre d'exemple, *Dicorynia guianensis* Amshoff (Caesalpinioïdeae) dans la forêt littorale guyanaise (Collinet, 1997).

A. bipindensis a un mode de diaspore ballocore, c'est-à-dire ses fruits se retrouvent sous le tronc du semencier. Ceci permet à l'espèce d'assurer une répartition spatiale agrégée pour toutes les tailles de perturbations très grandes à celle de la couronne du semencier et qui permettent à la lumière d'atteindre le sol. Hubbell (1979) a étudié l'effet de la dispersion des graines sur l'agrégation des individus et a observé une agrégation plus importante plutôt pour les espèces dispersées à courte distance, soit 20 – 50 m du tronc du semencier (dispersion par les mammifères). La dispersion à longue distance et l'exigence en lumière sont des caractéristiques courantes des espèces à fruits ailés (ou graines ailées). La formation d'agrégats et la présence de densités locales fortes sont assez souvent observées pour les espèces structurantes ou communes héliophiles anémochores des forêts tropicales ou autochores (Schnell, 1976 ; Collinet, 1997 ; Condit *et al.*, 2000).

4.2.3 Organisation de la diversité spécifique au sein de communautés végétales sous *A. bipindensis*

La biodiversité peut être mesurée à différents niveaux d'organisation biologique (génome, population, communauté, paysage). Elle est souvent quantifiée à partir de trois critères complémentaires : le nombre d'entités distinctes, leur fréquence relative et la différence entre les entités. Au niveau de la communauté, mesurer la diversité revient à quantifier la richesse spécifique, la fréquence relative des espèces, et la richesse de l'histoire évolutive ou fonctionnelle représentée par les lignées présentes. La quantification de la diversité est souvent partitionnée en trois échelles spatiales : l'échelle locale (α) tel est le cas de la présente recherche, l'échelle régionale (γ), et une échelle intermédiaire (β) qui représente la comparaison entre la diversité régionale et la diversité locale (Whittaker, 1972 ; Blondel, 1995 ; Gonzalenz, 2009).

L'un des objectifs de la thèse a été de comprendre quelle diversité floristique prend place à la structuration des communautés végétales sous *A. bipindensis* dans deux

sites différents : une forêt dense dans la réserve forestière de Yoko et une jachère arbustive dans la réserve de biosphère de Yangambi, RD Congo. Nous avons identifié dans chaque site deux types des placettes contrastées du point de vue de leur densité en pieds d'*A. bipindensis*. Les placettes ont été installées de deux façons : dans les zones dépourvues d'*A. bipindensis*, choisis au hasard et autres centrées sur des pieds d'*A. bipindensis*.

A partir des patrons de diversité spécifique observés pour les communautés d'arbres sous une forêt dense (Yoko) et une jachère arbustive (Yangambi) à *A. bipindensis*, Nous avons mis en évidence, dans les communautés végétales étudiées, une action prépondérante de la densité-dépendance négative. Sa mise en évidence en tant que mécanisme structurant les communautés végétales sous *A. bipindensis* en RD. Congo s'ajoute aux résultats d'un nombre croissant d'études qui soutiennent l'importance de ce mécanisme dans le maintien de la diversité au-delà de la phase de régénération (Webb et Peart, 1999 ; Givnish, 1999 ; Wright, 2002 ; Peters, 2003 ; Wills *et al.*, 2006). La théorie de la densité-dépendance prédit que les espèces rares seront favorisées dans la communauté au détriment des espèces les plus abondantes, permettant ainsi le maintien de la diversité (i.e. *A. bipindensis*).

De cette étude, un fait intéressant, est que le patron de diversité spécifique observé dans les communautés végétales pour le site de Yangambi (*Belucia pentamera* Seem, Melastomataceae), est différent de patron rapporté pour le site de Yoko (*Scorodophloeus zenkeri* Harms, Fabaceae). Ceci étant soit dans les parcelles centrées doussiés et soit dans les parcelles aléatoires. Nous avons observé un maintien de la richesse spécifique entre les communautés juvéniles et adultes. Comita *et al.*, (2007) ont rapporté une plus faible diversité spécifique chez les juvéniles. En outre, Gonzalenz, (2009) a observé en Guyane que très peu d'espèces coexistent dans les communautés de juvéniles. Par exemple, dans une des parcelles où l'espèce *Iryanthera sagotiana* (Myristicaceae) était très abondante (50% des individus) aucun autre membre de la même famille n'était présent. Les différences observées dans cette étude entre les parcelles effectuées à Yangambi et celles à Yoko

montrent que l'importance relative des processus écologiques peut varier entre les sites, possiblement à raison d'histoires biogéographiques différentes. Cette variabilité biogéographique de processus écologiques confirme l'intérêt de mener les études sur l'organisation des communautés dans plusieurs sites différents (Dutech *et al.*, 2003 ; Gonzalenz, 2009).

Dans cette thèse, nous avons pu mettre en évidence un certain nombre de différences entre le site de Yoko et celui de Yangambi. Un résultat intéressant est que, bien que l'effet de la densité de dépendance négative ait été observé dans ces deux sites ; le site de Yoko est toutefois plus diverse du point de vue spécifique que le site de Yangambi, ce qui témoigne d'une accumulation des lignées dans la classe d'âges plus avancée à Yoko (Etude 3). La cause de la différence observée entre le site de Yoko et celui de Yangambi, peut être élucidée par l'effet anthropique dans cette étude, du fait que les mécanismes écologiques qui régissent la diversité locale ne sont pas les mêmes. Le site de Yoko se situe dans une forêt secondaire adulte où la présence de grandes étendues de forêts dominées par des espèces pionnières et héliophiles à durée de vie longue (plusieurs décennies voire centaines d'années, comme *Scorodophloeus zenkeri*, *Gilbertiodendron dewevrei*, *Petersianthus macrocarpus*, ...), des marantacées, des rotins, etc. Ceci permet donc de relativiser le statut de « forêt non perturbée » qu'est censé avoir Yoko (Kahindo, 2011 ; Boyemba, 2011 ; Lomba, 2011), alors que le site de Yangambi se situe sur une jachère arbustive, site qui aurait pu connaître une recolonisation récente et par conséquent aurait eu moins de temps pour accumuler de la diversité.

4.2.4 Influence de propriétés physico-chimiques du sol sous *A. bipindensis* Harms dans la RFY et RBY, RD Congo

C'est le sol qui détermine, avec le climat les potentialités de production des plantes. Celles-ci par leurs racines modifient le sol et influencent pour une bonne partie, son évolution pédologique (Callot *et al.*, 1982). Les principales occupations des terres auxquelles s'intéressent cette étude est une jachère portant les pieds d'*A. bipindensis* identifiée sur la série Yakonde dans la RBY (milieu dégradé) et la RFY (milieu

naturel). La jachère arbustive identifiée sur la série de sol entoure les camps d'habitation (Lusambila et Ekutsu) à Yangambi et est généralement dominée par les arbres et arbustes de 5 à 15 m de hauteur et dont le sol a subi 4 à 6 cycles culturaux, selon les paysans consultés à Yangambi. La forêt dense située à la réserve forestière de la Yoko est dominée par des essences arborescentes atteignant une hauteur de 15 à 50 m et dont le sol n'a subi aucun cycle cultural.

Les sols de dispositifs d'étude dont les matériaux parentaux ont été mis en place et/ou remaniés lors de la désertification ancienne (De Leenher *et al.*, 1952), sont des sols ferallitiques ou ferralsols et contiennent 2 à 35 % d'argile (De Leenher *et al.*, 1952) dans leurs horizons superficiels où la matière organique joue un rôle déterminant sur l'état de leur fertilité (Henry, 1947, 1951; Duchaufour, 2001; Kombele, 2004). Ce sont des sols profondément altérés sous l'action du climat chaud et humide, riche en fer et aluminium (Fahen, 1978; Duchaufour, 2001; Van Wambeke, 1995). Pour bien appréhender l'état de la fertilité de sols dans les sites d'étude, nous avons considéré principalement la partie superficielle du solum appartenant à la rhizosphère et intensément influencée par la matière organique, c'est-à-dire le solum biodynamique (Manil, 1953; Nanson et Gennart, 1960; Kombele, 2004). Notre démarche a donc consisté à comparer les propriétés physico-chimiques de sols identiques au plan de leur pédogenèse en suivant deux niveaux topographiques (plateau et versant), sous la jachère arbustive et la forêt dense, de façon à quantifier l'effet de l'espèce *A. bipindensis* sur les propriétés des sols étudiées.

4.2.4.1 Fraction granulométrique

La fraction granulométrique du sol se définit par ses proportions relatives en sable, limon et argile. Elles sont d'une importance particulière dans l'interprétation de la fertilité du sol et par conséquent pour les plantes (Baize, 2000). Dans la majorité des travaux en physique du sol, les proportions relatives en argile, limon et sable sont utilisées comme des facteurs prédictifs des propriétés importantes des sols telles la que courbe de rétention d'eau, la capacité de l'eau disponible, la conductivité

hydraulique, la conductivité thermique, les propriétés d'adsorption des produits chimiques etc. (Botula *et al.*, 2012). A cet égard, des auteurs signalent que les changements dans la distribution des fractions granulométriques peuvent fournir des indications utiles sur l'influence de l'utilisation des terres, la dégradation et la désertification des sols (Djegui *et al.*, 1992 ; Alongo, 2013).

Les résultats de la granulométrie (%) des deux types de sols en fonction des quatre types d'occupation comparables sont illustrés dans les Figures 23 et 24. De plus, les teneurs en argiles de plateau varient entre 9,00 % (jachère arbustive) et 11,25 % (forêt dense à *A. bipindensis*) dans la couche de 0-20 cm, tandis qu'elles varient de 9,75 % (témoin forêt dense) à 13,00 % (témoin jachère) dans la tranche de 20-40 cm. Contrairement au versant, la tranche de 0-20 cm, les teneurs en argile varient de 9,75 % (témoin forêt dense) à 12 % (forêt dense à *A. bipindensis*), tandis que dans la tranche de 20-40 cm, elles sont de 11,75 % à 14,50 % dans les mêmes types d'occupation et sont presque partout supérieures à celles de plateau.

L'analyse granulométrique des sols étudiés a montré des différences très significatives des teneurs en fractions granulométriques entre les profils creusés sur le plateau et versant dans la jachère arbustive, la jachère arbustive à *A. bipindensis*, la forêt dense et la forêt dense à *A. bipindensis* de deux sites d'étude Yangambi et Yoko en RD Congo (Figures 23 et 24). Cela nous a permis d'établir une relative discrimination entre les sols des différentes occupations des sites étudiés. D'après la littérature, la présence d'horizons superficiels à texture grossière a été indiquée dans les sols de la région intertropicale et attribuée aux processus agissant simultanément ou séquentiellement sur les horizons comme la stratification des matériaux parentaux, la destruction de l'argile dans l'épipédon, le processus d'éluviation ou d'illuviation de l'argile, l'activité biologique de la faune tellurique (vers de terre, termites, animaux fouisseurs), érosion sélective de l'argile et de limon à partir de la surface du sol (Tessier *et al.*, 1996; Yemefack *et al.*, 2004).

Dans notre étude, la pauvreté relative en argile des horizons supérieurs des sols de jachère par rapport à la forêt dense est une constante, tant dans le plateau que dans le

versant. En se plaçant dans le contexte de la dynamique des contacts forêt-jachère, il semblerait que les sols de jachère, moins couverts par la végétation, soient soumis à une perte d'argile par l'érosion superficielle au début de campagne agricole, due au ruissellement des eaux au moment des premières pluies, lorsque le couvert herbacé est complètement dégagé après le passage des feux.

Les résultats de Boix Fayos (1997) montrent que le feu de brousse diminue la capacité au champ des sols brûlés et, en conséquence, entraîne l'augmentation du ruissellement et des phénomènes d'érosion diminuant ainsi la proportion des particules fines telles que les argiles. Mais, la forêt stopperait progressivement l'érosion du sol du fait de la mise en place d'un couvert fermé et parviendrait même, par le phénomène de néoformation, à augmenter le taux d'argiles, par le biais d'un recyclage biologique, c'est-à-dire une minéralisation de la litière par l'activité microbienne (Van Wambeke, 1995). Ceci pourrait hypothétiquement expliquer l'augmentation relative du taux d'argile au-delà de 20 cm de profondeur sous les deux sites. La présence d'une texture sableuse sous la jachère arbustive, dans les tranches étudiées traduit un héritage passé récemment sous couvert forestier après avoir été exposés régulièrement à la battance des eaux de pluies et au ruissellement superficiel des eaux des pluies, garde la trace d'un couvert arbustive et herbacé qui ont favorisé l'appauvrissement en argile des tranches du sol étudiées.

4.2.4.2 pHeau

Dans cette étude, les valeurs du pHeau sous les quatre types d'occupation du sol sont comprises entre $4,04 \pm 0,13$ sous la jachère arbustive et $4,59 \pm 0,27$ sous la forêt dense à *A. bipindensis* dans la tranche de 0-20 cm de profondeur (Tableau 18) sur le plateau. En revanche, dans la tranche de 20-40 cm, les valeurs sont comprises entre $3,77 \pm 0,11$ et $4,31 \pm 0,26$ sous les mêmes occupations, c'est-à-dire sous la jachère arbustive et sous la forêt dense à *A. bipindensis*, tandis que sur le versant, les valeurs sont comprises entre $4,05 \pm 0,17$ et $4,70 \pm 0,21$ respectivement sous la jachère arbustive et la forêt dense à *A. bipindensis* dans la tranche de 0-20 cm. En revanche, dans la

tranche de 20-40 cm, les valeurs varient $3,79 \pm 0,11$ sous la forêt dense et $4,33 \pm 0,16$ sous la forêt dense à *A. bipindensis*.

Le pH est un paramètre important qui conditionne un grand nombre des réactions chimiques et microbiologiques dans le sol. À des faibles valeurs de pH, il se produit dans le sol, selon Landon (1991 ; Morel, 1996), de nombreux phénomènes néfastes à la croissance végétale comme la diminution de la nitrification, la déficience en phosphore, la toxicité aluminique et manganique, la faible mobilité des polluants organiques et la grande disponibilité de certains métaux lourds. Généralement, la plupart des plantes cultivées poussent convenablement dans un sol neutre ou légèrement acide c'est-à-dire de $5,5 \leq pH \leq 7$ (Landon, 1991). Les résultats de notre étude ont montré que le pH varie avec les changements d'occupation des sols (Figures 24 et 30). Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17) montrent qu'il y a un effet significatif du facteur type de sol ($F = 5,40$; $p < 0,05$) et une interaction non significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 2,56$; $p > 0,05$) dans la tranche de 0-20 cm toutefois un effet significatif a été obtenu en ce qui concerne l'occupation du sol ($F=105,25$; $p < 0,001$), tandis que dans la tranche de 20-40 cm, l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Annexe 3, Tableaux 3.43 et 3.44) montrent qu'il n'y a pas d'effet significatif du facteur type de sol ($F=1,10$; $p > 0,05$) et une interaction significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 5,00$; $p < 0,05$). Signalons également qu'un effet significatif a été obtenu en ce qui concerne l'occupation du sol ($F = 108,30$; $p < 0,001$).

Des résultats similaires ont été obtenus par Kombele (2004) dans le cadre de son étude sur le diagnostic de la fertilité chimique des sols en cuvette centrale congolaise, en prenant en compte des séries Yakonde et Yangambi en RD Congo. L'auteur a rapporté une augmentation du pHeau de l'ordre de 2,5 dans ces deux séries de sols 8 mois après l'incinération. L'augmentation obtenue dans cette étude sous la jachère dans la tranche de 0-20 cm de profondeur rencontre les observations faites par plusieurs auteurs (Boyer, 1982 ; Moreau, 1984; Alongo, 2013) qui suggéraient que le changement du pHeau opéré par la pratique du brûlis n'est pas stable et se résorbe

rapidement suite aux récoltes, à l'érosion et au lessivage sous culture et jachère imposant des courtes périodes culturales.

En définitive, notre étude a montré que les valeurs obtenues du pHeau sous différentes occupations s'inscrivent bien à l'échelle de pH proposée par Baize et Jabiol (1995) qui varie entre 3,77- 4,70 pour les sols apparentés aux deux types de niveau topographique, et en même temps à l'échelle de Dabin (1984) comprise entre 4,0 et 6,0 convenant à une large gamme de cultures dans les tropiques. En revanche, les valeurs significativement élevées du pHeau obtenues sous jachère arbustive à *A. bipindensis* au niveau de plateau sont inférieures à la gamme des pHeau préférable pour la plupart des cultures dans les tropiques qui se situe entre 5,5-7,0 (Landon, 1991). En se basant sur l'échelle de pH proposée par Landon (1991), les sols sous les différentes occupations de plateau et versant peuvent poser de sérieuses difficultés aux végétaux notamment : (i) la toxicité aluminique, (ii) l'excès en Co, Cu, Fe, Mn et Zn et (iii) les carences en Ca, K, N, Mg, Mo, P, S et B.

4.2.4.3 Relation entre le carbone total, l'azote total et le rapport C/N

Les teneurs moyennes en COT dans les deux types du sol présentent un gradient décroissant du plateau vers le versant dans les différentes occupations du sol. Dans le plateau et dans la tranche de 0-20 cm, les valeurs COT sont comprises entre $1,79 \pm 0,11$ et $3,21 \pm 0,16$ %, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, elles varient entre $1,32 \pm 0,14$ et $2,82 \pm 0,44$ respectivement sous la jachère arbustive et sous la forêt dense à *A. bipindensis*. Néanmoins, la forêt dense comme témoin et la jachère arbustive à *A. bipindensis* ont des teneurs intermédiaires. En revanche sur le versant, les mêmes observations se manifestent comme sur le plateau et sont comprises entre $1,84 \pm 0,21$ % et $3,05 \pm 0,10$ % pour la tranche de 0-20 cm et entre $1,61 \pm 0,40$ % et $2,81 \pm 0,13$ % pour la tranche de 20-40 cm de profondeur. Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17) dans la tranche de 0-20 cm montrent qu'il y a un effet très significatif du facteur type de sol ($F = 10,81$; $p < 0,01$). On note aussi un effet très significatif concernant l'occupation du sol ($F = 611,16$; $p < 0,001$) et une interaction très significative a été également obtenue entre le type et l'occupation du

sol ($F = 3,87$; $p < 0,01$). Tandis que dans la tranche de 20-40 cm, l'ANOVA à deux facteurs montrent qu'il n'y a pas un effet significatif du facteur type du sol ($F = 1,47$; $p > 0,05$) et l'interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 21,51$; $p < 0,001$).

Pour l'azote organique total, les teneurs moyennes dans les deux types du sol présentent un gradient décroissant du plateau vers le versant dans les différentes occupations du sol. Dans le plateau et dans la tranche de 0-20 cm, les teneurs en Nt sont comprises entre $0,25 \pm 0,03$ % et $0,43 \pm 0,02$ % respectivement sous la forêt dense et la forêt dense à *A. bipindensis*, tandis que dans la tranche de 20-40 cm, elles varient entre $0,21 \pm 0,02$ % et $0,37 \pm 0,03$ % respectivement sous la jachère arbustive et sous la jachère arbustive à *A. bipindensis*. En revanche sur le versant, les mêmes observations se manifestent comme sur le plateau dans les différentes occupations et sont comprises entre $0,24 \pm 0,03$ % et $0,41 \pm 0,03$ % respectivement sous la forêt dense et la forêt dense à *A. bipindensis* pour la tranche de 0-20 cm et entre $0,20 \pm 0,02$ % et $0,32 \pm 0,02$ % respectivement sous la jachère arbustive et sous la jachère arbustive à *A. bipindensis* pour la tranche de 20-40 cm de profondeur. Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17) dans la tranche de 0-20 cm montrent qu'il n'y a pas effet significatif du facteur type de sol ($F = 0,24$; $p > 0,05$). Par contre il y a un effet significatif concernant l'occupation du sol ($F = 4918$; $p < 0,01$). De même on note une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 7,72$; $p < 0,001$). Dans la tranche de 20-40 cm, l'ANOVA à deux facteurs (Annexe 3, Tableaux 3.47 et 3.48), montre qu'il y a un effet hautement significatif du facteur type du sol ($F = 87,59$; $p < 0,001$). On note un effet hautement significatif également pour l'occupation du sol ($F = 691,64$; $p < 0,001$), de même qu'une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 11,01$; $p < 0,001$).

Les résultats obtenus vont à l'encontre des recherches démontrant que les changements d'occupation de sols entraînant un changement de la dynamique de la décomposition de la matière organique et, par voie de conséquence, de la fertilité du sol (Van Wambeke, 1995). Cependant, des résultats similaires ont été observés par

Jose *et al.*, (1996) en forêt tropicale de Shola, dans leur étude axée sur les changements de la composition floristique (la régénération des espèces ligneuses principalement) le long du gradient lisière-forêt en fonction des variables édaphiques et micro-environnementales. Les variables édaphiques mesurées incluaient le pH, le carbone organique, l'azote total, le phosphore disponible et l'humidité du sol. Les auteurs ont mis en évidence des accroissements significatifs du taux de carbone organique, de l'azote organique total et du phosphore assimilable du sol en fonction de la distance dans la zone de lisière qui, selon eux, devraient indiquer la fertilité de la zone forestière par rapport à la lisière forestière. Ces résultats leur ont permis d'établir que les propriétés chimiques du sol sont très sensibles à l'effet de lisière forestière.

Masse *et al.*, (1998) ont noté que, dans les forêts secondaires, les apports de composés organiques sous la litière issue des parties aériennes et souterraines des essences à croissance rapide participent activement à la constitution de la matière organique des sols. Toutefois, comme il s'agit des propriétés chimiques du sol, le facteur tel que la texture du sol pourrait aussi influencer le statut organique du sol (Feller, 1994 ; Djegui *et al.*, 1992). On a noté par exemple que la distribution spatiale des séries de sols dans la catena texturale de Yangambi est causée par la pente, de telle sorte que les séries les moins riches en argile occupent le bas de versants tandis que les séries les plus riches en cette fraction colloïdale occupent le plateau (Van Wambeke *et al.*, 1956 ; Van Wambeke et Liben, 1957 ; Van Wambeke, 1995 ; Kombele, 2004). Pour rappel, les résultats de notre étude ont révélé que les sols de lisières étudiés présentent une texture essentiellement sableuse dans les horizons superficiels (0-20 cm de profondeur) qui diminue avec la profondeur (20-40 cm de profondeur). Ainsi, les accroissements des teneurs en carbone organique total du sol (COT) sous la jachère arbustive pourraient s'expliquer par le fait que, dans les sols sableux sous jachères, les fractions organiques grossières dominantes minéralisent rapidement et contribuent fortement à la nutrition minérale des micro-organismes du sol et des plantes (Manlay, 2000), avec comme conséquence dans notre cas, le rapport C/N du sol qui est faible en forêt qu'en jachère. Ceci se justifie par le fait que

les techniques culturales paysannes (TCP) s'articulant autour du feu comme moyen principal qu'utilisent les agriculteurs tropicaux pour se débarrasser d'importantes masses végétales coupées provoquent une augmentation plus ou moins sensible du stock en COT du sol et une baisse en Nt; cette baisse s'accompagne d'une augmentation du rapport C/N.

