

Communauté française de Belgique

**FACULTE UNIVERSITAIRE DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE
GEMBLoux**

**Caractérisation de l'agroforêt LIMBA-bananier
de la Réserve de Biosphère de Luki
(Mayumbe, Bas-Congo)**

Travail de fin d'études

Année académique 2007-2008

Présenté par Sébastien Bauwens

Promoteurs : Pr. Jean-Louis Doucet et Pr. Jean Lejoly

En vue de l'obtention du grade de Bioingénieur en Nature, Eaux et Forêts

© Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de la Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux.

Le présent document n'engage que son auteur

Communauté française de Belgique

**FACULTE UNIVERSITAIRE DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE
GEMBLoux**

**Caractérisation de l'agroforêt LIMBA-bananier
de la Réserve de Biosphère de Luki
(Mayumbe, Bas-Congo)**

Travail de fin d'études

Année académique 2007-2008

Présenté par Sébastien Bauwens

Promoteurs : Pr. Jean-Louis Doucet et Pr. Jean Lejoly

En vue de l'obtention du grade de Bioingénieur en Nature, Eaux et Forêts

Remerciements

Ce travail réalisé dans le cadre du programme de relance de la Recherche Agricole et Forestière en République Démocratique du Congo (REAFOR) m'a permis d'utiliser les connaissances apprises lors de mes cinq années d'études dans ces "vieux murs de Gembloux".

Je tiens à remercier chaleureusement mon co-promoteur professeur J. Lejoly (ULB) pour m'avoir donné cette opportunité de travailler pour REAFOR, mon co-promoteur professeur J-L. Doucet pour ses conseils éclairés et le professeur J. Rondeux, président de jury.

Mes gratifications vont également au professeur J-P Mate (UNIKIS, coordonnateur forestier adjoint du REAFOR/site de Luki) qui a supervisé la mise en place de mon travail sur le terrain, à mon père Dominique qui m'a accueilli, aidé et soutenu durant tout mon travail, à l'assistant Kasso Daïnou, pour ses lectures et conseils.

Une attention particulière va à mon ami Pathy Kibungu, étudiant de l'université de Kinshasa avec qui j'ai passé tous les bons et durs moments de mon séjour en RDC, à Lidjo N'Landu Phanzu (agent INERA), à Dakin et Nsunda pour leurs travaux réalisés sur le terrain.

Je tiens également à remercier Faustin Boyemba, doctorant à l'ULB, qui nous a aidé Pathy et moi à lancer le travail sur le terrain ; les doctorantes Camille Couralet et Maaïke De Ridder du Musée royal d'Afrique central de Tervuren, pour l'aide, les conseils et les informations reçus avant mon départ ; la WWF RDC à travers Laurent Nsenga pour l'aides logistique apporté ; les chaleureux villageois de Monzy, et cette bonne vieille promotion de forestiers pour ces trois dernières années d'étude qui se sont passées dans la bonne humeur et le "travail".

Le voyage réalisé dans le cadre du présent travail a été rendu possible grâce à l'intervention financière du Conseil interuniversitaire de la Communauté française de Belgique - Commission universitaire pour le Développement - Rue de Namur, 72-74, 1000 Bruxelles - www.cud.be.

Enfin, je porte une pensée particulière à ma famille qui m'a soutenu moralement.

Résumé

A l'heure actuelle les systèmes d'agroforêts comprenant le bananier font l'objet de peu d'études. Le but de ce travail est d'acquérir une meilleure connaissance du système agroforestier original qu'est l'agroforêt limba – bananier (*Terminalia superba* – *Musa acuminata* cult. 'Gros Michel'). Pour cela, l'étude s'est concentrée sur trois points : caractériser la composante arborée du système, estimer le rendement réalisé par ces bananeraies sous couvert et évaluer la diversité végétale de ce système. Il en ressort que la plantation de limbas actuelle, âgée d'une cinquantaine d'année ne présente plus le potentiel sylvicole prévu à la base. La densité de celle-ci est en moyenne de 26 limbas par hectare, ce qui représente un volume moyen de 136,71 m³/ha, soit le tiers du volume d'une plantation de limbas de même âge et dont la densité est de 86 limbas/ha. La composition botanique de ce système ne diffère pas profondément de celui d'une plantation de limbas pure. Par contre la diversité du cortège floristique ligneux accompagnant le limba est réduite de moitié. Sous une fermeture moyenne du couvert arboré de 60 %, le rendement des bananeraies âgées de 20 ans est en moyenne de 2,9 t ha⁻¹ an⁻¹, ce qui est 25% inférieur au rendement des bananeraies classiques de la province (Bas-Congo). Ce rendement paraît convenable pour des bananeraies de cet âge car une telle culture, réalisée à ciel ouvert, serait normalement abandonnée après 10 ans par manque de rendement, et laissée en jachère durant 10 à 15 ans. Ce système agroforestier paraît donc durable et convient parfaitement pour les zones de transition de la Réserve de Biosphère de Luki.

Mots clés : *Terminalia superba*, limba, Gros Michel, bananier, agroforesterie, Mayumbe, Luki, Bas-Congo, RDC, plantation, sylvo-bananier, croissance, diversité, réserve de biosphère, MAB.

Abstract

Few studies have been realised about agroforestry systems including banana plants. The aim of this study is to get a better knowledge of the original agroforestry system: the limba – banana (*Terminalia superba*- *Musa acuminata* cult. 'Gros Michel'). To achieve this aim, the attention has been put on three points: characterizing the woody component, estimating the yield of the banana understorey crop and evaluating the vegetal diversity of this system. The limbas' plantation doesn't show anymore its expected silvicultural potential. Its density is in average 26 limbas per hectare, which represents a volume of 136.71 m³/ha, that is to say the third of a limba's plantation volume with the same age and with 86 limbas/ha. The botanical composition of this system does not fundamentally differ from a pure limba's plantation. However, the woody vegetal diversity is reduced by a half. With a canopy closure at 60 %, the yield of 20-year old banana plantation is 25 % lower than a classic banana plantation yield of the province (Bas-Congo). This yield is suitable for a banana plantation of this age with no external input. Banana plantations in open field are usually abandoned after 10 years because of an insufficient yield, and they are then lied fallow for 10 to 15 years. This agroforestry system appears to be sustainable and it suits perfectly the transition areas of the Biosphere Reserve of Luki.

Key words: *Terminalia superba*, limba, Gros Michel, banana, agroforestry, Mayumbe, Luki, Bas-Congo, RDC, plantation, sylvo-bananier, growth, diversity, biosphere reserve, MAB.

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	iv
Index des tableaux	vi
Introduction.....	1
Partie 1: Généralités	2
I. Présentation du milieu d'étude	2
I.1. Localisation et statut de la réserve	2
I.2. La géologie et la pédologie.....	4
I.3. La topographie et l'hydrographie.....	4
I.4. Climatologie	5
I.4.1. La température.....	5
I.4.2. Les précipitations.....	6
I.4.3. L'humidité atmosphérique	6
I.4.4. Les climats locaux	6
I.4.5. La radiation	7
I.5. La flore et la végétation.....	7
I.6. La population locale.....	8
I.7. Origine et description du système sylvo-banancier de la Réserve	9
I.7.1. L'origine.....	9
I.7.2. Le système sylvo-banancier	10
I.8. La culture du bananier au Bas-Congo et dans la Réserve	12
II. Connaissances actuelles sur le bananier, le limba et les systèmes d'agroforêts avec bananiers.....	13
II.1. Le bananier	13
II.1.1. Les besoins écologiques du bananier	13
L'éclairage.....	13
La température.....	15
Les besoins hydriques	15
Exigences sur la fertilité des sols.....	15
Le cas particulier du vent	15
II.2. Le LIMBA : <i>Terminalia superpa</i> Engl. et Diels.....	16
II.2.1. Appellation.....	16
II.2.2. Distribution géographique et provenance	16
II.2.3. Description de l'arbre	17
Brève description botanique.....	17
Morphologie	17
II.2.4. Exportation et utilisation du bois	18
L'utilisation	18
L'exportation	18
II.2.5. Autécologie	19
Les exigences climatiques.....	19
Les besoins édaphiques.....	19
Sensibilité à divers facteurs.....	20

Phytosociologie	20
II.2.6. Croissance et production du <i>Terminalia superba</i>	21
En milieu naturel.....	21
En plantation.....	21
II.3. Les agroforêts avec bananiers.....	22
II.3.1. Influence du système <i>Terminalia</i> spp.-bananier sur le sol et la litière	22
II.3.2. Les effets du système <i>Terminalia</i> spp.-bananier sur le microclimat.....	23
II.3.3. Les interactions qui existent entre les composantes du système.....	25
Interactions sur la croissance et la production.....	25
Partie 2: Objectifs et méthodes	27
III. Objectifs	27
III.1. Hypothèse centrale de recherche	27
III.2. Objectif principal	27
III.3. Objectifs spécifiques	28
III.3.1. Délimiter des dispositifs homogènes de suivi du système agroforestier limba-bananier du Bloc UB 1.....	28
III.3.2. Caractériser le système agroforestier limba-bananier par sa composition, sa diversité et sa structure végétale.....	28
III.3.3. Caractériser les bananeraies du système agroforestier.....	29
III.3.4. Déterminer la croissance du limba depuis sa plantation	29
IV. Méthodes.....	30
IV.1. Méthodologie de terrain	30
IV.1.1. Délimitation des dispositifs	30
IV.1.2. Le pré-inventaire du dispositif 1 et 2	32
IV.1.3. L'inventaire des parcelles sélectionnées	33
Les parcelles sélectionnées.....	33
Mesures réalisées dans les parcelles agroforestières (PA).....	35
Mesures des parcelles des plantations de limbas pures (PLP)	36
IV.1.4. Prélèvements de sol composites	37
IV.2. Paramètres utilisés pour le traitement des données.....	37
IV.2.1. Les paramètres dendrométriques	37
IV.2.2. Paramètres de composition botanique et de diversité.....	39
Les indices de composition botanique	39
Les indices de diversité.....	40
IV.2.3. Paramètres de description des bananeraies	42
Le rendement.....	42
Description des caractères végétatifs et pomologiques	43
Partie 3: Résultats et discussions.....	44
V. Résultats	44
V.1. Caractérisation dendrométrique des peuplements de limbas des PA et des PLP	44
V.1.1. Les plantations de limbas pures (PLP).....	44
Description du peuplement.....	45
La relation diamètre-hauteur totale.....	46
Détermination de la forme des arbres	47
Détermination du volume de fût sur pied.....	48
Les accroissements	51
V.1.2. Les parcelles agroforestières (PA)	52
Description du peuplement.....	52

Détermination du volume sur pied	53
V.1.3. Discussions	54
V.2. Composition botanique et diversité.....	57
V.2.1. Composition botanique des PA et PLP	57
V.2.2. Diversité.....	60
V.2.3. Discussions	62
V.3. La production des bananeraies en milieu agroforestier.....	64
V.3.1. Le rendement des bananeraies agroforestières	64
V.3.2. Description des caractères végétatifs du ‘Gros Michel’	66
V.3.3. Caractéristiques de la partie arable des sols des agroforêts.....	70
Propriétés physiques	71
Propriétés chimiques.....	71
V.3.4. Discussions	73
Partie 4: Conclusion et Perspectives	75
Références bibliographiques	77

Table des figures

Figure 1 : Province du Bas-Congo et ses districts. Le point jaune indique l'emplacement de la Réserve.	3
Figure 2 : Réserve de Biosphère de Luki (source : Lubini, 1997)	3
Figure 3 : Massif forestier du Mayumbe en pointillé (source : Lubini, 1997)	5
Figure 5 : Distribution du <i>Terminalia superba</i> et <i>T. ivorensis</i> (source : Groulez et Wood, 1984)	16
Figure 6 : Evolution des exportations (1953-1977) du <i>Terminalia superba</i>	18
Figure 7 : Modification du pouvoir évaporant de l'air par la réduction de la vitesse du vent dans un système agroforestier. (Source : Baldy <i>et al.</i> , 1993)	25
Figure 8 : Les différents scénarios possibles de la relation : degré d'intensification agricole et la biodiversité totale (Source : Vandermeer <i>et al.</i> , 1998).....	29
Figure 9 : Carte du bloc UB1 et UB2 comprenant les dispositifs de recherche (les parcelles hors des dispositifs sont présentées).....	31
Figure 10 : Schéma du layonnage et du pré-inventaire du dispositif.	32
Figure 11 : Schéma des parcelles agroforestières sélectionnées (carrés rouges) dans les dispositifs 1 et 2.....	33
Figure 12 : Schéma des parcelles de limbas à haute densité sélectionnées (carrés rouges) dans les dispositifs 3 et 4.	34
Figure 13 : Schéma d'une parcelle d'inventaire.	36
Figure 14 : Structure du peuplement de limbas de 59 ans par classe de diamètre (classe 1= 10 à 19,9 cm de diamètres, classe 2= 20 à 29,9 cm etc).....	45
Figure 15 : Structure de la population des essences accompagnatrices du limba dans la plantation de limbas de 59 ans.	46
Figure 16 : Relation logarithmique entre le dhp (cm) et la hauteur totale (m) des plantations des limbas à haute densité (Dispositif 3 et 4).....	47
Figure 17 : Relation liant le diamètre à hauteur de poitrine (cm) au diamètre médian.....	48
Figure 18 : Cubage des limbas mesurés dans les 4 ha du dispositif 3 à partir du tarif du SPIAF ($VSE = 0,000210082 \times d^{2,3807145}$), et les deux équations de cubage ($V = - 0,777 + 0,00241 D^2_{HP} - 0,000009 D^3_{HP}$ et $V = - 0,02 + 0,00163D^2_{HP}$).....	50
Figure 19 : Evolution des résidus de l'équation de cubage	50
Figure 20 : Structure des peuplements ligneux des parcelles agroforestières par classe de diamètre (classe 1= 10 à 19,9 cm de diamètres, classe 2= 20 à 29,9 cm de diamètres etc).	52
Figure 21 : Structure de la population des essences accompagnatrices du limba dans les parcelles agroforestières.	53
Figure 22 : Importance relative des principales familles des parcelles agroforestières.	57
Figure 23 : Importance relative des principales familles des plantations de limbas à hautes densités.	57
Figure 24 : Densités relatives moyennes (en %) par rang des espèces (DERmoyPA = densité relative moyenne des parcelles agroforestières et DERmoyPL = densité relative moyenne des parcelles de plantation de limbas à haute densité).	61
Figure 25 : Répartition des rendements des parcelles agroforestières en fonction de la fermeture moyenne du couvert.....	66
Figure 26 : Fréquence du nombre de mains par régime et par type de bananeraie.....	68
Figure 27 : Régression linéaire entre la circonférence au collet (en cm) et le poids du régime (en kg) de bananes de bananiers mesurés lors de la récolte.....	69

Figure 28 : Régression linéaire entre la circonférence au collet (en cm) et le nombre de doigts des bananiers mesurés dans les placeaux.	69
Figure 29 : Régression linéaire entre le nombre de doigts et le poids du régime des bananiers mesurés lors de la récolte.	69
Figure 30 : Schéma du dispositif 1	89
Figure 31 : Test de Normalité selon Ryan-Joiner de la distribution des diamètres du coupon 48-49.	90
Figure 32 : Test de Normalité Ryan-Joiner de la distribution des diamètre des parcelles agroforestières.	91
Figure 33 : Nombre relatif de bananiers par classe de circonférence pour les différentes catégories de bananeraies (Classe 6 = circonférence entre 60 et 69,9 cm, classe 7...).	92
Figure 34 : Nombre relatif de bananiers par classe de hauteur pour les différentes catégories de bananeraies (Classe 30 = hauteur totale de 3 m à 3,49m, etc.)	92
Figure 35 : Nombre moyen de doigts en fonction du nombre de mains par régime et selon le type de bananeraie.	93
Figure 36 : Nombre moyen de doigts par main en fonction du nombre de mains par régime et selon le type de bananeraie.	93
Figure 37 : Droite de régression entre le nombre de mains et le poids du régime de bananes.	94
Figure 38 : Droite de régression entre la circonférence au collet et le nombre de mains.....	94
Figure 39 : Droite de régression entre le nombre de mains et le nombre de doigts.....	94
Figure 40 : Evolution du poids des régimes en fonction de la circonférence au collet dans différents pays et sous différentes conditions de cultures.	95
Figure 41 : Evolution du nombre de mains en fonction de la circonférence au collet dans différents pays et sous différentes conditions de cultures.	95
Figure 42 : Evolution du poids des régimes en fonction du nombre de mains dans différents pays et sous différentes conditions de cultures.	96
Figure 43 : Evolution du nombre de doigts en fonction du nombre de mains dans différents pays et sous différentes conditions de cultures.	96
Figure 44 : Triangle textural (USDA, 1951).....	97

Index des tableaux

Tableau 1 : Moyennes journalières de la radiation globale à la station de Luki (source : Vangu et Mabiala, 1982)	7
Tableau 2 : Exportation (en m ³) du limba/fraké (L/F) et de la totalité des essences par pays en 2005 (source : ATIBT, 2006).....	19
Tableau 3 : Synthèse des parcelles utilisées pour les différents paramètres étudiés.....	34
Tableau 4 : Caractéristiques moyennes du peuplement de limbas de 59 ans (coupon 48-49) avec leurs coefficients de variation.	46
Tableau 5 : Détermination de l'équation de régression liant le volume (volume) en m ³ aux variables diamètre (diam), Diamètre au carré (diam ²), diamètre au cube (diam ³) et logarithme du diamètre (log Diam), par la méthode « Stepwise » du logiciel MINITAB.....	49
Tableau 6 : Caractéristiques dendrométriques moyennes avec leur coefficient de variation (CV) des parcelles agroforestières.	53
Tableau 7 : Synthèse des études menés au coupon 48-49 depuis son installation (Dmoy= diamètre moyen, a.m.a. = accroissement moyen annuel, G = Surface terrière, et a.p.= accroissement périodique en diamètre).	55
Tableau 8 : Les composantes de l'importance relative des familles des milieux étudiés.	58
Tableau 9 : L'importance relative des espèces principales des parcelles agroforestières et des plantations de limbas à hautes densités.	59
Tableau 10 : Moyenne des différents indices de diversité avec leur coefficient de variation (CV) pour les deux milieux à l'étude (S = Richesse spécifique, H' = Indice de Shannon et J = Equitabilité de Shannon).....	60
Tableau 11: Diversités spécifiques et recouvrements relatifs des principales familles de l'association <i>Terminalietum superbae</i> (source : Lubini, 1997)	62
Tableau 12 : Description et estimation de la production (t/ha) des différentes parcelles..	64
Tableau 13 : Coefficients de corrélations Pearson (r) et test de signification de ces coefficients (p). 65	65
Tableau 14 : Moyennes des principaux paramètres mesurés sur les bananiers en production des placeaux pour chaque type de bananeraie (CV : Coefficient de variation et n : effectif des paramètres mesurés).....	67
Tableau 15 : Tableau de synthèse de l'analyse granulométrique et chimique des prélèvements composites (de 0 à 25 cm de profondeur) de parcelles caractéristiques par leurs positions topographiques.	70
Tableau 16 : Analyse de la variance des circonférences de chaque parcelle (6) des plantations de limbas à haute densité par le logiciel MINITAB.....	90
Tableau 17 : Détermination de l'équation de régression liant la hauteur totale (HT) aux variables diamètre (Diam), logarithme du diamètre (ln Diam) et Diamètre au carré (Diam ²), par la méthode « Stepwise » du logiciel MINITAB.....	91
Tableau 18 : Test de signification des paramètres de la régression:	91

Introduction

Les forêts dans le monde sont parcourues, exploitées, travaillées par les paysans, souvent modelées en fonction de leurs besoins, et cela depuis fort longtemps. Les écosystèmes concernés par ces activités multiples et répétées s'en trouvent fortement modifiés dans leur composition, leur structure et leurs fonctions, parfois jusqu'à perdre une large fraction de leur couverture arborée. Le système original d'agroforêt limba-bananier (*Terminalia superba* – *Musa acuminata* cult. 'Gros Michel') est le résultat d'un fort processus d'anthropisation de l'écosystème qui aura permis au paysan de tirer parti de ses terres environnantes.

La composante arborée de ce système agroforestier a souvent fait l'objet de descriptions sylvicoles sous le terme de système sylvo-bananier, méthode agrosylvicole employée lors de l'installation des plantations de limbas dans la Réserve de Biosphère de Luki en RDC. Mais peu d'études se sont réellement attardées sur l'aspect agricole de ce système. Ce travail, réalisé au bloc UB 1 de la Réserve de Biosphère de Luki, a donc voulu lier les deux composantes en faisant une description de ces dernières et en tentant de comprendre l'influence de certains facteurs (couvert, fertilité du sol) sur la production des bananiers.

Le plan de ce document comprend : une partie « généralités » avec par exemple, la description de l'origine du système sylvo-bananier et la revue de différentes études sur des agroforêts comprenant le bananier ; une seconde partie avec les objectifs de ce travail de fin d'étude et la méthodologie de la démarche suivie ; une troisième partie avec les résultats et les discussions, et enfin la conclusion et les perspectives.

PARTIE 1: GENERALITES

I. Présentation du milieu d'étude

I.1. Localisation et statut de la réserve

Le système agroforestier étudié se situe dans la Réserve de Biosphère de Luki. Cette réserve de 32 710 ha est localisée en bordure méridionale du massif forestier du Mayumbe, dans la province du Bas-Congo en République Démocratique du Congo (Figure 1). Elle se trouve à environ 100 km à l'est de la côte Atlantique et à 30 km au nord de la ville de Boma et s'étend, de 13°10' à 13°13' de longitude Est et de 5°35' à 5°43' de latitude Sud, sur 3 Territoires : Lukula, Seke-Banza et Muanda. La Réserve de Luki est accessible directement par l'axe routier Matadi-Boma qui la traverse.

L'étude menée se trouve plus précisément dans le bloc d'Uniformisation par le bas n°1 (UB 1) de la réserve. Le village de Monzy 1 se trouve à l'intérieur de ce dernier. Ce bloc de 868 ha fait partie des 14 blocs (UB1-UB14) de plantations d'arbres mises en place par une méthode sylvo-agricole de 1948 à 1961 (N'landu Phanzu, 2006). Ces blocs entourent la zone centrale de la réserve de l'est au nord-ouest en passant par le sud (Figure 2).

La Réserve forestière de la Luki a été créée le 12 janvier 1937. Une partie de ses habitants a alors été maintenue sur place et regroupée dans des enclaves tandis qu'une autre a été déplacée hors des limites du domaine classé. Elle n'a jamais eu un statut de réserve intégrale et était gérée par l'Institut national pour l'Etude et la Recherche agricole du Congo (INEAC). Elle est placée après 1960 sous la gestion de l'Institut National d'Etude et de Recherche Agronomique (INERA) sous tutelle du Ministère en charge de la Recherche Scientifique.

En mai 1979, la Réserve de Luki est érigée en Réserve de la Biosphère. Sa gestion est alors transférée au comité national du Programme Man and Biosphère (MAB) du Zaïre sous la tutelle du Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature, Eaux et Forêts transformé aujourd'hui en Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature et Tourisme. Ce transfert n'éteint pas pour autant les prérogatives et la légitimité de l'INERA sur la gestion de la Réserve. Afin d'harmoniser la gestion de la réserve, un "comité local de pilotage" a été créé en octobre 2006. Ce comité est composé: du chef de station de l'INERA (président), du chef de programme MAB/Luki (vice-président), d'un représentant d'une ONG internationale (WWF), d'un représentant d'une ONG locale (GRAED), d'un représentant des chefs traditionnels de la réserve et d'un représentant de l'autorité provinciale.

I.2. La géologie et la pédologie

Les soubassements de la Réserve de Luki s'étendent entièrement dans le système géologique du Mayumbe défini par Cahen (1945) cité par Donis (1948). Ce système comprend les assises suivantes (Donis, 1948) : l'étage de la Duizi, principalement composé de schiste satiné ; l'étage de Tshela, principalement constitué de roches graphiteuses et de grès feldspathiques ; l'étage de Matadi, formé essentiellement de quartzite et l'étage de Palabala, constitué de micachistes et gneiss.

Cinq types de formations de recouvrement d'importances inégales sont reconnues dans l'ensemble de la Réserve. Seuls trois d'entre eux occupent la majeure partie de la réserve (Lubini, 1984) :

- les quartzites micacés se trouvant sur tout le bassin de Ntosi et le sud de la Réserve ;
- les schistes satinés jonchant le nord, l'est et le sud-est du Domaine de la Réserve ;
- les gneiss ridentifiés dans l'ouest de la Réserve et dans la région des grottes.

Les différents sols que l'on peut rencontrer dans la Réserve sont, par ordre d'importance (Donis, 1948):

- les sols jaunes sur gneiss et sur quartzites,
- les sols rouges sur gneiss,
- les alluvions récentes généralement pauvres et peu profondes (horizon de cailloux roulés et de quartz),
- et les sols rouges violacés sur amphibolites.

I.3. La topographie et l'hydrographie

Le domaine de la Réserve de Luki fait partie de la chaîne du Mayumbe. Cette chaîne s'étend parallèlement à la côte atlantique sur une distance de 1 000 km (Sénéchal *et al.*, 1989) et borde du nord au sud la côte gabonaise, la République du Congo, l'Angola (Cabinda) et la République Démocratique du Congo (Figure 3).

Dans les limites de la réserve, les collines ont une altitude qui varie entre 150 et 500 m. Les dénivellations relatives (entre les fonds de vallées et les sommets des collines environnantes) sont de l'ordre de 40 à 70 m. Les pentes atteignent les valeurs de 10 à 50%. (Lubini, 1997). La superficie relative des sommets est environ de 30%, celle des versants de 60% et celle des fonds de vallées de 10% (Meulenbergh, 1945 cité par Donis, 1948)

L'ensemble de l'écosystème de Luki appartient entièrement au bassin hydrographique de la rivière Luki, affluent de la Lukala, elle-même affluent du fleuve Congo. La rivière Luki traverse toute la Réserve du nord-est au sud-ouest en décrivant une grande courbe. Son principal affluent est la Ntosi, sur laquelle s'articule tout un réseau hydrographique complexe, à caractère torrentiel et souvent saisonnier (Lubini, 1997).