4.2.4.4 Relation entre le phosphore assimilable et la matière organique du sol

Le phosphore est un élément essentiel pour tous les organismes vivants. Il joue un rôle irremplaçable dans des nombreux processus biologiques comme la croissance, la photosynthèse et la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique (Marschner, 1995). Il fait partie de la composition de l'ADN où il inscrit le code génétique et de l'ARN qui permet la transcription de l'information génétique en protéines. Il est impliqué dans le transfert d'énergie à l'intérieur des cellules par intermédiaire de l'ATP. Les résultats trouvés à travers notre étude indiquent que le problème du phosphore assimilable est réel dans toutes les occupations du sol étudiées, car sa teneur est partout très faible.

Les résultats des teneurs moyennes en phosphore sous les quatre types d'occupation des deux niveaux topographiques sont présentés dans la Figure (41). La comparaison des teneurs moyennes présentent un gradient croissant de plateau vers le versant. Dans le plateau et dans la tranche de 0-20 cm, les teneurs en phosphore assimilable sont comprises entre $1,51 \pm 0,23 \mu\text{g/g}$ et $3,07 \pm 0,25 \mu\text{g/g}$ respectivement sous la forêt dense et la forêt dense à *A. bipindensis*. Tandis que dans la tranche de 20-40 cm, elles varient entre $1,37 \pm 0,07 \mu\text{g/g}$ et $2,55 \pm 0,09 \mu\text{g/g}$ respectivement sous la jachère arbustive et sous la forêt dense à *A. bipindensis* et épousent la même allure que dans la couche de sol de 0-20 cm. En revanche sur le versant, dans la tranche de 0-20 cm, les teneurs varient respectivement $1,69 \pm 0,18 \mu\text{g/g}$ et $2,79 \pm 0,27 \mu\text{g/g}$ sous la forêt dense et la forêt dense à *A. bipindensis* et $1,42 \pm 0,20 \mu\text{g/g}$ et $2,48 \pm 0,09 \mu\text{g/g}$ pour la tranche de 20-40 cm de profondeur respectivement pour la la forêt dense à *A. bipindensis* et la jachère arbustive à *A. bipindensis* épousant ainsi la même allure que

dans la couche de sol de 0-20 cm. Néanmoins, forêt dense comme témoin et la jachère arbustive à *A. bipindensis* ont des teneurs intermédiaires. Bien que de nombreuses études sur le phosphore assimilable dans les sols tropicaux (Gachon, 1969 ; Gachon et Triboui, 1982) n'aient pas souvent mis en évidence un important changement, ce travail fait transparaître clairement la distinction entre la forêt et la jachère comme les deux occupations du sol sous *A. bipindensis*.

Les résultats de notre étude ont montré un effet bénéfique de l'espèce sur la biodisponibilité du phosphore du sol de plateau avec des teneurs plus élevées sous forêt dense à *A. bipindensis* comme occupation du sol (3,07 µg/g) que sous versant avec la même occupation (2,79 µg/g) dans la tranche de 0-20 cm. Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs contrôlés (Tableau 17) dans la tranche de 0-20 cm montrent qu'il n'y a pas effet significatif du facteur type de sol ($F = 3,64 ; p > 0,05$). On note par contre un effet hautement significatif concernant l'occupation du sol ($F = 481,26 ; p < 0,001$), ainsi qu'une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 19,59 ; p < 0,001$), tandis que dans la tranche de 20-40 cm, l'ANOVA à deux facteurs (Annexe 3, Tableaux 3.53 et 3.54), montre qu'il n'y a pas d'un effet significatif du facteur type de sol ($F = 2,97 ; p > 0,05$). Par contre, il y a un effet hautement significatif concernant l'occupation du sol ($F = 1139,52 ; p < 0,001$) ainsi qu'une interaction hautement significative entre le type et l'occupation du sol ($F = 6,95 ; p < 0,001$).

Sizer *et al.*, (2000) ont évalué les concentrations en éléments nutritifs dans les feuilles qui tombaient et qui constituaient la litière au niveau d'une lisière dans une forêt fragmentée en Amazonie centrale. Les résultats obtenus ont révélé un effet significatif de la lisière forestière sur les concentrations de phosphore assimilable, effet qui a été à 53 % imputé à la translocation du phosphore par les racines d'arbres des espèces pionnières des lisières. En outre, La production accrue de litière au niveau des forêts par les pratiques agricoles et/ou forestières a déjà été largement discutée par plusieurs auteurs Kapos *et al.*, (1997), Laurance *et al.*, (1998), Sizer *et al.*, (2000), Kombele (1998) ; etc. Ces auteurs ont indiqué que la dynamique de la

production de litière après la fragmentation forestière a une importance évidente sur le recyclage des éléments nutritifs, avec des effets de rétroaction possible sur l'état nutritionnel, la vitalité et la composition des forêts fragmentées.

Les teneurs relativement élevées en phosphore assimilable sous forêt seraient causées par le taux élevé de la matière organique du sol, car la matière organique est le constituant du sol qui reflète le mieux les interactions entre le sol, la biosphère et l'atmosphère car elle dépend à la fois de la nature du sol et de l'environnement bioclimatique. C'est donc un très bon indicateur du milieu (Kononova, 1966). En milieu tropical plus qu'ailleurs elle a un rôle déterminant dans le cycle du carbone et la plupart des autres cycles biogéochimiques. Par son action cumulée sur de longues périodes de temps, elle intervient également sur la pédogenèse et l'évolution des sols (Perraud, 1971 ; Duchaufour, 1977 ; Turenne, 1977). Il est donc important de s'attacher à son étude, d'établir les relations entre ses caractéristiques propres et celles de l'environnement, d'analyser sa dynamique et les mécanismes de son action. En outre, l'humus est une référence très commode pour l'étude des transformations du milieu, en particulier celles que provoque l'intensification de l'utilisation agropastorale des sols, mais il ne peut être convenablement utilisé à cet effet que si l'on dispose d'un minimum de connaissances sur sa nature et ses relations avec la végétation naturelle et le climat.

Conclusion générale et perspectives

Tableau 10. Indice de valeur d'importance de vingt espèces dans les parcelles « centrées Doussié » de milieu dégradé

| Espèces | D (N ind/ha) | St (m ² /ha) | Dr | Dor | IVI |
|----------------------------------|--------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <i>Belucia pentamera</i> | 28 | 0,39 | 18,41 | 11,48 | 29,89 |
| <i>Vitex congolensis</i> | 13 | 0,37 | 8,79 | 10,91 | 19,70 |
| <i>Garcinia epunctata</i> | 11 | 0,18 | 7,11 | 5,20 | 12,31 |
| <i>Morinda lucida</i> | 6 | 0,25 | 4,18 | 7,38 | 11,56 |
| <i>Azelia bipindensis</i> | 6 | 0,25 | 4,18 | 7,16 | 11,34 |
| <i>Hymenocardia ulmoides</i> | 8 | 0,17 | 5,02 | 4,90 | 9,92 |
| <i>Albizia ferruginea</i> | 7 | 0,13 | 4,60 | 3,66 | 8,26 |
| <i>Pterocarpus soyauxii</i> | 4 | 0,25 | 2,51 | 7,16 | 9,67 |
| <i>Pycnanthus angolensis</i> | 6 | 0,15 | 3,77 | 4,26 | 8,03 |
| <i>Paramacrolobium coeruleum</i> | 6 | 0,13 | 3,77 | 3,74 | 7,51 |
| <i>Macaranga spinosa</i> | 4 | 0,05 | 3,35 | 1,60 | 4,95 |
| <i>Anthonotha macrophylla</i> | 3 | 0,14 | 2,09 | 4,05 | 6,14 |
| <i>Millettia dubia</i> | 5 | 0,05 | 3,35 | 1,34 | 4,69 |
| <i>Macaranga monandra</i> | 4 | 0,07 | 5,02 | 3,71 | 8,73 |
| <i>Piptadeniastrum africanum</i> | 3 | 0,11 | 1,67 | 3,15 | 4,82 |
| <i>Bacteria nigritana</i> | 3 | 0,10 | 1,67 | 2,85 | 4,52 |
| <i>Voacanga chlotiana</i> | 3 | 0,09 | 1,67 | 2,53 | 4,20 |
| <i>Dialium pachyphyllum</i> | 3 | 0,04 | 1,67 | 1,10 | 2,77 |
| <i>Musanga cecropioides</i> | 2 | 0,06 | 1,26 | 1,81 | 3,07 |
| <i>Canarium schweinfurthii</i> | 3 | 0,02 | 1,67 | 0,71 | 2,38 |
| Total pour 20 espèces | 123 | 3,00 | 85,77 | 88,69 | 174,46 |
| Autres (16 espèces) | 26 | 0,43 | 14,23 | 11,31 | 25,54 |
| Total | 149 | 3,43 | 100,00 | 100,00 | 200,00 |

4. Discussion

Les résultats obtenus indiquent des différences entre, d'une part, les parcelles aléatoires et les parcelles centrées Doussié au sein de chaque site, et d'autre part, entre les deux sites présentant des densités contrastées en *A. bipindensis* entre-elles.

germination, la croissance en hauteur et en diamètre sur deux types de substrat (terreau forestier et ordure ménagère) à la disposition des populations riveraines, afin d'établir un modèle qui soit en relation avec les paramètres de l'aménagement forestier (nombre d'individus, production de semis) et de produire un modèle opérationnel sur le plan pratique.

Pour mener à bien l'analyse de la répartition spatiale de cette espèce, quarante parcelles où quadrats de 50 m x 50 m (0,25 ha) soit un total de 10 ha ont été installés dans le site de Yangambi. Les données collectées lors de l'inventaire, pour chaque arbre de plus de 10 cm de diamètre à 1,30 m (dhp) de deux espèces du genre *Azelia* ont été repérées et positionnées géographiquement par une abscisse x et une ordonnée y. La méthode de la distance au plus proche voisin, mise au point par Clark et Evans (1954) a été appliquée pour caractériser la distribution spatiale observée de deux espèces.

La prise en compte des liens évolutifs des individus en coexistence permet d'affiner notre connaissance sur les mécanismes qui structurent les communautés et qui gouvernent donc les patrons de diversité sous *A. bipindensis* dans deux écosystèmes différents. Nous avons ensuite effectué l'inventaire en plein des espèces à dhp ≥ 10 cm à 1,30 m autour et en dehors de *A. bipindensis* (parcelles aléatoire et centrée Doussié) afin d'en déterminer les espèces compagnes. Ainsi, quarante quadrats de 40 m x 40 m (0,16 ha) soit un total de 6,4 ha ont été mises en place respectivement à Yangambi et Yoko pour une étude floristique.

Enfin de comprendre les paramètres qui sont à la base de cette répartition (topographie, sols, etc.); une étude sur la fertilité potentielle du sol a été mise en place sur la zone d'étude.

Comme illustré par les travaux (Etudes 1, 2, 3 et 4), la connaissance de l'étude de conditions écologiques d'*A. bipindensis* est d'une grande utilité pour aborder la problématique des espèces commerciales dans le tropique humide. La collecte des données floristiques, quantitatives dans les strates arborescentes (RFY) et dans les

famille ($t = 3,17$; $Ddl = 15$; $p < 0,01$) tandis que l'indice de Shanon présente une différence significative ($t = 2,45$; $Ddl = 15$; $p < 0,01$). Les restes des indices, il n'y a pas de différence significative.

Dans les forêts tropicales, les densités des arbres d'au moins 10 cm de dhp varie entre 300 et 700 arbres/ha (Richards, 1996). Cette moyenne correspond à environ plus de 400 arbres/ha pour les arbres de dhp compris entre 10 cm et 30 cm et environ 100 arbres pour les arbres d'au moins 30 cm de dhp (Senterre, 2005). Les densités moyennes dans les 2 types d'inventaires ne sont pas significativement différentes de celles observées dans le domaine Guinéo-congolais (Sonké, 1998 ; Kouka, 2002 ; Makana, 2004 ; Kenfack, 2006 ; Tchouto *et al.*, 2006). Ces densités sont aussi régulièrement rencontrées dans les forêts tropicales amazoniennes et d'Asie du sud-est, avec une tendance à la hausse pour les petites classes de diamètre, dans les sites où la pluviométrie est élevée (Lee *et al.*, 2002 ; Valencia *et al.*, 2004). Les densités élevées de l'ensemble des arbres dominants aussi bien dans les grandes classes que dans les petites classes de diamètres contribuent au maintien de la voûte forestière. L'adaptation d'espèces constitutives de cet ensemble structural aux faibles conditions d'éclairage du sous-bois dans les premiers stades de croissance et leur épanouissement, totalement ou partiellement exposées au rayonnement solaire direct permettent la coexistence des ensembles des arbres dominés et émergents.

La surface terrière des strates arborescentes ($dhp \geq 10$ cm) dans les forêts tropicales est estimée entre 27 et 32 m²/ha (Schulz, 1967). Elle augmente généralement des strates dominées vers les strates dominantes. Malgré la densité élevée, la surface terrière dans l'inventaire des arbres de dhp compris entre 10 et 30 cm représente un peu moins de la moitié de celle obtenue dans l'inventaire des arbres d'au moins 30 cm. Nos résultats ne s'éloignent pas de ceux obtenus dans le domaine Guinéo-congolais (Makana *et al.*, 2004 ; Kenfack, 2006). Dans les forêts d'Amazonie, les arbres de dhp compris entre 10 cm et 30 cm présentent des surfaces terrières légèrement plus élevées, alors que dans les forêts d'Asie du sud-est, la tendance à la hausse est plutôt observée pour les arbres d'au moins 30 cm de dhp (Losos et Leigh,

2004). La croissance secondaire des végétaux est tributaire du patrimoine génétique et de l'environnement. Dans les forêts tropicales matures, les surfaces terrières, notamment dans les petites classes de diamètre semblent augmenter avec la pluviométrie annuelle, c'est du moins ce que semble indiquer les relevés du CTFS (Losos et Leigh, 2004). Dans les deux types d'inventaire, 9 familles dont 6 communes sont écologiquement dominantes. La plupart de ces familles (Euphorbiaceae, Fabaceae, Olacaceae, Anonaceae) figurent parmi les familles les plus dominantes du domaine Guinéo-congolais (Sunderland *et al.*, 2003 ; Chuyong *et al.*, 2004 ; Tchouto *et al.*, 2006). Certaines de ces familles notamment les 2 premières citées (Euphorbiaceae et Fabaceae) sont également dominantes aussi bien dans les forêts tropicales d'Amazonie que de celles de l'Asie du sud-est (Gentry, 1988 ; Losos et Leigh, 2004).

La notion de rareté spécifique reste assez subjective, elle dépend des compartiments explorés et de la taille de l'échantillon. Toutes les forêts tropicales comptent de nombreuses espèces rares qui présentent généralement de forts risques d'extinction (Kenfack, 2006). Les difficultés d'identification de la plupart de ces espèces conduisent à des pertes d'informations sur leurs distributions géographiques, ce qui ne permet pas d'affiner les conclusions concernant la rareté et les risques d'extinction (Ruokolainen *et al.*, 2002). Les proportions d'espèces absolument rares sont identiques dans les 2 types d'inventaires, ce qui signifie que ce phénomène est indépendant des compartiments dynamiques. Dans plusieurs études, c'est plutôt la rareté relative qui est privilégiée (Hubbell et Forster, 1986 ; Kenfack, 2006), et sur cette base, l'inventaire des arbres d'au moins 30 cm de dhp présente la proportion la plus élevée.

Les valeurs obtenues dans les forêts tropicales africaine, amazonienne et même d'Asie du sud-est sont inférieures aux nôtres (Condit *et al.*, 2005). Cette différence tient essentiellement aux méthodes de collecte de données. La prise en compte des ligneux des strates herbacées et arbustives diminue significativement les espèces rares. Quelque soit la méthode d'évaluation de la rareté spécifique adoptée, la

Références bibliographiques

- African regional workshop 1996. Conservation and Sustainable Management of Trees project workshop held in Harare, Zimbabwe, July, 1996, 110p.
- Ahoton L.E., Adjakpa J.B., M'po Ifonti M'po et Akpo E.L., 2009. Effet des prétraitements des semences sur la germination de *Prosopis africana* (Guill., Perrot. et Rich.) Taub., (Césalpiniacées). *Tropicultura*, 2009, 27 (4) : 233-238.
- Alder D. et Synnott T. J., 1995. Permanent Sample Plot Techniques for Mixed Tropical Forest Tropical Forestry paper n° 25, O.F.I., University of Oxford, UK 124 p.
- Alongo L., 2013. Etude microclimatique et pédologique de l'effet de lisière en cuvette centrale congolaise : Impact écologique de la fragmentation des écosystèmes. Cas des séries Yangambi et Yakonde à la région de Yangambi (RD Congo). Thèse de doctorat Université Libre des Bruxelles, 316p.
- Anderson D.R., Sweeney D.J et Willians T.A., 1999. Statistics for business and economics (7th edition). International Thomson Publishing Company, 909 p + Appendixes.
- Anonyme, 2003. Conférence de Rio de Janéiro sur l'environnement. Brésil, 24 p.
- Anonyme, 1986. *Clés de la taxonomie des sols*. Monographie technique, n°13, 347p.
- Arbonnier M., 2002. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Deuxième édition, revue et augmenté CIRAD -MMAN, France.
- Arnauld P., 1992. Qu'est- ce une forêt ? Forêts, Paris, France. Collection Aventure du monde 22-28p.
- Ashton P.M.S., Gunatilleke C.V.S. et Gunatilleke I.A.U.N, 1995. Seedling survival and growth of four *Shorea* species in a Sri Lankan rainforest. *Journal of Tropical Ecology* 11: 263-179.
- Ashton P.S. et Brunig E.F., 1975. The variation of tropical moist forest in relation to environmental factors and its relevance to land-use planning. *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft* 109: 59-86.

- ATIBT, 2001. Etude sur le plan pratique d'aménagement des forêts naturelles de production tropicales africaines. Application au cas de l'Afrique centrale. Premier volet : Production forestière. Paris, France, Atibt, 91 p.
- ATIBT, 1986. Tropical timber atlas: Part 1 – Africa. ATIBT, Paris, France. 208 pp.
- Aubreville A., 1970. Flore du Cameroun. Légumineuses-Caesalpinioïdées. Muséum National d'histoire naturelle, laboratoire de phanérogamie, n° 15, p 111.
- Aubreville A., 1968. Flore du Gabon, Légumineuses-Caesalpinioïdées. Muséum National d'histoire naturelle, laboratoire de phanérogamie, n° 9, p 99.
- Augspurger C.K., 1984. Seedling survival of tropical tree species: interactions of dispersal distance, light gaps, and pathogens. *Ecology* 65(6): 1705-1712.
- Avakoudjo J., 1990. Etude de quelques potentialités agro-forestières de plusieurs provenances de *Leucaena leucocephala* (Lam De Wit) et d'*Acacia auriculiformis* (A. Cunn. et Benth.) dans le Sud Bénin. Mémoire d'Ingénieur Agronome. FSA/UNB. 155 p.
- Azontonde A., Feller C., Ganry F. et Rémy C., 1998. Le mucuna et la restauration des propriétés d'un sol Ferrallitique au sud du Bénin. *Agriculture et développement*, 18: 55-61.
- Bahuchet S. et Joiris V., 1993. Afrique équatoriale. In : Bahuchet S & de Maret P. (eds). Situation des populations indigènes des forêts denses humides. Rapport UE. DG XI, CNRS/ULB, 389-448.
- Baillie I.C., Ashton P.S., Court M.N., Anderson J.A.R., Fitzpatrick E.A. et Tinsley J., 1987. Site characteristics and the distribution of tree species in mixed dipterocarp forest on tertiary sediments in central Sarawak, Malaysia. *Journal of Ecology* 3: 201-220.
- Baize D., 2000. Guide des analyses en pédologie. Techniques et Pratiques. INRA, Paris, 254 p.
- Baize D. et Jabiol B., 1995. *Guide pour la description des sols*. Coll. Techniques et Pratiques, éd. INRA, Paris, 375 p.

- Baraloto C., Morneau F., Bonal D., Blanc L. et Ferry B., 2007. Seasonal water stress tolerance and habitat associations within four Neotropical tree genera. *Ecology* 88 (2): 478-489.
- Barbault R., 1995. Ecologie des peuplements. Structure et dynamique de la biodiversité. Masson, Paris, 2ème tirage. 273 p.
- Bar-Hen A., 2001. Probabilité et statistique pour le DEA de Biosciences. Cours universitaire, inédit, Université Aix-Marseille III, 91p.
- Bar-Hen A., 1998. Quelques méthodes statistiques pour l'analyse des dispositifs forestiers. 110 p. Série FORAFRI.
- Barnard R.C., 1955. Recruitment, survival and growth of timber-tree seedlings in natural tropical rain forest. *The Malayan Forester* XIX(3): 156-161.
- Bawa K.S. et Krugman S.L., 1991. Reproductive biology and genetics of tropical trees in relation to conservation and management. Paris, France, M.A.B. / UNESCO. Vol6: 119-157.
- Bayol N. et Borie J.M., 2004. Itinéraires techniques d'aménagement des forêts de production en Afrique centrale. *Bois et Forêts des Tropiques*, 281 (3) : 35-49.
- Bellefontaine R. et Gamène C.S., 1998. Prétraitements de graines: quand et comment? *In: Ouédraogo A.S. et Boffa J.M. (eds). Vers une approche régionale des ressources génétiques forestières en Afrique Sub-Saharienne* Pp. 155-160. Actes du premier atelier régional sur la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques forestières en Afrique de l'Ouest, Afrique Centrale et Madagascar. Centre National de Semences Forestières, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Bertault J.G., Dupuy B. et Maitre H.F., 1992. Recherches sylvicoles pour un aménagement durable en forêt humide. *In: Congrès IUFRO, Berlin, RFA*, 16p.
- Bertault J.G., 1986. Etude de l'effet d'interventions sylvicoles sur la regeneration naturelle au sein d'un périmètre expérimental d'aménagement en forêt dense humide de Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, Université de Nancy, 254 p.