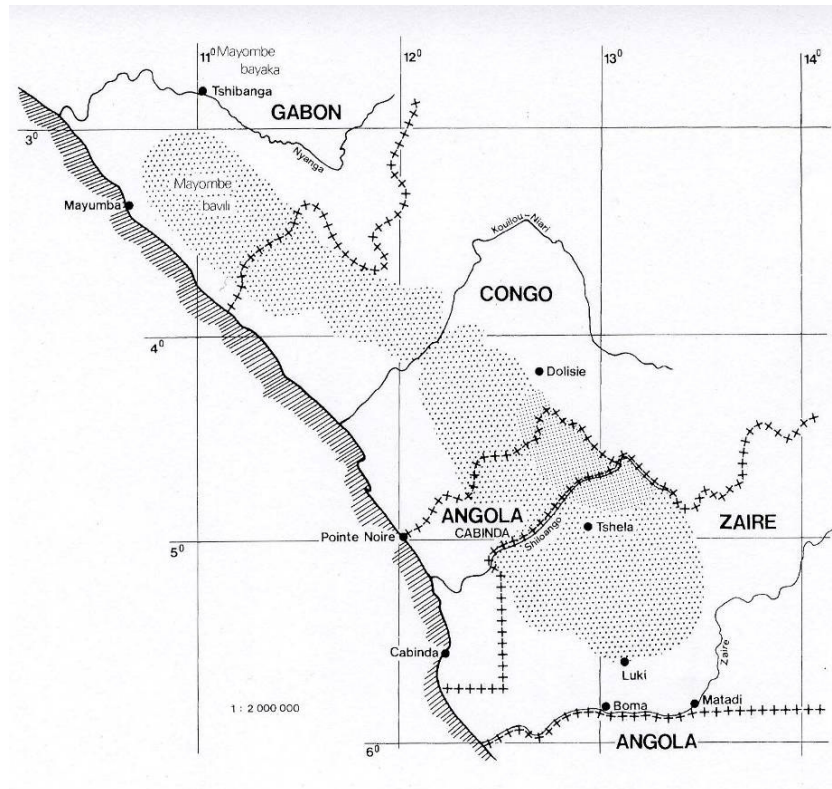


Figure 3 : Massif forestier du Mayumbe en pointillé (source : Lubini, 1997)

I.4. Climatologie

La réserve de biosphère de Luki jouit d'un climat à caractère nettement tropical. Il se caractérise par une saison sèche de 5 mois (précipitations inférieures à 100 mm) de mi-mai à mi-octobre et deux périodes de fortes pluies, en mars-avril et en novembre, séparées par une période de moindres pluies en janvier. Le climat est de type Aw_5 selon la classification de Köppen.

Les différentes données exposées dans ce sous-chapitre proviennent des observations enregistrées à la station de recherches forestières de Luki depuis 1930 et exposées par Lubini (1997).

I.4.1. La température

La moyenne annuelle des températures, pour la période de 1970 à 1986, est de $24,3^{\circ}\text{C}$. La moyenne annuelle des maximums est de $32,6^{\circ}\text{C}$, la moyenne annuelle des minimums est de $18,03^{\circ}\text{C}$ et l'amplitude thermique moyenne annuelle est de $2,5^{\circ}\text{C}$. Le mois d'avril est le plus chaud tandis que juillet est le mois le plus frais.

I.4.2. Les précipitations

Entre 1930 et 1986, la moyenne annuelle des pluies reçues à Luki est de 1 155,4 mm. Mais on relève de fortes variations d'une année à l'autre (de 950 mm/an à 1 450 mm/an). Durant la période de pluie, on observe un fléchissement des précipitations en décembre et janvier. Les mois de juin, juillet, août et début septembre sont climatiquement secs (précipitations inférieures à 5 mm).

La variabilité de la répartition et de l'intensité des pluies est tellement importante, qu'elles conditionnent l'agriculture dans le Mayumbe et rendent aléatoire beaucoup de cultures annuelles (Wagemans, 1961).

Le nombre moyen de jours de brouillard par an a été de 171 entre 1930 et 1970. Pendant la période de sécheresse (juin à septembre), le nombre moyen de jours de brouillard est de 11 en juin, 13 en juillet, 11 en août et 9 en septembre. Durant cette période, les brouillards atténuent quelque peu la sécheresse de l'air et le déficit de saturation en eau est compensé par des brouillards matinaux. Il s'agit d'une compensation écologique. La saison sèche climatique ne semble donc pas l'être écologiquement (Lubini, 1997).

I.4.3. L'humidité atmosphérique

L'humidité relative reste élevée pendant toute l'année à Luki. Pour la période 1930-1986, la moyenne annuelle fut de 75,9 %, mais elle fut de 83,3 % pour la période de 1954-1970. Cette humidité de l'air varie assez fortement d'une année à l'autre et, en général, l'humidité atmosphérique est légèrement plus élevée en saison sèche (Lubini, 1997).

I.4.4. Les climats locaux

Du point de vue écologique, deux climats locaux peuvent être distingués, à savoir (Donis, 1948):

- le microclimat des vallées, à humidité élevée, à vents faibles et à brouillards de formation locale très fréquents ;
- le microclimat des crêtes au dessus de 350 m, habituellement plus sec, à vents plus violents, les brouillards locaux ne les entourant généralement que pendant une courte période au moment où ils s'élèvent. Ces crêtes sont parfois noyées par la base des nuages peu élevés venant de la mer.

La topographie, avec son altitude permet donc de distinguer des zones à humidité maximum : les fonds de vallées, dont l'étroitesse et la végétation semblent ralentir la vitesse du vent qui permet le brassage des masses d'air, et des zones de nébulosité minimum, les collines de 300 à 350 m d'altitude (Lubini, 1997).

I.4.5. La radiation

Le tableau ci-dessous reprend la radiation globale¹ (cal/cm²) mensuelle fournie par Vangu et Mabilia en 1982:

Tableau 1 : Moyennes journalières de la radiation globale à la station de Luki (source : Vangu et Mabilia, 1982)

Mois	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Radiation globale en cal/cm² (1958-1976)	344,6	383	400,4	383,1	311,4	248,4	202,3	192,6	196,7	246	320,1	332,8

I.5. La flore et la végétation

La flore de la Réserve, riche et diversifiée, est composée de deux flores africaines: la flore sèche et la flore hygrophile. La proportion de ces deux flores d'origines différentes est inégale au sein de la Réserve.

Le premier groupe d'espèces, issu de la lignée forestière sèche, est composé entre autres d'espèces africaines plurirégionales. Tandis que le second groupe d'espèces, dont la proportion est de loin plus importante, fait partie de la flore du vieux fond hygrophile. Il se compose notamment de *Entandrophragma angolense*, *E. utile*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Diospiros* spp., *Prioria balsamifera*, *Terminalia superba* et *Piptadeniastrum africanum* (Lubini, 1997).

La végétation, constituée des espèces des deux flores est non seulement le résultat des oscillations paléoclimatiques, mais elle a été également fortement marquée par l'empreinte de l'homme. Aubreville (1949) cité par Lubini (1997), et Donis (1948) décrivent en détail ces facteurs.

La forêt du Mayumbe apparaît comme une relique d'une ancienne forêt dense humide qui se trouve à présent en discordance écologique avec le climat actuel comportant une saison sèche d'environ 5 mois. En équilibre très instable, elle ne doit sa survie qu'au fait qu'elle est accrochée aux collines de la chaîne du Mayumbe, qui retiennent les brouillards dus à la proximité de l'océan (Lubini, 1997).

¹ Les mesures étaient réalisées par un pyranomètre de Bellani (Wagemans, 1961 ; Mbizi, 1972)

I.6. La population locale

Avant de devenir une Réserve Domaniale puis une Réserve de Biosphère, ce territoire était habité par les populations Bayombe. A la suite de la création de cette zone protégée, une partie de la population fut déplacée et installée hors de celle-ci, tandis que l'autre partie fut autorisée à y habiter dans des zones bien délimitées : les enclaves (Lubini, 1997). Ces enclaves sont au nombre de quatre : Kimbuya, Sukuti, Sumba Kituti et l'enclave de Kiobo. Il y a également la Zone de la Station de recherche de Luki dans le sud-ouest de la Réserve qui est habitée par une centaine de ménages. A côté de cela, les camps de travailleurs des colons et des sociétés agricoles qui travaillaient dans la réserve sont restés après l'indépendance. C'est le cas par exemple, du camp de Monzy 1 qui se trouve à côté de la route goudronnée Matadi-Boma, au sein du bloc étudié (UB1). A cela s'ajoute encore des villages illégaux le long de la route goudronnée qui traverse la réserve, et même au sein de la réserve comme le village de Mbondo qui se trouve à 3,3 km à vol d'oiseau, au nord-ouest de Monzy, dans la zone tampon de la réserve. A l'heure actuelle, ces villages sont également peuplés de citadins de Boma, de Matadi et de Kinshasa.

En 1961, la population de la Réserve, des enclaves et des alentours était estimée à 18 000 personnes (Pendje, 1992 cité par Mankoto & Maldague, 2005) ; en 1990, elle est passée à 43 000, soit une augmentation de 235% en 29 ans (Mankoto & Maldague, 2005).

L'ensemble de cette population exerce divers types d'activités dont les conséquences se manifestent sur cette aire protégée. Ces activités sont :

- **L'agriculture** : Les cultures vivrières traditionnelles pratiquées dans la Réserve sont celles du bananier, des taros, du manioc, du riz, du maïs et de la patate douce (Lubini, 1997). La technique de culture est principalement l'agriculture itinérante. Mais les habitants de la réserve (enclaves non incluses), avec leur statut de métayer, sont obligés de travailler sur des terres bien définies par l'INERA². La culture des bananiers est prépondérante car la banane est l'aliment de base de la population. De plus, elle est évacuée et vendue via les deux gros axes routiers qui traversent la réserve (Matadi-Boma et Boma-Tshela). Cette production est vendue à Boma, Matadi, Tshela et Kinshasa. Les autres cultures sont principalement destinées aux ménages des paysans. Deux variétés de bananiers sont principalement cultivées par les paysans : le bananier de dessert, cultivar Gros Michel (génomme AAA) et le bananier plantain (génomme AAB). En général, la culture des bananiers se fait dans les vallées ou sous l'ombrage du limba (*Terminalia superba*). Les tarots sont cultivés en association avec le bananier ou isolément dans les vallées. Ils sont cultivés pour leurs tubercules qui, dans le Mayumbe, remplacent partiellement le manioc (Lubini, 1997). Les principales zones de culture se situent dans les enclaves, les blocs UB qui longent la route Matadi-Boma et dans les alentours de la station de recherche de Luki ;
- **La chasse, la pêche et la cueillette** : les deux premières activités se marient difficilement avec le statut de réserve. Le braconnage se fait soit à l'aide de carabines, soit avec des pièges, ces derniers étant les plus utilisés par les villageois ;

² INERA : Institut National d'Etude et de Recherche Agronomique en République Démocratique du Congo.

- **La carbonisation** : la majorité des citadins implantés dans les villages de la réserve ainsi que les jeunes des villages s'adonnent à cette activité illégale. Elle répond à la forte demande des agglomérations voisines. Les espèces exploitées pour le charbon de bois sont principalement *Xylopiya aethiopica*, *Aidia ochroleuca*, *Corynanthe paniculata*, *Terminalia superba*, *Macaranga spinosa*, *M. monandra* et *Funtumia elastica* (Lubini, 1997) ;
- **Le sciage de long** : cette activité, également illégale, est omniprésente autour des villages et au niveau de la zone tampon de la Réserve.

Ces deux dernières activités sont terriblement destructrices. Dans toute la zone de transition, on assiste à un réel écrémage et même à une déforestation totale. Tous les blocs qui se trouvent à proximité des villages, principalement ceux qui longent la route Matadi-Materne, sont dans un état de dégradation plus ou moins avancée. L'effectif et les moyens restreints des écogardes de l'INERA et du MAB ne permettent pas d'enrayer cette destruction de la réserve. La carbonisation et le sciage de long restent encore des activités bien présentes.

I.7. Origine et description du système sylvo-bananier de la Réserve

I.7.1. L'origine

La forêt du Mayumbe connaît depuis 1930 une intense exploitation forestière pour ses peuplements exploitables dont principalement les peuplements de *Terminalia superba* (limba). Les exportations de bois de cette seule région représentaient en 1939, plus de 80% des exportations de bois de la colonie (Humblet, 1946). En 1953, selon le rapport de la Province de Léopoldville cité par Wilten (1955), au Bas-Congo, il y a eu 251 500 m³ de bois abattus et 124 700 m³ de bois exportés. Le limba, à lui seul, représentait 69,6% de ces volumes (175 000 m³ de bois abattu et 86 900 m³ de limba exporté). Le rendement de ces peuplements était en moyenne de 15 à 20 m³/ha, mais pouvait atteindre 100 m³/ha dans les parcelles les plus riches en *Terminalia superba* (Wagemans, 1961).

Le marché du bois de *Terminalia superba* a été rendu possible, dans cette région, grâce au volume important exploité par hectare et la proximité des ports maritimes (Wilten, 1955).

Au vu de l'importance économique que prenait l'exportation de ces grumes, et du souci de maintenir cette exportation, d'importants projets de reboisement et d'essais sylvicoles ont été menés dans la région du Bas-fleuve.

C'est dans ce contexte économique, que sont apparus, fin des années 40 jusqu'aux années 60, dans la Réserve de la Luki les 8 blocs d'uniformisation par le haut (U.H.) et les 14 blocs d'uniformisation par le bas (U.B.) (Figure 2).

L'uniformisation par le haut (U.H.) consiste à convertir une futaie d'âges multiples en futaie tendant vers la régularité, c'est-à-dire de réduire les écarts d'âges entre les limites supérieures et inférieures d'exploitabilité par la mise en lumière des classes de recrutement les mieux représentées (Donis, 1951).

Les blocs d'uniformisation par le bas (UB) sont des blocs ayant subi des méthodes de régénération artificielle d'essences précieuses. L'essence précieuse privilégiée dans ces blocs était le limba. Les méthodes de régénération choisies pour cette essence au Mayumbe étaient la méthode en layons et la méthode sylvo-agricole, plus particulièrement le système sylvo-bananier (Wilten, 1955).

La méthode en layons consiste à ouvrir la forêt à traiter en dégageant latéralement des layons parallèles dans lesquels seront introduites les essences d'intérêt (Humblet, 1946). C'est une méthode extensive visant à enrichir la forêt.

I.7.2. Le système sylvo-bananier

Le système sylvo-bananier est une application du système taungya. Celui-ci consiste essentiellement à faire la culture des essences forestières sur un terrain forestier préparé pour une culture agricole.

La préparation du terrain est faite soit par un paysan, soit directement par un planteur ou par le Service Forestier qui y installe une culture industrielle ou une culture vivrière dans le but de réduire les coûts de la plantation forestière. La réussite de ce système dépend néanmoins de la demande des terres de culture, c'est-à-dire de la densité de la population. Or, au Mayumbe, la disponibilité de terrains convenant à la culture bananière venait à manquer. Les planteurs industriels étaient donc disposés à passer des contrats d'entreprise, avec l'INEAC ou avec la Colonie pour la plantation de limbas (Wilten, 1955).

Dans le cas du bloc UB 1, site de la présente étude, les pourparlers pour la mise en place de 5 blocs sylvo-bananiers commencèrent en fin d'année 1947. Le 19 mai 1948, des conventions sont signées entre l'INEAC et le colon Kestemont, ce dernier étant tenu de planter lui-même des limbas à l'écartement 8x12 m. (Wagemans, 1961)

La convention d'occupation de l'INEAC, présentée par Wagemans (1961), spécifie qu'elle met à disposition du planteur, un bloc d'environ 500 ha de terrains forestiers sous certaines conditions qui sont reprises dans un cahier de charge annexé à la convention.

Ainsi, le planteur s'engage :

- à planter, dans le bloc loué, des bananiers sur les terrains convenant à cette culture et ce endéans 5 années,
- à faire une plantation intercalaire de limbas en même temps que la mise en place des bananiers
- à payer le droit de location pour le terrain,
- lors de l'abattage de la forêt préliminaire à la plantation des bananiers, le contractant peut récupérer les bois s'y trouvant et les vendre à son profit personnel en payant à l'Etat les redevances forestières réglementaires.

Après les 5 années de production bananière, le coupon annuel retourne à l'INEAC qui fait constater la reprise, si le nombre de plants de limbas présents répond aux clauses du contrat. Si ces conditions ne sont pas remplies, une amende par hectare est prévue.

La plantation de limbas dans les blocs de sylvo-bananiers de la Réserve de Luki, loués par l'INEAC est à charge du contractant contrairement aux blocs alloués par le Gouvernement dont la plantation des limbas se fait par la Brigade Forestière au moyen de plants produits dans leurs pépinières.

Les écartements demandés dans les premiers blocs de sylvo-bananiers de la réserve, dont le bloc UB 1 de la présente étude, étaient de 8 m x12 m pour les limbas. Les bananiers étaient quant à eux plantés à 4 m x 4 m (Figure 4). D'autres écartements ont été essayés par la suite dans d'autres blocs de la Réserve : 4 m x 16 m et 4 m x 12 m. (Wagemans, 1961)

La plantation de limbas était réalisée après les premières bonnes pluies (fin octobre ou en novembre) durant la première année suivant la plantation des bananiers.

Tous les essais de reboisement ont été faits à l'aide de stumps³. Ce système s'est avéré le meilleur pour la plantation de cette essence, surtout si une recoupe, à hauteur voulue, de la tige des plants en pépinière est réalisée 6 à 8 jours avant la transplantation.

Les plantations réalisées par le contractant ont montré des résultats de reprise et de croissance inférieurs aux plantations réalisées par la Brigade forestière. Cette différence de résultats est due à la manière dont les plants ont été sélectionné et élevé en pépinière, à la technique de plantation et au suivi de la plantation les années qui suivirent leurs installations. Toutes ces étapes étaient supervisées et réalisées par des agents de l'Etat qualifiés pour les blocs de l'Etat, tandis que pour les blocs de l'INEAC, ce sont les colons qui s'occupaient de toute la phase d'installation de la plantation. Or la bonne réussite de la plantation n'était pas à l'avantage des contractants qui devront par la suite abandonner ces terres (Tutula, 1968).

Après le départ des colons, les plantations ont été cédées aux métayers congolais qui ont poursuivi la récolte des bananiers 'Gros Michel' (Delaunoy *et al.*, 2007).

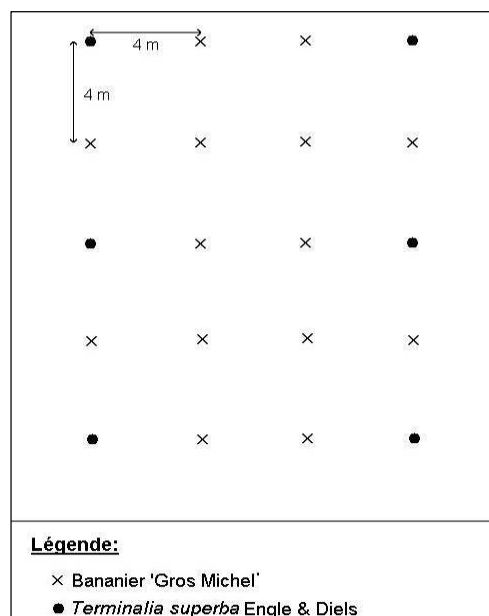


Figure 4 :Schéma de l'écartement des premières plantations sylvo-bananières de la RBL.

³ Les stumps de limba, produit au Mayumbe, consistaient à recéper la pousse terminale, sur bois bien aoûté, les ramifications étaient sectionnées à 5-7cm de la tige et le pivot radiculaire était sectionné s'il dépassait 40 cm, taille des trous de plantation. La taille de la tige faisait entre 1m et 1,5m. (Humblet, 1946)

I.8. La culture du bananier au Bas-Congo et dans la Réserve

La banane plantain reste l'une des principales cultures du District du Bas-Fleuve. Avant l'indépendance, des sociétés de culture et d'exportation avaient développé de grandes plantations. Mais depuis leur fermeture, la banane est restée exclusivement l'activité des paysans. Depuis lors, on observe une régression nette de la production et une surenchère dans les centres de consommation (PNUD, 1998).

Le District du Bas-Fleuve et le District de Boma (Districts chevauchés par la Réserve), ont un rendement moyen pour la banane plantain de respectivement 5,9 t/ha et 4,5 t/ha durant la période 1990-1994 (PNUD, 1998). En ce qui concerne la banane de dessert, le rendement, en 1989, du Bas-Congo était de 3,8 t/ha (Bakelana et Mankangidila, 1996). Les rendements en bananes plantain et banane dessert de la Province sont semblables à celles des autres Provinces du pays.

Les résultats d'une enquête menée chez les paysans de deux Districts du Bas-Congo (le Bas-Fleuve et les Cataractes) par l'INERA de M'Vuazi présentés par Bakelana *et al.* (1999), donnent un bon aperçu de la place du bananier dans le monde paysan de la région. En ce qui concerne la destination des bananes, ils constatent qu'environ 30% est consommée directement par les ménages et 70% vendue au marché. La superficie cultivée est fonction du travail à la houe. En effet, cette contrainte ne permet pas aux paysans de cultiver des superficies dépassant un hectare. Les terres cultivées sont, pour plus de 60% des paysans, des terres provenant de la famille élargie ou du clan. Le système de culture le plus pratiqué dans le District du Bas-Fleuve est la monoculture en forêt. La culture de case a également une certaine importance, sa production sert comme aliment de base. La fertilisation des bananiers n'est généralement pas réalisée dans la région. Pour plus de 40% des paysans, la main d'œuvre provient de la famille restreinte (mari, femme et enfants).

Une enquête a été menée par le WWF en février 2007 (Delaunoy *et al.*, 2007), auprès des paysans et des vendeurs de villages se trouvant le long des axes routiers : Materne-Lemba (route Boma-Tshela), Materne-Kinzao-Mvueté (route nationale Boma-Matadi) et l'axe Materne-Boma (ces axes traversent la Réserve). Sur la surface totale de bananeraie cultivée par les paysans interrogés (405 ha), plus de 60% se situerait sous une couverture boisée. 22% des paysans rapportent qu'ils cultivent, depuis plus de 20 ans, au même endroit. La majorité parle aussi d'un remplacement continu de la plantation, c'est-à-dire qu'ils entretiennent les rejets et replantent là où les bananiers dégénèrent.

Toujours selon cette enquête, les paysans interrogés cultivent toujours les rejets des bananiers de la variété 'Gros Michel' qui furent introduits par les colons belges avant l'indépendance. La densité de plantation optée par les paysans semble être calquée sur la densité utilisée par les colons, c'est-à-dire autour des 4 m x 4 m. Différentes variétés de plantains ont été introduites par la suite. Les noms locaux de ces derniers sont : Tseluka, Dijimba, Ndongila.

Les maladies des bananiers les plus fréquentes sont le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*), et le Bunchy Top des bananiers (*Banana Bunchy Top Babuvirus*, BBTV). Par contre, la maladie de Panama (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*), qui a éradiqué la variété 'Gros Michel' des marchés mondiaux, n'est pas présente dans le Mayumbe.

La production mensuelle des bananeraies calculées par Delaunoy *et al.* (2007) fluctue entre environ 450 kg/ha et 600 kg/ha pour le 'Gros Michel', et entre 350 kg/ha et 490 kg/ha pour les plantains. Pour la durée totale de la saison des pluies (7 mois), une production de 3,2 à 4,2 t/ha de bananes 'Gros Michel' et de 2,4 à 3,8 t/ha de plantains serait ainsi obtenue. En supposant que la production est réduite de moitié durant la saison sèche, une estimation de 4,8 à 6,3 t.ha⁻¹.an⁻¹ de bananes et 3,6 à 5,7 t.ha⁻¹.an⁻¹ de plantain a été estimée par cette étude.

A partir des ces rendements et des prix de vente des bananes obtenus par cette enquête de 2007, il en est ressorti que le revenu annuel brut des bananeraies, qui se trouvent à proximité des axes routiers de l'enquête, pourrait grossièrement atteindre 500 \$/ha pour les bananes 'Gros Michel' et 1 500 \$/ha pour les plantains (Delaunoy *et al.*, 2007). La valeur nettement supérieure des plantains n'incite pourtant pas les paysans à en augmenter la surface cultivée. La raison de ce constat provient des importants soins que demande le bananier plantain, sa plus forte sensibilité aux maladies et sa difficulté à bien rejeter. Le bananier 'Gros Michel' quant à lui, est très rustique et se développe bien dans le milieu forestier.

II. Connaissances actuelles sur le bananier, le limba et les systèmes d'agroforêts avec bananiers

II.1. Le bananier

II.1.1. Les besoins écologiques du bananier

L'éclaircissement

Les recherches concernant ce facteur restent encore rares (Stover et Simond, 1987). Néanmoins, certaines expériences donnent une idée des effets de l'ombrage sur le rendement et sur la phénologie des bananiers.

Effets de l'ombrage sur la production

L'effet de l'ombrage sur le rendement varie selon les auteurs et la région concernée. En région tropicale, Muray (1961) cité par Stover et Simmonds (1966) au cours d'expériences d'ombrage artificiels, sur de jeunes bananiers 'Naine', constata que 50% d'ombrage ne réduisait pas le rendement. Dans cette même étude, lorsqu'une fertilisation avec du NPK est faite, le rendement est meilleur à 75% d'intensité lumineuse (Muray, 1961 cité par Norgrove, 1998).

Par contre, Israeli *et al.* (1995) ont démontré en région subtropicale, sur une période plus longue de 2 cycles de production de bananiers 'Grande Naine', qu'un ombrage de 80% affectait la croissance végétative lors du premier cycle. Un ombrage de 80% et 60% réduit respectivement de 32% et de 7% le poids des régimes de bananes lors du premier cycle. Durant le deuxième cycle de production, l'effet de l'ombrage est significativement plus important. Pour un ombrage de 30%, 60% et 80%, le poids des régimes diminue respectivement de 8%, 21% et 55%.

Toujours en région subtropicale, Eckstein *et al.* (1997), dans une expérience menée sur une bananeraie partiellement ombragée par un coupe vent d'arbres à feuillage décadu, ont constaté qu'il n'y avait pas de réduction du poids des régimes des plants mères, sous un ombrage périodique de 69% créé par le coupe vent. Par contre ils observent une diminution du poids des régimes sur les premiers rejets de 3,1 kg. La production était de 37,7 kg, sous ombrage, comparée à 40.8 kg au soleil mais protégé du vent.

Effets de l'ombrage sur la phénologie

Murray (1961) cité par Champion (1963) constata que sous 75% d'ombrage, la durée du cycle végétatif augmentait.