- Blanc L., Flores O., Molino JF., Gourlet F.S. et Sabatier D., 2003. Diversité spécifique et regroupement d'espèces arborescentes en forêt guyanaise. *Revue Forestière Française* 55, 131-146.
- Blondel J., 1995. *Biogéographie : approche écologique et évolution*. Ed. Masson, Paris, 297p.
- Boahene K., 1998. The Challenge of Deforestation in Tropical Africa : Reflections on its principal causes, consequences and solutions. *Land Degradation and development*, 9, 247-258.
- Bock L., 2002. Teaching operational pedology in an agricultural university. Bangkok: 17th world congress of soil science, WCSS symposium n° 56, paper, 1624: 1-8.
- Bock L., 1996. Le sol dans tous ses états. Arguments de pédologie opérationnelle. Arlon: séminaire « Echantillonnage et Environnement »; 26-27 février, 11-37.
- Bock L., 1994. Analyses de sols et gestion de l'espace. Plaidoyer pour leur cadrage géomorphopédologique dans les projets, expertises et services de conseil. *Etude et gestion des sols*, 1, 23-33.
- Bogaert J. et Mahamane A., 2005. Ecologie du paysage: Cibler la configuration et l'échelle spatiale. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin* 7 : 36-68.
- Boissezon de P., Moureaux C., Bocquel G. et Bachelier G., 1973. Les sols ferrallitiques. Tome IV. La matière organique dans les sols ferrallitiques. Orstom, Paris, *Initiation-Documentations techniques* n° 21, 146p.
- Boix Fayos C., 1997. The roles of texture and structure in the water retention capacity of burnt Mediterranean soils with varying rainfall. *Catena*, 31: 219-236.
- Bokdam J., 1977. Seedling morphology of some african Sapotaceae and its taxonomical significance. *Meded. Landbouwhogeschool Wageningen* 77 (20): 1-84.

- Bolendjele W., Risasi E. et Kitambala V., 2013. *Limites des pratiques ancestrales de la conservation de l'environnement*. Revue de l'IRSA (Institut de Recherches Sociales Appliquées, FSSAP, UNIKIS), Vol. 19 : 167-181.
- Bono A., 1981. Multiplication des semences vivrières tropicales. Presses Universitaires de France, 415p.
- Botula Y.D., Cornelis W.M., Baert G. et Van Ranst E., 2012. Evaluation of pedotransfer functions for predicting water retention of soils in Lower Congo (DR Congo). *Agricultural Water Management*, 111: 1-10.
- Boulaine J., 1967. Classification des sols. Paris: Commission de pédologie et de cartographie des sols, édition 1967, 96p.
- Boulet R., Pessenda L., Melfi A. et Melfi E., 1995. Une évaluation de la vitesse de l'accumulation superficielle de matière par la faune du sol à partir de la datation des charbons et de l'humine du sol. Exemple des latosols des versants du lac Campestre, Salitre, Minas Gerais, Brésil. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 320: 287-294.
- Bouvarel P., 1994. La diversité biologique: Notion ambiguë. *Revue Forestière Française*. XLVI : 46-48.
- Bouyer S., 1971. Etudes sur la fertilisation phosphatée des sols en Afrique tropicale et Madagascar. *Phosphore et Agriculture* 57 : 1-12.
- Boyemba F., 2011. Ecologie de *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée. Thèse de Doctorat, Université Libre des Bruxelles, 181p.
- Boyer J., 1982. Les sols ferrallitiques : facteurs de fertilité et utilisation des sols. Paris: ORSTOM édit. Tome X, 3e trimestre, 384p.
- Boyle T.J.B. et Sayer J.A., 1995. Measuring, monitoring and conserving biodiversity in managed tropical forest. *Commonwealth Forestry Review*, 74 (1): 20-25.

- Bray R.H. et Kurtz L.T, 1954. Determination of soil, organique and available forms of P in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bultot F., 1977. Atlas climatique du bassin zaïrois. IVe: pression atmosphérique, vent en surface et en altitude, température et humidité de l'air en altitude, nébulosité et visibilité, classification climatique, propriétés chimiques de l'air et des précipitations. Bruxelles: Publ. INEAC., hors sér., 344 cartes, 11 figures et 35 tableaux.
- Bultot F., 1972. Atlas climatique du bassin congolais. IIIe partie: température et humidité de l'air, rosée, température du sol. Bruxelles: Publ. INEAC., hors sér., 278 cartes, 7 figures et 8 tableaux.
- Bultot F., 1971b. *Atlas climatique du bassin congolais. IIe partie: les composantes du bilan d'eau.* Bruxelles: Publ. INEAC., hors sér., 170 cartes, 19 figures et 19 tableaux.
- Bultot F., 1971a. *Atlas climatique du bassin congolais. Ie partie: les composantes du bilan de rayonnement.* Bruxelles: Publ. INEAC., hors sér. 104 cartes, 26 figures et 8 tableaux.
- Burgess N., Küper W., Mutke J., Brown J., Westaway S., Turpie S., Meshack C., Tapling J., McClean C. et Lovett J.C., 2005. Major gaps in the distribution of protected areas for threatened and narrow range Afrotropical plants. *Biodivers Conserv* 14:1877-1894.
- Bütler R., 2000. Analyse de la distribution spatiale d'objets dans un paysage. Fiche d'enseignement. Laboratoire de gestion des écosystèmes (GECOS), Lausanne, 18 p.
- Cahen L., 1954. Géologie du Congo belge. Liège: H. Vaillant-Carmanne s.a. 557p.
- Calembert J., 1995. Gestion des sols en régions chaudes (contribution au cours de pédologie tropicale). Gembloux, Belgique, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, (inédit), 28p.

- Callot G., Chamayou H., Maertens C. et Salsac L., 1982. Mieux comprendre les interactions Sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. INRA, Paris, 305p.
- Calvet R., 2013. Le sol (2^e édition). Editions France Agricole. Collection Agriproduction, Paris, 678 pages + figures en couleurs.
- Camargo N.M. et Rodrigues T.E., 1979. Guia de excursão. XVII congresso brasileiro de ciencia do solo. Brésil: Manaus: Embrapa-Jardim Botânico, Rio de Janeiro, 79p.
- Canham C.D., 1989. Different responses to gaps among shade-tolerant tree species. *Ecology* 70: 548-550.
- CBOL, 2009. A DNA barcode for land plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 106: 12794-12797.
- Chapman L.J., Chapman C.A. et Wrangham R.W., 1992. *Balanites wilsoniana*: elephant dependent dispersal? *J. Trop. Ecol.* 8: 275-283.
- Chauvel A., Andreux F., Cerri C. et Lucas Y., 1989. Superficial evolution of Amazonian bauxite deposits. *Comité International pour l'étude de la bauxite, d'alumine, d'aluminium (ICSOBA)*, 19: 45-53.
- Chauvet N. et Olivier L., 1993. La biodiversité, enjeu planétaire. Préserver notre patrimoine génétique. Ed. Sang de la Terre, France, 416 p.
- Chave J., Muller-Landau H. et Levin, S.A., 2002. Comparing classical community models: theoretical consequences for patterns of diversity. *The American Naturalist*, 159: 1-23.
- Chave J., 2001. Spatial patterns and persistence of woody plant species in ecological communities. *The American Naturalist*, 157: 51-65
- Chave J., 2000. Dynamique spatio-temporelle de la forêt tropicale. Thèse de doctorat. *Ann. Phys. Fr.* 25 No 6, 186 p

- Chen Z-S., Hsieh C-F., Jiang F-Y., Hsieh T-H. & Sun I-F., 1997. Relations of soil properties to topography and végétation in a subtropical rain forest in southern Taiwan. *Plant Ecology* 132(2): 229-241.
- Chuyong G.B., Condit R., Kenfack D., Losos E., Sainge M., Songwe N.C. et Thomas D.W., 2004. Korup Forest Dynamics Plot, Cameroon. Chapter 29 in: Losos, E.C. et E.G. Leigh, Jr., éd., *Forest Diversity and Dynamism: Findings from a network of large-scale tropical forest plots*. University of Chicago Press, Chicago, IL. SIMAB Series 7. Smithsonian Institution Monitoring and Assessment of Biodiversity Program. Washington, D.C.
- Clark D.B., Clark D.A. et Read J.M., 1998. Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a Neotropical rain forest. *Journal of Ecology* 86: 101-112.
- Clark D.B., Palmer M.W. et Clark D.A., 1999. Edaphics factors and the landscape-scale distributions of tropical rain forest trees. *Ecology* 80: 2662-2675.
- Clark P.J et Evans F.C., 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 35 : 445-453.
- Clément J., 1991. L'arbre, les espèces tropicales menacées : nature et importance des menaces, mesures conservatoires, France, ONF, Bulletin technique, 21 : 11-17.
- Collinet F., 1997. Essai de regroupements des principales espèces structurantes d'une forêt dense humide d'après l'analyse de leur répartition spatiale (Forêt de Paracou – Guyane). Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I, 203 p.
- Collingham Y.C. et Huntley B., 2000. Impacts of habitat fragmentation and patch size upon migration rates. *Ecological Applications* 10 : 131-144.
- Comita L., Condit R. et Hubbell S.P., 2007. Developmental changes in habitat associations of tropical trees. *Journal of Ecology* 95 : 482-492.
- Condit R., Ashton P., Baslev H., Brokaw N., Bunyavejchewin S., Chuyong G., Co L., Dattaraja H.S., Davies S., Esufali S., Ewango C.E.N., Foster R., Gunatileke

- N., Gunatilleke S., Hernandez C., Hubbell S., John R., Kenfack D., Kirakiprayoon S., Hall P., Hart T., Itoh A., Lafrankie J., Liengola I., Lagunzad D., Lao S., Losos E., Magard E., Makana J., Manokaran N., Navarette H., Mohammed Nur S., Okhubo T., Pérez R., Smaper C., Hua Seng L., Sukumar R., Svenning J.C., Tan S., Thomas D., Thomson J., Vallejo M., Villa Muñoz G., Valencia R., Yamakura T. et Zimmerman J., 2005. Tropical tree alpha-diversity: results from a worldwide network of large plots. *Biol Skr* 55:565-582.
- Condit R., 1995. Research in large, long-term tropical forest plots. *Trends in Ecology and Evolution* 10 (1): 18-22.
- Condit R., Ashton P.S., Baker P., Bunyavejchewin S., Gunatilleke S., Gunatilleke N., Hubbell S.P., Foster R.B., Itoh A., LaFrankie J.V., Lee H.S. et Losos E., 2000. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science* 288 : 1414-1418.
- Cottam G. et Curtis J.T., 1956. The use of distance measurements in phytosociological sampling. *Ecology* 37: 451-460.
- Coulter J.K., 1972. Soils of Malaysia - A review of investigations on their fertility and management. *Soils and fertilizers*, 35 (5): 475-498.
- Couralet C., 2010. Species-Specific Growth Responses to Climate Variations in Understory Trees of a central African Rain Forest. *Biotropica*, 2: 1-9.
- Cornillon P.A., Guyader A., Husson F., Jegou N., Josse J., Kloareg M., Martzner-Lober E. et Rouviere L., 2008. *Statistiques avec R : Pratique de la statistique*. Presses Universitaires de Rennes, 257 p.
- Cressie N.A., 1993. *Statistics for spatial data*. J. Wiley & Sons, New York, 900 p.
- Dabin B., 1981. Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. *Cah. Orstom & Pedol.* 18 (3-4): 197-215.
- Dabin B., 1961. Les facteurs de la fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. *Bull. Ass. Fr. Etu. Sol., n° spécial*, 108-130.

- Davis S.D., Heywood V. H. et Hamilton A.C., 1994. Centers of plant diversity a guide and strategy for their conservation. Vol 1.
- De Henzeillin J., 1952. Sols paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord du bassin du camp, publ. INEAC, 1968 p.
- De La Mensbrugue G., 1966. La germination et les plantules des essences arborées de la forêt dense humide de la côte d'Ivoire. CTFT/Cirad, Norgent-sur-Marne, 382p.
- 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.
- De Wasseige C., Devers D., De Marcken P., Eba'A Atyi R., Nasi R. et Mayaux Ph. (Eds), 2009. Les forêts du Bassin du Congo – Etat des forêts 2008. Office des publications de l'union européenne, pp. 115 - 128.
- Debroux L., 1998. L'aménagement des forêts tropicales fondé sur la gestion des populations d'arbres : l'exemple du moabi (*Baillonella toxisperma* Pierre) dans la forêt du Dja, Cameroun, Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences agronomiques, Gembloux, 283 p.
- Delvingt W., 1996. La chasse villageoise : Synthèse régionale des études réalisées durant la première chasse du programme ECOFAC au Cameroun, au Congo et en République centrafricaine. Rapport Ecofac, Agreco/cirad-forêt, 73 p.
- Dethier M., 1995. Etude chasse. Rapport Ecofac-Cameroun, Agreco/cirad-forêt.
- Devers D. et Van Weghe J.P., (Eds) 2007. Les forêts du Bassin du Congo – Etat des forêts 2006. PFBC, ISBN 978-90-788-2701-6, 256p.
- Djegui N., De Boissezon P. et Gavinelli E., 1992. Statut organique d'un sol ferrallitique du Sud-Bénin sous forêt et différents systèmes de cultures. *Cah. Orstom, sér. Pédol., vol. XXVII, no 1: 5-22.*

- Djibu K., 2007. - Evaluation de l'état de la fragmentation des forêts au Katanga. Mémoire DEA, ULB, 85p.
- Dorioz J.-M., Trevisan D. et Vansteelant J.-Y., 1995. Séminaire, Mec. tp. 249-274 ; in Riou, C. ; Bonhomme, R. ; Chassin, P. ; Neveu, A. et Papy, F. (éd.), 1997. L'eau dans l'espace rural. Production végétale et qualité de l'eau, coll. Universités francophones, éd. INRA, Paris.
- Doucet J.-L., 2003. L'alliance délicate de la gestion forestière et de biodiversité dans les forêts du centre du Gabon. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, Gembloux, 323p.
- Doumbia F., 1994. Plantations d'espèces forestières en mélange en zone de forêt humide au Cameroun. Abidjan, Côte d'Ivoire, IDEFOR, 25p.
- Doumenge C., 1992. La réserve de Conkouati: Congo, le secteur Sud-ouest. UICN, Chevron, Gland-Suisse, 213 p.
- Doumenge C., 1990. Contribution à l'étude des structures de populations d'arbres des forêts d'Afrique Centrale (exemples du Gabon, Cameroun et Congo). Thèse Doctorat, Montpellier, 272 p.
- Drechsel P., Steiner K.G. et Hagerdon F., 1996. A review on the potential of improved fallows and green manure in Rwanda. Agroforestry syst., 33 : 109-136.
- Duchaufour Ph., 2001. Précis de pédologie. Paris: Masson Edit., 2e édit., 481p.
- Duchaufour Ph., 1991. Abrégé de pédologie, sol, végétation, environnement. Masson, Paris, 291p.
- Duchaufour Ph., 1988. Abrégés de pédologie, Masson, Paris, 224p.
- Duchaufour Ph., 1977. - 1. Pédogenèse et classification. In Pédologie, sous la direction de Ph. Duchaufour et B. Souchier, Masson, Paris, 477 p.
- Dupriez H. et De Leener P., 1990. Les chemins de l'eau. Ruissellement, irrigation, drainage. Manuel tropical, coll. Terres et vie, L'Harmattan/ Enda, Paris/ Dakar.

- Dupuy B., 1989. Plaidoyer pour le reboisement dans les zones tropicales humides. *Bois et Forêt des Tropiques*. 221 :32-42.
- Dupuy B., 1990. Essais de comportement en plantation de 58 espèces ivoiriennes de forêts denses humides : résultats à 10 ans. Abidjan, Côte d'Ivoire, CTFT., 59p.
- Dupuy B., 1998. Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine. Série FORAFRI/CIRAD, Document 4, 305 p.
- Durrieu De Madron L., 1994. Mortalité des arbres en forêt primaire de Guyane française. *Bois et Forêts des Tropiques*, 239 : 43-57.
- Dutech C., Maggia L., Tardy C., Joly H. et Jarne P., 2003. Tracking a genetic signal of extinction-recolonization events in a neotropical tree species: *Vouacapoua Americana* Aublet in French Guiana. *Evolution* 57 : 2753-2764.
- Dutrève B., Julliot C. et Brunaux O., 2001. Biodiversité et aménagement forestier en Guyane : approche méthodologique. *Bois et Forêts des Tropiques* 269(3) : 65-75.
- Eckstein D., Sass U. et Bass P., 1995. Growth Periodicity in tropical trees, *IAWA Journal*, 16 (4): 323-442.
- Evrard C., 1968. Recherches écologiques sur le peuplement forestier des sols hydromorphes de la Cuvette centrale congolaise. Publications INEAC, série scientifique 110, 295 p.
- Fahem A.K., 1978. Géologie, sols et végétation en République du Zaïre. Atlas de la République du Zaïre. Paris: édit. j.a. (IGN), 12-13, 20-21 et 22-23.
- Fahrig L., 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 34: 487-515.
- FAO, 2009. Situation des forêts du monde. FAO, Rome, 152 p. <http://www.fao.org>.
- FAO, 2007. - Situation des Forêts du monde 2007. Rome 2007, 143 p. (site internet : <http://www.fao.org/docrep/009/a0773f/a0773f00.HTM>).
- FAO, 1992. Numéro spécial « Développement durable », *unasyva* 169.

- Favrichon V., Gourlet-Fleury S., Bar-Hen A. et Dessard H., 1998. Parcelles permanentes de recherche en forêt dense tropicale humide. Eléments pour une méthodologie d'analyse des données. CIRAD-Forêt Campus International de Baillarguet, BP 5035, 34032 Montpellier cedex 1, France, 73 p.
- Favrichon V., 1995. Modèle matriciel déterministe en temps discret : application à l'étude de la dynamique d'un peuplement forestier tropical humique (Guyane française). Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon 1, 252 p.
- Feller C., 1994. La Matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments fonctionnels. Une approche granulométrique, Paris, ORSTOM, 393p.
- Fickinger H., 1992. Zur Verjüngung einiger Wirtschaftsbaumarten in selektiv genutzten Feuchtwäldern der Republik Kongo. Thèse de doctorat Georg-August-Universität Göttingen, 191 p.
- Fitzpatrick E.A., 1983. *Soils. Their formation, classification and distribution*. Longman, London, 353p.
- Flore du Congo Belge et du Rwanda-Urundi, 1952. Spermatophytes, vol. III, INEAC, pp 428- 432.
- Ford-Robertson F.C., 1977. Terminology of Forest Science Technology Practice and products (with Addendum Number One by Winters R.K., ed.). Society of American Foresters, Washington DC. 370p.
- Froment A. et Bahuchet S., 2003. L'homme suit-il les forêts ? La Recherche ; hors serie n° 11 – La terre.
- Frontier S. et Pichod-Viale D., 1993. Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution Collection d'écologie 21. Masson, Paris, 2 ed. 447 p.
- Gachon L. et Triboi E., 1982. Etude de méthodes d'appréciation de la fertilité phosphorique du sol. II. Détermination du phosphore labile du sol. Ann. Agron.

- Gachon L., 1969. Les méthodes d'appréciation de la fertilité phosphorique des sols. *Bulletin de l'association Française de l'Etude du sol* 4 : 17-31.
- Gartlan S., Newbery D.M., Thomas D.W. et Waterman P.G., 1986. The influence of topography and soil phosphorus on the vegetation of Korup Forest reserve, Cameroon. *Vegetation* 65: 131-148.
- Gavin D.G. et Peart D.R., 1997. Spatial structure and regeneration of *Tetramarista glabra* in peat swamp rain forest in Indonesian Borneo. *Plant Ecology* 131: 223-231.
- Gentry A.H., 1988b. Trees species richness of upper Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 85: 156-159.
- Gentry A.H., 1988a. Change in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 75: 1-34.
- Geodata, 1994. Grand atlas mondial. Paris, édit. Solar., 222 p.
- Gervy R., 1970. Les phosphates et l'agriculture, coll. Problèmes de l'entreprise agricole, Dunod, Paris, 273p.
- Gilarowski J., 2002. La déforestation en Afrique centrale. Les facteurs de la dégradation des forêts denses humides équatoriales dans la République démocratique du Congo. Editions Académiques DIALOG, Varsovie, 80 p.
- Gillet J-F., Augiron K., Doucet J-L., Dethier M., Ntchandi otimbo P.A. et Boubady A-G., 2003b. Evaluation des zones d'intérêt biologique et délimitation du secteur de conservation : Compagnie des Bois du Gabon (CBG), UFA de Rabi-Mandji. Rapport de mission, Nature plus, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, 42p.
- Gillet J-F., Doucet J-L., Ntchandi otimbo P.A. et Boubady A-G., 2003a. Evaluation des zones d'intérêt biologique et délimitation du secteur de conservation : Compagnie des Bois du Gabon (CBG), UFA de Mayumba. Rapport de mission

- nature plus, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, 50p.
- Girard J.C. et Sigala P., 1991. Les principales formations végétales. Bois et Forêts des Tropiques 229 : 15-22.
- Gonzalez M.A., 2009. Etude de la diversité spécifique et phylogénétique de communautés de plantes ligneuses en forêt tropicale : Apport des séquences ADN dans l'identification des espèces et l'étude des communautés. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse III, 277p.
- Goreaud F., 2000. Apports de l'analyse de la structure spatiale en forêt tempérée à l'étude et la modélisation des peuplements complexes. Thèse de doctorat en Sciences forestières, ENGREF, 362 p.
- Gourlay I.D., 1995. The definition of seasonal growth zones in some African *Acacia* spp. A Review. IAWA Journal, Vol. 16 (4): 353- 359.
- Grieser Johns A., 1997. Timber production and biodiversity conservation in tropical rain forests. Cambridge University Press, 289p.
- Grubb P.J., 1977. The maintenance of species richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. *Biol. Rev.* 52 : 107-145.
- Guillaumet J.L. et Kahn F., 1979. Description des végétations forestières tropicales. Approche morphologique et structurale. *Candollea*. 34 (1): 109-131.
- Hall J.B. et Swaine M.D., 1981. Distribution and ecology of vascular plants in a tropical rain forest. Forest vegetation in Ghana. D.R.W. Junk, The Hague, Geobotany 1 : 383p.
- Hall J.S., McKenna J.J., Ashton P.M.S. et Grégoire T.G., 2004. Habitat characterizations underestimate the role of edaphic factors controlling the distribution of *Entandrophragma*. Ecological Society of America, *Ecology* 85(8): 2171-2183.
- Halle F., 2004. Architectures de Plantes. JPC Edition, 162 p.

- Hallé F., Oldeman R. A. A. et Tomlinson P. B., 1978. *Tropical Trees and Forests – An architectural analysis*. Springer Verlag, 441 p.
- Hammer O., Harper D.A.T. & Ryan P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 p.
- Hansen M.C., Roy D.P., Lindquist E., Adusei B., Justice C.O. et Altstatt A., 2008. A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. *Remote Sensing of Environment*, 112(5): 2495- 2513.
- Hardy O.J et Sonké B., 2004, Spatial pattern analysis of tree species distribution in a tropical rain forest of Cameroon: assessing the role of limited dispersal and niche differentiation. *Forest Ecology and Management* 197: 191-202.
- Harms K.E., Condit R., Hubbel S.P. et Foster R., 2001. Habitat associations of trees and shrubs in a 50-ha neotropical forest plot. *Journal of Ecology* 89: 947-959.
- Hawthorne W.D., 1995. *Ecological profiles of Ghanaian forest trees*. Tropical Forestry Papers 29. Oxford Forestry Institute, Oxford, UK.
- He F., Legendre P. et Lafrankie J., 1997. Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest. *Journal of Vegetation Science*, vol. 8, n°1 : 105 – 114.
- Henry J., 1951. *Les bases théoriques des essais de paysannat indigène entrepris par l'INEAC au Congo belge*. Bruxelles: Minist. des colonies. Publ. Direct. Agr. Elev. et Colon., 31p.
- Henry J., 1947. *Le ravitaillement des populations de la zone équatoriale forestière et la conservation du sol. Yangambi: C.R. de la semaine agricole de Yangambi en 1947*. Publication INEAC., 307-329.
- Hladik A. et Miquel S. 1990. Seedling types and plant establishment in an african rain forest. In: Bawa K.S. & Hadley M. (eds). *Reproductive ecology of tropical*

- forest plants. MAB series vol. 7. Unesco/The Parthenon Publishing Group, Paris, 261-282.
- Högberg P., 1992. Root symbioses of trees in African dry tropical forests. *Journal of Vegetation Science* 3: 393-400.
- Högberg P., 1986. Soil nutrient availability, root symbioses and tree species composition in tropical Africa: a review. *Journal of Tropical Ecology* 2: 359-372.
- Horgnies M., 1983. Contribution à l'étude de la fertilité potentielle des sols alluviaux au Shaba – Périmètre de Mangombo, Zaïre. Gembloux, Belgique, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques (TFE), 99p.
- Howe H.F. et Miriti M.N., 2004. When Seed Dispersal Matters. *BioScience* 54(7): 651-660.
- Hubbell S.P., 2001. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Hubbell S.P., 1979. Tree dispersion, abundance and diversity in tropical dry forest. *Science* 203: 1299-1309.
- Ilonga B.P., Risasi E.L. et Kombele B.F., 2014. Contribution de la matière organique et de l'argile à la stabilité structurale du sol en conditions de la fragmentation forestière à Yangambi, RD. Congo. *Revue de CRIDUPN*, Vol 059b (2014) Avril – juin 2014, Presses de l'Université Pédagogique Nationale (PUPN) 257-271.
- INS, 2009. Bulletin des statistiques générales, 2ème trimestre 2009, 39p.
- Iyongo L., 2007. Etude des effets de lisière sur les rongeurs dans la Réserve Forestière de Masako. Mémoire DEA, ULB, Belgique, 88 p + 24 pages Annexes.
- Janz K., 1993. Evaluation des ressources forestières mondiales en 1990 : Vue d'ensemble. *Unasylva*. 44 (174) : 3-10.

- Jesel S., 2005. Ecologie et dynamique de la régénération de *Dicorynia guianensis* (Caesalpiniaceae) dans une forêt guyanaise. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Pris-Grignon, 288 p.
- Johnston M.H., 1992. Soil-vegetation relationship in a tabonuco forest community in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Journal of Tropical Ecology* 8: 253-263.
- Jones M.M., Tuomisto H., Clark D.B. et Olivas P., 2006. Effects of mesoscale environmental heterogeneity and dispersal limitation on floristic variation in rain forest ferns. *Journal of Ecology* 94 (1): 181-195.
- Josens G., 2009. Notes consacrées à l'échantillonnage et traitements statistiques de données biologiques + usage pratique d'Excel et Statistica. Université Libre de Bruxelles. Faculté des sciences, département de biologie des organismes. Service de systématique et d'écologie animale, pp 24-28.
- Juo A.S.R., 1981. Chemical characteristics "in" Characterisation of soils. Greenland D. J. (Ed). Clarendon Press, Oxford, 51-79.
- Kahindo M.J-M., 2011. Potentiel en Produits Forestiers Autres que le Bois d'œuvre dans les formations forestières de la région de Kisangani. Cas des rotins *Eremospatha haullevilleana* De Wild. et *Laccosperma secundiflorum* (P. Beauv.) Kuntze de la Réserve Forestière de Yoko (Province Orientale, RD. Congo). Thèse de doctorat, UNIKIS, 269p.
- Kambale K., 2007. Analyse de la structure spatiale d'un paysage dans la région forestière de Yangambi, RD Congo. Mémoire DEA, Fac des Sciences, UNIKIS, 93p.
- Kapos V., Wandelli E., Camargo J.L. et Ganade G., 1997. Edge-related changes in environment and plant responses due to forest fragmentation in central Amazonia. Pages 33-44 in R. O. Bierregaard, Jr., editor. *Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.

- Kauffman S., Sombroek W. et Mantel S., 1998. Soils of rainforests: Characterization and major constraints of dominant forest soils in the humid tropics. *In*: Schulte A. et Ruhayat D. (Ed), Soils of tropical ecosystems: Characteristics, Ecol Manag. Springer, Berlin.
- Kearney, M., 2006. Habitat, environment and niche: what are we modelling? *Oikos*, 115 : 186–191.
- Koffi K.J., 2008. Analyse des structures spatiales des données de distribution phytogéographique des Acanthaceae en Afrique centrale. Thèse de doctorat, Université Libre des Bruxelles, 255p.
- Kombele F.B.M., 2004. Diagnostic de la fertilité des sols dans la cuvette centrale congolaise : cas des séries Yangambi et Yakonde. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, 421p.
- Kombele F.B.M., 2002. Caractéristiques pédologiques comparées de termitières sous forêts primaires du plateau de Yangambi en cuvette centrale congolaise. Bruxelles: *Tropicultura*, 20 (2):76-82.
- Kombele F.B.M., 1998. Evaluation de l'état de fertilité de sols sous forêts primaires et différentes jachères dans la cuvette centrale congolaise: cas du secteur de Yangambi. Gembloux, Belgique, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques (travail de maîtrise), 83p.
- Kononova M.M., 1966. - Soil Organic Matter. Pergamon Press Ltd, Oxford, 544 p.
- Köppen W., 1936. *In*: Köppen W. & Geiger R. (Eds). Das geographische system der klimate. Handbuch der klimatologie, Berlin.
- Kouka L.A., 2002. Recherches sur la flore, la structure et la dynamique des forêts du Parc national d'Odzala (Congo-Brazzaville). *Acta Bot. Gallica* 149 (2): 225-235.
- Kouob B.S., 2009. Organisation de la diversité végétale dans les forêts matures de terre ferme du sud-est Cameroun. Thèse de doctorat, Université Libre des Bruxelles, 194p.

- Kubo T., Kohyama T., Potts M.D et Ashton P.S., 2000. Mortality rate estimation when inter-census intervals vary. *Journal of Tropical Ecology*, 16(5): 753 – 756.
- Kupper A., Grohman F. et Gargantini H., 1963. Movimentos de ions NO_3^- , NH_4^+ , K^+ , PO_4^{3-} em solos Massapé, Roxa Misturada e Arenito de Bauru. Instituto Agrônomo de Campinas, Boletim, 34: 1-3.
- Kyereh B., Swaine M.D. et Thompson J., 1999. Effect of light on the germination of forest trees in Ghana. *Journal of Ecology*, 87: 772-783.
- Lal R., 1996. Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. I. Soil physical and hydrological properties. *Land degradation & development* 7: 19-45.
- Landon J.R., 1991. Booker tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in tropics and subtropics. New York: Longman scientific & Technical, John Wiley and sons, Inc., 474p.
- Lanly J., 1981. Manual of forest inventory. FAO Forestry Paper 27, 200p.
- Laudelout H., 1990. La jachère forestière sous les tropiques humides. Chimay : Publication UCL., Unité des Eaux et Forêts, CRF., 85 p.
- Laurance W.F., Ferreira L., Rankin-de merona J. et Laurance S.G., 1998. Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. *Ecology*, 79: 2032-2040.
- Leary R.A., 1985. Interaction theory in forest ecology and management. Martinus Nijhoff/Junk/Kluwer Academic, Dordrecht. 219p.
- Lebrun J. et Gilbert G., 1954. Une classification écologique des forêts du Congo. Publ. INEAC, Série Sc. N° 63 : 89 p.
- Lebrun J., 1936. Répartition de la Forêt Equatoriale et des Formations Végétales Limitrophes. Ministère des Colonies, Publication de la Direction Générale de l'Agriculture et de l'Elevage, 7 place royale, Bruxelles.

- Lebrun J-P. et Stork A.L., 2008. Tropical African Flowering Plants: Ecology and Distribution. Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, Vol. 4 – Fabaceae, 291 p.
- Lee H.S., Davies S.J., LaFrankie J.V., Tan S., Yamakura T., Itoh A. et Ashton P.S. 2002. Floristic and structural BS 55 579 diversity of 52 hectares of mixed dipterocarp forest in Lambir Hills National Park, Sarawak, Malaysia. *J. Trop. Forest Sci.* 14: 379-400.
- Leemans R., 1991. Canopy gaps and establishment pattern of spruce (*Picea abies*, L Karst) in two old-growth coniferous forest in central Sweden. *Vegetatio* 93: 157-165.
- Leigh E.G.P, Davidar C.W., Dick J.P, Puyravaud J., Terborgh H., ter Steege et Wright S.,J., 2004. Why do some tropical forests have so many species of trees? *Biotropica* 36: 447-473.
- Lejoly J., 1993. Méthodologie pour les inventaires forestiers (partie flore et végétation). Rapport Ecofac, Agreco/Cirad-forêt, 53 p.
- Léonard J., 1953. Les forêts du Congo belge. Les naturalistes belges, tome XXXIV, n° 3-4, 53-65p.
- Letouzey R., 1982. Manuel de Botanique forestière. Afrique tropicale. Tome 1, Botanique générale, Centre Technique Forestier Tropical, Nogent s/Marne, 458 p.
- Lewis S.L., Phillips O.L., Sheil D., Vincenti B., Baker T.R., Brown S., Graham A.W., Higuchi N., Hilbert D.W., Laurance W.F., Lejoly J., Malhi Y., Monteagudo A., Nunez Vargas P., Sonke B., Nur Supardi M.N., Terborgh J.W. et Vasquez Martinez R., 2004c. Tropical forest tree mortality, recruitment and turnover rates: calculation, interpretation and comparison when census intervals vary. *Journal of Ecology*, 92(6):929-944.
- Linder P.H., 2001. Plant diversity and endemism in sub-Saharan tropical Africa. *J Biogeogr* 28:160–182.

Masumbuko N.C., Mangambu M.J-D et Nyakabwa M D-S., 2008. Distribution spatiale de *Syzygium guineense* (willd.) Dc (*Myrtaceae*) dans le parc national de Kahuzi-Biega (secteur de Nyamuhambazatshivanga) en zone de haute altitude, à l'est de la République Démocratique du Congo. Cahiers du CERUKI. Nouvelle Série 36 : 59-63.

Mathieu L., 1988. Contribution à l'établissement d'un plan directeur d'aménagement intégré du bassin de la Gambie. Gembloux: rapport de première phase du projet OMVG-AGCD-CIUF; 164p.

Mathieu C. et Pieltain F., 2003. Analyse chimique des sols. Méthodes choisies. Édition Technique et Documentation, Paris, pp.41.

Maudoux, 1958. Nouvelle technique d'enrichissement des forêts denses hétérogènes : la plantation par placeaux denses espacés. CCTA/CSA, Pointe Noire.

Maury-Lechon G. et Poncy O., 1986. Dynamique forestière sur 6 hectares de forêt dense humide de Guyane française, à partir de quelques espèces de forêt primaire et de cicatrisation. C.R. "Vertébrés et forêts tropicales d'Afrique et d'Amérique", Paris, Décembre 1982, Mémoire Musée National d'Histoire Naturelle, Paris, série A, Zoologie, 132: 211-242.

Mayaux P., Bartholomé E., Massart M., Vancutsem C., Cabral A., Nonguierma A., Diallo O., pretorius C., Thompson M., Cherlet M., Pekel J.F., Defourny P., Vasconcelos M., Di Gregorio A., Fritz S., De grandi G., Elvidge C., Vogt P. et Belward A., 2003. A land Cover Map of africa - carte de l'occupation du sol de l'Afrique, EUR 20665, En (European Commission, Luxembourg), 20p.

Mayaux P., Achard F. et Malingreau J.P., 1998. Global tropical forest area measurements derived from coarse resolution satellite imagery a comparison with other approaches. Environmental Conservation, 25 : 37-52.

Maydell V.H.-J., 1983. Arbres et arbustes du Sahel. Leurs caractéristiques et utilisations. Schriftenreihe der G.T.Z. (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), no 147, Eschborn, Allemagne.

- Maitre H-F, 1991. Silvicultural interventions and their effects on forest dynamics and production in some rain forests of Côte d'Ivoire. In: Gomez-Pompa A. *et al.* (Eds). Rain forest regeneration and management. MAB Series vol. 6, UNESCO/The Parthenon Publishing Group, 383-392.
- Maitre H-F., 1986. Dynamique et production des peuplements naturels de forêt dense humide en Afrique. *Bois For. Trop.* 213 : 3-12.
- Makana J-R., Hart T.B., Liengola I., Ewango C., Hart J.A. et Condit R., 2004. Ituri forest dynamics plot, Democratic Republic of Congo. In: Losos EC, Leigh Jr EG (eds) *Forest diversity and dynamism: findings from a large-scale plot network*. University of Chicago Press, Chicago, pp 492-505.
- Mambani B., 1987. Impact du défrichement par brûlis sur la dynamique physique d'un ferralsol en zone équatoriale. *Ann. Fac. Agron. Yangambi*, vol (1) 1-12.
- Manil G., 1953. Quelques observations et réflexions sur la biodynamique du sol en conditions équatoriales. Gembloux: *Bull. Inst. Agron. & Stat. Rech.*, tome XXI, n° 1-2 : 113-155.
- Manlay R., 2000. Dynamique de la matière organique dans un terroir agro-pastoral de savane Ouest-Africain (Sud-Sénégal), Thèse de doctorat 192p.
- Mariaux A., 1970. La périodicité des cernes dans le bois de l'Okoumé. *Bois et Forêts des tropiques*, 131:37-50.
- Mariaux A., 1969. La périodicité des cernes dans le bois de Limba. *Bois et Forêts des tropiques*, 128 : 39-54.
- Marschner H., 1995. *Mineral nutrition in higher plants*. Academic Press, London, 267p.
- Masse D., Dembele F., Le Floc'h E et Yossi H., 1998. Impact de la gestion des feux de brousse sur la qualité des sols de jachères de courte durée dans la zone soudanienne du Mali. In Renard et al. (éd., 1998): pp.115-122.

- Masumbuko N.C., Mangambu M.J-D et Nyakabwa M D-S., 2008. Distribution spatiale de *Syzygium guineense* (willd.) Dc (*Myrtaceae*) dans le parc national de Kahuzi-Biega (secteur de Nyamuhambazatshivanga) en zone de haute altitude, à l'est de la République Démocratique du Congo. Cahiers du CERUKI. Nouvelle Série 36 : 59-63.
- Mathieu L., 1988. Contribution à l'établissement d'un plan directeur d'aménagement intégré du bassin de la Gambie. Gembloux: rapport de première phase du projet OMVG-AGCD-CIUF; 164p.
- Mathieu C. et Pieltain F., 2003. Analyse chimique des sols. Méthodes choisies. Édition Technique et Documentation, Paris, pp.41.
- Maudoux, 1958. Nouvelle technique d'enrichissement des forêts denses hétérogènes : la plantation par placeaux denses espacés. CCTA/CSA, Pointe Noire.
- Maury-Lechon G. et Poncy O., 1986. Dynamique forestière sur 6 hectares de forêt dense humide de Guyane française, à partir de quelques espèces de forêt primaire et de cicatrization. C.R. "Vertébrés et forêts tropicales d'Afrique et d'Amérique", Paris, Décembre 1982, Mémoire Musée National d'Histoire Naturelle, Paris, série A, Zoologie, 132: 211-242.
- Mayaux P., Bartholomé E., Massart M., Vancutsem C., Cabral A., Nonguierma A., Diallo O., pretorius C., Thompson M., Cherlet M., Pekel J.F., Defourny P., Vasconcelos M., Di Gregorio A., Fritz S., De grandi G., Elvidge C., Vogt P. et Belward A., 2003. A land Cover Map of africa - carte de l'occupation du sol de l'Afrique, EUR 20665, En (European Commission, Luxembourg), 20p.
- Mayaux P., Achard F. et Malingreau J.P., 1998. Global tropical forest area measurements derived from coarse resolution satellite imagery a comparison with other approaches. *Environmental Conservation*, 25 : 37-52.
- Maydell V.H.-J., 1983. Arbres et arbustes du Sahel. Leurs caractéristiques et utilisations. Schriftenreihe der G.T.Z. (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), no 147, Eschborn, Allemagne.

- Mazliak P., 1974. *Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme*, éd. Hermann, Paris, 385p.
- Mbala S.M., 2007. République Démocratique du Congo. *Intégrer les questions de genre dans le secteur forestier en Afrique*. Rome, FAO : 65.
- MECNT, 2009. *Exploitation de bois rond en République Démocratique du Congo. Rapport interne*, Direction des forêts, Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature et Tourisme, 106 p.
- Millot G., 2011. *Comprendre et réaliser les tests statistiques à l'aide de R. Manuel de biostatistique*. 2ème éd. Deboeck, Bruxelles. 767 p.
- Miquel S., 1987. Morphologie fonctionnelle de plantules d'espèces forestières du Gabon. *Bull. Mus. Natn. Hist. Nat., Paris, 4° sér. 9B, Andansonnia 1/ 101-121*.
- Miyamoto K., Suzuki E., Kohyama T., Seino T., Mirmanto E. et Simbolon H., 2003. Habitat differentiation among tree species with small-scale variation of humus depth and topography in a tropical heath forest of Central Kalimantan, Indonesia. *Journal of Tropical Ecology 19(1): 43-54*.
- Moeur M., 1997. Characterizing spatial patterns of trees using stem – mapped data. *Forest Science. 39(4) : 756 – 775 p*.
- Molino J.F. et Sabatier D., 2001. Tree diversity in tropical rain forests: a validation of the intermediate disturbance hypothesis. *Science 294: 1702-1704*.
- Monokaran N., LaFrankie J.V., Kochummen K.M., Quah E.S., Klahn J., Ashton P.S. et Hubbell S.P. 1992. Stand table and distribution of species in the 50ha research plot at Pasoh Forest Reserve. Forest Research Institute of Malaysia, Kepong, Malaysia Biodivers. Conserv. 123.
- Monokaran N., LaFrankie I.V., Kochummen K.M., Quach E.S., Klahn J.E., Ashton P.S., et Hubbel S.P., 1990. Methodology for the fifty hectares research plot at Pasoh Forest Reserve. Forest Research Institute of Malaysia, Research Pamphlet, n°104.

- Moreau R., 1984. Etude sur les parcelles comparatives de l'évolution des sols ferrallitiques sous différents modes de mise en culture en zones forestière et préforestière de Côte d'Ivoire. Cahier ORSTOM, *Série Pédologique*, 1: 43-56.
- Morel R., 1996. Les sols cultivés. Editions Technique et documentation (2^e édition). Paris, cedex, 389 p.
- Morneau F., 2007. Effets d'un gradient d'engorgement sur la structure et la dynamique d'une forêt tropicale humide (Paracou, Guyane française). Doctorat Sciences Forestières, ENGREF. 256 p.
- Moussa H., Margolis H.A., Dube P.A. et Odongo J., 1998. Factors affecting the germination of doum palm (*Hyphaene thebaica* Mart.) seeds from semi-arid zone of Niger, West Africa. *Forest Ecology and Management*, 104: 27-41.
- Mueller – Dombois D., 1974. Aims and methods of vegetation ecology, John Wiley and Sons, U.S.A.: 84 – 92 p.
- Muller-Landau H.C., 2002. Assessing recruitment limitation: concepts, methods and case studies from a tropical forest. In D.J. Levey, W.R. Silva & M. Galetti, (Eds), *Seed Dispersal and Frugivory: Ecology, Evolution and Conservation*. CAB International, Oxfordshire, UK: 35-53.
- Nanson A. et Gennart M., 1960. Contribution à l'étude du climax et, en particulier, du pédoclimax en forêt équatoriale congolaise. *Bull. Inst. Agron. de Gembloux, Belgique*, tome XXVIII, n° 3, 287-342 p.
- Nathan R. et Muller-Landau H.C., 2000. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends Ecol Evol* 15: 278-285.
- Ndiaye JP., 1999. Récapitulation des réserves phosphatées des sols du Sénégal : Intérêt et Limites. Institut Sénégalais de Recherche Agricole. Ministère de l'Agriculture, 16 p.
- Nebel G., Kvist L.P., Vanclay J.K., Christensen H., Freitas L. et Ruiz J., 2001. Structure and floristic composition of flood plain forests in the Peruvian Amazon I. Overstorey. *Forest Ecology and Management* 150: 27-57.