En effet, pour un ombrage de 30%, 60% et 80%, la date de floraison est retardée respectivement de 6 jours, 9 jours et 15 jours (Israeli *et al.*, 1995). Du point de vue morphologique, l'ombrage diminue le taux d'émergence des feuilles, la surface des feuilles et le LAI⁴ totale. Il diminue également la hauteur et la circonférence du faux-tronc.

Sous ombrage temporaire des coupes-vents, Eckstein *et al.* (1997) ont constaté l'effet le plus significatif du point de vue phénologique. La durée moyenne du cycle est augmentée de 10,6% sur les mesures des deux premiers cycles de la bananeraie.

A Hawaii, la variété 'William' pousse plus vite de mai à octobre quand l'énergie solaire moyenne est de 424 cal/cm² par jour, comparé à la période de novembre à avril où l'énergie solaire est de 257 cal/cm² par jour (Warner et Fox (1976) cité par Stover et Simmonds, 1966).



L'effet d'allongement du cycle phénologique des bananiers sous l'effet de l'ombrage d'arbres brise-vent et la diminution du poids des régimes pour les premiers rejets amène à une diminution totale de 13% du rendement annuel par hectare par rapport aux bananiers en plein soleil du même champ. Par contre, il n'y pas de différence significative de production sur les bananiers sous ombrage par rapport à des bananiers plein soleil et sans brise-vent. (Eckstein *et al.*, 1997)

Les résultats sont donc mitigés sur l'effet de l'ombrage sur la production, par contre, l'ombrage semble bien augmenter la durée du cycle végétatif.

⁴ LAI : Leaf Area Index (indice de surface foliaire) est un indice sans unité. C'est le rapport de la surface des feuilles (en m²) sur 1 m² de surface horizontale.

La température

Différentes études montrent un arrêt de la croissance à partir de 30 à 40°C. Des températures inférieures à 16°C réduisent fortement l'activité végétative de la plante. La température moyenne optimale serait de 25°C (Champion, 1963).

Les besoins hydriques

Une pluviosité de 120 à 150 mm/mois serait nécessaire pour combler les besoins en eau du bananier. Il faut noter que le bananier ne posséderait pas un pouvoir de succion suffisant pour utiliser toute l'eau dite "utile" du sol. Le bananier semble absorber aisément 30% de l'eau disponible à partir du point d'humidité équivalent (point de capacité au champ). Cette portion d'eau utilisable correspond à la réserve facilement utilisable (R.F.U.). Mais après la consommation de 60% de l'eau disponible, il se trouve en état de pré-flétrissement.

La résistance à la sécheresse du bananier n'est pas très grande à cause de son problème de succion et d'incapacité de lutter efficacement contre sa transpiration en cas de déficit hydrique. Par contre, le bulbe résiste facilement à une dessiccation prolongée et peut garder la faculté de redonner des feuilles bien après la disparition du stipe (Champion, 1963).

Exigences sur la fertilité des sols

L'élément trophique généralement insuffisant sous les tropiques, est l'azote. Cet élément semble être le facteur déterminant pour le rendement des bananeraies. Si cet élément est limité, le bananier végèterait alors mieux sous un semi-ombrage (Champion, 1963).

Lors de l'établissement d'une bananeraie, on peut considérer comme plausible l'hypothèse selon laquelle le sol doit fournir les éléments nécessaires au développement de la première tige, puis celui de la seconde avant que la restitution des minéraux contenus dans les parties végétatives de cette première tige ne soit accomplie.

A part ses importants besoins en potassium, le bananier ne paraît pas exiger des conditions particulières de fertilité.

Du point de vue du pH, le bananier a une grande tolérance organique à cet égard. Il végète normalement sur des sols dont le pH varie de 4,5 à 8. Par contre, les plus belles bananeraies se rencontrent dans des conditions légèrement acides ou très légèrement alcaline ($6 < \text{pH} < 7,5$) (Champion, 1963).

Le cas particulier du vent

C'est un facteur climatique de grande importance. Ses effets provoquent une transpiration anormale, une lacération plus ou moins importante des feuilles et une chute du bananier par la cassure du stipe ou par son déracinement (Stover et Simmonds, 1966).

II.2. Le LIMBA : *Terminalia superpa* Engl. et Diels

Les informations de ce chapitre sont principalement tirées de la monographie sur le *Terminalia superba* de Groulez et Wood (1984).

II.2.1. Appellation

Pour le *Terminalia superba* Engler et Diels, il existe plusieurs appellations commerciales. Celle retenue par l'ATIBT⁵, la norme française AFNOR⁶ et adoptée communément en Belgique, est LIMBA. Elle est originaire du Sud de l'aire de distribution (Mayumbe). Il existe également l'appellation FRAKE, originaire de Côte-d'Ivoire et AFARA, originaire du Sud de Nigeria. Le nom vernaculaire utilisé au Mayombe est ndimba (Pauwels, 1993).

II.2.2. Distribution géographique et provenance

Le limba est une espèce africaine, endémique de la région guinéo-congolaise, il occupe naturellement une aire très vaste depuis la Sierra Leone et la Guinée jusqu'au Mayumbe de la R.D.Congo et le Cabinda de l'Angola. L'aire s'étend vers l'Est le long de la frontière entre la R.D. Congo et la République Centrafricaine, puis descend le long du système fluvial Oubangui-Congo dans l'hémisphère Sud pour rejoindre le Mayumbe en République du Congo, en R.D. Congo et au Nord-Ouest de l'Angola (Figure 5). Tout au Sud, l'aire du limba se disloque en îlots dispersés jusqu'à une limite méridionale, qui est estimée à 12° de latitude Sud.

Cette distribution correspond à l'espèce caractéristique des forêts denses équatoriales à saison sèche accusée d'environ 4 mois.

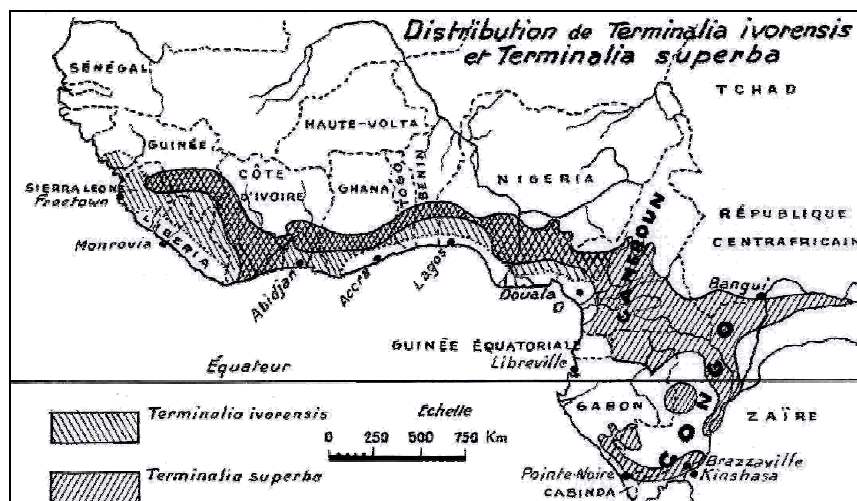


Figure 5 : Distribution du *Terminalia superba* et *T. ivorensis* (source : Groulez et Wood, 1984)

⁵ ATIBT : Association Technique International des Bois Tropicaux.

⁶ AFNOR : Association Française de normalisation

La couleur du bois n'est pas toujours constante ce qui a amené à distinguer le « limba blanc » et le « limba noir ». Le commerce du bois s'est principalement intéressé aux provenances du Sud de son aire : Mayumbe de la République du Congo et de la R.D. Congo du fait de ses qualités technologiques et l'absence de piqûres noires internes. Toutefois, avec l'évolution des technologies, un courant d'utilisation s'est établi pour les provenances moins appréciées de l'Afrique de l'Ouest et Centrale (CTFT, 1989). Commercialement, la dénomination « fraké » est utilisée pour les productions issues du Cameroun et de la Côte-d'Ivoire, tandis que le terme « limba » désigne le *T. superba* du Mayumbe (République du Congo, le Sud du Gabon, la RDC et le Cabinda) (CTFT, 1974).

Par contre, selon Corbasson et Souvannavong (1988), dans des essais de provenance en Côte-d'Ivoire, les provenances « limba » se sont montrées médiocres en vitesse de croissance, mais ils notent une grande variabilité individuelle des provenances.

II.2.3. Description de l'arbre

Brève description botanique

Le limba appartient à la famille des Combrétacées. Le nom latin *Terminalia* vient du fait que les feuilles sont groupées en touffes à l'extrémité des rameaux.

Le fût de limba présente à la base des contreforts aliformes s'élevant à plusieurs mètres au-dessus du sol.

Le limba est caractérisé par un feuillage caduc, dont les feuilles sont alternes. Les feuilles sont simples, entières, pétiolées et dépourvues de stipule.

Les inflorescences se trouvent vers l'extrémité des rameaux, à l'aisselle des feuilles, en forme d'épis pédonculés, long de 10 à 15 cm.

La fructification se fait au moment de la défoliation, les fruits sont ailés (samares) groupés sur un axe commun.

Morphologie

Le jeune arbre se fait remarquer par ses branches latérales verticillées ou pseudoverticillées. La tige principale pousse par à-coups (de quelques cm à 1,5 m). Les entre-verticilles sont sans feuilles, ni rameaux. Le couvert épais au début s'éclaircit à mesure qu'il s'élève. Dans son jeune âge, c'est une essence qui domine la concurrence; plus tard, l'architecture de sa cime est facilement influençable et rapidement déformée par un couvert latéral (Donis, 1948).

L'arbre adulte est un arbre de première grandeur, atteignant couramment 30 m et pouvant dépasser 50 m de hauteur. Il est très élancé, avec un fût régulier très droit, à faible décroissance. Des contreforts triangulaires de 2 – 3 m de haut, voir beaucoup plus, forment la base du tronc. Le diamètre au-dessus de l'empatement varie en général de 60 cm à 120 cm, sans dépasser 150 cm. La décroissance du diamètre du fût est très régulière et atteint en moyenne 10 à 12 mm par mètre. Le fût, pour des arbres adultes de 30 à 40 m de haut peut avoir 20 à 30 m de longueur sans branches. Le rapport de la hauteur de fût à la hauteur totale

pour des arbres de HT = 30 à 50 m est de 0,7 à 0,8, exceptionnellement 0,9. Les vieux arbres n'ont en général que quelques grosses branches terminales.

La tranche de l'écorce est jaune pâle, tirant vers le rougeâtre vers l'extérieur et vers le blanc à l'intérieur.

Les feuilles sont vertes foncées et groupées en touffe le long des rameaux. La chute des feuilles a généralement lieu durant la période sèche.

II.2.4. Exportation et utilisation du bois

L'utilisation

Le limba, dans la mesure où il s'agit du limba blanc, est essentiellement employé en déroulage et contreplaqué (ex : plaquages externes d'ameublement et de portes). Le fraké paraît convenir plutôt au sciage ; en effet, la présence de piqûres internes, parfois d'un cœur noir en étoile irrégulière donnant au déroulage des feuilles irrégulièrement bariolées empêchent souvent son utilisation en face de panneaux tandis que les sciages sont généralement destinés à être peints (CTFT, 1974).

Le bois n'est pas durable. Il peut facilement être travaillé mais il a tendance à se fissurer lorsqu'il est cloué ou vissé.

L'exportation

La Figure 6 présente l'évolution des exportations du *Terminalia superba* de 1953 à 1977. Durant cette période, les principaux pays importateurs étaient l'Allemagne, la Belgique et les Pays-Bas.

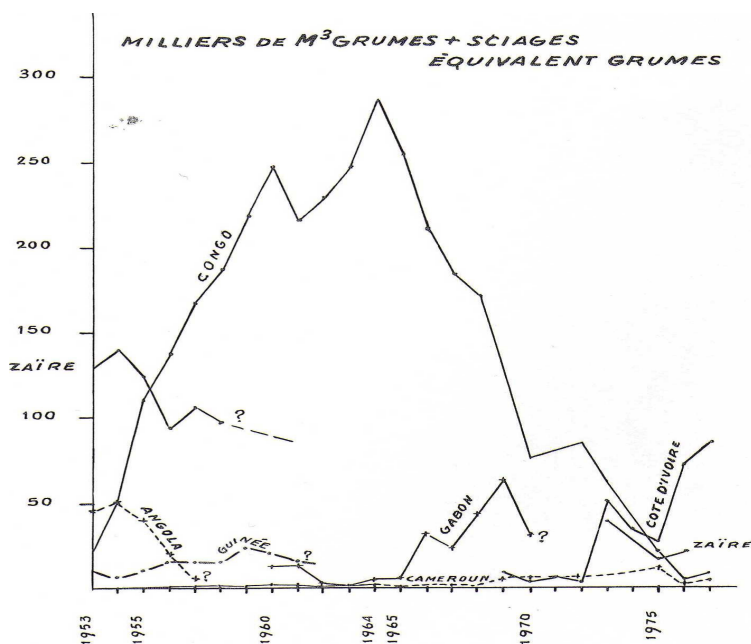


Figure 6 : Evolution des exportations (1953-1977) du *Terminalia superba*.

La Figure 6 montre la chute rapide, à partir de 1964, des exportations de limba à partir du Sud de l'aire.

Tableau 2 : Exportation (en m³) du limba/fraké (L/F) et de la totalité des essences par pays en 2005 (source : ATIBT, 2006).

Pays	Grumes		Plaquages		Contreplaqués		Sciages	
	L/F	Total	L/F	Total	L/F	Total	L/F	Total
Gabon	7	1 586 228	/	/	/	/	/	/
Congo	1 004	709 710	12	13 040	/	/	/	/
Cameroun	16 788	145 829	991	62 739	3 220	23 347	15 528	659 543

On observe à partir de ce tableau que les exportations limbas/frakés sont faibles par rapport aux exportations de ceux-ci durant la période de 1953 à 1977. Le Cameroun quant à lui a pris une place importante dans les exportations de cette essence alors qu'elles étaient très faibles dans les années 50.

Le limba demeure l'une des plus importantes sources de bois d'oeuvre commercial de la République Démocratique du Congo et entre 1983 et 1986 ce dernier était classé huitième en termes de production de l'espèce. En 1995, la République Démocratique du Congo a exporté 3.000 m³ de grumes de Limba; 1.000 m³ de bois scié et de petites quantités de bois de placage (OIBT/ITTO, 1997).

II.2.5. Autécologie

Les exigences climatiques

Le limba se développe préférentiellement sous une pluviométrie annuelle supérieure à 1 500 mm et une saison sèche inférieure à 4 mois. Il est néanmoins possible de le retrouver dans des climats moins humides où les stations sont favorables suite à leur situation topographique (fond de vallée) ou parce qu'il y a des brouillards fréquents (cas du Mayumbe). Par contre, un sol sableux accompagné d'une longue période de sécheresse peut amener à un ralentissement de croissance, voir même un flétrissement de bourgeon terminal. Ce flétrissement amène l'apparition de fourches.

Dans la zone de distribution naturelle du limba, la température moyenne mensuelle est comprise entre 20°C et 28°C. *Terminalia superba* est un héliophile strict, mais il peut néanmoins supporter un ombrage momentané dans son jeune âge, lorsqu'il dépasse un mètre de hauteur (cas du système-sylvo bananier). On le retrouve entre le niveau de la mer jusqu'à 1 000 m, mais majoritairement entre 150 et 600 m.

Les besoins édaphiques

Le limba semble bien se comporter sur tout type de sols tant que la pluviosité est suffisante. Il préfère néanmoins les sols alluvionnaires riches et frais, se ressuyant bien. C'est dans ces milieux qu'il atteint son optimum de développement. Il peut supporter les inondations, mais pendant de courtes périodes.

Sensibilité à divers facteurs

Le limba est très sensible au feu en raison de son écorce mince et de son écologie de forêts denses. Il est également sensible aux attaques faites à son écorce, génératrice de défauts.

La présence de peuplements de limbas est fortement liée à l'activité anthropique. En effet, le caractère social de cette espèce, favorisé par son héliophilie, l'abondance et la régularité de sa fructification, la légèreté relative, la forme ailée et le pouvoir germinatif des graines, en font un envahisseur des surfaces défrichées. La grande proportion des peuplements de limbas au Mayumbe s'explique par ce lien étroit qu'il y a entre ces peuplements et l'activité agricole des populations locales, ces derniers étaient très nombreux dans la région avant la traite des esclaves (Donis, 1948).

Phytosociologie

Le limba est une espèce grégaire, très héliophile, s'installant dans les trouées de la forêt et surtout sur les défriches d'anciens champs agricoles. Dans la partie optimum de son aire, il se présente sous forme de peuplements pouvant occuper plusieurs dizaines d'hectares, exclusivement en forêt dense semi-décidue.

La structure des peuplements naturels de *Terminalia superba* se caractérise par des taches ou groupes d'arbres plus ou moins proches les uns des autres et d'aspect équié. L'âge de ces taches correspond le plus souvent à la date d'une intervention extérieure ayant formé des trouées dans la canopée, découvert le sol et amené la lumière. Il semble que la reconstitution des peuplements de limba soit depuis plusieurs décennies fortement réduite, dans la mesure où les jachères succédant aux cultures agricoles traditionnelles itinérantes sont devenues plus rares, par suite de l'exode rural, du regroupement et de la stabilisation des villages ou de l'abandon des usages traditionnels.

Les associations végétales comprenant le limba sont variées de par l'étendue de l'aire de répartition de cette espèce. Néanmoins, deux grands types d'association semblent se distinguer :

- dans l'hémisphère Nord, le *Terminalia superba* se rencontre le plus souvent en association avec *Triplochytton scleroxylon* K. Schum (Ayous). D'autres essences sont associées (*Celtis* spp., *Sterculia* spp...), mais varient selon la région.
- Dans l'hémisphère Sud, dans la partie de l'aire naturelle en l'absence du *Triplochytton scleroxylon*, le limba se trouve en compagnie de *Ricinodendron heudelotii*, *Staudtia stipitata*, *Petersianthus macrocarpus*, *Zanthoxylum macrophylla*, *Zanthoxylum heitzii*, *Celtis* spp., *Gambeya* spp., *Desbordesia glaucescens*, *Prioria oxyphyllum*, *Entandrophragma angolense*, *Dacryodes pubescens* et *D. heterotrycha*, *Prioria balsamifera*, *Scorodophloeus zenkeri*, *Xylopia* spp.

Bien entendu, en raison de son tempérament, le limba se trouve très souvent associé à d'autres espèces de lumière colonisatrices telles que *Pycnanthus angolensis* ou encore *Musanga cecropioides*.

D'une façon générale, l'abondance locale de peuplements de limba adultes est l'indice d'un remaniement ancien de la forêt et la caractéristique d'une forêt secondaire vieille.

II.2.6. Croissance et production du *Terminalia superba*

En milieu naturel

La croissance du limba est généralement très rapide, et sa valeur évolue avec les années, l'âge, les conditions écologiques et l'environnement. L'accroissement annuel moyen en diamètre à hauteur d'homme varie généralement de 0,5 à 5,6, voir même 7 cm par an, et l'accroissement en hauteur de 0,5 à 3 m par an.

Les valeurs obtenues au Cameroun par Doucet *et al.* (2007) nous montrent l'évolution de la croissance du limba selon sa classe de diamètre. L'accroissement périodique va de 7 cm/an pour des arbres de 30 à 49 cm de diamètre, à 0,6 cm/an pour des arbres de plus de 90 cm de diamètre.

En plantation

Les différents essais de sylviculture du limba ont montré que la plantation apporte de meilleurs résultats que la régénération naturelle et la régénération artificielle par semis.

Les techniques de plantation donnant les meilleurs résultats sont les techniques de conversion des forêts avec destruction du couvert avant plantation. Ces techniques, regroupées sous l'appellation « méthode limba » ont été utilisées sur des surfaces importantes principalement en République du Congo, en République Démocratique du Congo et en Côte d'Ivoire (CTFT, 1989).

Croissance des peuplements

La croissance des peuplements dépend évidemment des conditions du milieu, de la technique utilisée et de la densité de mise en place.

Dans des plantations à écartement final (70 à 80 arbres à l'hectare), la croissance en grosseur des peuplements jeunes dans des conditions favorables de croissance est le plus souvent de 2 à 3,5 cm/an sur le diamètre moyen à hauteur d'homme jusqu'à l'âge de 10 ans. Elle diminue ensuite progressivement.

La croissance en hauteur totale pendant les 10 premières années paraît se maintenir à un chiffre de 1,1 m à 1,5 m par année, et peut atteindre plus de 2 m par an. Cette croissance reste encore supérieure à 1 m dans les peuplements de 20 ou 30 ans en bonnes conditions.

Un tableau synthétique des différentes données d'accroissements des pays évoqués par Groulez et Wood (1984), est présenté en annexe 3, ainsi que des graphiques mettant en relation l'âge et le volume ou l'âge et la circonférence (annexe 1 et 2). Des placettes de contrôle de croissance des plantations de limba au Mayumbe congolais sur des sites de fertilité différentes, montrent que les limbas auront vraisemblablement atteint le diamètre d'exploitabilité à 40 ans dans les meilleures stations et vers 65 ans dans les plus mauvaises. En sol convenable avec la « méthode limba », et une densité de 80 à l'hectare, un peuplement bien conduit peut laisser espérer une production de bois fort tige de $6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ à 40 ans.

II.3. Les agroforêts avec bananiers

Le système à multistrates a été proposé comme une façon de remplacer l'agriculture sur brûlis dans les zones tropicales humides (Norgrove, 1998). En effet, l'un des problèmes majeurs rencontré en agriculture dans la zone tropicale est la faible fertilité des sols. Ces derniers subissent un appauvrissement et une érosion rapide lors de leur mise en culture. L'ajout d'une composante ligneuse, à la culture du bananier, permettrait de mieux conserver la fertilité des sols par l'intermédiaire de son humus, par les éléments minéraux qu'elle prélève en profondeur, par la protection contre les grands vents, et sa relative protection contre l'érosion par sa litière et ses racines. Ce système permettrait également une augmentation de la production en biomasse par hectare.

La revue bibliographique présentée ci-dessous est consacrée à une période particulière d'un cycle potentiel d'un système d'agroforêt. En effet, l'origine de l'agroforêt peut varier, elle peut venir d'une plantation d'arbres créée éventuellement par un système taungya, ou alors d'une forêt naturelle convertie. Il est donc important de préciser qu'ici, nous allons parler d'une agroforêt avec comme strate supérieure des arbres déjà âgés et comme strate inférieure, le bananier.

II.3.1. Influence du système *Terminalia* spp. -bananier sur le sol et la litière

Il faut tout d'abord noter que la dynamique de la litière d'une plantation d'arbres peut varier en fonction de l'espèce plantée, surtout lorsqu'il s'agit d'une espèce non indigène (Bernnhard-Reversat et Goma-Tchimbakala, 2006). Les paramètres qui vont principalement agir sur l'activité biologique et la matière organique du sol sont le microclimat et la composition chimique des retombées végétales. Il ne faut néanmoins pas oublier que le sol lui-même a une influence importante sur l'accumulation de matières organiques, principalement par sa texture (Bernnhard-Reversat, 1989).

En ce qui concerne la dynamique de la litière du *Terminalia superba*, la production de litière a été évaluée de 6,6 à 7,2 t. ha⁻¹.an⁻¹ dans l'expérience menée par Bernnhard-Reversat et Goma-Tchimbakala, en 2006, au Mayumbe (République du Congo). Ces auteurs ont comparé la quantité, la qualité et la dynamique de cette production sur des plantations âgées de 7, 12 et 48 ans, avec celle d'une forêt naturelle de la région. Il en est ressorti que la quantité de litière produite est plus ou moins équivalente entre la plantation de limbas matures et la forêt naturelle. La qualité (concentration en azote, matière organique soluble et les composés phénoliques solubles dans l'eau) est meilleure dans la forêt naturelle du fait de sa plus grande diversité en espèces, et de sa meilleure transformation de la litière. La pédofaune et la pédoflore peu adaptées à ce changement de litière expliqueraient cette différence. Néanmoins, la dynamique de la litière de la plantation de limbas ne provoque pas une altération profonde de la dynamique de l'écosystème du sol comme pourrait le faire certaines plantations d'espèces exotiques (Bernnhard-Reversat et Goma-Tchimbakala, 2006).

Ces résultats sont intéressants pour la réalisation d'un système d'agroforêt qui se voudrait durable.

L'étude de Norgrove et Hauser (2000a), s'est portée sur la différence de production de litière qu'il pourrait y avoir entre deux densités (192 arbres/ha et 40 arbres/ha) de plantations de framirés (*Terminalia ivorensis*) à deux âges différents (6 et 17 ans). Les résultats de l'étude montrent qu'il y a peu de différences entre les traitements sur la production de litière par arbre, sur la surface foliaire spécifique et sur la concentration en éléments nutritifs de la litière. Cette absence de réaction suggère que le framiré peut croître dans un contexte agroforestier à des densités inférieures à celles qui correspondent à des pratiques sylvicoles habituelles.

Les études de Dagba (1994), en République du Congo, à Bilala, sur un système sylvo-bananier composé de *Terminalia superba*, montrent un plus faible taux d'humus et de matière organique dans le système sylvo-bananier par rapport à celle d'une monoculture de bananiers (~700 bananiers/ha). Cette observation va dans le même sens que celle de Bernhardt-Reversat et Tchibinda-Pemo (1988). En effet, ces derniers ont étudié la dynamique de la matière organique pour le système agroforestier limba-bananier du Mayumbe congolais. Ils expliquent ces résultats comme suit : la litière du limba apporte annuellement au bananier 6 à 7 tonnes de matière organique par hectare, mais le microclimat du sous-bois en favorise sa décomposition. Le stock d'humus du sol superficiel est donc plus faible pour les bananeraies sous limba qu'à ciel ouvert, malgré un apport de litière d'environ le double. Le turn-over des éléments minéraux y est rapide et le bananier planté en milieu boisé bénéficie de cet apport minéral supplémentaire. Il se pourrait également que la litière de bananier ait un effet améliorant sur la décomposition de la litière totale (Tsakala et Schwartz, 1990).

Une autre étude, de Norgrove et Hauser (2000b) a mesuré l'impact des différentes densités de plantation de framirés sur les déjections de vers de terre. Ils n'ont pas remarqué de différence significative par traitement. C'est un autre aspect positif qui pourrait être bénéfique pour un traitement sylvicole prenant en compte une culture en bas-étage comme le bananier. Tout comme les résultats publiés par Norgrove et Hauser (2000c), qui montrent que l'augmentation en biomasse de l'adventice *Chromolaena odorata* est négativement corrélée avec la densité des framirés. Par contre, le prélèvement en élément nutritif de cet adventice augmente avec la densité des framirés.