- NG F.S.P., 1978. Strategies of establishment in Malayan forest trees. In: Tomlinson P.B. et Zimmermann M.H. (eds). *Tropical trees as living systems*. Cambridge University Press, Cambridge: 129-162.
- Ngongo M.L., Van Ranst E., Baert G., Kasongo E.L., Verdoodt A., Mujinya B.B. et Mukalay J.M., 2009. Guide des sols en R.D. Congo. Tome I : Etude et Gestion. UGent – HoGent - UNILU, 262 p.
- Niiyama K., Rahman K.A., Lida S., Kimura K., Azizi R. et Appanah S., 1999. Spatial patterns of common tree species relating to topography, canopy gaps and understorey vegetation in a hill dipterocarp forest at Semangkok Forest Reserve, Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science* 11(4): 731-745.
- Njoukam R., 1997. Germination des semences et croissance de l'ailé *Canarium schweinfurthii* Engl en plantation. In: Kapseu C. et Kayem G.J. (eds). Actes du 2ème séminaire international sur la valorisation du safoutier et autres oléagineux non conventionnels. Presses Universitaires de Yaoundé. Pp. 45-54.
- Nshimba H.S., 2009. Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbiye à Kisangani, RD. Congo. Thèse de doctorat. Université Libre de Bruxelles. 271p.
- OIBT, 2008. Developing forest certification: towards increasing comparability and acceptance of forest certification systems worldwide. Série technique de l'OIBT, n° 29, Yokohama, Japon.
- Oldeman R. A. A. et Van Dijk J., 1989. Diagnosis of the temperament of tropical rain forest trees. In: Gomez-Pompa A., Whitmore T.C. et Hadley M. (Eds). *Rain Forest Regeneration and Management*. UNESCO - Man and the Biosphere Series, volume 6: 21-63pp.
- Oldeman R.A.A., 1989. Dynamics in tropical rain forests. In: Hom-Nielsen L.B. et al. (eds.). *Tropical forests, botanical dynamics, speciation and diversity*. Academic Press, London, 3-21.

- ONF, 1996. Une forêt pour les homes (1966-1996). 30 ans de passion, 88p.
- OSFAC, 2010. Forêts d'Afrique central évaluées par télédétection FACET. Etendue et perte du couvert forestier en République démocratique du Congo de 2000 à 2010. Publié par l'Université d'Etat du Dakota su sud, Brookings, Dakota du sud, Etats-Unis d'Amérique. ISBN: 978-0-9797182-5-0. Ste web: <http://osfac.net>.
- Ouédraogo A., Thiombiano A., Hahn-hadjali et Guinko S., 2006. Régénération sexuée de *Boswellia dalzielii* Hutch., un arbre médicinal de grande valeur au Burkina-Faso. Bois et Forêts des Tropiques, 289 (3) : 41-52.
- Pain M., 1978. Relief, hydrographie et climat en République du Zaïre. Atlas de la République du Zaïre. Paris : édit. J.a. (IGN), 6-11 et 14-19.
- Palmberg C., 1987. Conservation of genetic resources of woody species. Paper prepared for Simposiosobre silvicultura y mejoramiento genetico. CIEF, Buenos Aires, 1987. (NOT SEEN).
- Parren M.P.E., 1991. Silviculture with natural regeneration: a comparison between Ghana, Côte d'Ivoire and Liberia. AV. 90/50, Univerisiteit Wageningen, 82 p.
- Pascal J.P. et Pélissier R., 1995. Structure and floristic composition of tropical evergreen forest in south-west India. Journal of Tropical Ecology 12 : 191-214.
- Pauwels J. M., Van Ranst E., Verloo M. et Mvondo Ze A., 1992. Manuel de laboratoire de pédologie: méthodes d'analyses de sols et de plantes, équipement, gestion de stocks de verrerie et de produits chimiques. Bruxelles: AGCD., Publ. Agricoles 28, 265 p.
- Pépinière Délaire. Plants forestiers. Sapins Noël. Travaux de reboisement. Producteur de matériel forestier de reproduction agréée par le ministère de l'agriculture Française consulté 25/08/2012 sur le site : <http://www.pépinièredelaire/com>
- Perraud A., 1971. La matière organique des sols forestiers de la Côte d'ivoire. Thèse Univ. De Nancy, Orstom, Paris.

- PFBC, 2006. Les forêts du bassin du Congo. Etat des forêts 2006. Partenariat pour les Forêts du Bassin du Congo. <http>, 256 p.
- Picard N., 2010. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ITCF, Montpellier, 68p.
- Picard N. et Gourlet-Fleury S., 2008. Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo. COMMIFAC, CIRAD, Département Environnements et Sociétés UPR Dynamique des forêts naturelles, presses d'AVL Diffusion Montpellier, 265 p.
- Plotkin J.B., Chave J. et Ashton P.S., 2002. Cluster Analysis of Spatial Patterns in Malaysian Tree Species. *American Naturalist* 160: 629-644.
- Plotkin J.B., Potts M.D., Leslie N., Manokaran N., LaFrankie J. et Ashton P.S., 2000. Species-area curves, spatial aggregation, and habitat specialisation in tropical forests. *Journal of Theoretical Biology* 207: 81-99.
- Potts M.D., Ashton P.S., Kuafman L.S. et Plotkin J.B., 2002. Habitat patterns in tropical rain forests: A comparison of 105 plots in Northwest Borneo. *Ecology* 83 (10): 2782- 2797.
- Puig H., 2001. Diversité spécifique et déforestation : l'exemple des forêts tropicales humides du Mexique. *Bois et Forêts des Tropiques* 268 (2) : 41-56.
- Raemaekers R., 2001. Congo-Kinshasa "in" *Agriculture en Afrique tropicale. Partie II. Monographie succincte des pays d'Afrique tropicale*. Bruxelles: DGCI, 1342-1348.
- Reitsma J.M., 1988. Végétation forestière du Gabon (Forest vegetation of Gabon). Technical series Tropenbos (1), 25 p.
- Ribbens E. et Silander J.A., 1994. Seedling recruitment in forests: calibrating models to predict patterns of tree seedling dispersion. *Ecology* 75(6): 1794-1806.
- Richards P.W., 1996. *The Tropical Rainforest, An ecological study*, 2nd edn, Purseglove, J.W. 1975. *Raffia palms*. In ELBS and Longman (ed.), Tropical

monocotyledons. Volumes 1 and 2 combined, pp: 439-440. Cambridge University Press, Cambridge.

Ripley B.D., 1977. Modelling spatial patterns. *Journal of the royal statistical society*, B 39, 172-212.

Risasi E.L., Tian G., Kang B.T. et Opuwaribo E.E., 1999. Nitrogen mineralization of roots of maize and selected woody species. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30: 1431-1437.

Risasi E.L., Kang B.T. et Opuwaribo E.E., 1998. Assessment of nitrogen availability of roots of selected woody species. *Biological Agriculture and Horticulture* 16: 87-96.

Rollet B., 1979. Application de diverses méthodes d'analyse de données à des inventaires forestiers détaillés levés en forêt tropicale. *OEcol. Plant.* 14 (3): 319-344.

Rollet B., 1974. L'architecture des forêts denses humides sempervirentes de plaine. CTFT, France, 298 p.

Rollet B., 1969. Etudes quantitatives d'une forêt dense humide de plaine de la Guyane vénézuélienne. Thèse de l'Université de Toulouse, 473 p + annexes.

Rollet B., 1969. La régénération naturelle en forêt dense humide sempervirente de plaine de la Guyane vénézuélienne. *Bois et Forêts des Tropiques* 124 : 19-38.

Rondeux J., 1993. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Presses Agronomiques de Gembloux, ASBL., 521 p.

Roose E.J., 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. TD ORSTOM, 78, Paris, 569p.

Ruokolainen K., Tuomisto H., Chave J., Muller-Landau H.C, Condit R., Pitman N., Terborgh J., Hubbell S.P., Leigh Jr. E.G., Duivenvoorden JF., Svenning J-C et Wright S.J., 2002. Beta-diversity in tropical forests. *Science* 297:1439-1459.

- Sabatier D. et Prévost M-F., 1990. Variations du peuplement forestier à l'échelle stationnelle : le cas de la station des Nouragues en Guyane française. Atelier MAB/UNESCO/IUFRO FAO sur l'aménagement et la conservation de l'écosystème forestier tropical humide, Cayenne, 14 p.
- Saidi D., Douaoui A., Le Bissonnais Y. et Walter C., 1999. Sensibilité de la surface des sols des plaines de Chélif à la dégradation structurale. Etude et gestion des sols 6 : 15-25.
- Sallenave, P., 1971. Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux. Deuxième supplément. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, France. 128 pp.
- Sallenave P., 1964. Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux, premier supplément CTFT. Nogent-Sur-Marne, France, 79p.
- Sanchez P.A., Gichuru M.P. et Katz L.B., 1982. Non-Symbiotic Nitrogen Fixation and Organic Matter in the Tropics. 12th International Congress of Soil Science, New Delhi, 8-16 february 1982, Symposia Paper 1 (1): 99-114.
- Schnell R., 1971. Introduction à la Phytogéographie des pays tropicaux. Les milieux, les groupements végétaux T2. Gauthier - villars Paris, 500-941p.
- Schnitzer S.A. et Carson W.P., 2001. Treefall gaps and the maintenance of species diversity in a tropical forest. *Ecology* 82: 913-919.
- Schulz, J.P., 1967. La regeneración natural de la seva mesofítica de Surinam después de sa aprovechamiento. Instituto forestal latino-americano de investigación. Merida. Boletín nº 23 : 3-27.
- Segalen P., 1995. Les sols ferrallitiques et leur répartition géographique. Les sols ferrallitiques en Afrique et en Extrême-Orient, Australie et Océanie: conclusions générales. Paris: édit. ORSTOM., tome III, 201p.
- Segalen P., 1994. Les sols ferrallitiques et leur répartition géographique. Introduction générale. Les sols ferrallitiques: leur répartition et environnement immédiat. Paris: édit. ORSTOM., tome I, 198p.

- Seidler T.G. et Plotkin J.B., 2006. Seed dispersal and spatial pattern in tropical trees. *PloS Biol* 4(11) : 344. DOI : 1371/journal pbio.0040344.
- Senterre B., 2005. Recherche méthodologiques pour la typologie de la végétation et la phytogéographie des forêts denses d'Afrique tropicale. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Laboratoire de Botanique systématique et de Phytosociologie, 345 p + 111p d'annexes.
- Sheil D. et May R.M., 1996. Mortality and recruitment rate evaluations in heterogeneous tropical forests. *Journal of Ecology*, 84(1):91-100.
- Sheil D., 1995b. Evaluating turnover in tropical forests. *Science*, 268 (5212): 894-895.
- Sheil D., Burslem D.F.R.P. et Alder D., 1995a. The interpretation and misinterpretation of mortality rate measures. *Journal of Ecology*, 83(2) : 331-333.
- Shugart H.H., 1984. A theory of forest dynamics. The ecological implications of forest succession models. Springer Verlag. 278p.
- Sinclair D.F., 1985. On tests of spatial randomness using mean nearest neighbor distance. *Ecology*, 66: 1084-1085.
- Sizer N.C., Tanner E.V.J. et Kossman Ferraz I.D., 2000. Edge effects on litterfall mass and nutrient concentrations in forest fragments in central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*, 16: 853-863.
- Solia E.S., 2007. Contribution à l'application des mesures en carré aux espèces *Scorodophloeus zenkeri*, *Olax gambecola* et *Staudtia gabonensis* dans la réserve floristique de Loweo : cas de la forêt à *Scorodophloeus zenkeri* à Yangambi, RD Congo. Mémoire DEA, Unikis, 64p.
- Sollins P., 1998. Factors influencing species composition in tropical lowland rain forest: Does soil matter? *Ecology* 79(1): 23-30.

- Sonké B., 2004. Rapport Final – Biodiversité Flore pour l'EIE du projet Nkamouna Rainbow Environment Consult, 63p.
- Sonké B., 1998. Etude floristique et structurales des forêts de la Réserve de faune du Dja (Cameroun). Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Laboratoire de Botanique systématique et de phytosociologie, 267p.
- Sunderland T.C.H., Comiskey J.A., Besong S., Mboh H., Fonwebon J. et Abwe Dione M., 2003. Vegetation assessment of Takamanda Forest Reserve, Cameroon. Pp. 19-53 in: Comiskey, J.A., T.C.H. Sunderland, J.L. Sunderland-Groves. *Takamanda: the Biodiversity of an African Rainforest*. SIMAB Series # 8. Smithsonian Institution Monitoring and Assessment of Biodiversity Program. Washington D.C.
- Swaine M.D. et Withmore T.C., 1988. On the definition of ecological species group in tropical rain forests. *Vegetation* 75: 81-86.
- Swaine M.D., 1996. Rainfall and soil fertility as factors limiting forest species distributions in Ghana. *Journal of Ecology* 84: 419-428.
- Sys C., Van Wambeke A., Frankart R., Gilson P., Pecrot A., Berce J. M. et Jamagne M., 1961. *La cartographie des sols au Congo: ses principes et ses méthodes*. Bruxelles: Publ. INEAC., série scient. n° 66, 141p.
- Tailfer Y., 1989. La forêt dense d'Afrique Centrale. Identification pratique des principaux arbres. Agence de Coopération culturelle et Technique et CTA, Wageningen, Tome 1, 699p.
- Taylor C.J., 1954. La régénération de la forêt tropicale dans l'Ouest africain. *Bois et Forêts des Tropiques* 37 : 19-26.
- Tchouto M.G.P., De Boer W.F., De Wilde J.J.F.E. et Van der Maesen L.J.G., 2006. Diversity patterns in the flora of the Campo-Ma'an rain forest, Cameroon: do tree species tell it all? *Biodiversity and Conservation* 15: 1353-1374.

- Tessier D., Bruand A., Le Bissonnais Y. et Dambrine E., 1996. Qualité chimique et physique des sols : variabilité spatiale et évolution. *Etude et Gestion des Sols*, 4: 229-244.
- Têtès S.B., Imbert P. et Huc R., 1997. Croissance et assimilation nette foliaire de jeunes plants de dix arbres de la forêt guyanaise, cultivés à cinq niveaux d'éclairement. *Ann. Sci. For.* 55 (1998) 681 – 706, Inra/ Elsevier. Paris, p 681-702.
- Tilman D., 1990. Constraints and trade-offs: toward a predictive theory of competition and succession. *Oikos* 58: 3-15.
- Tilman D., 1994. Competition and biodiversity in spatially structured habitats. *Ecology* 75: 2-16.
- Tilman D., 2000. Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature* 405: 208-211.
- Traissac S., 2003. Dynamique spatiale de *Vouacapoua americana* (Aublet), Arbre de forêt tropicale humide à répartition agrégée. Thèse de doctorat, Laboratoire de Biométrie et de Biologie Evolutive UMR 5558 & CIRAD, Université Claude Bernard – Lyon 1, 221 p.
- Turenne J.F., 1977. - Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. Mémoire ORSTOM n° 84, Paris, 173 p.
- Valencia R., Foster R.B., Villa G., Condit R., Svenning J.C., Hernández C., Romoleroux K., Losos E., Magård E. et Balslev H., 2004. Tree species distributions and local habitat variation in the Amazon: a large forest plot in eastern Ecuador. *J Ecol* 92:214–229.
- Vancutsem C., Pekel J.-F., Evrard C., Malaisse F. et Defourny P., 2006. Carte de l'occupation du sol de la République Démocratique du Congo au 1 : 3 000 000. Université Catholique de Louvain, Presses Universitaires de Louvain, 30 p.
- Van Rompaey R.S.A.R., 1993. Forest gradients in West Africa: a spatial gradient analysis. Ph. D. Thesis, Universiteit Wageningen, 141 p.

- Van Wambeke A., 1995. Les sols des tropiques: propriétés et appréciation. CTA & Huy Trop asbl., 335p.
- Van Wambeke A., 1962. Criteria for classifying soils by age. *Journal Soil Science*, 1: 124-132.
- Van Wambeke A., 1959. Le rapport limon/argile, mesure approximative du stade d'altération des matériaux originels des sols tropicaux. C-R IIIe Conférence. Interafricaine des sols. CCTA, 1: 161-167.
- Van Wambeke A., Gilson P., Jongen P. et Liben L., 1957. Notice explicative de la carte des sols et de la végétation du Congo belge et du Ruanda-Urundi. 6. Yangambi : planchette 3 : Lilanda, A et B. Bruxelles : Publications INEAC., 31 p.
- Van Wambeke A., Gilson P. et Gutzwiller R., 1956. Notice explicative de la carte des sols et de la végétation du Congo belge et du Ruanda-Urundi. 6. Yangambi: planchette 2: Yangambi, A et B. Bruxelles: Publications INEAC., 35p.
- Van Wambeke A. et Evrard C., 1954. Notice explicative de la carte des sols et de la végétation du Congo belge et du Ruanda-Urundi. 6. Yangambi: planchette 1: Weko, A et B. Bruxelles: Publications INEAC., 23p.
- Vanclay J.K., 1989. A growth model for north Queensland rainforest. *Forest Ecology and Management*, 27: 245-271.
- Vanclay J.K., 1991. Aggregation tree species to develop diameter increment equations for tropical rainforests. *Forest Ecology and Management*, 42: 143-168.
- Vancutsem C., Pekel J.-F., Evrard C., Malaisse F. et Defourny P., 2006. Carte de l'occupation du sol de la République Démocratique du Congo au 1 : 3 000 000. Université Catholique de Louvain, Presses Universitaires de Louvain, 30 p.
- Vande Weghe J.P., 2004. Forêts d'Afrique Centrale. La nature et l'homme. Éd. Lannoo SA.

- Vanden put R., 1981. Les principales cultures en Afrique centrale. Tournai: édit. Lesaffre, 458p.
- Vasquez-Yanes C. et Orozco Segovia A., 1984. Ecophysiology of seed germination in the tropical humid forests of the world: a review. In Medina E., Mooney H.A. & Vasquez-Yanes C. (Eds). Physiological ecology of plants of the wet tropics Dr W. Junk Publishers, The Hagues pp. 37-50.
- Veenendaal E.M. et Swaine M.D., 1998. Limits to tree species distributions in lowland tropical rainforest. Pages 163-191 in Newbery P.M., Prins H.H.T. and Brown N.D. (editors). Dynamics of tropical communities. Black-well Science, Oxford, UK.
- Verhegghen A. et Defourny P., 2010. A new 300m vegetation map for Central Africa based on multi-sensortimes series In Third recent advance in quantitative remote sensing, J.A. Sobrino (ed.), Publicaciones de la Universitat de Valencia, Valencia, Spain, 2010.
- Vitousek P.M., 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65: 285-298.
- Vivien J. et Faure J.J., 1985. Arbre des forêts denses d'Afrique centrale. Ministère relation, coopération et développement. Agence de coopération culturelle et technique, 13 Quai Anohi Citroën, 75015, Paris, 324p.
- Wadsworth R.K., 1977. A study of diameter distributions of an uneven aged tropical forest by means of a transition matrix model. Doctor of Philosophy, University of Washington, 155p.
- Warren W.G., 1986. On the presentation of statistical analysis: reason or ritual *Can. J. For. Res.* 16 : 1185-1191.
- Webb C.O. et Peart D.R., 2000. Habitat associations of trees and seedlings in a Bornean rain forest. *Journal of Ecology* 88: 464-478.
- White F., 1983. The vegetation of Africa: a descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETFAT vegetation map of Africa. UNESCO, Paris, France.

- White L.J.T. et Edwards A., 2001. Conservation en forêt pluviale africaine. Méthodes de recherche. Wildlife Conservation Society, New York, U.S.A., 456 p.
- White L.J.T., 1992. Vegetation history and logging disturbance : effects on rain forest mammals in the Lopé Reserve, Gabon (with special emphasis on elephants and apes). Ph. D. Thesis, University of Edinburgh, 250 p.
- Whitmore T., 1998. An introduction to tropical rain forests. Oxford Science Publications.
- Whitmore T.C., 1989. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology* 70: 536-538.
- Whittaker R.H., 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21, 213-251.
- Yemefack M., Nounamo L., Rosaline Njomgang et Bilong P., 2004. Influence des pratiques agricoles sur la teneur en argile et autres propriétés agronomiques d'un sol Ferrallitique au sud Cameroun. *Tropiculutura*, 22 : 3-10.
- Zobi I.C., 2002. Contribution à la gestion sylvicole des forêts humides ivoiriennes à travers l'analyse des dispositifs permanents de Mopri et Irobo. Thèse de doctorat, Université Claude-Bernard – Lyon 1, France, 159 p.