II.3.2. Les effets du système *Terminalia* spp.-bananier sur le microclimat

Des observations ont été menées par Dagba (1994) de 1990 à 1993 à Bilala (Mayumbe de la République du Congo). Le climat est défini par une hauteur de pluies annuelles de 1 200 à 1 700 mm, une saison pluvieuse de mi-octobre à mi-mai caractérisée par les maxima de température et d'éclairement les plus élevés de l'année et une saison sèche de mi-mai à mi-octobre caractérisée par les minima de température et d'éclairement les plus faibles de l'année. Les maxima de température sont plus élevés et les minima plus faibles à ciel ouvert qu'en sous-bois. Les variations journalières de température sont de ce fait, plus faibles en sous-bois et la moyenne mensuelle de température y est souvent plus faible. Le milieu boisé engendre donc un microclimat « tamponné » (Dagba, 1994). Les maxima d'humidité relative de l'air

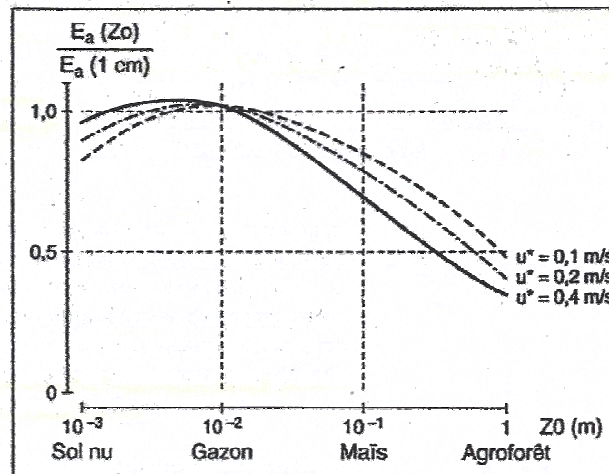
sont peu différents dans les deux milieux ; par contre les minima et la moyenne sont plus faibles à ciel ouvert. L'évapotranspiration potentiel (ETP) est donc plus réduite en sous-bois et, par conséquent, les besoins en eau du bananier seraient plus faibles (Dagba, 1994). Des données météorologiques (sous forme de graphiques) mettant en évidence le microclimat sont en Annexe 4.

Une étude antérieure de Dagba (1993) au même endroit fait ressortir qu'en saison sèche, les teneurs en eau des différentes profondeurs du sol sont comprises entre le point de flétrissement permanent et la limite inférieure des 2/3 de la Réserve Utile, avec une durée plus longue à ciel ouvert (de juin à novembre) qu'en sous-bois (de juillet à octobre). C'est donc une période de survie ou d'une très faible productivité pour le bananier. Le milieu en sous-bois est donc plus favorable à la nutrition hydrique du bananier que le milieu à ciel ouvert (Dagba, 1993).

Ces résultats peuvent laisser entrevoir un avantage à pratiquer la culture sous couvert dans les régions où l'eau est le premier facteur limitant pour le bananier.

L'éclairement sous les limbas était de $43 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{J}^{-1}$ en février 1988, ce qui représente 14% de l'éclairement mesuré à ciel ouvert. Il était par contre de $48 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{J}^{-1}$ en juillet 1988, pour $143 \text{ cal. cm}^{-2}.\text{J}^{-1}$ à ciel ouvert, soit 34% (Dagba, 1994). La différence d'éclairement due au changement de saison est atténuée dans le sous-bois de la plantation de limba. En effet, durant la saison sèche, le *Terminalia superba* perd ses feuilles, ce qui permet de compenser la diminution de luminosité de cette période. De plus, si l'atmosphère est brumeuse (comme lors de la saison sèche au Mayumbe), la proportion de rayonnement diffus augmentera dans le rayonnement global et la fraction du rayonnement transmis sous les couronnes des arbres sera élevée (Baldy *et al.*, 1993).

Un paramètre qui n'a pas été mesuré par Dagba est la modification des composantes du vent. Guyot *et al.* (1986) cités par Baldy *et al.* (1993), montre « l'effet brise-vent » de l'agroforêt (Figure 7). Pour les plantes associées aux arbres, dans les parcelles agroforestières, les dilacérations de feuilles (importantes chez les bananiers), le niveau de photosynthèse nette et les migrations des photosynthétats sont modifiés dans un sens généralement positif (Stigter, 1985 cité par Baldy *et al.*, 1993).



Modifications du pouvoir évaporant de l'air (E_a) par la réduction de la vitesse du vent (u^*) dans un système agroforestier. Z_0 : paramètre de rugosité (10^{-2} m = gazon ras ; 1 m = système agroforestier avec des arbres de 10 m de haut et 10 m d'écartement). u^* : vitesse du vent au-dessus du peuplement herbacé. On voit que le système agroforestier peut réduire de plus de 50 % le pouvoir évaporant de l'air.

Figure 7 : Modification du pouvoir évaporant de l'air par la réduction de la vitesse du vent dans un système agroforestier. (Source : Baldy *et al.*, 1993)

Le microclimat apporté par une plantation de limbas semble donc favorable à la culture du bananier dans une région telle que le Mayumbe.

II.3.3. Les interactions qui existent entre les composantes du système

Hormis les effets de l'ombre, il n'y a pas eu de recherches précises sur un seul facteur comme la compétition pour les éléments minéraux ou pour l'approvisionnement en eau. Les études se sont plus portées sur les résultats de l'interaction en termes de croissance et de production.

Interactions sur la croissance et la production

Dans le système comprenant le framiré comme composante arborée, le bananier en sous étage ou le tannia (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott) ou encore les deux cultures associées en sous étage, ne produisent pas d'effets sur la croissance et la production en biomasse du framiré pour les deux densités retenues (192 arbres et 40 arbres) dans l'expérience de Norgrove et Hauser (2002a).

L'accroissement annuel courant des arbres est significativement plus élevé pour les plantations éclaircies par rapport à une plantation non éclaircie, et la plantation à forte éclaircie (faible densité) présente l'accroissement annuel courant le plus important (Norgrove et Hauser, 2002a). La production en biomasse totale à l'hectare est, par contre, significativement la plus importante pour la plantation à faible éclaircie par rapport aux deux autres plantations (Norgrove et Hauser, 2002a). Il est donc plus intéressant du point de vue de la composante arborée de faire une faible éclaircie si l'objectif final est la production

maximale de biomasse. Par contre, La forte éclaircie peut s'avérer plus intéressante si l'objectif final est d'obtenir un maximum de volume par arbre.

Du côté du sous-étage, le rendement des bananiers a été calculé par Norgrove et Hauser (2002b) pour les différentes densités d'arbres. Les résultats montrèrent qu'il y avait un meilleur rendement pour la plantation à faible densité, 11,7 t/ha. Il faut remarquer que la différence de rendement entre les deux plantations n'est pas directement liée au nombre et au poids des régimes de bananes, mais au fait qu'il y ait eu une grande partie des bananiers (plus de 70%) qui se sont déracinés pour la plantation à haute densité (192 arbres) contre 45% pour la plantation à faible densité. Une hypothèse non vérifiée a été émise pour ce constat : le faible nombre de racines sur les bananiers poussant dans la plantation de haute densité combiné avec les dommages des nématodes (de même fréquence que dans la plantation de faible densité) a affaibli la stabilité des bananiers.

Un rendement de 10,2 t/ha pour le même cultivar (Essong) a été mesuré dans une plantation en monoculture, sans fertilisants, et avec une fréquence d'enherbement similaire. Il n'y aurait donc pas de différence de rendement sur les bananiers en présence d'une faible densité de Framiré (Norgrove et Hauser (2002b)). A titre de comparaison, en condition optimale (précipitation, engrais...), le plantain 'French' peut produire 50 t/ha pour les plantes mère (Irizarry et *al.*, 1991 cités par Norgrove et Hauser (2002b)) .

L'étude réalisée par Dagba (1994) a également relevé différents paramètres de croissance du bananier dans une monoculture et dans une culture sous limbas. Il a constaté un arrêt de croissance du bananier durant la saison sèche qui dure 5 mois. Mais une différence a été constatée quant à la période d'arrêt de croissance des bananiers en sous bois qui est plus courte que, que celle à ciel ouvert. L'eau apparaît donc comme un facteur limitant prépondérant. Mais les effets respectifs de l'eau, de la température et de l'éclairement n'ont pu cependant être séparés. La pente de la courbe de croissance pendant la saison pluvieuse est plus faible à ciel ouvert qu'en sous-bois où elle s'élève avec le cycle du bananier. La culture en sous-bois apparaît plus vigoureuse et, par conséquent, plus rentable que celle à ciel ouvert (Dagba, 1994).

Ces résultats nous permettent de constater que certaines densités de framiré et de limba n'auraient pas d'effet négatif majeur sur la production des bananiers. Malheureusement, comme déjà précisé précédemment, la densité de limbas dans les études menées par Dagba n'est pas précisée.

PARTIE 2: OBJECTIFS ET METHODES

III. Objectifs

III.1. Hypothèse centrale de recherche

La culture du bananier sous anciennes plantations de limbas dans le bloc UB1 est de type traditionnel. Les interventions phytotechniques sont limitées et aucun intrant (engrais, produits phytosanitaires et irrigation) n'est utilisé. Ce système est extensif avec des rendements bananiers faibles mais durables.

Le couvert partiel du limba et d'autres essences de forêts secondaires apporterait, de manière quasi permanente, une litière suffisante, permettant le maintien de la fertilité des sols sous les bananiers. Ce couvert amènerait également un microclimat (écart de température plus faible, humidité relative de l'air plus élevé), une protection des grands vents et le maintien d'une teneur suffisante en eau des sols pendant une période prolongée de la saison sèche. Ces bienfaits du couvert arboré expliqueraient ainsi la pérennité des cultures de bananiers sous limba.

III.2. Objectif principal

Le but du système sylvo-banancier implanté, de 1949 à 1956, dans la réserve de Biosphère de Luki était de régénérer artificiellement, par la méthode taungya, des plantations d'arbres. L'essence principale de reboisement était le *Terminalia superba*. Or 60 ans après son installation, on retrouve encore des cultures de bananiers sous ces limbas.

L'objectif principal de ce travail sera de faire un état des lieux de ces agroforêts du bloc UB1 et de les caractériser.

III.3. Objectifs spécifiques

III.3.1. Délimiter des dispositifs homogènes de suivi du système agroforestier limba-banancier du Bloc UB 1

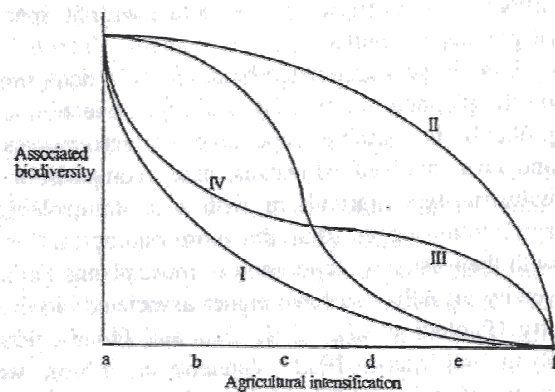
Dans le cadre du volet agroforesterie du programme de relance de la Recherche Agricole Forestière en République Démocratique du Congo (REAFOR⁷), des dispositifs permanents de recherche doivent être installés dans la Réserve de Biosphère de Luki. Ces dispositifs permanents permettront le monitoring (suivi-évaluation) des principaux paramètres d'étude des systèmes agroforestiers. Or les villages de Monzy 1, Monzy 2 et Mbondo exercent une forte pression sur le bloc UB1. Il a donc paru judicieux de faire une délimitation physique des zones encore peu dégradées et comportant le système agroforestier limba-banancier. Cette délimitation permettra des recherches ultérieures, elle servira également à dissuader la population de couper les arbres dans ces dispositifs par le passage plus fréquent des écogardes dans ces zones.

III.3.2. Caractériser le système agroforestier limba-banancier par sa composition, sa diversité et sa structure végétale

Grâce à un inventaire de toutes les espèces ligneuses (dhp > 10 cm) présentes dans chacune des parcelles agroforestières, il sera possible de comparer la diversité de celles-ci avec celle des forêts naturelles de limbas et des plantations de limbas sans bananiers du bloc. On pourra ainsi savoir dans quel scénario on se trouve par rapport à la Figure 8.

Les différentes mesures dendrométriques vont également permettre de caractériser les peuplements limbas et de déterminer sa composition botanique.

⁷ Le programme REAFOR : Programme financé par l'Union Européenne et mis en œuvre par l'organisation des nations unies pour l'alimentation (FAO), le Centre International pour les forêts (CIFOR) et l'Institut International d'Agriculture tropicale (IITA). Ce programme a pour but de renforcer les capacités de l'Université de Kisangani et de l'Institut National d' Etude et de Recherche Agricole (INERA).



Possible scenarios for the relationship between degree of intensification and total biodiversity. The intensification gradient moves from a = an unmanaged system (e.g., forest, grassland) b = Casual management (e.g., shifting cultivation, nomadic pastoralism, home garden), c = Low intensity management (e.g., traditional compound farm, rotational fallow, traditional agroforestry), d = Middle intensity management (e.g., horticulture, pasture, mixed farming, traditional cash cropping), e = high management (e.g., crop rotation, multicropping, alley cropping, intercropping), f = Modernism (e.g., plantations and orchards, intensive cereal and vegetable production). Pattern I is where any extent of human intervention drastically reduces biodiversity with added effects being relatively minor and progressive. Pattern II is where intensification affects species diversity only at very high levels. Patterns III and IV are intermediate relationships.

Figure 8 : Les différents scénarios possibles de la relation : degré d'intensification agricole et la biodiversité totale (Source : Vandermeer *et al.*, 1998)

III.3.3. Caractériser les bananeraies du système agroforestier

Les bananeraies agroforestières seront caractérisées par leurs rendements et leurs caractères végétatifs (hauteur moyenne, nombre de mains par régime...). Ces données pourront être comparées avec des bananeraies de 'Gros Michel' pure.

Des prélèvements de sol sur les différents milieux rencontrés vont permettre de vérifier l'état de fertilité des sols de bananeraies cultivées durant une période prolongée.

III.3.4. Déterminer la croissance du limba depuis sa plantation

Les différentes littératures qui parlent de la croissance de plantations de limbas s'arrêtent généralement à l'âge de trente ans. Les mesures effectuées dans ce travail combinées avec celles faites en 1962, 1963, 1965, 1968, 1972 et 1978 au même endroit (coupon 48-49 du bloc UB 1) permettront de préciser la croissance du peuplement de limbas jusqu'à l'âge de 59 ans.

IV. Méthodes

L'étude du système d'agroforêt combinant le bananier avec essentiellement le limba est réalisée dans le bloc UB1 de la Réserve de Biosphère de Luki.

Le travail sur le terrain a commencé début mars 2008 et a été achevé fin mai 2008. Une vérification du bon déroulement du travail a été effectuée début avril par les professeurs Jean-Pierre Mate de l'UNIKIS (coordonnateur forestier adjoint du REAFOR/site de Luki) et Jean Lejoly de l'ULB.

IV.1. Méthodologie de terrain

Le travail de terrain s'est déroulé en trois grandes étapes : délimitation du dispositif agroforestier et pré-inventaire, l'inventaire des parcelles agroforestières sélectionnées dans les dispositifs et des parcelles de limbas à haute densité et, les prélèvements d'échantillons de sols.

IV.1.1. Délimitation des dispositifs

Une prospection du bloc UB 1 de 868 ha a permis de repérer les parties encore peu dégradées par la pression anthropique et abritant encore la culture de bananier.

Deux dispositifs ont alors été installés dans les zones où l'on retrouvait encore des bananeraies sous limbas. Le premier dispositif fait 42 ha (Dispositif 1) et le second 8 ha (Dispositif 2). Deux autres blocs ont été délimités dans des milieux à forte densité de limbas et sans cultures en bas étage. Le premier fait 7 ha (Dispositif 3) et le second 2 ha (Dispositif 4). Ces dispositifs sont repris dans la Figure 9.

Les deux premiers dispositifs serviront à l'étude du système agroforestier, tandis que les deux autres permettront, d'évaluer la croissance du limba en plantation et, la diversité végétale que l'on peut retrouver dans ces peuplements par rapport au peuplement du système agroforestier.

Ces quatre dispositifs ont été quadrillés par des layons espacés de 100 m (Figure 10), formant des parcelles d'un hectare. La dimension d'un hectare correspond à la surface moyenne de gestion des cultures de bananes en condition agroforestière.

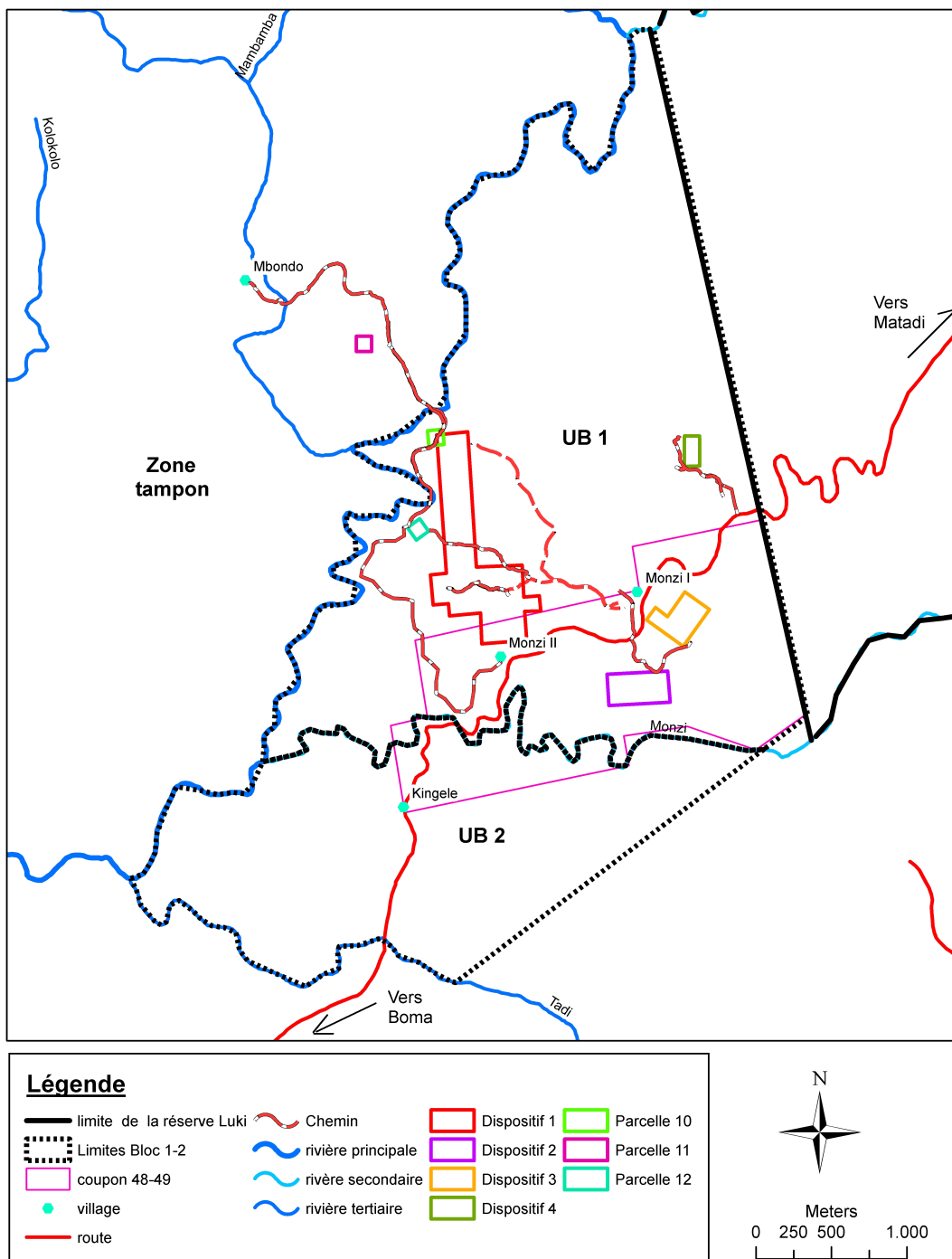


Figure 9 : Carte du bloc UB1 et UB2 comprenant les dispositifs de recherche (les parcelles hors des dispositifs sont présentées).

IV.1.2. Le pré-inventaire du dispositif 1 et 2

Lors du layonnage des dispositifs 1 et 2, un pré-inventaire a également été pratiqué. Ce pré-inventaire a été réalisé de part et d'autre du layon sur une distance de 25 m. Il reprend la densité des arbres et la densité des bananiers sur une bande de largeur totale de 50 m (Figure 10).

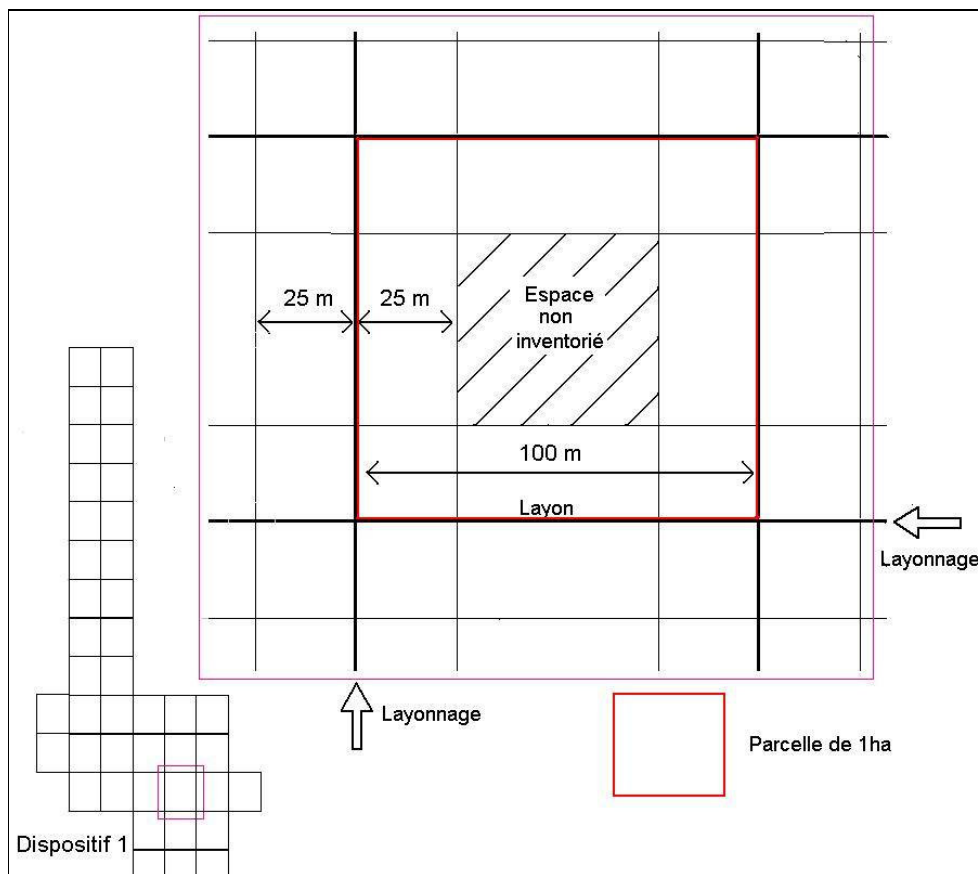


Figure 10 : Schéma du layonnage et du pré-inventaire du dispositif.

La zone non inventoriée par le pré-inventaire est de 0,25 ha. Le pré-inventaire se fait donc sur 75 % de la surface de la parcelle.

Ces informations ont permis de sélectionner des parcelles agroforestières à inventorier par la suite. Un tableau reprenant les informations récoltées lors de ce pré-inventaire se trouve en Annexe 6.

Le manque de bananeraies entretenues dans les dispositifs agroforestiers nous a obligés à délimiter deux parcelles hors des dispositifs (Figure 9 et Figure 11).

IV.1.3. L'inventaire des parcelles sélectionnées

Les parcelles sélectionnées

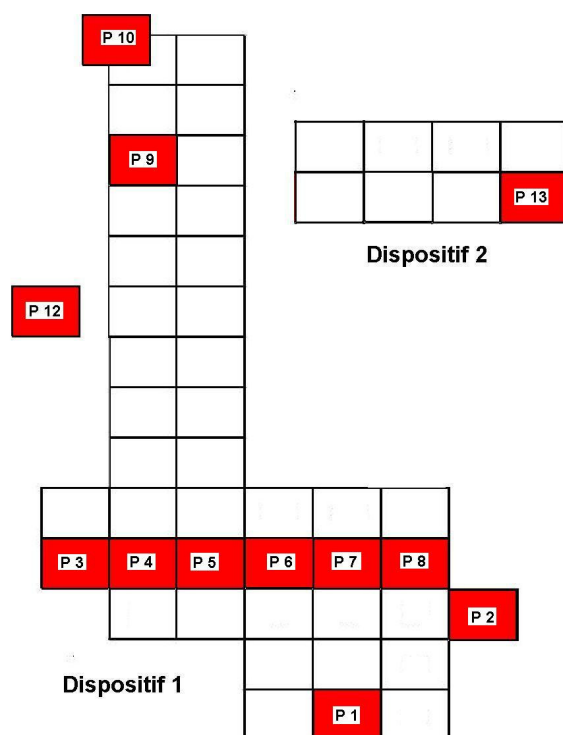


Figure 11 : Schéma des parcelles agroforestières sélectionnées (carrés rouges) dans les dispositifs 1 et 2.

Onze parcelles de 1 ha ont été retenues dans les dispositifs 1 et 2 pour l'inventaire, dont une (P10) est à cheval sur le dispositif 1. Une douzième parcelle (P12) a été délimitée à proximité du dispositif 1, pour augmenter le nombre de parcelles agroforestières.

Dans le reste des dispositifs, des bananiers sont présents, mais l'exploitation de ceux-ci se fait sous forme de cueillette.

La parcelle P11 ne se situe pas dans le bloc UB1 mais dans la zone tampon de la Réserve (Figure 9). Cette bananeraie n'était donc pas sous une plantation de limbas, mais sur une trouée d'environ 1 ha avec pratique du brûlis dans une forêt secondaire vieille. Cette parcelle témoin nous donnera une idée de ce que produirait une bananeraie dans ces conditions par rapport aux parcelles agroforestières du bloc.

Il y a donc en tout 12 parcelles de bananeraies sous plantations de limbas (parcelles agroforestières : PA) et une dans une trouée de forêt secondaire (P11).

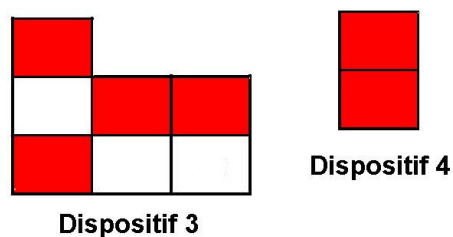


Figure 12 : Schéma des parcelles de limbas à haute densité sélectionnées (carrés rouges) dans les dispositifs 3 et 4.

Six parcelles de plantations de limbas à densité élevée (Parcelles limbas pure : PLP) de 1 ha ont été choisies aléatoirement parmi les 9 ha des dispositifs 3 et 4.

Le Tableau 3 résume la répartition des parcelles qui ont servi pour les différents paramètres étudiés.

Tableau 3 : Synthèse des parcelles utilisées pour les différents paramètres étudiés.

Dispositif	Superficie (ha)	Nombre de parcelles (1ha) pour:				
		l'inventaire	description dendro.	évaluation diversité	calculs rendement bananeraies	prélèvement sol composite
1	42	10	10	10	10	7+1
2	8	1	1	1	1	1
3	7	4	4	1	0	0
4	2	2	0 et 2	2	0	1
Autres (P11, P12)	2	2	2	2	2	2

La rubrique « autres » de la colonne « Dispositif » reprend les parcelles agroforestières inventoriées hors des dispositifs.

Dans le dispositif 1, 7 prélèvements de sol ont été réalisés dans les parcelles agroforestières, et un dans un milieu à forte densité de limbas du dispositif 1.

Le dispositif 4 n'a servi qu'à la description d'une partie des paramètres dendrométrique, plus de détails seront donnés au début de la section VI.1.1.

Mesures réalisées dans les parcelles agroforestières (PA)

Les mesures faites au sein d'une parcelle agroforestière (dispositif 1 et 2) de 1 ha (100x100 m) sont les suivantes :

Au niveau de la composante arborée :

Pour le *Terminalia superba* :

- diamètre au-dessus des contreforts,
- hauteur de fût et hauteur totale,

Pour les autres essences :

- diamètre à 1,5 m de hauteur dont le dhp est supérieur à 10 cm de diamètre,
- mesure du couvert avec un densiomètre en cinq points de la parcelle (Figure 13). Par point de mesure, 4 observations en direction des 4 points cardinaux ont été réalisées comme indiqué dans le manuel d'instruction de l'appareil. Les 4 points de mesures de chaque côté de la parcelle permettront d'avoir une idée⁸ moyenne du couvert dans la parcelle. Tandis que le point de mesure au centre de la parcelle pourra être mis en relation avec les caractères végétatifs mesurés dans les placeaux.

Au niveau des bananiers :

Sur un placeau circulaire de 15 ou 20 m de rayon⁹ :

- circonférence au niveau du collet,
- hauteur totale (du collet jusqu'au niveau de l'intersection des feuilles au niveau du stipe)
- mesure du nombre de doigts¹⁰ par régime et du nombre de mains¹¹ par régime.

Un placeau témoin, de 15m de rayon, de bananeraie pure (BPT) à ciel ouvert a également été réalisé dans une bananeraie pure à proximité de la réserve. Le manque de temps et de moyen de transport pour se rendre à cette bananeraie n'a pas permis de faire plus de placeaux dans cette bananeraie témoin de 80 ha.

⁸ Fermeture du couvert : (canopy closure) Proportion de la vue hémisphérique du ciel à partir d'un point qui est obscurcie par la végétation (Jennings *et al.*, 1999 cité par Korhonen *et al.*, 2006)

⁹ La longueur du rayon variait en fonction de la densité apparente des bananiers présents dans le placeau, ce rayon était réalisé à l'aide d'un télémètre ultrasonique.

¹⁰ Doigt : fruit non fécondé constitué de la peau (péricarpe) et de la pulpe (endocarpe), et plus communément appelé la « banane ».

¹¹ Main : Groupe de fleurs, et ensuite fruits, disposées en deux rangées et inséré sur un coussinet du rachis.

Au sein de l'hectare de la parcelle :

- comptage par virée sur toute la parcelle du nombre de bananiers (un bulbe avec tous ses rejets est compté comme un bananier) avec distinction des bananiers : en production, coupés récemment (moins de 1 mois) et malades ;
- mesure du poids de 88 régimes des bananes récoltées dans 6 des 13 parcelles étudiées lors de notre séjour, et mesure de la circonférence au collet de ces bananiers producteurs.

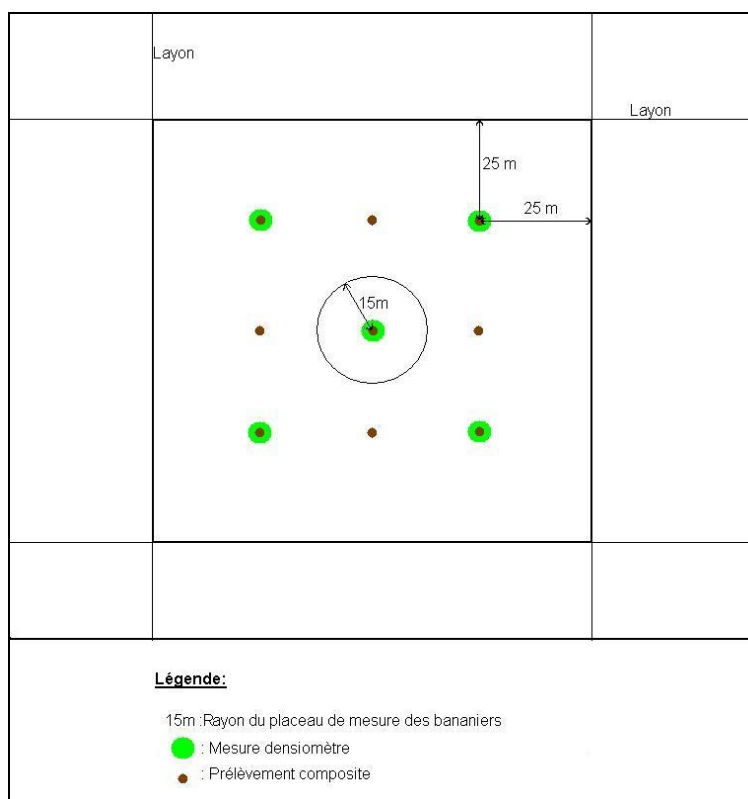


Figure 13 : Schéma d'une parcelle d'inventaire.

Mesures des parcelles des plantations de limbas pures (PLP)

- diamètre au-dessus des contreforts sur tous les limbas et les autres essences dont le dhp était supérieurs à 10 cm.
- mesures de hauteur de fût, hauteur totale et diamètre à mi-hauteur de fût sur environ 20 % des limbas par catégorie de diamètre. Ces limbas étaient sélectionnés aléatoirement dans chaque classe de diamètre.

IV.1.4. Prélèvements de sol composites

Des prélèvements d'échantillons composites du sol arable (« top soil ») ont été réalisés sur 9 parcelles agroforestières et 2 sous plantations de limbas pures. Le choix des parcelles s'est fait en fonction de la topographie (fond de vallée, versant et sommet de colline) et des âges des bananeraies.

Les prélèvements de sols ont été faits sur un quadrillage de 25 m de maille au sein de la parcelle jusqu'à une profondeur de 25 cm (Figure 13).

Des analyses granulométriques et chimiques des échantillons composites vont nous permettre de déterminer les types de sol et la richesse de ceux-ci en fonction de l'âge de la bananeraie. Ces analyses ont été réalisées au Centre Provincial de l'Agriculture et de la Ruralité à La Hulpe.

IV.2. Paramètres utilisés pour le traitement des données

Afin de bien décrire et comparer le peuplement de limbas des parcelles agroforestières (PA) et des plantations de limbas pures (PLP), différents paramètres ont été calculés tant du point de vue dendrométrique que botanique. Ces derniers sont présentés dans les points qui suivent.

IV.2.1. Les paramètres dendrométriques

Les paramètres suivants seront utilisés pour la caractérisation dendrométrique des parcelles mesurées (Rondeux, 1993) :

a) le diamètre moyen

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^N \frac{d_i}{N}$$

Avec, d_i = diamètre de l'arbre i
 N = nombre total de tiges du peuplement

b) Le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne

$$d_g = \sqrt{\frac{4 \bar{g}}{\pi}}$$

Avec, $\bar{g} = G/N$
 G = surface terrière d'un peuplement en m^2/ha
 N = Nombre d'arbres constituant le peuplement

c) La hauteur moyenne

$$\bar{h} = \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{N} \quad \text{ou}$$

Avec, h_i = hauteur de l'arbre i en m
 N = nombre d'arbres dont la hauteur a été mesuré

Ces calculs de hauteurs sont réalisés tant pour la hauteur totale des limbas que pour la hauteur de fût.

d) Le coefficient de décroissance

$$k = \frac{d_{0,5h}}{d_{hp}}$$

Avec, $d_{0,5h}$ = diamètre à mi-hauteur de fût en cm (diamètre médian)
 d_{hp} = diamètre à hauteur de poitrine en cm

e) Le volume d'un arbre (formule de Hubert)

$$V = \frac{(d_{0,5h})^2 \times \pi}{4} \times H_f$$

Avec, $d_{0,5h}$ = diamètre à mi-hauteur de fût en cm (diamètre médian)
 H_f = Hauteur de fût (en m) du sol à la première grosse branche

f) Tarif de cubage du *Terminalia superba*

$$VSE = 0,000210082 \times d^{2,3807145}$$

Avec, VSE = volume brut sous écorce en m^3 (de la hauteur d'abattage jusqu'à la première grosse branche)
 d = diamètre à hauteur de poitrine en cm

L'équation du tarif de cubage provient du Service Permanent d'Inventaire et d'Aménagement Forestier (SPIAF) dans l'ouvrage de Vangu et Mabiala (1982). Le territoire d'application est le Mayumbe. Les arbres soumis à la construction du tarif avaient un diamètre supérieur à 15 cm et ont été billonnés jusqu'à la première grosse branche à l'aide d'un télé-relaskop. L'écorce a été prélevée au niveau du dhp. Le volume des billons a été calculé à partir de la formule de Smalian.

g) Distribution des tiges par catégorie de grosseur

Le regroupement de toutes les tiges recensées par catégorie de diamètre permet d'avoir une bonne représentation de la structure du peuplement. La classe 1 reprend les diamètres compris entre 10 cm et 19,9 cm, la classe 2 comprend les tiges de diamètres compris entre 20 cm et 29,9 cm, et ainsi de suite.

IV.2.2. Paramètres de composition botanique et de diversité

Les indices de composition botanique

Les paramètres suivants seront utilisés pour la caractérisation botanique des parcelles mesurées (Reistma, 1998 et Lejoly, 1993 cités par Doucet, 2003) :

a) La densité relative (DER)

$$DER = \frac{\text{Nombre d'individus d'une espèce ou famille}}{\text{Nombre total d'individus dans l'échantillon}} \times 100$$

b) La dominance relative (DOR)

$$DOR = \frac{\text{Surface terrière d'une espèce ou famille}}{\text{Surface terrière totale de l'échantillon}} \times 100$$

c) La fréquence relative (FRR)

$$FRR = \frac{\text{Fréquence d'une espèce}}{\text{Total des fréquences de toutes les espèces}} \times 100$$

La fréquence d'une espèce correspond au nombre d'unités d'échantillonnage contenant cette espèce.

d) La diversité relative (DIR)

$$DIR = \frac{\text{Nombre d'espèces au sein d'une famille}}{\text{Total des fréquences de toutes les espèces}} \times 100$$

e) L'importance relative (IMR)

Pour les espèces :

$$IMR = DER + DOR + FRR$$

Pour les familles :

$$\text{IMR} = \text{DER} + \text{DOR} + \text{DIR}$$

Cet indice peut théoriquement varier de 0 à 300 contrairement aux trois précédents qui varient de 0 à 100.

f) Classement phytosociologique

Les relevés d'espèces avec leur importance relative permettront de classer les deux milieux étudiés (parcelles agroforestières et plantations de limbas) dans la classification phytosociologique présentée par Lubini (1997).

Les indices de diversité

Parmi les trois indices de diversité les plus utilisés, Lincy (2003) indique que la richesse spécifique donne plus de poids aux espèces rares, l'indice de Simpson privilégie les espèces les plus abondantes et l'indice de Shannon est un compromis entre les deux. Gadagkar (1989) quant à lui explique que l'indice de Simpson par rapport à l'exponentiel de l'indice de Shannon, donne une valeur biaisée dans des milieux de faible diversité. Notre choix s'est donc porté sur l'indice de Shannon. Néanmoins, la richesse spécifique a également été calculée car elle a l'avantage d'être utilisée dans beaucoup d'études, elle sera donc utile pour des comparaisons.

a) La richesse spécifique (S)

$$S = \frac{\text{Nombre d'espèces}}{\text{Surface d'intérêt}}$$

Dans notre cas, la surface d'intérêt est un hectare car ce qui nous intéresse est la richesse spécifique du champ agroforestier d'un paysan. Or, de manière générale, on peut considérer que la surface de gestion des parcelles agroforestières est de un hectare.

Toutefois, pour mieux décrire la diversité d'un milieu, il est également intéressant de connaître la densité relative de chaque espèce dans ce milieu. En effet, pour une richesse spécifique égale entre deux milieux, l'abondance en espèces quant à elle peut fortement différer. Le paramètre qui suit tient compte de cet aspect.

b) indice de Shannon Wiener (H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Avec, $p_i = n_i/N (=DER)$,

n_i = nombre d'individus de l'espèce i

N = nombre total d'individus pour l'ensemble des espèces

S = nombre d'espèces.

L'indice de Shannon varie de 0 (une seule espèce présente) à $\ln S$ (toutes les espèces ont la même abondance). Cet indice peut être mis en exponentiel ($N_1 = e^H$) afin qu'il puisse être exprimé en nombre d'espèces et non en logarithme d'espèces (Peet, 1974 ; Alatalo et Alatalo, 1997 cités par Gadagkar, 1989).

Ce paramètre peut être rapporté à la diversité théorique maximale. Ce rapport est appelé équitabilité :

$$J = \frac{H}{\ln S}$$

L'équitabilité détermine le degré d'équirépartition des effectifs entre les S espèces présentes. Il varie de 0 à 1. Il tend vers 0 lorsqu'une seule espèce concentre la quasi-totalité des effectifs, et atteint 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance.

c) Graphique densité relative par rang

Ce graphique reprend en abscisse, les espèces par rang, c'est-à-dire que les espèces sont classées par ordre décroissant d'abondance. La première espèce que l'on retrouvera sur l'axe est la plus abondante (rang 1) et la dernière (rang S) sera l'espèce la plus rare. La courbe obtenue donne une image plus complète de la distribution des abondances spécifiques au sein du peuplement.

IV.2.3. Paramètres de description des bananeraies

Etant donné le passage unique, à une période donnée, dans les bananeraies, il n'est pas possible d'estimer la production de ces dernières de manière directe et précise. Des moyens détournés ont été mis en œuvre pour pouvoir néanmoins avoir une idée de cette production, et des différences de productivité entre les parcelles.

Le rendement

Une première étape consistera à estimer la production des bananeraies lors des virées effectuées sur toute la surface des parcelles.

Les informations récoltées par le WWF en février 2007 (Delaunoy *et al.*, 2007) permettront de passer de notre information qualitative (régime petit, moyen ou grand) à des données quantitatives (nombre de kg moyen par taille de régime).

Pour l'estimation du rendement annuel, trois hypothèses sont émises :

1) Selon Champion (1963) « l'intervalle de temps séparant l'émission de l'inflorescence et le stade de récolte normal, moyen, pour le commerce d'exportation est de 80 à 90 jours ». Et il est de 115 à 120 jours en Afrique de l'Ouest pour une inflorescence qui a subi une période de sécheresse. Les mêmes chiffres sont présentés dans le "Memento de l'agronome" (CIRAD, 2002). Le comptage des bananiers en production dans les parcelles s'est fait à partir du moment où toutes les mains étaient visibles, une dizaine de jours se sont donc écoulés entre l'émission de l'inflorescence et le comptage du régime dans l'inventaire. Par contre, l'ombrage amené par les strates ligneuses supérieures au bananier augmente légèrement la durée du cycle végétatif

La première hypothèse est : le développement de l'inflorescence prendrait 80 jours (2,5 mois) entre le seuil du comptage des régimes et la récolte de ces derniers **en saison des pluies**, et **98 jours**¹² (3,25 mois) **durant la saison sèche**.

2) Le poids moyen du régime diffère entre la saison sèche et la saison des pluies, il diminue de 35% en saison sèche pour la première année, de 32 % pour la deuxième année et de 20 % pour la troisième année. L'écart s'amenuise donc d'année en année (Dagba, 1992). On note également un écart de poids de 20 % entre les mesures de poids des régimes par Carrouché (1989) en saison des pluies et celles de Trier et Verdeil (1990) en saison sèche (cité par Dagba, 1993).

La seconde hypothèse est : le poids moyen du régime de bananes diminue de 30 % durant la saison sèche par rapport au poids moyen du régime durant la saison des pluies. Le chiffre de 30 % a été retenu au lieu de 20 %, car les précipitations enregistrées à Luki sont inférieures (1155 mm/an) au site d'étude de Dagba à Bilala (1450 mm/an).

¹² Cette durée est plus basse que celle évoquée par Champion (1963) pour l'Afrique de l'Ouest, car l'humidité de l'atmosphère et les précipitations sont supérieures. De plus, les bienfaits apportés par la strate arborée sur l'humidité du sol diminue l'effet de cette sécheresse (Dagba, 1992).

3) La troisième hypothèse consiste à supposer qu'il y a autant de bananiers en début de développement d'inflorescence que de bananiers proches de la récolte puisque la production est considérée comme régulière par les paysans. De plus la proportion de bananiers en production sera considérée comme constante le long de l'année. En moyenne, les régimes de bananes sont donc à mi-parcours dans leurs développements lors de l'inventaire.

Le calcul du rendement annuel à l'hectare d'une parcelle sera donc calculé de la manière suivante :

$$n = p \times 2,8 + 0,7 \times p \times 1,54$$

Avec, p = poids moyen total des régimes inventoriés lors de l'inventaire sur l'hectare
0,7 = pondération, pour la saison sèche, du poids moyen estimé en saison humide
2,8 et 1,54 sont respectivement le nombre de cycles complets de développement des régimes durant la saison humide (7 mois) et la saison sèche (5 mois).

Description des caractères végétatifs et pomologiques

Une description des caractères végétatifs (hauteur moyenne et circonférence moyenne au collet) et pomologiques (nombre moyen de mains¹³ par régime et nombre moyen de doigts¹⁴ par régime) des bananeraies agroforestières sera réalisée dans le but de les comparer avec la description d'autres études faites dans différents pays. Plusieurs régressions entre certains paramètres mesurés sur les bananiers (nombre de doigts, nombre de mains, circonférence au collet...) sont établies. Ces dernières vont pouvoir également être comparées avec des régressions déjà établies dans d'autres pays pour le même cultivar par Champion (1967) et Dagba (1992).

Un tableau de synthèse des analyses de sols permettra de faire un bilan sur l'évolution de la fertilité des sols après 20 ans de cultures du bananier sous couvert arboré.

¹³ Main : Groupe de fleurs, et ensuite fruits, disposées en deux rangées et inséré sur un coussinet du rachis.

¹⁴ Doigt : fruit non fécondé constitué de la peau (péricarpe) et de la pulpe (endocarpe), plus communément appelé la « banane ».

PARTIE 3: RESULTATS ET DISCUSSIONS

V. Résultats

V.1. Caractérisation dendrométrique des peuplements de limbas des PA et des PLP

V.1.1. Les plantations de limbas pures (PLP)

La description précise du peuplement se fera sur les 4 parcelles inventoriées du dispositif 3 (Figure 12, p. 36) car l'année de plantation des 2 parcelles du dispositif 4 n'est pas connue et ne permettra donc pas d'avoir des informations qui pourront être liées à son âge. Le dispositif 3 quant à lui est inclus dans la plantation de 59 ans du coupon 48-49 de 292 ha (Figure 9, p. 33).

Le nombre limité (20% des limbas par classe de diamètre) des mesures plus spécifiques (hauteur totale, hauteur de fût et diamètre médian) risquait de diminuer la qualité de nos régressions si on ne prenait que les 4 parcelles. Mais l'analyse de variance des diamètres entre les parcelles inventoriées des dispositifs 3 et 4 n'a pas décelé de différence significative (voir Annexe 7). Les traitements de données qui lient le diamètre à d'autres paramètres (hauteur totale, hauteur de fût et diamètre médian) vont donc comprendre les mesures des 6 ha inventoriés des deux dispositifs. L'ajout des 2 parcelles du dispositif 4 donnera un effectif plus grand ($n = 103$) pour le traitement des données des points suivants : relation diamètre-hauteur totale, détermination de la forme des arbres et détermination du volume sur pied.

Description du peuplement

La Figure 14 ci-dessous présente la structure de la plantation de limbas de 59 ans du coupon 48-49 (les 4 parcelles du dispositif 3). Ce graphique totalise les données récoltées sur les 4 ha.

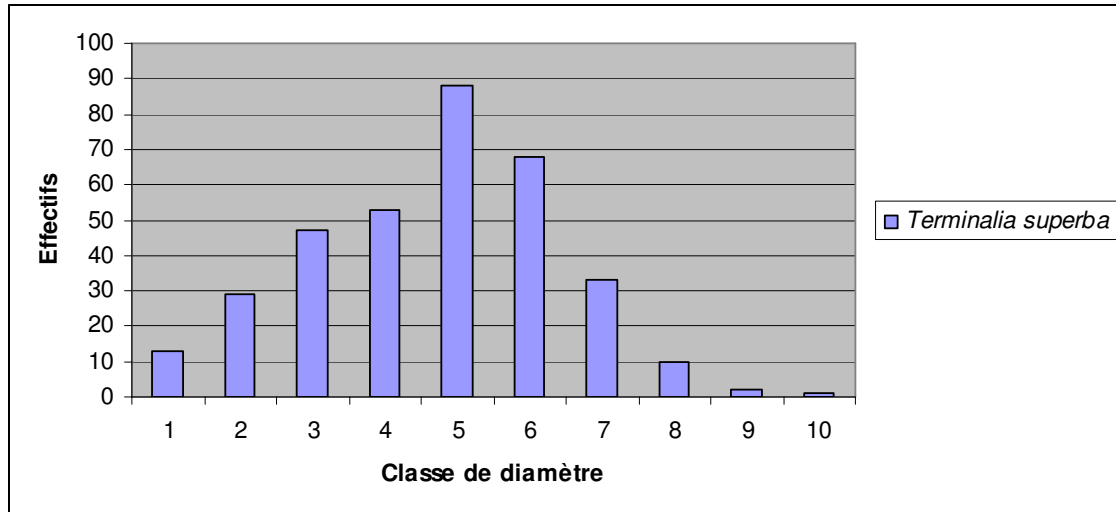


Figure 14 : Structure du peuplement de limbas de 59 ans par classe de diamètre (classe 1= 10 à 19,9 cm de diamètres, classe 2= 20 à 29,9 cm etc).

La distribution des limbas par classe de diamètre nous donne une courbe en cloche caractéristique des peuplements équiens. Par contre, cette distribution n'est pas normale au sens statistique ($P < 0,05$, test de Ryan-Joiner (Annexe 7)). En effet, celle-ci présente une dissymétrie gauche (courbe avec une extension vers la droite). Il faut également remarquer que la répartition des limbas se fait sur un éventail très large de classes de diamètre. La présence de gros diamètres (classe 10 par exemple) dans ce peuplement provient des « réserves » laissées lors de l'installation de la plantation (voir photo 2 au verso p.10). Tandis que les importants effectifs des petites catégories de grosseur sont dus à la mortalité de limbas survenue durant l'évolution de la plantation. En effet, le large écartement de plantation au départ, et l'absence de suivi de la plantation ont amené de grosses trouées qui ont permis le développement de la régénération du limba et d'autres essences.

Le **diamètre moyen** des *Terminalia superba* est de **51,7 cm** ($CV = 33\%$, $n = 344$), la **hauteur totale moyenne** est de **47 m** ($CV = 19\%$, $n = 77$) et la **hauteur de fût moyenne** est de **32 m** ($CV = 16\%$, $n = 77$). La **densité moyenne** de limbas est de **86 tiges/ha** ($CV=14\%$, $n = 4$) et la **densité totale du peuplement** ($dhp \geq 10$ cm) est de **169 tiges/ha**. Le limba de surface terrière moyenne est de $0,23 \text{ m}^2$ ($CV = 59\%$, $n = 344$), ce qui correspond à un diamètre de $30,53$ cm. Ces informations sont synthétisées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Caractéristiques moyennes du peuplement de limbas de 59 ans (coupon 48-49) avec leurs coefficients de variation.

Caractéristiques du peuplement	Moyenne	CV (%)
Densité	86	14
Diamètre (cm)	51,7	33
Surface terrière (m ² /ha)	20,02	15
Limba de surface terrière moyenne (m ²)	0,23	59
Hauteur total (m)	46,6	19
Hauteur de fût (m)	32,1	16
Rapport Hf/Ht	0,7	15
Coefficient de décroissance	0.77	14

La Figure 15 illustre la structure de la population des essences accompagnatrices du limba, leur densité est de 82 tiges/ha (CV = 55 %, n = 4).