Annexes

Annexe 1. Données statistiques relatives aux paramètres de croissance en hauteur et en diamètre des plants de *Azelia bipindensis* (Harms)

1.1. ANOVA à un facteur pour tester l'effet du substrat sur la croissance en hauteur de l'espèce

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|-------|-------|-------|
| Traitements | 341 | 1 | 340,5 | 0,941 | 0,332 |
| Résidus | 590560 | 198 | 361,9 | | |

1.2. ANOVA à un facteur pour tester l'effet du substrat sur la croissance en diamètre de l'espèce

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-------|-------|
| Traitements | 0,07 | 1 | 0,07311 | 0,621 | 0,431 |
| Résidus | 192,94 | 198 | 0,11779 | | |

Annexe 2 : Mesures Ri enregistrées dans les parcelles d'étude pour la répartition spatiale à Yangambi.

| N° | N° arbre | Espèces | N° parcelle | Ri (cm) | N° | N° d'arbre | Espèces | N° parcelle | Ri (cm) |
|----|----------|-----------------------|-------------|---------|----|------------|-----------------|-------------|---------|
| 1 | 1 | <i>A. bipindensis</i> | 1 | 2,75 | 1 | 6 | <i>A. bella</i> | 1 | 3,45 |
| 2 | 2 | <i>A. bipindensis</i> | 1 | 1,50 | 2 | 7 | <i>A. bella</i> | 1 | 5,67 |
| 3 | 3 | <i>A. bipindensis</i> | 1 | 3,88 | 3 | 8 | <i>A. bella</i> | 1 | 2,33 |
| 4 | 4 | <i>A. bipindensis</i> | 3 | 4,52 | 4 | 16 | <i>A. bella</i> | 3 | 2,31 |
| 5 | 5 | <i>A. bipindensis</i> | 3 | 1,20 | 5 | 17 | <i>A. bella</i> | 3 | 6,60 |
| 6 | 9 | <i>A. bipindensis</i> | 4 | 0,55 | 6 | 18 | <i>A. bella</i> | 4 | 5,80 |
| 7 | 10 | <i>A. bipindensis</i> | 4 | 7,35 | 7 | 19 | <i>A. bella</i> | 4 | 8,54 |
| 8 | 11 | <i>A. bipindensis</i> | 7 | 2,00 | 8 | 20 | <i>A. bella</i> | 7 | 2,34 |
| 9 | 12 | <i>A. bipindensis</i> | 7 | 5,38 | 9 | 21 | <i>A. bella</i> | 7 | 4,53 |
| 10 | 13 | <i>A. bipindensis</i> | 9 | 3,90 | 10 | 22 | <i>A. bella</i> | 9 | 4,56 |
| 11 | 14 | <i>A. bipindensis</i> | 9 | 1,36 | 11 | 23 | <i>A. bella</i> | 9 | 2,55 |
| 12 | 15 | <i>A. bipindensis</i> | 9 | 2,76 | 12 | 24 | <i>A. bella</i> | 9 | 3,43 |
| 13 | 40 | <i>A. bipindensis</i> | 10 | 4,58 | 13 | 25 | <i>A. bella</i> | 10 | 4,56 |
| 14 | 41 | <i>A. bipindensis</i> | 10 | 6,65 | 14 | 26 | <i>A. bella</i> | 10 | 1,85 |
| 15 | 45 | <i>A. bipindensis</i> | 11 | 3,54 | 15 | 27 | <i>A. bella</i> | 11 | 2,76 |
| 16 | 46 | <i>A. bipindensis</i> | 11 | 1,25 | 16 | 28 | <i>A. bella</i> | 11 | 3,68 |

| | | | | | | | | | |
|----|-----|-----------------------|----|------|----|-----|-----------------|----|------|
| 17 | 47 | <i>A. bipindensis</i> | 12 | 2,53 | 17 | 29 | <i>A. bella</i> | 12 | 8,56 |
| 18 | 51 | <i>A. bipindensis</i> | 12 | 3,65 | 18 | 30 | <i>A. bella</i> | 12 | 4,60 |
| 19 | 52 | <i>A. bipindensis</i> | 12 | 4,77 | 19 | 31 | <i>A. bella</i> | 12 | 2,67 |
| 20 | 53 | <i>A. bipindensis</i> | 13 | 0,50 | 20 | 32 | <i>A. bella</i> | 13 | 5,42 |
| 21 | 54 | <i>A. bipindensis</i> | 13 | 0,78 | 21 | 33 | <i>A. bella</i> | 13 | 4,23 |
| 22 | 55 | <i>A. bipindensis</i> | 14 | 2,10 | 22 | 34 | <i>A. bella</i> | 14 | 4,30 |
| 23 | 56 | <i>A. bipindensis</i> | 18 | 1,24 | 23 | 35 | <i>A. bella</i> | 18 | 1,30 |
| 24 | 57 | <i>A. bipindensis</i> | 19 | 2,60 | 24 | 36 | <i>A. bella</i> | 19 | 2,43 |
| 25 | 58 | <i>A. bipindensis</i> | 20 | 4,67 | 25 | 37 | <i>A. bella</i> | 20 | 2,67 |
| 26 | 59 | <i>A. bipindensis</i> | 20 | 8,90 | 26 | 38 | <i>A. bella</i> | 20 | 3,20 |
| 27 | 60 | <i>A. bipindensis</i> | 22 | 3,34 | 27 | 39 | <i>A. bella</i> | 22 | 4,67 |
| 28 | 61 | <i>A. bipindensis</i> | 22 | 3,57 | 28 | 42 | <i>A. bella</i> | 22 | 5,76 |
| 29 | 62 | <i>A. bipindensis</i> | 21 | 1,27 | 29 | 43 | <i>A. bella</i> | 21 | 3,53 |
| 30 | 63 | <i>A. bipindensis</i> | 21 | 2,45 | 30 | 44 | <i>A. bella</i> | 21 | 4,58 |
| 31 | 64 | <i>A. bipindensis</i> | 23 | 3,45 | 31 | 48 | <i>A. bella</i> | 23 | 2,22 |
| 32 | 65 | <i>A. bipindensis</i> | 23 | 5,32 | 32 | 49 | <i>A. bella</i> | 23 | 3,42 |
| 33 | 66 | <i>A. bipindensis</i> | 24 | 4,34 | 33 | 50 | <i>A. bella</i> | 24 | 3,35 |
| 34 | 67 | <i>A. bipindensis</i> | 24 | 1,32 | 34 | 78 | <i>A. bella</i> | 24 | 2,75 |
| 35 | 68 | <i>A. bipindensis</i> | 23 | 2,54 | 35 | 79 | <i>A. bella</i> | 23 | 1,25 |
| 36 | 69 | <i>A. bipindensis</i> | 23 | 3,57 | 36 | 82 | <i>A. bella</i> | 23 | 2,85 |
| 37 | 70 | <i>A. bipindensis</i> | 25 | 5,37 | 37 | 83 | <i>A. bella</i> | 25 | 4,97 |
| 38 | 73 | <i>A. bipindensis</i> | 25 | 4,31 | 38 | 87 | <i>A. bella</i> | 25 | 5,65 |
| 39 | 74 | <i>A. bipindensis</i> | 26 | 3,52 | 39 | 88 | <i>A. bella</i> | 26 | 2,90 |
| 40 | 75 | <i>A. bipindensis</i> | 26 | 6,74 | 40 | 89 | <i>A. bella</i> | 26 | 2,89 |
| 41 | 76 | <i>A. bipindensis</i> | 27 | 3,54 | 41 | 90 | <i>A. bella</i> | 27 | 4,90 |
| 42 | 77 | <i>A. bipindensis</i> | 27 | 4,52 | 42 | 91 | <i>A. bella</i> | 27 | 5,50 |
| 43 | 81 | <i>A. bipindensis</i> | 28 | 5,45 | 43 | 121 | <i>A. bella</i> | 28 | 4,65 |
| 44 | 84 | <i>A. bipindensis</i> | 28 | 3,42 | 44 | 122 | <i>A. bella</i> | 28 | 2,54 |
| 45 | 85 | <i>A. bipindensis</i> | 29 | 2,79 | 45 | 123 | <i>A. bella</i> | 29 | 1,28 |
| 46 | 86 | <i>A. bipindensis</i> | 29 | 5,48 | 46 | 124 | <i>A. bella</i> | 29 | 3,53 |
| 47 | 92 | <i>A. bipindensis</i> | 30 | 1,24 | 47 | 151 | <i>A. bella</i> | 30 | 5,76 |
| 48 | 93 | <i>A. bipindensis</i> | 31 | 3,25 | 48 | 152 | <i>A. bella</i> | 31 | 8,96 |
| 49 | 94 | <i>A. bipindensis</i> | 32 | 4,31 | 49 | 153 | <i>A. bella</i> | 32 | 5,87 |
| 50 | 95 | <i>A. bipindensis</i> | 32 | 3,57 | 50 | 154 | <i>A. bella</i> | 32 | 7,65 |
| 51 | 96 | <i>A. bipindensis</i> | 33 | 5,46 | 51 | 156 | <i>A. bella</i> | 33 | 6,98 |
| 52 | 97 | <i>A. bipindensis</i> | 33 | 4,31 | 52 | 157 | <i>A. bella</i> | 33 | 9,64 |
| 53 | 98 | <i>A. bipindensis</i> | 33 | 3,57 | 53 | 158 | <i>A. bella</i> | 33 | 2,46 |
| 54 | 99 | <i>A. bipindensis</i> | 34 | 4,56 | 54 | 159 | <i>A. bella</i> | 34 | 4,54 |
| 55 | 100 | <i>A. bipindensis</i> | 34 | 2,58 | 55 | 160 | <i>A. bella</i> | 34 | 2,67 |
| 56 | 101 | <i>A. bipindensis</i> | 35 | 9,57 | 56 | 161 | <i>A. bella</i> | 35 | 5,43 |

| | | | | | | | | | |
|----|-----|-----------------------|----|---------------|----|-----|-----------------|----|---------------|
| 57 | 102 | <i>A. bipindensis</i> | 35 | 4,76 | 57 | 162 | <i>A. bella</i> | 35 | 4,56 |
| 58 | 103 | <i>A. bipindensis</i> | 36 | 6,74 | 58 | 163 | <i>A. bella</i> | 36 | 5,67 |
| 59 | 104 | <i>A. bipindensis</i> | 36 | 3,65 | 59 | 164 | <i>A. bella</i> | 36 | 3,21 |
| 60 | 105 | <i>A. bipindensis</i> | 36 | 3,68 | 60 | 165 | <i>A. bella</i> | 36 | 2,22 |
| 61 | 106 | <i>A. bipindensis</i> | 37 | 8,52 | 61 | 167 | <i>A. bella</i> | 37 | 3,42 |
| 62 | 107 | <i>A. bipindensis</i> | 37 | 4,52 | 62 | 168 | <i>A. bella</i> | 37 | 3,65 |
| 63 | 108 | <i>A. bipindensis</i> | 38 | 5,69 | 63 | 169 | <i>A. bella</i> | 38 | 4,63 |
| 64 | 110 | <i>A. bipindensis</i> | 38 | 6,73 | 64 | 170 | <i>A. bella</i> | 38 | 4,65 |
| 65 | 111 | <i>A. bipindensis</i> | 38 | 4,52 | 65 | 171 | <i>A. bella</i> | 38 | 6,00 |
| 66 | 112 | <i>A. bipindensis</i> | 39 | 3,57 | 66 | 172 | <i>A. bella</i> | 39 | 4,57 |
| 67 | 113 | <i>A. bipindensis</i> | 39 | 4,98 | 67 | 174 | <i>A. bella</i> | 39 | 2,43 |
| 68 | 114 | <i>A. bipindensis</i> | 39 | 2,00 | 68 | 175 | <i>A. bella</i> | 39 | 4,80 |
| 69 | 115 | <i>A. bipindensis</i> | 40 | 2,75 | 69 | 176 | <i>A. bella</i> | 40 | 4,86 |
| 70 | 116 | <i>A. bipindensis</i> | 40 | 3,76 | 70 | 177 | <i>A. bella</i> | 40 | 5,76 |
| 71 | 117 | <i>A. bipindensis</i> | 2 | 2,89 | | | Total | | 297,92 |
| 72 | 118 | <i>A. bipindensis</i> | 2 | 4,50 | | | | | |
| 73 | 119 | <i>A. bipindensis</i> | 5 | 5,30 | | | | | |
| 74 | 120 | <i>A. bipindensis</i> | 5 | 7,80 | | | | | |
| 75 | 125 | <i>A. bipindensis</i> | 7 | 9,50 | | | | | |
| 76 | 126 | <i>A. bipindensis</i> | 7 | 4,60 | | | | | |
| 77 | 127 | <i>A. bipindensis</i> | 8 | 3,50 | | | | | |
| 78 | 128 | <i>A. bipindensis</i> | 8 | 4,75 | | | | | |
| 79 | 129 | <i>A. bipindensis</i> | 9 | 5,74 | | | | | |
| 80 | 130 | <i>A. bipindensis</i> | 9 | 5,55 | | | | | |
| | | Total | | 323,60 | | | | | |

Annexe 3.

Tableau 3.1. Fréquence relative (Fr), densité relative (Dr), dominance relative (Dor), surface terrière (St) et Indice de valeur d'importance des parcelles (aléatoire et centré doussié) des familles identifiées dans la réserve de biosphère de Yangambi (milieu anthropisé).

| Familles | Fr al | St al | Fr cd | St cd | St al (m ² /ha) | St cd (m ² /ha) | Dd al | Dr cd | Fr al | Fr cd | Dr al | Dr cd | Dor al | Dor cd | IVI al | IVI cd |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Fabaceae | 48 | 1,29 | 58 | 1,74 | 0,81 | 1,09 | 30,00 | 36,25 | 15,34 | 24,27 | 15,34 | 24,27 | 15,47 | 31,78 | 46,14 | 80,31 |
| Melastomataceae | 63 | 2,02 | 44 | 0,63 | 1,26 | 0,39 | 39,38 | 27,50 | 20,13 | 18,41 | 20,13 | 18,41 | 24,17 | 11,45 | 64,42 | 48,27 |
| Euphorbiaceae | 48 | 1,39 | 34 | 0,59 | 0,87 | 0,37 | 30,00 | 21,25 | 15,34 | 14,23 | 15,34 | 14,23 | 16,67 | 10,83 | 47,34 | 39,28 |
| Verbenaceae | 29 | 0,31 | 21 | 0,60 | 0,20 | 0,37 | 18,13 | 13,13 | 9,27 | 8,79 | 9,27 | 8,79 | 3,73 | 10,91 | 22,26 | 28,49 |
| Clusiaceae | 4 | 0,15 | 17 | 0,29 | 0,10 | 0,18 | 2,50 | 10,63 | 1,28 | 7,11 | 1,28 | 7,11 | 1,83 | 5,20 | 4,38 | 19,43 |
| Rubiaceae | 16 | 0,35 | 13 | 0,43 | 0,22 | 0,27 | 10,00 | 8,13 | 5,11 | 5,44 | 5,11 | 5,44 | 4,21 | 7,84 | 14,43 | 18,72 |
| Myristicaceae | 16 | 0,33 | 9 | 0,23 | 0,21 | 0,15 | 10,00 | 5,63 | 5,11 | 3,77 | 5,11 | 3,77 | 3,99 | 4,26 | 14,22 | 11,79 |
| Apocynaceae | 2 | 0,04 | 7 | 0,26 | 0,03 | 0,16 | 1,25 | 4,38 | 0,64 | 2,93 | 0,64 | 2,93 | 0,51 | 4,68 | 1,79 | 10,54 |
| Flacourtiaceae | 8 | 0,15 | 7 | 0,21 | 0,09 | 0,13 | 5,00 | 4,38 | 2,56 | 2,93 | 2,56 | 2,93 | 1,75 | 3,75 | 6,87 | 9,61 |
| Moraceae | 14 | 0,68 | 6 | 0,14 | 0,43 | 0,09 | 8,75 | 3,75 | 4,47 | 2,51 | 4,47 | 2,51 | 8,18 | 2,53 | 17,12 | 7,55 |
| Burseraceae | 0 | 0,00 | 4 | 0,04 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 2,50 | 0,00 | 1,67 | 0,00 | 1,67 | 0,00 | 0,71 | 0,00 | 4,06 |
| Meliaceae | 4 | 0,04 | 4 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 2,50 | 2,50 | 1,28 | 1,67 | 1,28 | 1,67 | 0,46 | 0,63 | 3,01 | 3,98 |
| Rhamnaceae | 5 | 0,08 | 3 | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 3,13 | 1,88 | 1,60 | 1,26 | 1,60 | 1,26 | 0,91 | 1,46 | 4,10 | 3,97 |
| Meliacea | 9 | 0,12 | 3 | 0,05 | 0,08 | 0,03 | 5,63 | 1,88 | 2,88 | 1,26 | 2,88 | 1,26 | 1,49 | 0,96 | 7,24 | 3,47 |
| Ulmaceae | 3 | 0,04 | 2 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 1,88 | 1,25 | 0,96 | 0,84 | 0,96 | 0,84 | 0,43 | 0,88 | 2,35 | 2,55 |
| Lecythidaceae | 4 | 0,13 | 2 | 0,03 | 0,08 | 0,02 | 2,50 | 1,25 | 1,28 | 0,84 | 1,28 | 0,84 | 1,56 | 0,59 | 4,11 | 2,27 |
| Fabaceae | 2 | 0,03 | 2 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 1,25 | 1,25 | 0,64 | 0,84 | 0,64 | 0,84 | 0,35 | 0,50 | 1,62 | 2,18 |
| Méliaceae | 0 | 0,00 | 1 | 0,03 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,63 | 0,00 | 0,42 | 0,00 | 0,42 | 0,00 | 0,63 | 0,00 | 1,47 |
| Sapindaceae | 3 | 0,03 | 1 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 1,88 | 0,63 | 0,96 | 0,42 | 0,96 | 0,42 | 0,39 | 0,17 | 2,30 | 1,01 |
| Sapotaceae | 1 | 0,01 | 1 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,63 | 0,63 | 0,32 | 0,42 | 0,32 | 0,42 | 0,09 | 0,17 | 0,73 | 1,01 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|----|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Hymenocardiaceae | 12 | 0,47 | 0 | 0,00 | 0,29 | 0,00 | 7,50 | 0,00 | 3,83 | 0,00 | 3,83 | 0,00 | 5,62 | 0,00 | 13,29 | 0,00 |
| Clusiaceae | 10 | 0,25 | 0 | 0,00 | 0,16 | 0,00 | 6,25 | 0,00 | 3,19 | 0,00 | 3,19 | 0,00 | 2,98 | 0,00 | 9,37 | 0,00 |
| Burceraceae | 5 | 0,11 | 0 | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 3,13 | 0,00 | 1,60 | 0,00 | 1,60 | 0,00 | 1,29 | 0,00 | 4,49 | 0,00 |
| Cecropiodaceae | 2 | 0,20 | 0 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 1,25 | 0,00 | 0,64 | 0,00 | 0,64 | 0,00 | 2,40 | 0,00 | 3,68 | 0,00 |
| Irvingiaceae | 3 | 0,08 | 0 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 1,88 | 0,00 | 0,96 | 0,00 | 0,96 | 0,00 | 0,95 | 0,00 | 2,87 | 0,00 |
| Rutaceae | 1 | 0,04 | 0 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,63 | 0,00 | 0,32 | 0,00 | 0,32 | 0,00 | 0,43 | 0,00 | 1,07 | 0,00 |
| Cecropiodaceae | 1 | 0,01 | 0 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,63 | 0,00 | 0,32 | 0,00 | 0,32 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,75 | 0,00 |

Tableau 3.2. Fréquence relative (Fr), densité relative (Dr), dominance relative (Dor), surface terrière (St) et Indice de valeur d'Importance des parcelles (aléatoire et centré doussié) des familles identifiées dans la réserve forestière de Yoko (milieu naturelle).

| Familles | Fr al | St al | Fr cd | St cd | Dr al | Dr cd | St al (m ² /ha) | St cd (m ² /ha) | Fr al | Fr cd | Dr al | Dr cd | Dor al | Dor cd | IVI al | IVI cd |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|----------------------------|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Fabaceae | 144 | 17,75 | 137 | 18,05 | 90,00 | 85,63 | 11,09 | 11,28 | 22,0 5 | 24,08 | 22,05 | 24,08 | 26,44 | 35,51 | 70,55 | 83,66 |
| Moraceae | 68 | 3,37 | 39 | 1,54 | 42,50 | 24,38 | 2,11 | 0,96 | 10,4 1 | 6,85 | 10,41 | 6,85 | 5,03 | 3,02 | 25,85 | 16,73 |
| Euphorbiaceae | 48 | 7,04 | 43 | 5,39 | 30,00 | 26,88 | 4,40 | 3,37 | 7,35 | 7,56 | 7,35 | 7,56 | 10,49 | 10,61 | 25,19 | 25,72 |
| Meliaceae | 46 | 3,98 | 40 | 4,42 | 28,75 | 25,00 | 2,49 | 2,76 | 7,04 | 7,03 | 7,04 | 7,03 | 5,93 | 8,69 | 20,02 | 22,75 |
| Sapotaceae | 29 | 6,48 | 19 | 1,19 | 18,13 | 11,88 | 4,05 | 0,74 | 4,44 | 3,34 | 4,44 | 3,34 | 9,66 | 2,34 | 18,54 | 9,02 |
| Annonaceae | 24 | 4,86 | 25 | 2,36 | 15,00 | 15,63 | 3,04 | 1,47 | 3,68 | 4,39 | 3,68 | 4,39 | 7,25 | 4,64 | 14,60 | 13,43 |
| Apocynaceae | 33 | 2,82 | 25 | 1,55 | 20,63 | 15,63 | 1,76 | 0,97 | 5,05 | 4,39 | 5,05 | 4,39 | 4,21 | 3,05 | 14,31 | 11,84 |
| Myristicaceae | 30 | 1,11 | 38 | 2,78 | 18,75 | 23,75 | 0,69 | 1,74 | 4,59 | 6,68 | 4,59 | 6,68 | 1,65 | 5,47 | 10,84 | 18,83 |
| Pandaceae | 22 | 2,44 | 17 | 0,82 | 13,75 | 10,63 | 1,52 | 0,52 | 3,37 | 2,99 | 3,37 | 2,99 | 3,63 | 1,62 | 10,37 | 7,60 |
| Ebenaceae | 19 | 2,70 | 13 | 1,18 | 11,88 | 8,13 | 1,69 | 0,74 | 2,91 | 2,28 | 2,91 | 2,28 | 4,02 | 2,32 | 9,84 | 6,89 |
| Sapindaceae | 17 | 2,19 | 12 | 0,45 | 10,63 | 7,50 | 1,37 | 0,28 | 2,60 | 2,11 | 2,60 | 2,11 | 3,27 | 0,89 | 8,48 | 5,11 |
| Lecytidaceae | 20 | 1,34 | 16 | 2,42 | 12,50 | 10,00 | 0,84 | 1,51 | 3,06 | 2,81 | 3,06 | 2,81 | 2,00 | 4,77 | 8,12 | 10,39 |
| Olacaceae | 21 | 1,01 | 24 | 1,22 | 13,13 | 15,00 | 0,63 | 0,76 | 3,22 | 4,22 | 3,22 | 4,22 | 1,50 | 2,40 | 7,93 | 10,84 |
| Malvaceae | 19 | 0,92 | 19 | 0,82 | 11,88 | 11,88 | 0,57 | 0,51 | 2,91 | 3,34 | 2,91 | 3,34 | 1,37 | 1,61 | 7,19 | 8,29 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|----|------|----|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Filiaceae | 10 | 0,46 | 0 | 0,00 | 6,25 | 0,00 | 0,29 | 0,00 | 1,53 | 0,00 | 1,53 | 0,00 | 0,69 | 0,00 | 3,75 | 0,00 |
| Ulmaceae | 10 | 0,40 | 11 | 0,42 | 6,25 | 6,88 | 0,25 | 0,26 | 1,53 | 1,93 | 1,53 | 1,93 | 0,59 | 0,83 | 3,66 | 4,70 |
| Clusiaceae | 8 | 0,69 | 10 | 1,30 | 5,00 | 6,25 | 0,43 | 0,81 | 1,23 | 1,76 | 1,23 | 1,76 | 1,03 | 2,56 | 3,48 | 6,08 |
| Linaceae | 9 | 0,22 | 5 | 0,11 | 5,63 | 3,13 | 0,14 | 0,07 | 1,38 | 0,88 | 1,38 | 0,88 | 0,33 | 0,22 | 3,09 | 1,98 |
| Strombosiaceae | 5 | 0,99 | 2 | 0,25 | 3,13 | 1,25 | 0,62 | 0,15 | 0,77 | 0,35 | 0,77 | 0,35 | 1,47 | 0,48 | 3,00 | 1,19 |
| Burseraceae | 6 | 0,46 | 0 | 0,00 | 3,75 | 0,00 | 0,29 | 0,00 | 0,92 | 0,00 | 0,92 | 0,00 | 0,69 | 0,00 | 2,53 | 0,00 |
| Rutaceae | 4 | 0,72 | 7 | 0,90 | 2,50 | 4,38 | 0,45 | 0,56 | 0,61 | 1,23 | 0,61 | 1,23 | 1,07 | 1,76 | 2,29 | 4,22 |
| Aptandraceae | 1 | 1,15 | 0 | 0,00 | 0,63 | 0,00 | 0,72 | 0,00 | 0,15 | 0,00 | 0,15 | 0,00 | 1,71 | 0,00 | 2,02 | 0,00 |
| Irvingiaceae | 2 | 0,74 | 0 | 0,00 | 1,25 | 0,00 | 0,46 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 1,10 | 0,00 | 1,71 | 0,00 |
| Flacourtiaceae | 5 | 0,08 | 9 | 0,25 | 3,13 | 5,63 | 0,05 | 0,16 | 0,77 | 1,58 | 0,77 | 1,58 | 0,12 | 0,49 | 1,65 | 3,66 |
| Rhamnaceae | 3 | 0,33 | 0 | 0,00 | 1,88 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | 0,46 | 0,00 | 0,46 | 0,00 | 0,50 | 0,00 | 1,42 | 0,00 |
| Lecythidaceae | 2 | 0,49 | 0 | 0,00 | 1,25 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,73 | 0,00 | 1,34 | 0,00 |
| Simaroubaceae | 3 | 0,17 | 4 | 0,12 | 1,88 | 2,50 | 0,10 | 0,07 | 0,46 | 0,70 | 0,46 | 0,70 | 0,25 | 0,23 | 1,17 | 1,64 |
| Lamiaceae | 2 | 0,31 | 0 | 0,00 | 1,25 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,46 | 0,00 | 1,07 | 0,00 |
| Combretaceae | 3 | 0,07 | 5 | 1,02 | 1,88 | 3,13 | 0,05 | 0,64 | 0,46 | 0,88 | 0,46 | 0,88 | 0,11 | 2,01 | 1,03 | 3,77 |
| Flacoutiaceae | 3 | 0,06 | 6 | 0,07 | 1,88 | 3,75 | 0,04 | 0,04 | 0,46 | 1,05 | 0,46 | 1,05 | 0,09 | 0,14 | 1,01 | 2,25 |
| Simaroudaceae | 2 | 0,05 | 4 | 0,10 | 1,25 | 2,50 | 0,03 | 0,06 | 0,31 | 0,70 | 0,31 | 0,70 | 0,08 | 0,20 | 0,69 | 1,60 |
| Violaceae | 2 | 0,03 | 20 | 1,12 | 1,25 | 12,50 | 0,02 | 0,70 | 0,31 | 3,51 | 0,31 | 3,51 | 0,04 | 2,19 | 0,66 | 9,22 |
| Verbenaceae | 1 | 0,04 | 0 | 0,00 | 0,63 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,15 | 0,00 | 0,15 | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,37 | 0,00 |
| Acanthaceae | 1 | 0,01 | 0 | 0 | 0,63 | 0 | 0,01 | 0 | 0,15 | 0 | 0,15 | 0 | 0,01 | 0 | 0,32 | 0 |
| Bombacaceae | 0 | 0,00 | 1 | 0,07 | 0,00 | 0,63 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,18 | 0,00 | 0,18 | 0,00 | 0,14 | 0,00 | 0,49 |
| Cannabaceae | 0 | 0,00 | 2 | 0,50 | 0,00 | 1,25 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,35 | 0,00 | 0,35 | 0,00 | 0,99 | 0,00 | 1,69 |