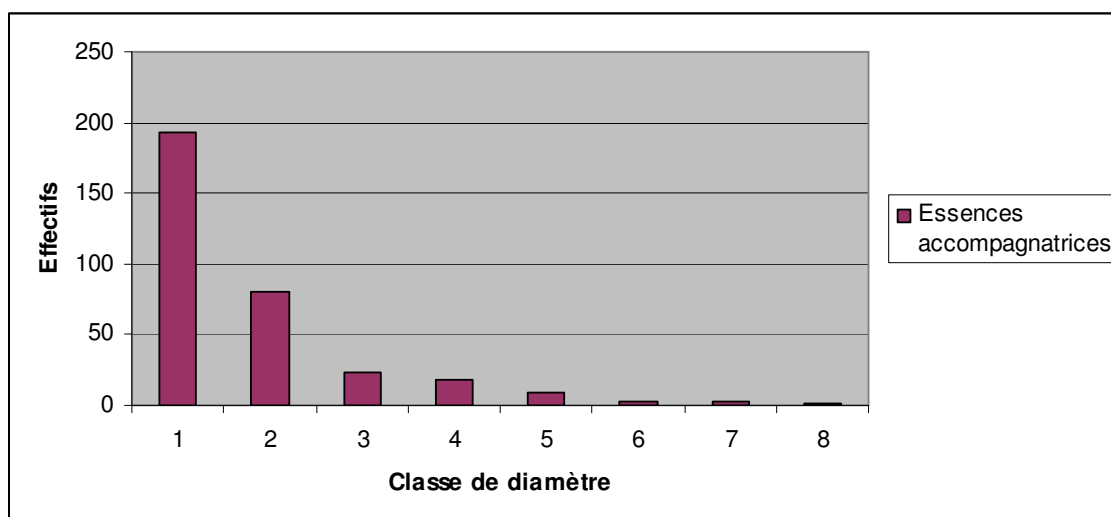


Figure 15 : Structure de la population des essences accompagnatrices du limba dans la plantation de limbas de 59 ans.

Les deux principales espèces que l'on retrouve dans les 4 plus grandes classes de diamètre sont *Sterculia tragacantha* et *Ricinodendron heudelotii*.

La relation diamètre-hauteur totale

La hauteur totale, la hauteur de fût et le diamètre médian ont été mesurés sur 103 limbas (toutes classes de diamètre confondues) dans les 6 ha inventoriés des dispositifs 3 et 4.

A partir de la méthode de sélection mixte des variables explicatives (Stepwise) du logiciel MINITAB, il en est ressorti que la variable « ln diam » donne la meilleure régression ($r^2 = 0,65$) par rapport aux autres variables testées : diam, diam² (Annexe 7).

La fonction logarithmique est la suivante :

$$HT = 23,3 \times \ln(\text{Diam}) - 44,3$$

Avec, HT = hauteur totale en m,
Diam = diamètre à hauteur de poitrine en cm.

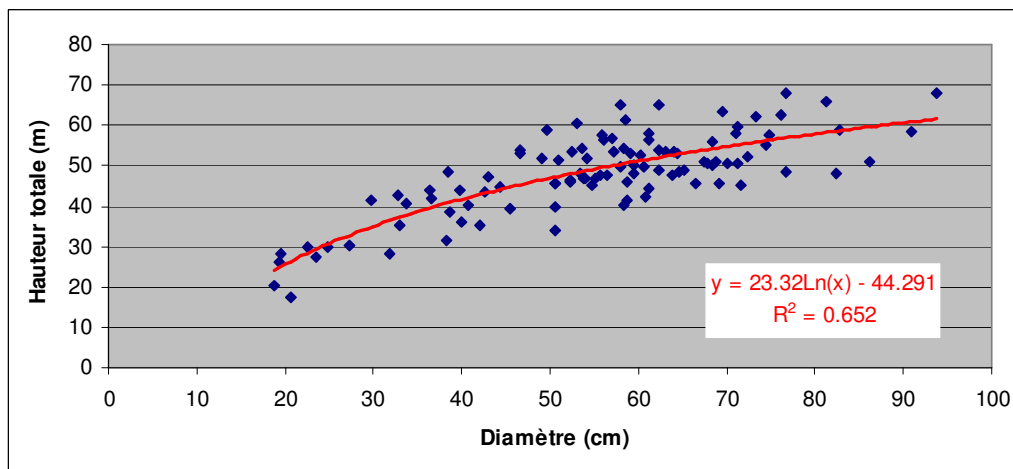


Figure 16 : Relation logarithmique entre le dhp (cm) et la hauteur totale (m) des plantations des limbas à haute densité (Dispositif 3 et 4).

Par contre, la régression faite à partir du logarithme de la hauteur totale avec l'inverse du diamètre ($\ln(HT) = a_0 + a_1/\text{Diam}$) nous donne un meilleur coefficient de détermination ($r^2 = 0,73$). La fonction tirée de cette transformation est la suivante :

$$HT = \exp(4,32 - 23,1/\text{Diam})$$

Avec, HT = hauteur totale en m,
Diam = diamètre à hauteur de poitrine en cm.

Les coefficients de régression et les ordonnées à l'origine des deux régressions exposées sont différents de 0 de façon très hautement significatif ($P < 0,001$, Test t student de signification des paramètres du modèle).

Cette dernière équation nous permet de déterminer la hauteur totale de l'arbre de surface terrière moyenne : 35,16 m ($\pm 1,5$ m).

Détermination de la forme des arbres

Le nombre d'arbres mesurés qui a servi à la régression ci-dessous est de 92 sur les 103 sélectionnés. Les 11 autres limbas présentaient trop de lianes pour pouvoir mesurer le diamètre à mi-hauteur de fût.

Dans le but de faciliter l'estimation du diamètre médian à partir des seules mesures du diamètre à hauteur de poitrine, l'équation de régression suivante a été calculée :

$$D_{h/2} = 0,77 D_{HP} + 0,23$$

Avec, $D_{h/2}$ = Diamètre médian (diamètre à mi hauteur de fût) en cm

D_{HP} = Diamètre à hauteur de poitrine (diamètre à hauteur de mesure) en cm

La Figure 17 illustre cette relation.

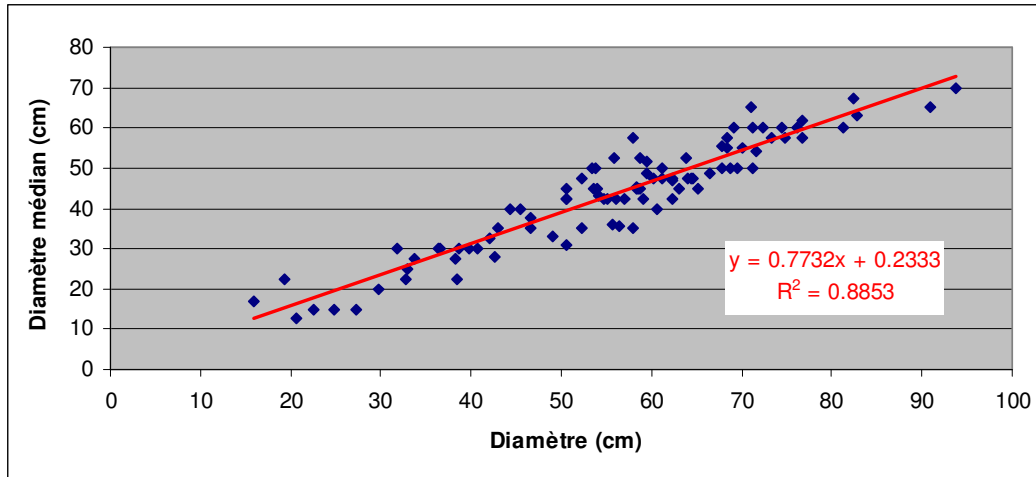


Figure 17 : Relation liant le diamètre à hauteur de poitrine (cm) au diamètre médian.

Le coefficient de régression est hautement significativement différent de zéro ($P < 0,001$, Test t student de signification des paramètres du modèle), par contre l'ordonnée à l'origine (la constante) n'est pas significativement différente de zéro ($P = 0,89$, Test t de student (Annexe 7)).

A partir de cette droite, il est possible de trouver le diamètre médian de la tige de circonférence moyenne arithmétique ainsi que celui de la tige de surface terrière moyenne, ils sont respectivement de 40,1 cm (± 1 cm) et 23,8 cm ($\pm 1,75$ cm).

Les mesures du diamètre médian ont également permis de calculer le **coefficient de décroissance moyen** d'un peuplement d'une densité moyenne de 84 limbas par hectare. Ce coefficient est de **0,77** (CV= 9 %, n = 92).

Détermination du volume de fût sur pied

Le tarif de cubage : $VSE = 0,000210082 \times d^{2,3807145}$, présenté au point f du titre IV.2.1, nous permet d'estimer le **volume moyen sous écorce** de la plantation de 59 ans à **255, 15 m³/ha** (CV = 15,11%, n = 4).

La formule $V = \frac{(d_{0,5h})^2 \times \pi}{4} \times H_f$ (cf. section IV.2.1), nous permet de calculer le volume sur écorce de nos 92 arbres (Figure 18). Ces données nous ont alors servi pour la réalisation d'une équation de cubage donnant le volume sur écorce pour notre peuplement de 59 ans.

Le Tableau 5 nous montre qu'à partir des variables « Diam », « diam² » et « diam³ » et « log (diam) », la méthode de sélection mixte des variables explicatives (Stepwise) utilisée sur MINITAB, nous indique que ce sont les variables « diam² » et « diam³ » qui expliquent au mieux la variabilité du volume des arbres ($r^2 = 0,87$). L'ajout d'une autre variable n'amènerait pas une régression de qualité significativement meilleure.

Tableau 5 : Détermination de l'équation de régression liant le volume (volume) en m³ aux variables diamètre (diam), Diamètre au carré (diam²), diamètre au cube (diam³) et logarithme du diamètre (log Diam), par la méthode « Stepwise » du logiciel MINITAB.

Alpha-to-Enter: 0,05 Alpha-to-Remove: 0,05		
Response is Vol claculé on 4 predictors, with N = 92		
Step	1	2
Constant	-0,02003	-0,77698
diam ²	0,00163	0,00241
T-Value	24,27	6,26
P-Value	0,000	0,000
diam ³		-0,00001
T-Value		-2,06
P-Value		0,042
S	1,12	1,10
R-Sq	86,75	87,35

Cette régression nous donne donc l'équation :

$$V = - 0,78 + 0,0024 D_{HP}^2 - 0,00001 D_{HP}^3$$

Avec, V = Volume commercial moyen sur écorce (m³)
D_{HP} = Diamètre à hauteur de poitrine (cm)

Le test du coefficient de régression de « diam²» nous indique que ce coefficient est différent de zéro de manière très hautement significatif (P < 0,001, test t de student), le coefficient de régression de « diam³ », quand « diam² » est présent dans le modèle, est significativement différent de zéro (P < 0,05, test t de student). Par contre, la constante n'est pas significativement différente de zéro (P = 0,084, test t de student).

Il faut cependant émettre des réserves sur cette équation. Comme nous le montre la Figure 18, lorsqu'on applique cette équation sur tous les limbas des 4 ha inventoriés sur la plantation de 59 ans, on s'aperçoit que les volumes des petits diamètres sont négatifs (Figure 18). Le manque de mesures des classes de diamètres extrêmes de ce peuplement est à l'origine de cette "anomalie". Il faut d'ailleurs être encore plus prudent sur la prédiction des volumes moyens pour les arbres de grands diamètres. En effet, la variabilité des volumes s'accroît avec la grosseur des fûts. Or nous ne disposons que de 5 mesures pour les diamètres supérieurs à 80 cm.

Néanmoins, au regard de la Figure 18, on s'aperçoit que les volumes supérieurs à 90 cm se rapprochent de volume sous écorce donné par le tarif de cubage du SPIAF. Une erreur

d'ajustement par surestimation est dès lors peu probable pour ces catégories de grosseurs. En effet, s'il on admet que l'épaisseur d'écorce est de 1 à 1,5 cm, pour un limba de 100 cm de diamètre à hauteur de poitrine et de hauteur de fût de 35 m, le volume d'écorce serait compris entre 0,84 et 1,26 m³. Ce volume d'écorce correspond à l'écart entre le volume moyen de l'équation de cubage retenue et le volume moyen sous écorce estimé par le tarif du SPIAF.

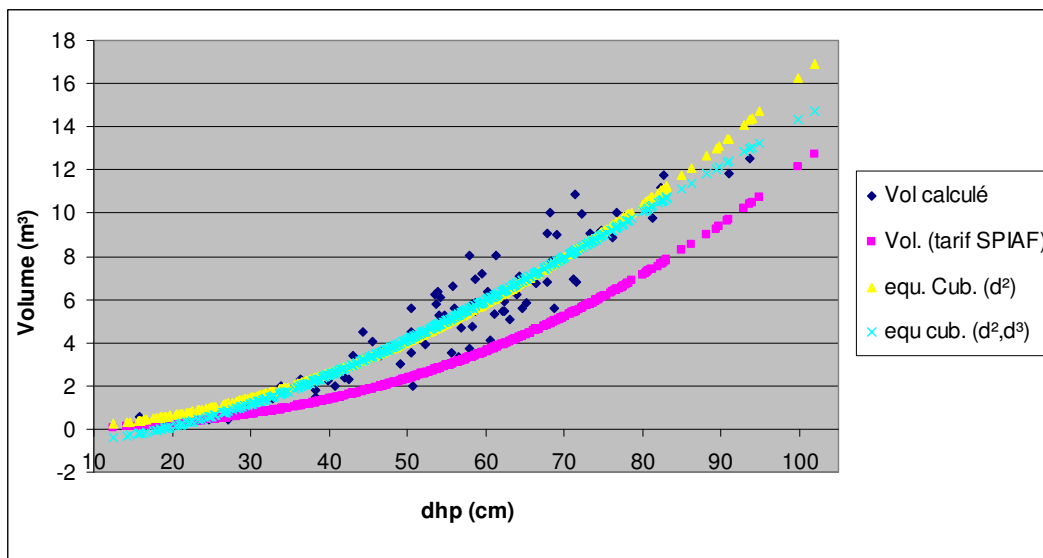


Figure 18 : Cubage des limbas mesurés dans les 4 ha du dispositif 3 à partir du tarif du SPIAF ($VSE = 0,000210082 \times d^{2,3807145}$), et les deux équations de cubage ($V = -0,78 + 0,0024 D^2_{HP} - 0,00001 D^3_{HP}$ et $V = -0,02 + 0,0016D^2_{HP}$)

La Figure 19 nous donne l'opportunité de juger la qualité de la régression retenue.

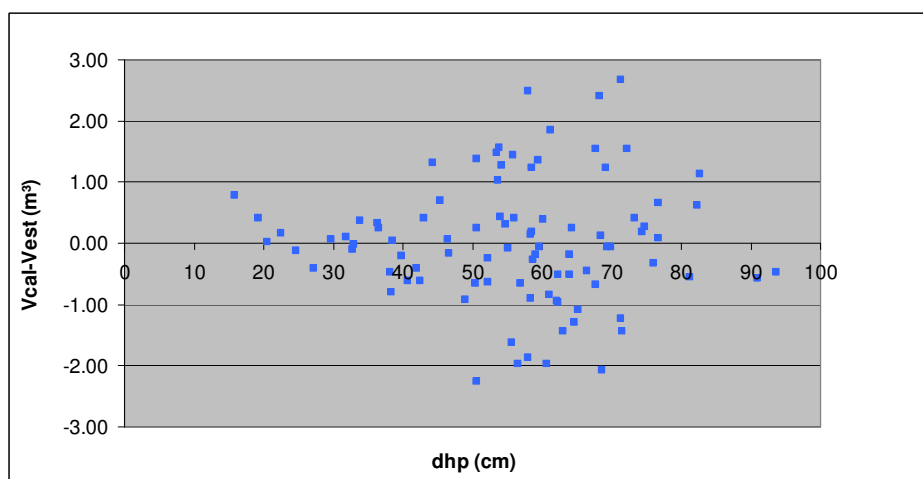


Figure 19 : Evolution des résidus de l'équation de cubage ($V = -0,78 + 0,0024 D^2_{HP} - 0,00001 D^3_{HP}$) en fonction du dhp (cm).

On remarque que pour les diamètres inférieurs à 30 cm, il y a une mauvaise répartition des résidus. Cette mauvaise répartition s'est d'ailleurs traduite par une sous-estimation des volumes des limbas de diamètres inférieurs à 25 cm (Figure 18). Pour le reste, la répartition

des résidus est homogène autour de l'axe des abscisses. L'ajustement est donc bon pour les diamètres supérieurs à 30 cm.

Notre équation de cubage donne un **volume de fût moyen sur écorce** (dhp >30 cm) pour la plantation de limbas âgé de 59 ans de **400,2 m³/ha** (CV = 15 %, n = 4) pour une densité moyenne de 75,3 limbas (dhp > 30 cm) par hectare (CV = 15 %, n = 4). Le **volume de fût moyen par arbre** est donc de **5,31 m³** et le volume de fût de l'arbre de surface terrière moyenne est de 1,22 m³ ($\pm 0,475$ m³).

Les accroissements

Les différents accroissements de l'arbre moyen présentés ci-dessous sont déterminés à partir des mesures réalisées sur tous les limbas des 4 parcelles de la plantation de limba de 59 ans (dispositif 3).

- L'accroissement moyen annuel en diamètre : **0,88 cm/an** (CV = 33 %, n = 344)
- L'accroissement moyen annuel en circonférence : **2,76 cm/an** (CV = 33 %, n = 344)
- L'accroissement moyen annuel en hauteur totale : **0,78 m/an** (CV = 19 %, n = 103)

L'**accroissement moyen annuel en volume** commercial du peuplement est de **6,78 m³/ha.an** (CV= 15%, n = 4)

Il faut noter que ces accroissements de l'arbre moyen sont fortement influencés par la surreprésentation des classes de petits diamètres qui ne sont pas originaires de la plantation de 1949. La suppression des classes de diamètre 1 et 2 nous donne un diamètre moyen de 57,0 cm (CV = 23 %, n = 299), ce qui représente un accroissement moyen annuel en diamètre de l'arbre moyen de 0,97 cm/an. Cet accroissement doit probablement plus se rapprocher de l'accroissement moyen en diamètre des arbres originaires de la plantation.

V.1.2. Les parcelles agroforestières (PA)

Description du peuplement

Le graphique ci-dessous cumule les données des 12 parcelles sur la répartition des arbres par classe de diamètres. L'âge des limbas des ces parcelles varie entre 51 et 59 ans.

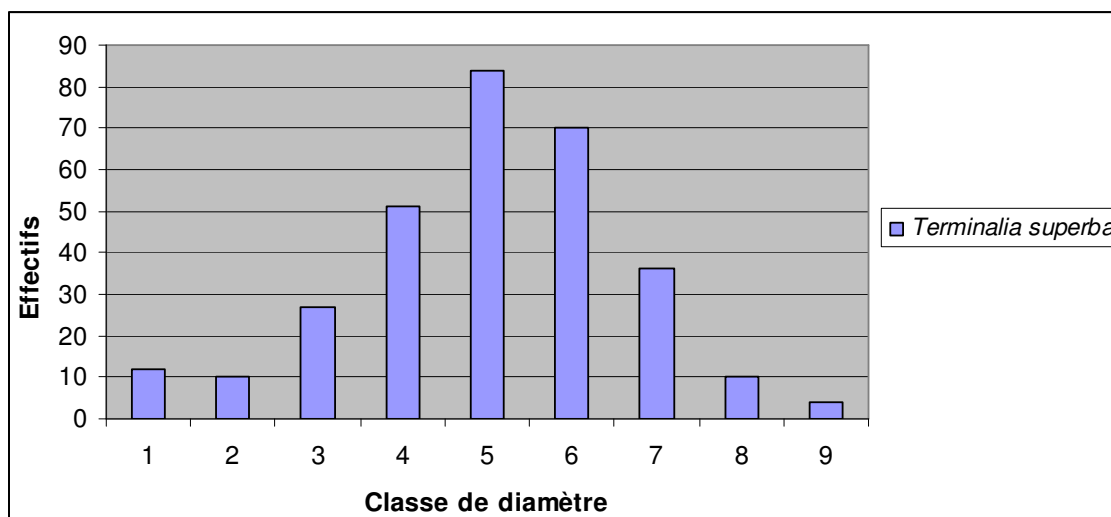


Figure 20 : Structure des peuplements ligneux des parcelles agroforestières par classe de diamètre (classe 1= 10 à 19,9 cm de diamètres, classe 2= 20 à 29,9 cm de diamètres etc).

La distribution des limbas par catégorie de grosseur présente une forme en courbe de Gauss. Cette distribution n'est pas normale au sens statistique du terme (P-value < 0,05, test de Ryan-Joiner (Annexe 7)). La présence et la surreprésentation des premières classes de diamètres sont dues aux rejets de souches de limbas préalablement exploités pour la carbonisation, et à la régénération qui s'est établie suite à ces exploitations et aux mortalités naturelles de certains limbas.

L'exploitation illégale antérieure des limbas de ces parcelles a généré un véritable écrémage de cette essence, les carbonisateurs sélectionnent les plus gros et beaux limbas. Les dates de ces passages et leur intensité ne sont pas connues. De plus, des traces de blessures sur les contreforts et de "cheminées" sur un grand nombre d'individus de plusieurs parcelles indiquent la pratique antérieure du brûlis. Ces interventions ne nous permettent donc pas d'avoir une image correcte du limba moyen dans des conditions agroforestières (faible densité). Néanmoins, il nous permet de voir le potentiel sylvicole de ces parcelles à l'approche de la maturité du peuplement.

Le **diamètre moyen** des *Terminalia superba* est de **54,8 cm** (CV= 31%, n= 307), la **hauteur totale moyenne** est de **42,5 m** (CV=26 %, n = 307) et la **hauteur de fût moyenne** est de **28,6 m** (CV= 60 %, n= 307).

La **densité totale moyenne** d'arbres (dhp > 10 cm) est de **67 tiges/ha** (CV = 34 %, n = 12), elle est de **26 tiges/ha** (CV = 62 %, n = 12) pour le *Terminalia superba*. La fermeture moyenne du couvert est de 60 % (CV = 44 %, n = 12).

Comme les coefficients de variation nous le montrent, les caractéristiques dendrométriques des parcelles agroforestières sont très variables.

Tableau 6 : Caractéristiques dendrométriques moyennes avec leur coefficient de variation (CV) des parcelles agroforestières.

Caractéristiques du peuplement	Moyenne	CV (%)
Densité (/ha)	26	61
Diamètre (cm)	54,8	26
Surface terrière totale (m ² /ha)	6,61	63
Limba de surface terrière moyenne (m ²)	0,26	53
Hauteur totale (m)	42,5	26
Hauteur de fût (m)	28,6	60
Rapport Hf/Ht	0,66	51

La Figure 21 illustre la structure de la population des essences accompagnatrices du limba. La densité de ces essences est de 41 tiges/ha (dhp > 10 cm).

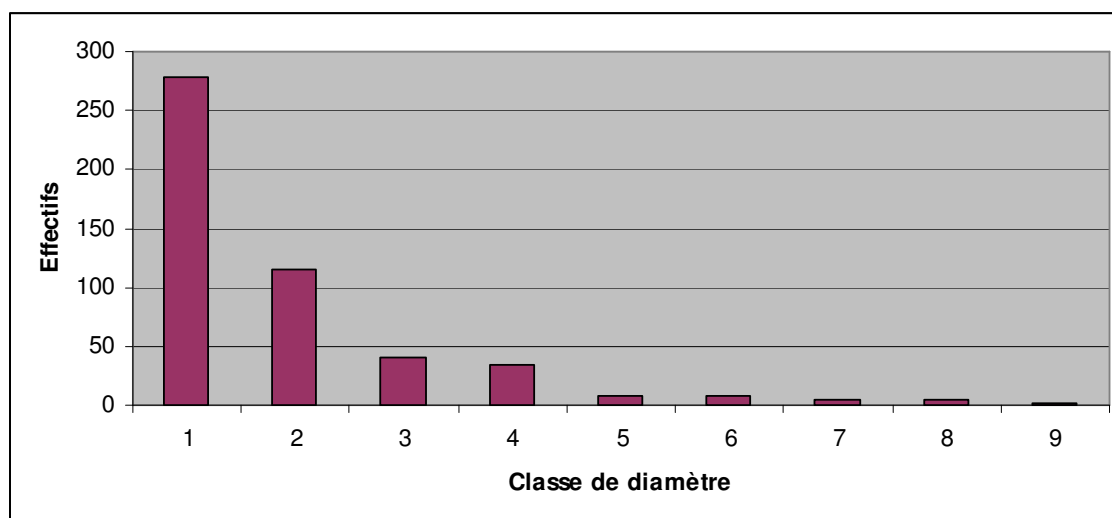


Figure 21 : Structure de la population des essences accompagnatrices du limba dans les parcelles agroforestières.

Détermination du volume sur pied

Le volume va être déterminé à partir de l'équation de cubage construite pour les peuplements de limbas purs. L'utilisation de cette formule ne donnera qu'une idée approximative du volume sur pied de ces parcelles agroforestières. En effet, la densité de limbas n'étant pas la même, et l'écrémage qu'ont subi ces peuplements ne permet pas d'utiliser cette équation de cubage avec assurance.

Le volume moyen sur écorce est estimé à 136,71 m³/ha (CV = 63,18%, n = 12) pour une densité moyenne de limbas de 25,58 (CV = 61,45%, n = 12), ce qui représente 5,34 m³ par arbre.

Le calcul des accroissements n'a pas été effectué, car l'âge des plantations varie entre les parcelles, de plus, comme cité ci-dessus, les arbres ne reflètent pas correctement le limba en condition agroforestière.

V.1.3. Discussions

Le tarif de cubage du SPIAF nous donne le volume sur pied sous écorce de la plantation de limbas étudiée. Mais lorsque l'on compare ce volume au volume sur écorce déterminé par notre équation de cubage, on remarque un écart de plus de 2 m³ pour les limbas de 60 à 90 cm de diamètre. Différentes raisons peuvent expliquer cet écart de volume entre le tarif du SPIAF et notre équation de cubage. Tout d'abord, le tarif de cubage donne un volume sous-écorce par rapport à l'équation de cubage, ce qui pourrait expliquer environ 20 à 30 % de l'écart. Ensuite, ce tarif de cubage a été réalisé dans des peuplements naturels de *Terminalia superba* sur une grande région : le Mayumbe, et les caractéristiques dendrométriques moyennes de ces peuplements naturels peuvent différer de notre plantation locale. De plus, la détermination des coefficients de régression de l'équation du tarif de cubage du SPIAF s'est faite par transformation logarithmique (Vangu et Mabilia, 1982). Or cette transformation a pour effet de sous-estimer systématiquement les volumes. En effet, celle-ci calcule la moyenne géométrique des volumes qui est plus petite que la moyenne arithmétique des volumes (Rondeux, 1993). Enfin, la détermination du volume de nos arbres de référence pour la construction de notre équation s'est faite à partir de la formule de Hubert appliquée sur tout le fût, alors que les volumes de référence pour le tarif de cubage sont calculés à partir du billonnage (4 billons) des fûts.

Dans les conditions agroforestières, le volume sur pied de limbas obtenu après plus de 50 ans représente environ un tiers du volume potentiel de la plantation de limbas de départ. L'écémage subit par ces peuplements lors des exploitations illégales ne nous donne pas une bonne image de la qualité des fûts poussant à large écartement. Néanmoins, il faut remarquer que l'intérêt de l'étude de ces parcelles agroforestières ne se porte pas sur la qualité du bois qui peut sortir de ces parcelles, mais sur l'avantage écologique et pédologique que la composante arborée peut apporter aux bananeraies sous-jacente. Par contre, la description dendrométrique précise du peuplement de limbas à densité élevée permet de répondre à l'un des objectifs spécifiques de ce travail : la détermination de la croissance des limbas dans les plantations sylvo-bananières de départ pour un peuplement qui se trouve en fin de révolution.

Le coefficient de décroissance de 0,77 obtenu dans les plantations de limbas à haute densité est identique à ceux obtenus, par Ngoma (1978) pour des plantations de limbas en layon âgées de 20 à 31 ans, et par Pendje (1989) pour une plantation de limbas réalisée en layon et âgées de 35 ans.

Les travaux réalisés sur le coupon 48-49 (Figure 9) à différents âges de la plantation nous permettent de retracer la croissance du limba de diamètre moyen jusqu'à 59 ans. Le Tableau 7 expose les principales informations de ces différentes études :

Tableau 7 : Synthèse des études menés au coupon 48-49 depuis son installation (D_{moy}= diamètre moyen, a.m.a. = accroissement moyen annuel, G = Surface terrière, et a.p.= accroissement périodique en diamètre).

Age plantation	Type d'inventaire	Tx sondage (%)	Densité (limbas/ha)	D _{moy} (cm)	a.a.m. (cm)		Volume (m ³ /ha)	G (m ² /ha)	a.p. (cm/an)
					circ.	diam.			
8	/	14,2	77	16,9	6,625	2,1	/	/	2,1 (8)
18	aléatoire	0,5	83 à 124	30,8 à 38,7	5,38 à 6,75	1,71 à 2,15	/	/	/
22	éch. 2 degrés	2,1	112	38,8	5,5	1,75	172,07	13,65	1,56 (14)
28	stratifié aléatoire	1,7	61	42,0	4,7	1,50	146,73	10,33	0,53 (6)
59	dirigé & aléatoire	1,37	86	51,7	2,76	0,88	413,82	20,02	0,31 (31)

Les données des deux premières lignes du tableau proviennent de Tutala (1968), celles de la troisième ligne de Mbizi (1972), et les informations de la quatrième ligne de Malele (1978).

Les chiffres entre parenthèses dans la colonne des accroissements périodiques représentent la période en années utilisées pour le calcul de l'a.p.

A la vue du premier graphique de l'annexe 2, on peut imaginer que la croissance en circonférence du peuplement est de type sigmoïdal avec une partie concave durant les 5-10 premières années, pour ensuite devenir convexe.

Lorsqu'on confronte les accroissements annuels moyens de la plantation du coupon durant les 20 premières années, avec ceux présentés par Groulez et Wood (1984) et synthétisés en annexe 3 pour plusieurs plantations de pays d'Afrique centrale, on peut constater que ce peuplement a une très bonne croissance malgré son absence totale de suivi. Il semblerait donc que le système sylvo-bananière de départ permet d'obtenir un peuplement équien à haut potentiel de croissance.

Une plantation d'okoumés (*Aucoumea klaineana*) au Gabon (arboretum de Sibang) donne un accroissement moyen annuel de 7 m³ par hectare et par an à l'âge de 64 ans (Marien et Mallet, 2004). Cette plantation a été correctement suivie durant ses 20 premières années et sa croissance était jugée bonne. Cette espèce d'Afrique centrale, à croissance rapide également, nous permet de constater que l'accroissement moyen annuel en volume constaté dans notre plantation (6,78 m³/ha.an) à 59 ans est bon.

Par contre l'itinéraire sylvicole de ces plantations de limbas prévoyait des éclaircies qui amèneraient en fin de révolution une cinquantaine d'arbres d'avenir avec 7 à 8 m³ par arbre, soit un total de 350 à 400 m³/ha de produit final (Wagemans, 1961). Nos résultats nous montrent qu'en l'absence d'éclaircies, avec des mortalités naturelles successives, on obtient en moyenne 5,31 m³ par arbre et 400 m³/ha de volume de fût. Le faible accroissement annuel périodique des 30 dernières années nous montre la nécessité de procéder à des éclaircies pour diminuer la concurrence entre les individus et augmenter l'accroissement individuel des arbres d'avenir afin d'atteindre les objectifs de production prévus. Les tables de production du *Terminalia superba* réalisées par Tshinkenke (1992) dans la province Orientale (Haut-Zaire), sur des plantations de limbas faites en layon, nous permettent de vérifier ces dires. Parmi ses deux scénarios, le premier indique qu'une densité finale de 91 arbres par hectare à 60 ans,

amènerait à un volume de 426 m³/ha (AMV = 7,1 m³/ha.an), ce qui correspond en moyenne à 4,7 m³ par limba. Tandis que le second scénario, basé sur un site plus fertile, prévoit que pour une densité finale de 54 arbres par hectare à 60 ans, le volume par hectare serait de 389 m³ (AMV = 6,5 m³/ha.an), c'est-à-dire, 7,2 m³ par arbre en moyenne. Ce dernier résultat correspond aux prévisions de Wagemans. Groulez et Wood (1984) estime qu'en sol convenable, avec la « méthode limba », et une densité de 80 à l'hectare, un peuplement bien conduit peut laisser espérer une production de bois fort tige de 6 m³/ha.an à 40 ans. Ici, avec 20 années de plus, on a un accroissement moyen en volume commercial supérieur. Cette constatation nous confirme donc le très bon accroissement de notre plantation de limba.

On peut donc conclure que sans aucun traitement sylvicole, l'accroissement moyen annuel en volume de la plantation de limba du coupon 48-49 est resté bon, le large écartement de plantation (8 x 12 m) et l'absence de concurrence interspécifique grâce à la culture de bananier ont certainement jouer à la faveur de ce bon accroissement. Le système sylvo-bananier de départ permet donc un excellent démarrage de la plantation. D'autre part, le faible accroissement périodique des 30 dernières années nous indique que la plantation est arrivée en fin de révolution. Il reste à savoir si des plantations en plein, après défriche de la forêt préexistante seront encore de mise dans le contexte actuel.

V.2. Composition botanique et diversité

Vingt deux familles et 69 espèces ont été recensées dans les parcelles agroforestières de 1 ha. Sur les deux dispositifs de plantations de limbas à hautes densités, il a été recensé, dans les 6 parcelles inventoriées de 1 ha, 26 familles et 74 espèces. Pour le calcul des indices botaniques ainsi que pour les indices de diversité, seules trois parcelles sur les six inventoriées ont été retenues pour les parcelles de limbas à hautes densités. Les trois autres parcelles n'ont pas été prises en compte car elles avaient subi une forte perturbation anthropique (anciennes plantations de cacaoyers ou de caféiers) dans l'étage inférieur. Dans les trois parcelles retenues, il a été dénombré 24 familles et 66 espèces. Le limba n'a pas été pris en compte dans les calculs des différents indices.

V.2.1. Composition botanique des PA et PLP

Les figures 22 et 23 présentent les 10 familles les plus importantes des parcelles agroforestières et des plantations de limbas.

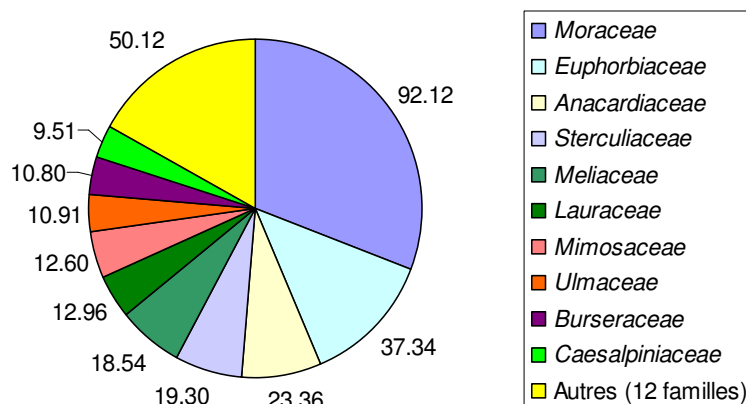


Figure 22 : Importance relative des principales familles des parcelles agroforestières.

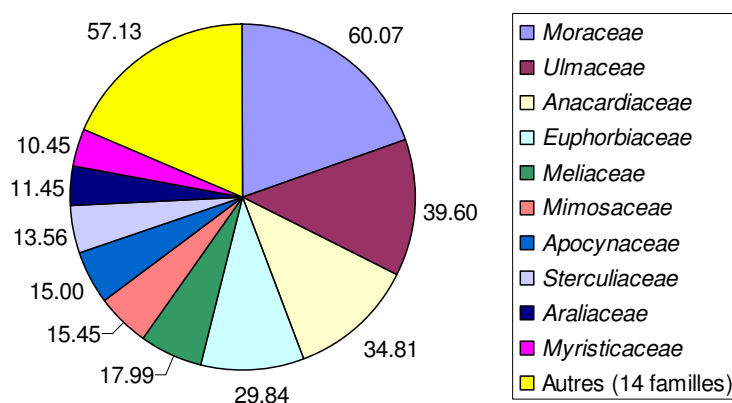


Figure 23 : Importance relative des principales familles des plantations de limbas à hautes densités.

La famille des *Moraceae* a l'importance relative la plus élevée dans les parcelles agroforestières, tout comme dans les plantations de limbas. Elle joue un rôle majeur que ce soit en termes de densité, de dominance ou de diversité. Elle est représentée par 12 espèces dans les parcelles agroforestières et par 11 espèces dans les plantations.

Les *Euphorbiaceae* forment la seconde famille la plus importante dans les parcelles agroforestières. Cette famille est composée de 7 espèces. Du côté des plantations à haute densité, c'est la famille des *Ulmaceae* qui suit les *Moraceae*. Elle doit son importance à sa dominance et sa densité élevée car seulement trois espèces ont été identifiées.

Les *Anacardiaceae* se situent en troisième position dans les deux milieux. Cette famille est également la troisième du point de vue diversité spécifique, après la famille des *Meliaceae* dans les parcelles agroforestières avec 8 espèces ; et deuxième dans les plantations de limbas ex aequo avec les familles des *Euphorbiaceae* et des *Meliaceae* qui sont constituées de 6 espèces.

Les *Sterculiaceae* et les *Euphorbiaceae* sont respectivement les quatrièmes familles des parcelles agroforestières et des plantations de limbas. Ces deux familles sont composées d'espèces de diamètres plus importants que la plupart des familles, surtout en ce qui concerne les *Euphorbiaceae* dans les plantations de limbas

Le Tableau 8 permet de visualiser la contribution de chaque indice de composition botanique (densité relative, dominance relative et diversité relative) sur l'indice global d'importance relative des familles les plus importantes.

Tableau 8 : Les composantes de l'importance relative des familles des milieux étudiés.

Milieu	Famille	DER	DOR	DIR	
Parcelles agroforestières	<i>Moraceae</i>	30.92	43.81	17.39	
	<i>Euphorbiaceae</i>	13.56	13.63	10.14	
	<i>Anacardiaceae</i>	6.51	5.26	11.59	
	<i>Sterculiaceae</i>	6.69	9.71	2.90	
	<i>Meliaceae</i>	2.89	2.61	13.04	
	<i>Lauraceae</i>	7.41	4.10	1.45	
	<i>Mimosaceae</i>	3.62	4.64	4.35	
	<i>Ulmaceae</i>	3.44	1.68	5.80	
	<i>Burseraceae</i>	3.62	2.83	4.35	
	<i>Caesalpiniaceae</i>	1.45	0.82	7.25	
	Autres (12 familles)		39.42	24.98	44.93
	Plantation de limbas	<i>Moraceae</i>	21.71	20.90	17.46
<i>Ulmaceae</i>		17.83	17.01	4.76	
<i>Anacardiaceae</i>		14.73	10.56	9.52	
<i>Euphorbiaceae</i>		6.20	14.12	9.52	
<i>Meliaceae</i>		5.43	3.04	9.52	
<i>Mimosaceae</i>		4.65	6.04	4.76	
<i>Apocynaceae</i>		6.46	3.78	4.76	
<i>Sterculiaceae</i>		4.13	6.26	3.17	
<i>Araliaceae</i>		3.10	5.17	3.17	
<i>Myristicaceae</i>		3.36	3.92	3.17	
Autres (14 familles)			34.11	34.38	54.56

Le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) n'a pas été pris en compte dans les calculs car sa circonférence n'a pas été relevée. Mais la densité relative de cette espèce est de 6,74, dans les parcelles agroforestières. Il est donc important de considérer cette espèce dans la composition botanique en espèces mais aussi en famille des parcelles agroforestière (*Elaeis guineensis* fait parti de la famille des *Arecaceae*). Le palmier à huile, par son utilité agroalimentaire, a été nettement favorisé dans ces parcelles par les paysans.

Tableau 9 : L'importance relative des espèces principales des parcelles agroforestières et des plantations de limbas à hautes densités.

Milieu	Espèce	Famille	IMR
Parcelles agroforestières	<i>Musanga cecropioides</i>	<i>Moraceae</i>	38.04
	<i>Ricinodendron heudelotii</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	21.10
	<i>Milicia excelsa</i>	<i>Moraceae</i>	19.80
	<i>Sterculia tragacantha</i>	<i>Sterculiaceae</i>	18.00
	<i>Persea americana</i>	<i>Lauraceae</i>	15.44
	<i>Ficus mucoso</i>	<i>Moraceae</i>	12.48
	<i>Lannea welwitschii</i>	<i>Anacardiaceae</i>	10.03
	<i>Albizia gummifera</i>	<i>Mimosaceae</i>	8.63
	<i>Pycnanthus angolensis</i>	<i>Myristicaceae</i>	7.16
	<i>Zanthoxylum gillettii</i>	<i>Rutaceae</i>	7.02
	<i>Ceiba pentandra</i>	<i>Bombacaceae</i>	6.89
	<i>Croton oxypetalum</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	6.85
	<i>Myrianthus arboreus</i>	<i>Moraceae</i>	5.65
	<i>Nesogordonia leplaei</i>	<i>Sterculiaceae</i>	5.26
	<i>Dacryodes edulis</i>	<i>Burseraceae</i>	5.08
	<i>Canarium schweinfurthii</i>	<i>Burseraceae</i>	4.76
Autres (52 espèces)			97.67
Plantations de limbas	<i>Celtis durandii</i>	<i>Ulmaceae</i>	24.58
	<i>Trilepisium madagascariensis</i>	<i>Moraceae</i>	21.20
	<i>Ricinodendron heudelotii</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	15.34
	<i>Sterculia tragacantha</i>	<i>Sterculiaceae</i>	12.76
	<i>Milicia excelsa</i>	<i>Moraceae</i>	12.44
	<i>Pseudospondias microcarpa</i>	<i>Anacardiaceae</i>	12.27
	<i>Albizia gummifera</i>	<i>Mimosaceae</i>	10.68
	<i>Cussonia arborea</i>	<i>Araliaceae</i>	9.75
	<i>Pycnanthus angolensis</i>	<i>Myristicaceae</i>	9.60
	<i>Holoptelea grandis</i>	<i>Ulmaceae</i>	9.52
	<i>Myrianthus arboreus</i>	<i>Moraceae</i>	8.46
	<i>Sorindeia gillettii</i>	<i>Anacardiaceae</i>	7.94
	<i>Lannea welwitschii</i>	<i>Anacardiaceae</i>	7.93
	<i>Celtis soyauxii</i>	<i>Ulmaceae</i>	7.88
	<i>Funtumia africana</i>	<i>Apocynaceae</i>	7.72
	<i>Ceiba pentandra</i>	<i>Bombacaceae</i>	6.57
Autres (48 espèces)			115.35

La composition spécifique des deux milieux diffère par l'importance que prend chacune des espèces. Le Tableau 9 nous montre que les espèces les plus importantes dans les parcelles agroforestières sont, hormis *Musanga cecropioides*, les espèces caractéristiques des forêts

secondaires à *Terminalia superba* (*Milicia excelsa*, *Zanthoxylum gillettii*, *Elaeis guineensis*, *Ricinodendron heudelotii*...). L'importance relative élevée de *Musanga cecropioides*, indique néanmoins que le milieu est fortement perturbé par les interventions agricoles des paysans dans ces parcelles. La présence de l'avocatier (*Persea americana*), du safoutier (*Dacryodes edulis*) dans le tableau, et la forte densité du palmier à huile (*Elaeis guineensis*) confirment le caractère agroforestier de ces parcelles.

Par contre, la plantation de limbas à haute densité, contient également des espèces de l'association *Terminalietum superbae* mais, parmi ses espèces les plus importantes, on ne compte pas les espèces caractéristiques de l'association. Les essences d'importance relative élevée de la plantation de limbas se retrouvent essentiellement parmi les espèces caractéristiques de la classe *Musangeto-Terminalietae* de l'association *Terminalietum superbae* (*Pycnanthus angolensis*, *Trilepisium madagascariense*, *Myrianthus arboreus*). Plusieurs arbres nous montrent la tendance humide de certaines parcelles de relevé. En effet, *Pseudospondias microcarpa* et *Lannea welwitschii* se retrouvent principalement sur des sols hydromorphes.

V.2.2. Diversité

Le premier indice de diversité ligneuse des différents milieux est la richesse spécifique. La valeur de cet indice est respectivement de 19,0 (CV = 41 %, n = 13) et 39,3 (CV = 9 %, n = 3) pour les parcelles agroforestières et les plantations de limbas.

La richesse spécifique des parcelles agroforestières est très variable comme nous l'indique son coefficient de variation (41 %). Cette variabilité est fortement liée à l'entretien des parcelles par le paysan.

Les plantations de limbas ont une richesse spécifique de quasiment le double de celles des parcelles agroforestières.

Tableau 10 : Moyenne des différents indices de diversité avec leur coefficient de variation (CV) pour les deux milieux à l'étude (S = Richesse spécifique, H' = Indice de Shannon et J = Equitabilité de Shannon).

Milieu	S		H'		J	
	Moy	CV(%)	Moy	CV (%)	Moy	CV (%)
Parcelles agroforestières	19,0	41,00	2,28	30	0,86	11
Plantation de limbas	39,3	9,00	3,16	6	0,87	4,33

L'exponentiel de l'indice de Shannon (N_1) donne une valeur moyenne égale à 11,7 espèces (CV = 56%) pour les parcelles agroforestières et de 23,9 espèces (CV = 20,32 %) pour les parcelles des plantations de limbas. L'exponentiel de l'indice de Shannon nous amène à la même conclusion que la richesse spécifique, à savoir que les parcelles agroforestières ont un nombre d'espèces ligneuses 50 % plus faible que les plantations de limbas.

Par contre, nous pouvons remarquer que l'équitabilité est semblable et élevée pour les deux milieux. L'équirépartition des effectifs parmi les espèces est bonne dans chaque milieu. Il n'y a pas d'espèces qui dominent sur les autres.

La Figure 24 met en évidence une évolution semblable des courbes de densité relative moyenne des deux milieux. La pente de la courbe diminue nettement à partir du sixième rang pour les parcelles agroforestières et à partir du troisième rang dans les plantations de limbas. On remarque une meilleure abondance des premières espèces dans les parcelles agroforestières. Ces dernières sont composées par ordre décroissant de *Musanga cecropioides*, *Elaeis guineensis*, *Persea americana*, *Ricinodendron heudelotii*, *Sterculia tragacantha* et de *Ficus mucoso*. Tandis que dans les plantations de limbas, les premiers rangs sont, par ordre décroissant, *Celtis durandii*, *Trilepisium madagascariensis*, *Pseudospondias microcarpa*, *Holoptelea grandis*, *Myrianthus arboreus*, *Sorindeia gillettii* et *Sterculia tragacantha*.

Les trois premières espèces (*Musanga cecropioides*, *Elaeis guineensis* et *Persea americana*) des parcelles agroforestières témoignent de l'influence des paysans sur le milieu.

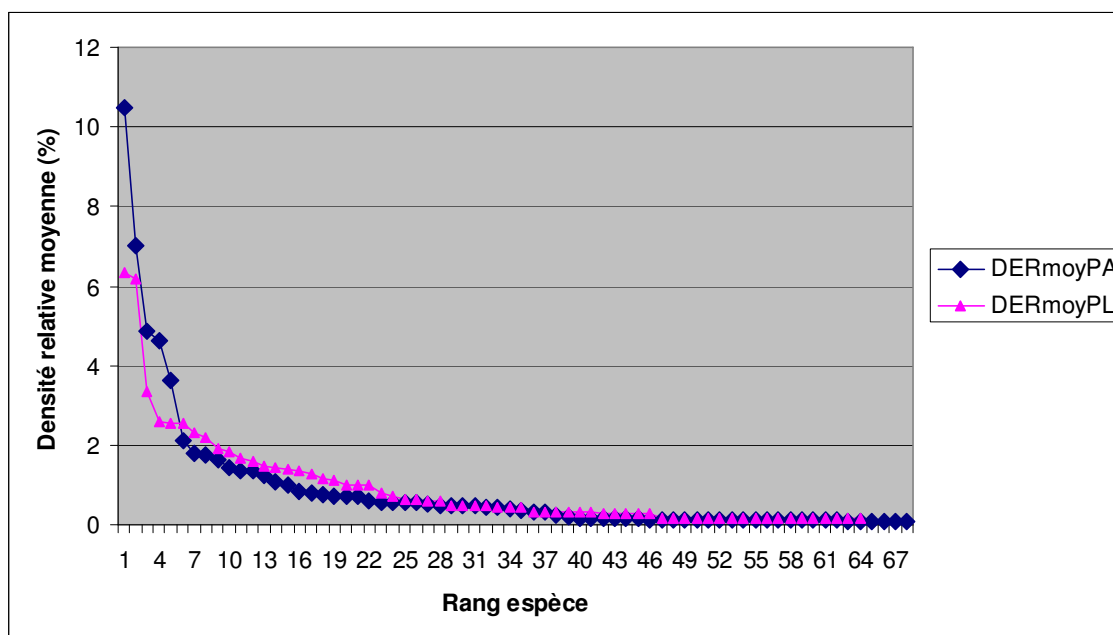


Figure 24 : Densités relatives moyennes (en %) par rang des espèces (DERmoyPA = densité relative moyenne des parcelles agroforestières et DERmoyPL = densité relative moyenne des parcelles de plantation de limbas à haute densité).

V.2.3. Discussions

Du point de vue composition botanique, les principales familles en diversité relative des forêts naturelles à *Terminalia superba* (Tableau 11) diffèrent de celles des deux milieux d'étude. La plantation de limbas semble donc modifier l'importance des principales familles du milieu par rapport à celui d'un peuplement naturel de limbas. Nos résultats quant à eux nous indiquent que la composition en familles entre la plantation de limbas à densité élevée et les parcelles agroforestières ne varient pas profondément. Parmi les 10 familles les plus importantes on retrouve dans les deux milieux les *Moraceae*, les *Anacardiaceae*, les *Euphorbiaceae*, les *Meliaceae*, les *Ulmaceae*, les *Mimosaceae* et les *Sterculiaceae*. Par contre, la composition en espèces quant à elle diffère, par l'importance que prend chacune des essences et, par l'importante présence d'espèces fruitières dans les parcelles agroforestières : l'avocatier (*Persea americana*) le safoutier (*Dacryodes edulis*) et le palmier à huile (*Elaeis guineensis*). Ces espèces amènent un revenu supplémentaire non négligeable aux paysans qui diversifient par la même occasion leur production.

Tableau 11: Diversités spécifiques et recouvrements relatifs des principales familles de l'association *Terminalietum superbae* (source : Lubini, 1997)

Groupes systématiques	Diversités spécifiques relatives (%)	Recouvrements relatifs (%)
1. <i>Caesalpinaceae</i>	5	2,35
2. <i>Euphorbiaceae</i>	5	6,85
3. <i>Annonaceae</i>	4,29	3,73
4. <i>Rubiaceae</i>	4,29	1,82
5. <i>Mimosaceae</i>	3,57	0,55
6. <i>Moraceae</i>	3,57	6,90
7. <i>Ebenaceae</i>	2,86	1,30
8. <i>Fabaceae</i>	1,43	0,27
9. <i>Combretaceae</i>	1,43	14,29
10. Autres familles	68,57	62,14

Du côté de la diversité ligneuse, la richesse spécifique d'une forêt secondaire à *Terminalia superba* de la Réserve (décrit par Lubini, 1997) est de 374 espèces par hectare, contre 39 pour la plantation de limbas et de 19 pour les parcelles agroforestières. Il y a donc une diminution du nombre d'espèces d'environ 90 % entre une forêt naturelle de *Terminalia superba* et celle d'une plantation créée par le système sylvo-bananier, et une diminution d'environ 50% entre la plantation et les cultures agroforestières.

Ces données nous permettent de situer l'évolution de la diversité végétale ligneuse en fonction de l'influence anthropique sur le milieu. Parmi les différents scénarios exposés dans la Figure 8 de la section III.3.2, la courbe I, caractérisée par une courbe exponentielle négative, semble être la situation rencontrée. Il faut toutefois nuancer les résultats exposés, la diversité végétale a été exprimée ici en terme de richesse spécifique, or on ne connaît pas l'abondance des espèces répertoriées dans la forêt naturelle de limba. L'indice de Shannon calculé pour nos deux milieux d'études confirme quant à lui la diminution de 50% de la diversité végétale. De plus, les relevés effectués dans le cas de la forêt naturelle ont été réalisés sur des stations

plus diversifiées et plus distantes que ceux réalisés dans notre étude. La tendance de cette diminution semble néanmoins représentative de cette réduction de diversité végétale ligneuse en fonction de l'intensité de l'influence anthropique sur le milieu.

V.3. La production des bananeraies en milieu agroforestier

V.3.1. Le rendement des bananeraies agroforestières

L'utilisation de la formule : $n = 2,8 \times p + 0,7 \times p \times 1,54$ (cf. IV.3.1), nous a permis d'obtenir les résultats présentés dans les trois dernières colonnes du Tableau 12. Il faut noter que parmi certaines parcelles agroforestières étudiées, des bananiers plantains étaient présents et leur production a été incluse dans ces calculs.

Tableau 12 : Description et estimation de la production (t/ha) des différentes parcelles agroforestières.