Annexe 4. Données statistiques relatives aux paramètres physico-chimiques des sols de deux sites d'étude (Yoko et Yangambi)

4.1. NOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur l'argile dans la tranche 0-20 cm (plateau)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|-------|-----|--------|------|--------|
| Occupations | 1,066 | 3 | 0,3554 | 43,2 | 0,0000 |
| Résidus | 1,020 | 124 | 0,0082 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|--------|
| FdA – Fd | 0,20 | 0,14 | 0,26 | <0,001 |
| Ja – Fd | -0,03 | -0,08 | 0,03 | = 0,65 |
| JaA – Fd | 0,12 | 0,07 | 0,18 | <0,001 |
| Ja – FdA | -0,22 | -0,28 | -0,16 | <0,001 |
| JaA – FdA | -0,07 | -0,13 | -0,01 | = 0,01 |
| JaA – Ja | 0,15 | 0,09 | 0,21 | <0,001 |

Test de Breusch-Pagan d'hétéroscédasticité : BP = 0,0088 ; Ddl = 1 ; p = 0,92

4.2. Test de Kruskal – Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur l'argile dans la tranche 20-40 cm (plateau)

Chi-deux = 78,2709 ; Ddl = 3 ; p < 2,2e⁻¹⁶

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|-----|-----------------------|
| FdA – JaA | 640 | 0,06971 |
| Fd – FdA | 0 | 2,464e ⁻¹⁶ |
| Fd – Ja | 0 | 2,464e ⁻¹⁶ |
| Fd – Ja A | 32 | 3,909e ⁻¹⁶ |
| Ja – FdA | 416 | 0,1714 |
| Ja – JaA | 736 | 0,001178 |

Test de Breusch-Pagan d'hétéroscédasticité : BP = 5,6999 ; Ddl = 1 ; p = 0,01697

4.3. Test de Kruskal – Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le limon dans la tranche 0-20 cm (plateau)

Chi-deux = 12,7 ; Ddl = 3 ; p = 0,005332

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|-----|----------|
| FdA – JaA | 512 | 1 |
| Fd – FdA | 704 | 0,004531 |
| Fd – Ja | 704 | 0,004531 |
| Fd – Ja A | 704 | 0,004531 |
| Ja – FdA | 512 | 1 |
| Ja – JaA | 512 | 1 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 13,4295 ; Ddl = 1 ; p = 0,0002477

4.4. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le limon dans la tranche 20-40 cm (plateau)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-------|--------|
| Occupations | 0,2739 | 3 | 0,09129 | 8,744 | 0,0000 |
| Résidus | 1,2946 | 124 | 0,01044 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|--------|
| FdA – Fd | -0,056 | -0,12 | 0,011 | 0,13 |
| Ja – Fd | -0,056 | -0,12 | 0,011 | 0,13 |
| JaA – Fd | 0,056 | -0,011 | 0,12 | 0,13 |
| Ja – FdA | 0,00 | -0,066 | 0,066 | 1,00 |
| JaA – FdA | 0,11 | 0,045 | 0,18 | 0,0001 |
| JaA – Ja | 0,11 | 0,045 | 0,18 | 0,0001 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 0,0792 ; Ddl = 1 ; p = 0,7784

4.5. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le sable dans la tranche 0-20 cm (plateau)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|--------------------|---------|-----|----------|-------|--------|
| Occupations | 0,01325 | 3 | 0,004418 | 39,38 | 0,0000 |
| Résidus | 0,01391 | 124 | 0,000112 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|----------|----------|-----------|-------|
| FdA – Fd | -0,02198 | -0,02887 | -0,01509 | 0,000 |
| Ja – Fd | 0,0033 | -0,0036 | 0,0102 | 0,604 |
| JaA – Fd | -0,013 | -0,020 | 0,-0,0063 | 0,000 |
| Ja – FdA | 0,025 | 0,018 | 0,032 | 0,000 |
| JaA – FdA | 0,0087 | 0,0018 | 0,0156 | 0,007 |
| JaA – Ja | -0,016 | -0,023 | -0,0096 | 0,000 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 0,9252 ; Ddl = 1 ; p = 0,3361

4.6. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le sable dans la tranche 20-40 cm

Chi-deux = 10,5312 ; Ddl = 3 ; p = 0,01455

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|-----|----------|
| FdA – JaA | 512 | 1 |
| Fd – FdA | 704 | 0,007875 |
| Fd – Ja | 692 | 0,01266 |
| Fd – Ja A | 704 | 0,007875 |
| Ja – FdA | 536 | 0,7391 |
| Ja - JaA | 488 | 0,7391 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 26,1625 ; p = 3,139e⁻⁰⁷

4.7. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur l'argile dans la tranche 0-20 cm (versant)

Chi-deux = 52,7856 ; Ddl = 3 ; $p = 2,037e^{-11}$

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|-----|----------------|
| FdA – JaA | 160 | $9.363e^{-07}$ |
| Fd – FdA | 32 | $3.909e^{-11}$ |
| Fd – Ja | 320 | 0.007164 |
| Fd – Ja A | 320 | 0.007164 |
| Ja – FdA | 160 | $9.363e^{-07}$ |
| Ja – JaA | 512 | 1 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 7,0737 ; $p = 0,007822$

4.8. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur l'argile dans la tranche 20-40 cm (versant)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-------|--------|
| Occupations | 0,8589 | 3 | 0,28628 | 49,29 | 0,0000 |
| Résidus | 0,7202 | 124 | 0,00581 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|-------|
| FdA – Fd | 0,2097 | 0,1601 | 0,2594 | 0,000 |
| Ja – Fd | 0,1378 | 0,0882 | 0,1874 | 0,000 |
| JaA – Fd | 0,0417 | -0,0078 | 0,09138 | 0.131 |
| Ja – FdA | -0,0719 | -0,1215 | -0,0223 | 0.001 |
| JaA – FdA | -0,1679 | -0,2176 | -0,1183 | 0,000 |
| JaA – Ja | -0,0961 | -0,1457 | -0,0464 | 0,000 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 2,6382 ; p-value = 0,1043

4.9. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le limon dans la tranche 0-20 cm (versant)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-------|--------|
| Occupations | 0,4284 | 3 | 0,14280 | 11,37 | 0,0000 |
| Résidus | 1,5575 | 124 | 0,01256 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|----------|---------|---------|--------|
| FdA – Fd | 0,05578 | -0,0172 | 0,1287 | 0,1969 |
| Ja – Fd | -0,04558 | -0,1185 | 0,0274 | 0,3674 |
| JaA – Fd | -0,10136 | -0,1743 | -0,0284 | 0,0024 |
| Ja – FdA | -0,1014 | -0,1743 | -0,0284 | 0,0024 |
| JaA – FdA | -0,1571 | -0,2301 | -0,0842 | 0,0000 |
| JaA – Ja | -0,0558 | -0,1287 | 0,0172 | 0,1969 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 0,7109 ; p-value = 0,3991

4.10. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le limon dans la tranche 20-40 cm (versant)

Chi-deux = 25,4 ; Ddl = 3 ; p-value = $1,274e^{-05}$

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|-----|----------------|
| FdA – JaA | 512 | 1 |
| Fd – FdA | 384 | 0.04121 |
| Fd – Ja | 640 | 0.002806 |
| Fd – Ja A | 384 | 0.04121 |
| Ja – FdA | 256 | $4.794e^{-06}$ |
| Ja – JaA | 256 | $4.794e^{-06}$ |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 56,3916 ; p-value = $5,938e^{-14}$

4.11. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le sable dans la tranche 0-20 cm (versant)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|---------|-----|----------|-------|--------|
| Occupations | 0,01782 | 3 | 0,005939 | 53,69 | 0,0000 |
| Résidus | 0,01372 | 124 | 0,000111 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|----------|----------|----------|---------|
| FdA – Fd | -0,0298 | -0,03661 | -0,02292 | 0,00000 |
| Ja – Fd | -0,00588 | -0,0127 | 0,00096 | 0,11898 |
| JaA – Fd | -0,00296 | -0,0098 | 0,00389 | 0,6747 |
| Ja – FdA | 0,02388 | 0,0170 | 0,030732 | 0,00000 |
| JaA – FdA | 0,02681 | 0,01996 | 0,03365 | 0,00000 |
| JaA – Ja | 0,00292 | -0,00392 | 0,00977 | 0,6828 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 0,4549 ; Ddl = 1 ; p-value = 0,50

4.12. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le sable dans la tranche 20-40 cm (versant)

Chi-deux = 63,1591 ; Ddl = 3 ; p-value = $1,242e^{-13}$

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|-----|----------------|
| FdA – JaA | 896 | $8,743e^{-08}$ |
| Fd – FdA | 992 | $3,909e^{-11}$ |
| Fd – Ja | 864 | $9,363e^{-07}$ |
| Fd – Ja A | 736 | 0,001698 |
| Ja – FdA | 832 | $1,069e^{-05}$ |
| Ja – JaA | 352 | 0,02604 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 10,9733 ; Ddl = 1 ; p-value = 0,0009244

4.13. ANOVA à deux facteurs pour l'argile dans la couche 0-20 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|-------|-------|----------|
| Type de sol | 30,25 | 1 | 30,25 | 34,41 | 0,000000 |
| Occupation | 174,75 | 3 | 58,25 | 66,27 | 0,000000 |
| Interaction | 18,75 | 3 | 6,25 | 7,11 | 0,000133 |
| Résidus | 218,00 | 248 | 0,88 | | |

4.14. ANOVA à deux facteurs pour l'argile dans la couche 20-40 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|--------|--------|----------|
| Type de sol | 32,20 | 1 | 31,22 | 31,39 | 0,000000 |
| Occupation | 316,75 | 3 | 105,58 | 127,11 | 0,000000 |
| Interaction | 44,75 | 3 | 14,92 | 17,96 | 0,000000 |
| Résidus | 206,00 | 248 | 0,83 | | |

4.15. ANOVA à deux facteurs pour le limon dans la couche 0-20 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|-------|-------|----------|
| Type de sol | 4,000 | 1 | 4,000 | 13,05 | 0,000367 |
| Occupation | 10,000 | 3 | 3,333 | 10,88 | 0,000001 |
| Interaction | 6,000 | 3 | 2,000 | 6,53 | 0,000289 |
| Résidus | 76,000 | 248 | 0,306 | | |

4.16. ANOVA à deux facteurs pour le limon dans la couche 20-40 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|-------|-------|----------|
| Type de sol | 1,000 | 1 | 1,000 | 5,17 | 0,023880 |
| Occupation | 8,000 | 3 | 2,667 | 13,78 | 0,000000 |
| Interaction | 3,000 | 3 | 1,000 | 5,17 | 0,001762 |
| Résidus | 48,000 | 248 | 0,194 | | |

4.17. ANOVA à deux facteurs pour le sable dans la couche 0-20 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|-----|-----|----|----|----------|
| Type de sol | 65 | 1 | 65 | 81 | 0,000000 |
| Occupation | 195 | 3 | 65 | 81 | 0,000000 |
| Interaction | 27 | 3 | 9 | 11 | 0,000001 |
| Résidus | 199 | 248 | 1 | | |

4.18. ANOVA à deux facteurs pour le sable dans la couche 20-40 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|-----|-----|----|----|----------|
| Type de sol | 28 | 1 | 28 | 21 | 0,000009 |
| Occupation | 148 | 3 | 49 | 37 | 0,000000 |
| Interaction | 45 | 3 | 15 | 11 | 0,000001 |
| Résidus | 332 | 248 | 1 | | |

4.19. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le pHeau dans la tranche de 0-20 cm (plateau)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-------|--------|
| Occupations | 0,3371 | 3 | 0,11235 | 42,25 | 0,0000 |
| Résidus | 0,3298 | 124 | 0,00266 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|-------|
| FdA – Fd | 0,116 | 0,082 | 0,149 | 0,000 |
| Ja – Fd | -0,010 | -0,043 | 0,024 | 0,875 |
| JaA – Fd | 0,068 | 0,034 | 0,102 | 0,000 |
| Ja – FdA | -0,125 | -0,160 | -0,092 | 0,000 |
| JaA – FdA | -0,047 | -0,081 | -0,014 | 0,002 |
| JaA – Ja | 0,078 | 0,044 | 0,111 | 0,000 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 3,5469 ; p = 0,05966

4.20. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le pHeau dans la tranche de 20-40 cm

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-------|--------|
| Occupations | 0,3617 | 3 | 0,12055 | 42,81 | 0,0000 |
| Résidus | 0,3492 | 124 | 0,00282 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|-------|
| FdA – Fd | 0,084 | 0,050 | 0,119 | 0,000 |
| Ja – Fd | -0,049 | -0,084 | -0,015 | 0,002 |
| JaA – Fd | 0,065 | 0,031 | 0,100 | 0,000 |
| Ja – FdA | -0,134 | -0,168 | -0,099 | 0,000 |
| JaA – FdA | -0,019 | -0,053 | 0,016 | 0,489 |
| JaA – Ja | 0,115 | 0,080 | 0,149 | 0,000 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 2,032 ; p = 0,154

4.21. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le MOS dans la tranche de 0-20 cm (plateau)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-------|--------|
| Occupations | 0,3371 | 3 | 0,11235 | 42,25 | 0,0000 |
| Résidus | 0,3298 | 124 | 0,00266 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|-------|
| FdA – Fd | 0,116 | 0,082 | 0,149 | 0,000 |
| Ja – Fd | -0,010 | -0,043 | 0,024 | 0,875 |
| JaA – Fd | 0,068 | 0,034 | 0,102 | 0,000 |
| Ja – FdA | -0,125 | -0,159 | -0,092 | 0,000 |
| JaA – FdA | -0,047 | -0,081 | -0,014 | 0,002 |
| JaA – Ja | 0,078 | 0,044 | 0,111 | 0,000 |

Test d'hétéroscédasticité: BP = 3,5469 ; p = 0,05966

4.22. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le MOS dans la tranche de 20-40 cm (plateau)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-------|--------|
| Occupations | 0,3617 | 3 | 0,12055 | 42,81 | 0,0000 |
| Résidus | 0,3492 | 124 | 0,00282 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|-------|
| FdA – Fd | 0,084 | 0,050 | 0,119 | 0,000 |
| Ja – Fd | -0,049 | -0,083 | -0,15 | 0,002 |
| JaA – Fd | 0,065 | 0,031 | 0,100 | 0,000 |
| Ja – FdA | -0,134 | -0,168 | -0,099 | 0,000 |
| JaA – FdA | -0,019 | -0,053 | 0,016 | 0,490 |
| JaA – Ja | 0,115 | 0,080 | 0,149 | 0,000 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 2,032 ; p = 0,154

4.23. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le COT dans la tranche de 0-20 cm (plateau)

Chi-deux = 119,2934 ; Ddl = 3 ; p < 2,2e⁻¹⁶

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|--------|------------------------|
| FdA – JaA | 1024 | 5,349e ⁻¹² |
| Fd – FdA | 374,5 | 0,06213 |
| Fd – Ja | 1021,5 | 5,506 e ⁻¹² |
| Fd – Ja A | 704 | 0,009953 |
| Ja – FdA | 1024 | 5,083e ⁻¹² |
| Ja – JaA | 0 | 5,31e ⁻¹² |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 6,3253 ; p = 0,0119

4.24. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le COT dans la tranche de 20-40 cm

Chi-deux = 119,2934 ; Ddl = 3 ; $p < 2,2e^{-16}$

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|------|-----------------|
| FdA – JaA | 832 | $1,577e^{-05}$ |
| Fd – FdA | 381 | 0,07573 |
| Fd – Ja | 1024 | $4,928 e^{-12}$ |
| Fd – Ja A | 584 | 0,3348 |
| Ja – FdA | 1024 | $4,823e^{-12}$ |
| Ja – JaA | 0 | $4,668e^{-12}$ |

Test d'hétéroscédasticité: BP = 13,2702 ; $p = 0,0002697$

4.25. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le Nt dans la tranche de 0-20 cm (plateau)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-----|-------|
| Occupations | 0,3193 | 3 | 0,10642 | 271 | 0,000 |
| Résidus | 0,0487 | 124 | 0,00039 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|-------|
| FdA – Fd | 0,049 | 0,036 | 0,062 | 0,000 |
| Ja – Fd | -0,089 | -0,102 | -0,076 | 0,000 |
| JaA – Fd | -0,028 | -0,042 | -0,016 | 0,000 |
| Ja – FdA | -0,138 | -0,151 | -0,125 | 0,000 |
| JaA – FdA | -0,078 | -0,091 | -0,065 | 0,000 |
| JaA – Ja | 0,060 | 0,047 | 0,073 | 0,000 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 3,5358 ; $p = 0,06$

4.26. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le Nt dans la tranche de 20-40 cm (plateau)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-------|-------|
| Occupations | 0,3364 | 3 | 0,11214 | 391,6 | 0,000 |
| Résidus | 0,0355 | 124 | 0,00029 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|-------|
| FdA – Fd | 0,055 | 0,044 | 0,066 | 0,000 |
| Ja – Fd | -0,066 | -0,077 | -0,055 | 0,000 |
| JaA – Fd | -0,068 | -0,079 | -0,057 | 0,000 |
| Ja – FdA | -0,121 | -0,132 | -0,110 | 0,000 |
| JaA – FdA | -0,123 | -0,134 | -0,112 | 0,000 |
| JaA – Ja | -0,002 | -0,013 | 0,009 | 0,948 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 0,4044 ; p = 0,5248

4.27. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le rapport C/N dans la tranche de 0-20 cm (plateau)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|-------|-----|--------|-------|-------|
| Occupations | 1,816 | 3 | 0,6054 | 59,19 | 0,000 |
| Résidus | 1,268 | 124 | 0,0102 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|-------|
| FdA – Fd | 0,222 | 0,156 | 0,288 | 0,000 |
| Ja – Fd | 0,201 | 0,135 | 0,266 | 0,000 |
| JaA – Fd | 0,330 | 0,264 | 0,395 | 0,000 |
| Ja – FdA | -0,021 | -0,087 | 0,045 | 0,836 |
| JaA – FdA | 0,108 | 0,042 | 0,174 | 0,000 |
| JaA – Ja | 0,129 | 0,063 | 0,195 | 0,000 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 0,7676 ; p = 0,381

4.28. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le rapport C/N dans la tranche de 20-40 cm (plateau)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|-------|-----|--------|-------|-------|
| Occupations | 8,031 | 3 | 2,6769 | 180,5 | 0,000 |
| Résidus | 1,839 | 124 | 0,0148 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|-------|
| FdA – Fd | 0,230 | 0,151 | 0,310 | 0,000 |
| Ja – Fd | 0,030 | -0,049 | 0,109 | 0,759 |
| JaA – Fd | 0,628 | 0,548 | 0,707 | 0,000 |
| Ja – FdA | -0,200 | -0,280 | -0,121 | 0,000 |
| JaA – FdA | 0,397 | 0,318 | 0,477 | 0,000 |
| JaA – Ja | 0,598 | 0,519 | 0,677 | 0,000 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 0,999 ; p = 0,3176

4.29. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le P₂O₅d dans la tranche de 0-20 cm

Chi-deux = 114,4214 ; Ddl = 3 ; p < 2,2e⁻¹⁶

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|------|-----------------------|
| FdA – JaA | 1024 | 4,889e ⁻¹² |
| Fd – FdA | 352 | 0,02903 |
| Fd – Ja | 904 | 1,312e ⁻⁰⁷ |
| Fd – Ja A | 704 | 0,009879 |
| Ja – FdA | 1024 | 5,207e ⁻¹² |
| Ja – JaA | 0 | 5,688e ⁻¹² |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 13,1039 ; p = 0,0002947

4.30. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le P₂O₅d dans la tranche de 20-40 cm (plateau)

Chi-deux = 119,3799 ; Ddl = 3 ; $p < 2,2e^{-16}$

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|------|----------------|
| FdA – JaA | 1024 | $5,132e^{-12}$ |
| Fd – FdA | 349 | 0,0272 |
| Fd – Ja | 1024 | $4,984e^{-12}$ |
| Fd – Ja A | 704 | 0,009881 |
| Ja – FdA | 1024 | $5,331e^{-12}$ |
| Ja – JaA | 0 | $5,343e^{-12}$ |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 13,3738 ; $p = 0,0002552$

4.31. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le pHeau dans la tranche de 0-20 cm (versant)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-------|-------|
| Occupations | 0,5611 | 3 | 0,18704 | 65,45 | 0,000 |
| Résidus | 0,3544 | 124 | 0,00286 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|----------|----------|---------|--------|
| FdA – Fd | -0,00525 | -0,04006 | 0,0295 | 0,979 |
| Ja – Fd | 0,11044 | 0,07564 | 0,1452 | 0,000 |
| JaA – Fd | 0,14459 | 0,10979 | 0,1794 | 0,000 |
| Ja – FdA | 0,11569 | 0,08089 | 0,1505 | 0,000 |
| JaA – FdA | 0,14985 | 0,11504 | 0,1846 | 0,000 |
| JaA – Ja | 0,03415 | -0,00065 | 0,0689 | 0,0565 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 1,6472 ; p-value = 0,1993

4.32. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le pHeau dans la tranche de 20-40 cm (versant)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|--------------------|--------|-----|---------|------|-------|
| Occupations | 0,4079 | 3 | 0,13596 | 89,3 | 0,000 |
| Résidus | 0,1888 | 124 | 0,00152 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|----------|---------|--------|
| FdA – Fd | 0,0139 | -0,01146 | 0,0393 | 0,4837 |
| Ja – Fd | 0,1006 | 0,07519 | 0,1260 | 0,0000 |
| JaA – Fd | 0,1334 | 0,1080 | 0,1588 | 0,0000 |
| Ja – FdA | 0,0867 | 0,06126 | 0,1121 | 0,0000 |
| JaA – FdA | 0,1195 | 0,09408 | 0,1449 | 0,0000 |
| JaA – Ja | 0,0328 | 0,00742 | 0,0582 | 0,0055 |

Test d'hétéroscédasticité: BP = 3,6953 ; p-value = 0,05456

4.33. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le COT dans la tranche de 0-20 cm (versant)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|--------------------|-------|-----|--------|-------|-------|
| Occupations | 5,028 | 3 | 1,6760 | 163,7 | 0,000 |
| Résidus | 1,270 | 124 | 0,0102 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|----------|--------|
| FdA – Fd | -0,1052 | -0,1711 | -0,03930 | 0,0003 |
| Ja – Fd | 0,2295 | 0,1636 | 0,29533 | 0,0000 |
| JaA – Fd | 0,4039 | 0,3381 | 0,46981 | 0,0000 |
| Ja – FdA | 0,3346 | 0,2687 | 0,40051 | 0,0000 |
| JaA – FdA | 0,5091 | 0,4432 | 0,57499 | 0,0000 |
| JaA – Ja | 0,1745 | 0,1086 | 0,24036 | 0,0000 |

Test d'hétéroscédasticité: BP = 0,7364 ; p-value = 0,3908

4.34. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le COT dans la tranche de 20-40 cm

Chi-deux = 84,4402 ; Ddl = 3 ; p-value < $2,2e^{-16}$

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|-------|----------------|
| FdA – JaA | 0 | $4,886e^{-12}$ |
| Fd – FdA | 0 | $4,953e^{-12}$ |
| Fd – Ja | 778,5 | 0,0003082 |
| Fd – Ja A | 412 | 0,1758 |
| Ja – FdA | 0 | $4,84e^{-12}$ |
| Ja – JaA | 192,5 | $1,614e^{-05}$ |

Test d'hétéroscédastité : BP = 38,2688 ; p-value = $6,164e^{-10}$

4.35. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le MOS dans la tranche de 0-20 cm (versant)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|-------|-------|
| Occupations | 0,5611 | 3 | 0,18704 | 65,45 | 0,000 |
| Résidus | 0,3544 | 124 | 0,00286 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|----------|-----------|---------|--------|
| FdA – Fd | -0,00525 | -0,040056 | 0,02955 | 0,9793 |
| Ja – Fd | 0,11044 | 0,075638 | 0,14525 | 0,0000 |
| JaA – Fd | 0,14459 | 0,109791 | 0,1794 | 0,0000 |
| Ja – FdA | 0,11569 | 0,08089 | 0,1505 | 0,0000 |
| JaA – FdA | 0,14985 | 0,115042 | 0,1846 | 0,0000 |
| JaA – Ja | 0,03415 | -0,000653 | 0,0689 | 0,0565 |

Test d'hétéroscédastité : BP = 1,6472 ; p-value = 0,1993

4.36. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le MOS dans la tranche de 20-40 cm (versant)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|---------|------|-------|
| Occupations | 0,4079 | 3 | 0,13596 | 89,3 | 0,000 |
| Résidus | 0,1888 | 124 | 0,00152 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|----------|---------|--------|
| FdA – Fd | 0,01394 | -0,01146 | 0,0393 | 0,4837 |
| Ja – Fd | 0,10060 | 0,07519 | 0,1260 | 0,0000 |
| JaA – Fd | 0,13342 | 0,10802 | 0,1588 | 0,0000 |
| Ja – FdA | 0,0867 | 0,06126 | 0,1121 | 0,0000 |
| JaA – FdA | 0,1195 | 0,09408 | 0,1449 | 0,0000 |
| JaA – Ja | 0,0328 | 0,00742 | 0,0582 | 0,0055 |

Test d'hétéroscédasticité: BP = 3,6953 ; p-value = 0,05456

4.37. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le Nt dans la tranche de 0-20 cm

Chi-deux = 103,4673 ; Ddl = 3 ; p-value < $2,2e^{-16}$

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|-------|----------------|
| FdA – JaA | 1024 | $4,522e^{-12}$ |
| Fd – FdA | 56 | $7,692e^{-10}$ |
| Fd – Ja | 1020 | $7,465e^{-12}$ |
| Fd – Ja A | 523,5 | 0,8806 |
| Ja – FdA | 0 | $5,284e^{-12}$ |
| Ja – JaA | 0 | $5,037e^{-12}$ |

Test d'hétéroscédasticité: BP = 6,5138 ; p-value = 0,0107

4.38. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le Nt dans la tranche de 20-40 cm (versant)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|---------|-----|---------|-------|-------|
| Occupations | 0,21598 | 3 | 0,07199 | 294,5 | 0,000 |
| Résidus | 0,03032 | 124 | 0,00024 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|----------|---------|----------|--------|
| FdA – Fd | 0,03778 | 0,0276 | 0,04796 | 0,0000 |
| Ja – Fd | -0,05657 | -0,0667 | -0,04639 | 0,0000 |
| JaA – Fd | -0,06089 | -0,0711 | -0,05072 | 0,0000 |
| Ja – FdA | 0,09436 | 0,0842 | 0,1045 | 0,0000 |
| JaA – FdA | 0,09868 | 0,0885 | 0,1089 | 0,0000 |
| JaA – Ja | -0,00432 | -0,0145 | 0,00585 | 0,6863 |

Test d'hétéroscédasticité: BP = 0,1659 ; p-value = 0,6838

4.39. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le rapport C/N dans la tranche de 0-20 cm (versant)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|-------|-----|--------|-------|-------|
| Occupations | 1,479 | 3 | 0,4930 | 28,11 | 0,000 |
| Résidus | 2,174 | 124 | 0,0175 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|----------|---------|---------|--------|
| FdA – Fd | 0,23553 | 0,1493 | 0,3217 | 0,0000 |
| Ja – Fd | 0,26924 | 0,1830 | 0,3554 | 0,0000 |
| JaA – Fd | 0,2334 | 0,1472 | 0,3196 | 0,0000 |
| Ja – FdA | -0,03371 | -0,1199 | 0,0525 | 0,739 |
| JaA – FdA | 0,00212 | -0,0841 | 0,0883 | 0,9999 |
| JaA – Ja | -0,03582 | -0,1221 | 0,0504 | 0,7010 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 1,5234 ; p-value = 0,2171

4.40. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le rapport C/N dans la tranche de 0-20 cm (versant)

Chi-deux = 84, 4402 ; Ddl = 3 ; p-value < $2, 2e^{-16}$

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|-------|----------------|
| FdA – JaA | 904 | $1,298e^{-07}$ |
| Fd – FdA | 32 | $1,009e^{-10}$ |
| Fd – Ja | 512 | 1 |
| Fd – Ja A | 0 | $5,415e^{-12}$ |
| Ja – FdA | 444,5 | 0,3659 |
| Ja – JaA | 313 | 0,007426 |

Test d'hétéroscédasticité : BP = 14,4494 ; p-value = 0,000144

4.41. ANOVA à un facteur pour tester l'effet de l'espèce sur le P_2O_5d dans la tranche de 0-20 cm (versant)

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|-------|-----|--------|-------|-------|
| Occupations | 4,267 | 3 | 1,4224 | 130,8 | 0,000 |
| Résidus | 1,348 | 124 | 0,0109 | | |

Test de Tukey HSD

| Comparaisons multiples | Moyenne | Minimum | Maximum | p |
|------------------------|---------|---------|---------|-------|
| FdA – Fd | 0,3261 | 0,2583 | 0,394 | 0,000 |
| Ja – Fd | -0,174 | -0,2419 | -0,106 | 0,000 |
| JaA – Fd | 0,1277 | 0,0598 | 0,195 | 0,000 |
| Ja – FdA | 0,500 | 0,4322 | 0,5679 | 0,000 |
| JaA – FdA | 0,1985 | 0,1306 | 0,2661 | 0,000 |
| JaA – Ja | 0,3016 | 0,2337 | 0,3695 | 0,000 |

Test d'hétéroscédasticité: BP = 1,1351 ; p-value = 0,2867

4.42. Test de Kruskal-Wallis pour tester l'effet de l'espèce sur le P_2O_5d dans la tranche de 20-40 cm (versant)

Chi-deux = 109,4082 ; Ddl = 3 ; p-value < $2,2e^{-16}$

Tableau du test de comparaison deux à deux de Wilcoxon

| Comparaisons multiples | W | p-value |
|------------------------|------|----------------|
| FdA – JaA | 0 | $5,346e^{-12}$ |
| Fd – FdA | 0 | $5,298e^{-12}$ |
| Fd – Ja | 849 | $5,874e^{-06}$ |
| Fd – Ja A | 40 | $2,119e^{-10}$ |
| Ja – FdA | 0 | $5,507e^{-12}$ |
| Ja - JaA | 12,5 | $1,728e^{-11}$ |

Test d'hétéroscédasticité: BP = 26,2762 ; p-value = $2,959e^{-07}$

4.43. ANOVA à deux facteurs pour le pHeau dans la couche 0-20 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|-------|--------|----------|
| Type de sol | 0,284 | 1 | 0,284 | 5,40 | 0,020931 |
| Occupation | 16,576 | 3 | 5,525 | 105,25 | 0,000000 |
| Interaction | 0,404 | 3 | 0,135 | 2,56 | 0,055254 |
| Résidus | 13,020 | 248 | 0,052 | | |

4.44. ANOVA à deux facteurs pour le pHeau dans la couche 20-40 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|-------|-------|----------|
| Type de sol | 0,041 | 1 | 0,041 | 1,1 | 0,296609 |
| Occupation | 12,108 | 3 | 4,036 | 108,3 | 0,000000 |
| Interaction | 0,561 | 3 | 0,187 | 5,0 | 0,002153 |
| Résidus | 9,239 | 248 | 0,037 | | |

4.45. ANOVA à deux facteurs pour le COT dans la couche 0-20 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|--------|--------|----------|
| Type de sol | 0,383 | 1 | 0,383 | 10,81 | 0,001156 |
| Occupation | 64,942 | 3 | 21,647 | 611,16 | 0,000000 |
| Interaction | 0,411 | 3 | 0,137 | 3,87 | 0,009942 |
| Résidus | 8,784 | 248 | 0,035 | | |

4.46. ANOVA à deux facteurs pour le COT dans la couche 20-40 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|--------|--------|----------|
| Type de sol | 0,088 | 1 | 0,088 | 1,47 | 0,226282 |
| Occupation | 62,318 | 3 | 20,773 | 348,26 | 0,000000 |
| Interaction | 3,849 | 3 | 1,283 | 21,51 | 0,000000 |
| Résidus | 14,793 | 248 | 0,060 | | |

4.47. ANOVA à deux facteurs pour le MOS dans la couche 0-20 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|-------|-----|-------|--------|----------|
| Type de sol | 0,85 | 1 | 0,85 | 5,40 | 0,020931 |
| Occupation | 49,61 | 3 | 16,54 | 105,25 | 0,000000 |
| Interaction | 1,21 | 3 | 0,40 | 2,56 | 0,055254 |
| Résidus | 38,97 | 248 | 0,16 | | |

4.48. ANOVA à deux facteurs pour le MOS dans la couche 20-40 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|-------|-----|-------|-------|----------|
| Type de sol | 0,12 | 1 | 0,12 | 1,1 | 0,296609 |
| Occupation | 36,24 | 3 | 12,08 | 108,3 | 0,000000 |
| Interaction | 1,68 | 3 | 0,56 | 5,0 | 0,002153 |
| Résidus | 27,65 | 248 | 0,11 | | |

4.49. ANOVA à deux facteurs pour le Nt dans la couche 0-20 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|---------|-----|---------|--------|----------|
| Type de sol | 0,00017 | 1 | 0,00017 | 0,24 | 0,621714 |
| Occupation | 1,04134 | 3 | 0,34711 | 491,81 | 0,000000 |
| Interaction | 0,01634 | 3 | 0,00545 | 7,72 | 0,000060 |
| Résidus | 0,17503 | 248 | 0,00071 | | |

4.50. ANOVA à deux facteurs pour le Nt dans la couche 20-40 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|---------|-----|---------|--------|----------|
| Type de sol | 0,03730 | 1 | 0,03730 | 87,59 | 0,000000 |
| Occupation | 0,88354 | 3 | 0,29451 | 691,64 | 0,000000 |
| Interaction | 0,01407 | 3 | 0,00469 | 11,01 | 0,000001 |
| Résidus | 0,10560 | 248 | 0,00043 | | |

4.51. ANOVA à deux facteurs pour le rapport C/N dans la couche 0-20 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|-------|-------|----------|
| Type de sol | 2,12 | 1 | 2,12 | 2,88 | 0,090983 |
| Occupation | 142,90 | 3 | 47,63 | 64,65 | 0,000000 |
| Interaction | 14,32 | 3 | 4,77 | 6,48 | 0,000309 |
| Résidus | 182,73 | 248 | 0,74 | | |

4.52. ANOVA à deux facteurs pour le rapport C/N dans la couche 20-40 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|--------|--------|----------|
| Type de sol | 43,82 | 1 | 43,82 | 31,95 | 0,000000 |
| Occupation | 654,40 | 3 | 218,13 | 159,05 | 0,000000 |
| Interaction | 74,67 | 3 | 24,89 | 18,15 | 0,000000 |
| Résidus | 340,12 | 248 | 1,37 | | |

4.53. ANOVA à deux facteurs pour le P₂O₅d dans la couche 0-20 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|--------|-----|--------|--------|----------|
| Type de sol | 0,158 | 1 | 0,158 | 3,64 | 0,057658 |
| Occupation | 62,720 | 3 | 20,907 | 481,26 | 0,000000 |
| Interaction | 2,552 | 3 | 0,851 | 19,59 | 0,000000 |
| Résidus | 10,774 | 248 | 0,043 | | |

4.54. ANOVA à deux facteurs pour le P₂O₅d dans la couche 20-40 cm de profondeur

| | SC | Ddl | CM | F | p |
|-------------|---------|-----|---------|---------|----------|
| Type de sol | 0,0395 | 1 | 0,0395 | 2,97 | 0,086257 |
| Occupation | 45,5223 | 3 | 15,1741 | 1139,52 | 0,000000 |
| Interaction | 0,2775 | 3 | 0,0925 | 6,95 | 0,000166 |
| Résidus | 3,3024 | 248 | 0,0133 | | |

Annexe 5. Corrélation

Tableau 5.1. Corrélation Ybi

| | Arg | C.N | COT | dhp | Lim | MOS | Nt | P205 | pH | Sab |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Arg | 1.00 | 0.21 | -0.23 | 0.04 | -0.31 | -0.23 | -0.45 | -0.26 | -0.29 | -0.92 |
| C.N | 0.21 | 1.00 | 0.52 | 0.12 | 0.18 | 0.52 | -0.36 | 0.33 | 0.19 | -0.31 |
| COT | -0.23 | 0.52 | 1.00 | 0.12 | 0.10 | 1.00 | 0.60 | 0.84 | 0.71 | 0.18 |
| dhp | 0.04 | 0.12 | 0.12 | 1.00 | -0.05 | 0.12 | 0.02 | 0.07 | 0.04 | -0.05 |
| Lim | -0.31 | 0.18 | 0.10 | -0.05 | 1.00 | 0.10 | -0.03 | 0.14 | 0.08 | 0.02 |
| MOS | -0.23 | 0.52 | 1.00 | 0.12 | 0.10 | 1.00 | 0.60 | 0.84 | 0.71 | 0.18 |
| Nt | -0.45 | -0.36 | 0.60 | 0.02 | -0.03 | 0.60 | 1.00 | 0.60 | 0.59 | 0.47 |
| P205 | -0.26 | 0.33 | 0.84 | 0.07 | 0.14 | 0.84 | 0.60 | 1.00 | 0.66 | 0.21 |
| pH | -0.29 | 0.19 | 0.71 | 0.04 | 0.08 | 0.71 | 0.59 | 0.66 | 1.00 | 0.24 |
| Sab | -0.92 | -0.31 | 0.18 | -0.05 | 0.02 | 0.18 | 0.47 | 0.21 | 0.24 | 1.00 |

| P | Arg | C.N | COT | dhp | Lim | MOS | Nt | P205 | pH | Sab |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Arg | | 0.0006 | 0.0002 | 0.5233 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| C.N | 0.0006 | | 0.0000 | 0.0568 | 0.0032 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0018 | 0.0000 |
| COT | 0.0002 | 0.0000 | | 0.0647 | 0.1253 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0046 |
| dhp | 0.5233 | 0.0568 | 0.0647 | | 0.4392 | 0.0647 | 0.7004 | 0.2662 | 0.4871 | 0.4107 |
| Lim | 0.0000 | 0.0032 | 0.1253 | 0.4392 | | 0.1253 | 0.6422 | 0.0303 | 0.2264 | 0.7306 |
| MOS | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0647 | 0.1253 | | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0046 |
| Nt | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.7004 | 0.6422 | 0.0000 | | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| P205 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2662 | 0.0303 | 0.0000 | 0.0000 | | 0.0000 | 0.0010 |
| pH | 0.0000 | 0.0018 | 0.0000 | 0.4871 | 0.2264 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | | 0.0001 |
| Sab | 0.0000 | 0.0000 | 0.0046 | 0.4107 | 0.7306 | 0.0046 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0001 | |

Tableau 5.2. Corrélation Yoko

| | Arg | C.N | COT | dhp | Lim | MOS | Nt | P205 | pH | Sab |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Arg | 1.00 | 0.72 | 0.51 | 0.04 | -0.31 | 0.51 | -0.03 | 0.40 | 0.31 | -0.84 |
| C.N | 0.72 | 1.00 | 0.68 | 0.05 | -0.17 | 0.68 | -0.07 | 0.45 | 0.34 | -0.61 |
| COT | 0.51 | 0.68 | 1.00 | -0.14 | 0.05 | 1.00 | 0.68 | 0.87 | 0.71 | -0.43 |
| dhp | 0.04 | 0.05 | -0.14 | 1.00 | -0.09 | -0.14 | -0.24 | -0.19 | -0.19 | -0.03 |
| Lim | -0.31 | -0.17 | 0.05 | -0.09 | 1.00 | 0.05 | 0.27 | 0.05 | 0.11 | 0.04 |
| MOS | 0.51 | 0.68 | 1.00 | -0.14 | 0.05 | 1.00 | 0.68 | 0.87 | 0.71 | -0.43 |
| Nt | -0.03 | -0.07 | 0.68 | -0.24 | 0.27 | 0.68 | 1.00 | 0.74 | 0.62 | 0.03 |
| P205 | 0.40 | 0.45 | 0.87 | -0.19 | 0.05 | 0.87 | 0.74 | 1.00 | 0.72 | -0.31 |
| pH | 0.31 | 0.34 | 0.71 | -0.19 | 0.11 | 0.71 | 0.62 | 0.72 | 1.00 | -0.27 |
| Sab | -0.84 | -0.61 | -0.43 | -0.03 | 0.04 | -0.43 | 0.03 | -0.31 | -0.27 | 1.00 |

| P | Arg | C.N | COT | dhp | Lim | MOS | Nt | P205 | pH | Sab |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Arg | | 0.0000 | 0.0000 | 0.5711 | 0.0000 | 0.0000 | 0.6893 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| C.N | 0.0000 | | 0.0000 | 0.4672 | 0.0074 | 0.0000 | 0.2658 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| COT | 0.0000 | 0.0000 | | 0.0242 | 0.4465 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| dhp | 0.5711 | 0.4672 | 0.0242 | | 0.1622 | 0.0242 | 0.0001 | 0.0025 | 0.0027 | 0.6833 |
| Lim | 0.0000 | 0.0074 | 0.4465 | 0.1622 | | 0.4465 | 0.0000 | 0.3814 | 0.0782 | 0.4841 |
| MOS | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0242 | 0.4465 | | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Nt | 0.6893 | 0.2658 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | | 0.0000 | 0.0000 | 0.6582 |
| P205 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0025 | 0.3814 | 0.0000 | 0.0000 | | 0.0000 | 0.0000 |
| pH | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0027 | 0.0782 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | | 0.0000 |
| Sab | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.6833 | 0.4841 | 0.0000 | 0.6582 | 0.0000 | 0.0000 | |