Parcelles	Densité bananier (virée sur l'ha)	Age plantation bananiers (année):	Fermeture moyenne du couvert (%)	Rendement saison des pluies (t/ha)	Rendement saison sèche (t/ha)	Rendement total (t/ha.an)
P1	388	18	50.9	3.03	1.17	4.20
P2	371	10	34.8	2.52	0.97	3.49
P3	328	18	39.6	3.39	1.30	4.69
P4	323	18	77.2	1.73	0.67	2.40
P5	387	18	57.9	2.41	0.93	3.34
P6	388	18	50.5	2.13	0.82	2.96
P7	299	21	60.5	1.84	0.71	2.55
P8	255	21	76.2	1.58	0.61	2.19
P9	235	3,5	53.0	4.11	1.58	5.69
P10	194	0,5 (20)	82.7	0.56	0.22	0.78
P12	256	/	75.3	1.08	0.42	1.50
P13	238	/	79.7	0.69	0.27	0.96
P11	398	3	40	3.52	1.36	4.88

Le **rendement moyen annuel** des parcelles agroforestières sous plantation de limbas est de **2,9 t/ha.an** (CV = 51 %) en 2008 pour une **densité** de bananiers de **305 souches/ha** (CV = 23 %) et sous une **fermeture moyenne du couvert** de **60%** (CV = 44%, n = 12). Les faibles rendements que l'on peut noter dans les parcelles 10, 11 et 12 sont certainement dus à la faible densité de ces bananeraies.

Pour la suite du traitement des données, les parcelles ont été classées en fonction de la date de plantation des différentes bananeraies agroforestières et de la pratique agricole (agroforestière, traditionnelle ou semi-intensif).

La catégorie « Bananeraies agroforestières ancienne » (BAA) comprend 8 des 14 parcelles inventoriées. La date de plantation de ces 8 parcelles agroforestières varie entre 10 à 21 ans.

La « Bananeraie agroforestière jeune » (BAJ) est représentée par la parcelle P9. Celle-ci bénéficie d'un sol peu épuisé par la culture et de souches de bananiers encore vigoureux.

La « Bananeraie pure témoin » (BPT) reprend la parcelle de la bananeraie pure (80 ha) qui se trouvait à proximité de la Réserve. Cette bananeraie est âgée de 4 à 5 ans. Cette catégorie n'est utilisée que dans la description pomologique (titre V.3.2).

La « Bananeraie traditionnelle » (BT) est définie par la parcelle P11 de la zone tampon.

Les parcelles P10, P12 et P13 n'ont pas été prises en compte dans les différents résultats car on ne connaît pas la date de plantation de P12 et P13, et la parcelle P10 était en train d'être restaurée après des années d'abandon de la bananeraie.

Tableau 13 : Coefficients de corrélations Pearson (r) et test de signification de ces coefficients (p).

Corrélation de Pearson	Rendement BAA (t/ha.an)	Fermeture moyenne du couvert (%)
Fermeture moyenne du couvert (%)	-0,85 (p = 0,002)	/
Densité limbas (/ha)	-0,66 (p = 0,038)	0,646 (p = 0,043)
Densité autres essences (/ha)	-0,363 (p = 0,302)	0,431 (p = 0,214)
Densité totale d'arbres (/ha)	-0,657 (p = 0,039)	0,720 (p = 0,019)

Le rendement des BAA est corrélé de manière hautement significative avec la fermeture moyenne du couvert ($r = -0,85$, $p = 0,002$). Il est également significativement corrélé avec la densité de limbas ($r = -0,66$, $p = 0,038$; test de corrélation Pearson) et la densité totale d'arbres sur les parcelles ($r = -0,657$, $p = 0,039$). La fermeture moyenne du couvert a l'avantage de prendre en compte l'influence des cimes des arbres juxtaposant la parcelle par rapport au paramètre densité.

La fermeture du couvert est significativement corrélée avec la densité des limbas ($r = 0,65$, $p = 0,043$) et la densité totale d'arbres ($r = 0,72$, $p = 0,019$). Par contre, elle n'est pas significativement corrélée avec la densité des autres essences qui accompagnent les limbas ($p = 0,214$). La densité du limba dans la parcelle joue donc un rôle important dans la fermeture totale du couvert.

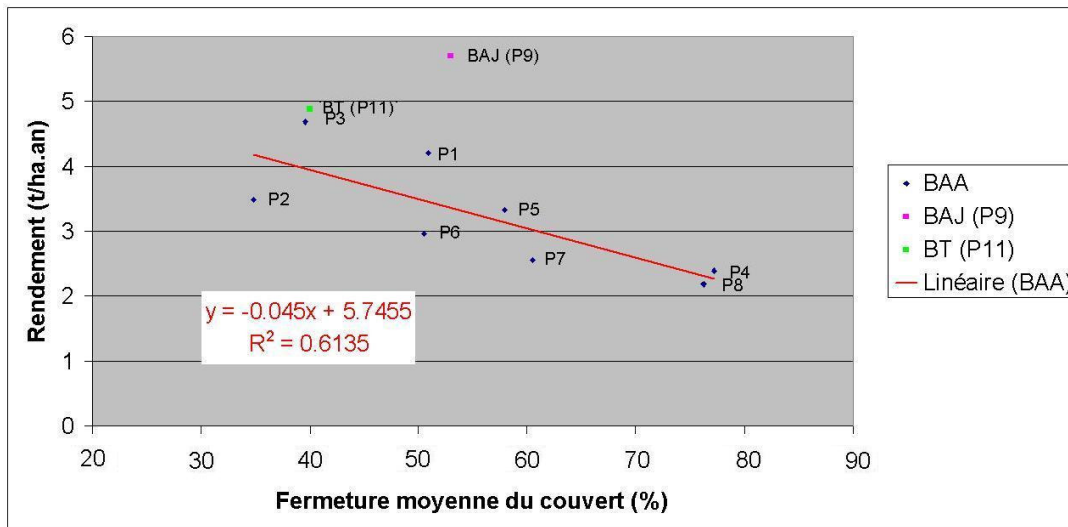


Figure 25 : Répartition des rendements des parcelles agroforestières en fonction de la fermeture moyenne du couvert.

Cette figure nous montre qu'il y a une tendance à la diminution du rendement des BAA en fonction de l'augmentation de la fermeture du couvert. Il faut cependant rester prudent sur l'interprétation de ces résultats. En effet, bien que les sols soient assez semblables du point de vue de leur texture (cf. V.3.3), la position topographique des parcelles doit être prise en compte. Ce paramètre est important car le bananier est très exigeant du point de vue de l'humidité du sol. Or, par exemple, les parcelles P4 et P8 se situent respectivement au sommet d'une colline et sur un versant. Ces dernières sont donc défavorisées au niveau de l'apport hydrique par rapport aux parcelles de bas fond comme P1, P2 et P7.

Les maladies répertoriées lors des virées sont le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*), localement appelé Carie, et le Bunchy Top des bananiers (*banana bunchy top babuvirus*, BBTV), dont le nom local est Apolo ou Sida. Le pourcentage de bananiers touchés par ces maladies est d'environ 4% (2% pour chacune des maladies). La coupe régulière des sujets malades par le paysan permet de contenir l'expansion de ces maladies.

V.3.2. Description des caractères végétatifs du 'Gros Michel'

Le Tableau 14 synthétise les paramètres relevés dans les placeaux centraux des parcelles agroforestières. Le nombre moyen de bananiers mesurés par placeau est de 101 (CV = 34%) et le nombre de bananiers en production est de 10 (CV = 55 %).

Tableau 14 : Moyennes des principaux paramètres mesurés sur les bananiers en production des placeaux pour chaque type de bananeraie (CV : Coefficient de variation et n : effectif des paramètres mesurés).

Type de bananeraie	Paramètres	Moyenne	CV (%)	n
Bananeraies agroforestières à l'équilibre	Nombre de mains	6.3	18	74
	Nombre de doigts	80.9	27	72
	Circonférence collet (cm)	81.4	11	74
	Hauteur totale (m)	4.4	9	74
Bananeraie agroforestière jeune	Nombre de mains	8.5	6	11
	Nombre de doigts	117.1	43	8
	Circonférence collet (cm)	94.7	5	11
	Hauteur totale (m)	5.1	5	11
Bananeraie pure témoin	Nombre de mains	9.6	12	18
	Nombre de doigts	169.0	0	1
	Circonférence collet (cm)	100.7	8	26
	Hauteur totale (m)	5.3	5	26
Bananeraie traditionnelle témoin	Nombre de mains	9.6	13	7
	Nombre de doigts	155.9	22	7
	Circonférence collet (cm)	96.9	9	7
	Hauteur totale (m)	4.69	4	7

Le nombre de doigts n'a pas pu être mesuré dans le placeau de la bananeraie pure car nous ne disposons pas d'échelle à cet endroit.

Le rapport H/C des bananeraies agroforestières est de 5,4 (CV = 9 %) contre 5,23 (CV = 7 %) pour la bananeraie pure témoin.

Le nombre moyen de bananiers par souche dans les BAA est de 2,72 (CV = 51 %), ce qui revient à dire qu'il y a en moyenne 1,72 rejets par souche de bananiers. Dans les autres types de bananeraies, on observe respectivement 4,19 (CV = 52,62 %), 2,84 (CV = 24,32 %) et 6,28 (CV = 63,61 %) bananiers par souche pour la BAJ, la BT et la BPT. Ces données nous montrent que les interventions culturales sont limitées pour les trois dernières catégories citées, les paysans ne pratiquent pas rigoureusement l'oeilletonnage¹⁵,

La Figure 26 qui suit illustre la répartition du nombre de mains par régime des catégories de bananeraies.

¹⁵ L'oeilletonnage consiste à supprimer les oilletons au fur et à mesure de leur sortie de terre pour ne laisser se développer qu'un (ou au plus deux) rejet(s) à côté de la plante-mère (Dagba, 1992).

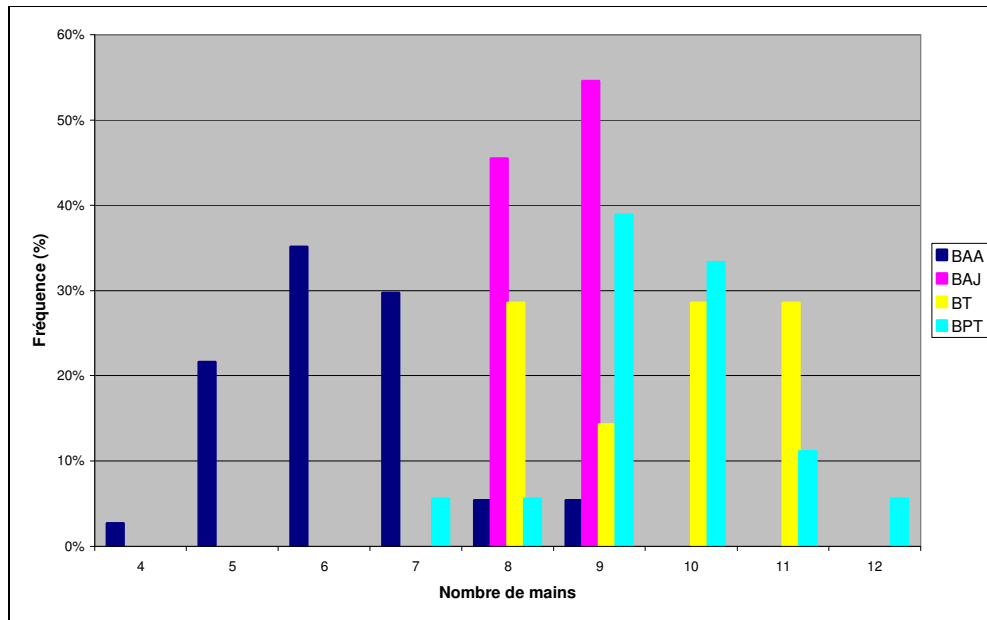


Figure 26 : Fréquence du nombre de mains par régime et par type de bananeraie.

Les données pomologiques ci-dessus (Tableau 14 et Figure 26), ainsi que celles mises en Annexe 8, mettent en évidence l'existence d'une différence entre les types de bananeraies.

Les bananeraies agroforestières anciennes sont nettement moins productives que les autres types de bananeraies. Les relations qui existent entre des caractères végétatifs mesurés dans les placeaux (circonférence au collet, nombre de mains et de doigts par régimes) et la production en kilogramme de régimes de bananes (Figure 27, Figure 28, Figure 29 et Annexe 8) pourraient nous permettre d'affirmer statistiquement ces tendances constatées entre les différentes catégories de bananeraies. Malheureusement la variabilité des milieux (topographie, sol, fermeture du couvert), et le manque de répétition de certaines catégories de bananeraies ne permettent pas de faire une analyse valable.

Les trois régressions (Figure 27, Figure 28 et Figure 29) qui suivent nous permettent de faire ressortir différentes relations intéressantes entre certains paramètres des bananiers.

Les coefficients de régressions de toutes ces régressions linéaires sont différents de zéro de manière hautement significative.

De la relation exposée dans la Figure 28, il en ressort que le **poids moyen d'un régime** pour une moyenne de 80,9 doigts (nombre moyen de doigts pour les BAA) est de **11,22 kg** ($\pm 0,93$ kg).

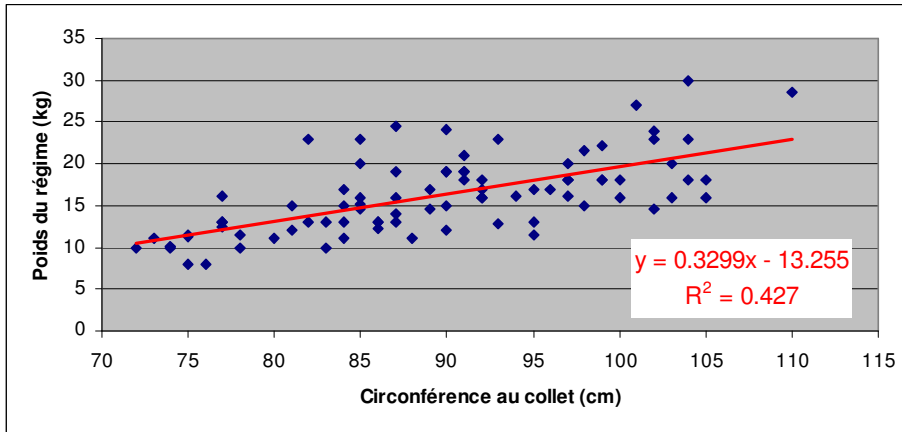


Figure 27 : Régression linéaire entre la circonférence au collet (en cm) et le poids du régime (en kg) de bananes de bananiers mesurés lors de la récolte.

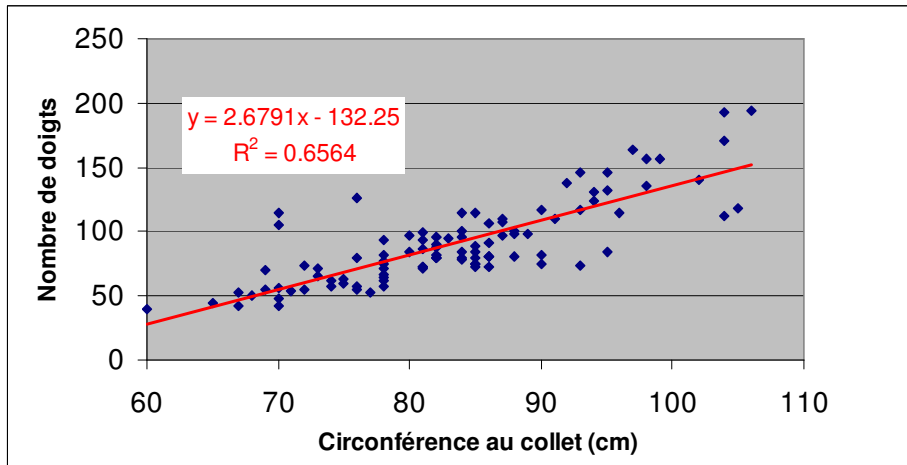


Figure 28 : Régression linéaire entre la circonférence au collet (en cm) et le nombre de doigts des bananiers mesurés dans les placeaux.

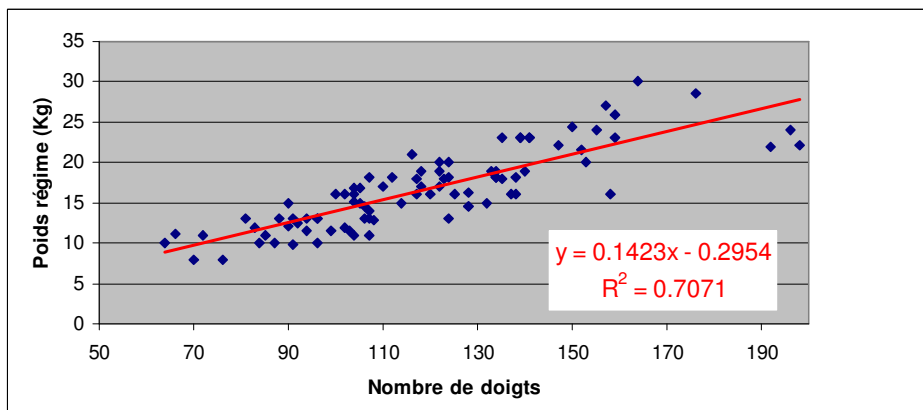


Figure 29 : Régression linéaire entre le nombre de doigts et le poids du régime des bananiers mesurés lors de la récolte.

V.3.3. Caractéristiques de la partie arable des sols des agroforêts

Tableau 15 : Tableau de synthèse de l'analyse granulométrique et chimique des prélèvements composites (de 0 à 25 cm de profondeur) de parcelles caractéristiques par leurs positions topographiques.

Sols composites	Catégorie des parcelles	pH		Granulométrie					Matière organique			Elements minéraux				SBE	Rdt (t /ha.an)
				Argile (%)		Limon (%)		Sable (%)		C	N	C/N	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺		
		eau	KCl	0-2 μ	fin 2-20 μ	grossier 20-50 μ	fin 50-200μ	grossier 0,2-2mm	%								
PTL1	limba	5.5	4.8	39.6	6.3	3	29.5	21.6	1.4	0.16	9	0.10	0.04	2.69	1.65	4.49	/
PTL2	limba	6.3	5.5	33	14.5	11.5	29	12	1.9	0.21	9	0.10	0.09	7.58	2.72	10.49	/
P1	BAA	6.0	5.2	32.9	7.2	4.9	32.2	22.8	1.6	0.17	10	0.10	0.09	4.64	1.89	6.72	4.20
P2	BAA	5.3	4.3	33.3	4.9	2.6	34.05	24.07	1.3	0.13	10	0.15	0.04	2.25	1.32	3.76	3.49
P4	BAA	5.2	4.4	36.1	5.2	1.8	31.7	25.2	1.3	0.14	9	0.13	0.09	2.30	1.32	3.83	2.40
P6	BAA	5.6	4.8	37.5	5.1	2.6	32.6	22.2	1.4	0.14	10	0.15	0.09	3.49	0.99	4.72	2.96
P9	BAJ	5.2	4.5	43.9	5.9	4.1	28.6	17.5	1.5	0.16	9	0.15	0.09	2.50	1.32	4.05	5.69
P10	/	7	6.4	25	3.4	3.7	37.1	30.8	1.2	0.14	9	0.18	0.04	5.74	1.40	7.36	0.78
P12	/	7.2	6.6	41.1	9	4.5	30.9	14.5	1.8	0.18	10	0.13	0.09	9.43	2.06	11.70	1.50
P13	/	6.7	6.1	36.9	6.8	4.1	30	22.2	2.3	0.23	10	0.13	0.09	8.58	2.63	11.43	0.96
P11	BT	6.1	5.2	23.8	5.9	2.9	29	38.3	1.2	0.13	9	0.13	0.04	2.99	1.65	4.81	4.88

SBE = Somme des bases échangeables.

Propriétés physiques

La texture des sols superficiels des parcelles agroforestières varie entre du limon argilo-sableux à de l'argile sableuse selon la classification américaine (USDA, 1951). Le triangle textural est présenté en Annexe 11. Quant aux deux sols témoins de plantation de limbas, la texture est de l'argile sableuse pour PTL1 et du limon argileux pour PTL2.

Tous ces sols sont non battants. En effet, l'indice de battance calculé suivant la formule¹⁶ présentée Baize (1988) est inférieur à 0,5 pour tous les sols. Ils sont donc peu sensibles à l'érosion et à la déstructuration par la pluie ou le ruissellement.

Propriétés chimiques

Les appréciations sur la quantité des différents éléments du sols sont faites à partir de la norme d'analyse des sols de la Réunion (Lescot, 2008), la norme se trouve en Annexe 12.

- 1) **pH** – Il y a une très grande variabilité dans le pH de ces sols. Ils vont de très acide ($\text{pH} < 5,5$) à neutre ($6,5 < \text{pH} < 7,4$). On peut remarquer qu'il n'y a pas une tendance à avoir des sols plus acides dans les bananeraies âgées. Le pH reste dans la zone de tolérance définie par Champion (1963) pour le bananier : $4,5 < \text{pH} < 8$. Par contre, il y a peu de parcelles qui sont dans la zone de rendement optimal ($6 < \text{pH} < 7,5$). Les parcelles à pH élevés se trouvent en fond de vallées, sur des sols alluvionnaires, à proximité de rivières. Ces parcelles (P10, P12 et P13) ont pourtant un faible rendement. Mais cette faible production de régimes n'est probablement pas liée au sol mais plutôt à la densité en bananiers.
- 2) **Matière organique** – La teneur en matière organique ($C \times 1,73$) est moyenne à élevée selon les termes de la norme pour bananeraies. Elle ne semble pas différente entre les parcelles agroforestières et les témoins sous plantation de limbas à haute densité. Le rapport C/N de 9 et de 10 rencontré dans toutes les parcelles nous indique qu'il y a une bonne nitrification de la matière organique.
- 3) **Azote** – le taux d'azote est très faible à faible pour la plupart des sols, il est moyen pour P13 et PTL2.
- 3) **Potassium** – La quantité en potassium de tous les échantillons de sol prélevés est faible voir très faible. Cette déficience doit certainement jouer négativement sur le rendement des bananiers car ils ont un besoin très important en cet élément minéral. Idéalement, il est recommandé d'ajouter un apport en potassium pour les sols à dont sa teneur est inférieur à 1 meq/100g (CIRAD, 2002).
- 4) **Magnésium** - Cet ion se retrouve en quantité suffisante voir élevée dans la plupart des sols.
- 5) **Clacium et sodium** – La teneur en ces deux éléments est faible dans toutes les parcelles analysées.

¹⁶ $IB = (1,5 \times \text{limon fin} + 0,75 \times \text{limon grossier}) / (\text{argile} + 10 \times \text{MO})$

La parcelle témoin PTL2, de texture semblable aux sols des BAA, ne semble pas présenter de différence du point de vue chimique avec les parcelles agroforestière. Les analyses chimiques réalisées dans la réserve, par Mbizi (1972) et par Makobo (1994), sur des sols de texture semblables du système sylvo-banancier du bloc UB1 présentent, des résultats semblables. Le CEC¹⁷ des analyses de ces auteurs varient entre 4,5 et 13 et le taux de saturation en base est toujours supérieur à 70 %. Pour des sols qualifiés de pauvre, cette gamme de CEC est considérée comme moyen par la norme du CIRAD. Les sommes des bases échangeables des sols prélevés sont également qualifiées de moyen.

Nous pouvons remarque qu'il y a une certaine variation en teneur de calcium et de magnésium parmi les sols analysés. Des tests de corrélation de Pearson nous indique que la teneur en calcium est significativement corrélé ($r = 0,78$, $p = 0,05$) à la teneur en carbone du sol et est très hautement significativement corrélé au pH ($r = 0,89$, $p = 0,001$). La teneur en magnésium est corrélé de manière très hautement significative ($r = 0,85$, $p = 0,001$) avec la teneur en carbone mais n'est pas significativement corrélé au pH. Il n'y pas de corrélation significative entre la densité d'arbres (limbas, autres ou total) et la teneur en Ca^{2+} et Mg^{2+} .

Les teneurs plus élevées pour certaines parcelles en calcium proviendraient donc du plus grand CEC qu'ont ces parcelles du fait de leurs plus grands taux de carbone et de leur pH élevé. En effet, le CEC est directement lié aux complexes argilo humiques du sol. Or ces complexes sont composés d'argile et de carbone. Cette hypothèse doit néanmoins être vérifié par le calcul du CEC ou par un plus grand nombre de mesures pour voir si l'effet de la densité des arbres ne jouerait tout de même pas.

¹⁷ C.E.C.= Capacité d'Echange Cationique : la capacité d'échange cationique du sol représente la taille du réservoir permettant de stocker de manière réversible certains éléments fertilisants cationiques (potassium, magnésium, calcium...). La CEC est liée au complexe argilo humique. La valeur de la CEC d'un sol est donc fonction des quantités d'argile et de MO qu'il contient, mais aussi de la nature des ces éléments et du pH du sol.

V.3.4. Discussions

Le rendement moyen obtenu pour les parcelles agroforestières du bloc UB1 (2,9 t/ha) est 25 % inférieur au rendement de 3,8 t/ha des bananes desserts du Bas-Congo (Bakelana et Mankangidila, 1996), et il est 50 % inférieur aux estimations de Delaunoy *et al.* (2007) pour les bananeraies 'Gros Michel' de la région de la Réserve. La culture des bananiers dans la région est le plus souvent réalisée sur des trouées assez récentes dans la forêt, le rendement est alors meilleur et expliquerait cette différence entre nos résultats et les chiffres avancés par Delaunoy *et al.* (2007). La parcelle P11 (BT) de nos relevés, réalisée dans une trouée de forêt secondaire, nous montre un rendement de 4,69 t/ha, ce qui avoisine les chiffres de Delaunoy *et al.* (2007). Il se peut également qu'un biais provienne de l'enquête menée chez les paysans par Delaunoy *et al.* (2007). En effet, lors du travail sur le terrain, nous avons pu remarquer que ces derniers avaient beaucoup de mal à nous procurer des données chiffrées, ils ne savaient généralement pas ce que représente exactement un hectare. Or les estimations données par Delaunoy *et al.* (2007) étaient basées sur leurs dires. Le rendement de nos parcelles agroforestières correspond aux rendements des agroforêts limba-banancier du Mayumbe congolais décrits par Koyo (1984).

L'effet du couvert arboré sur la production des bananiers montre qu'une fermeture de couvert de 40 à 50 % pourrait donner, pour une bananeraie âgée, un rendement similaire au rendement moyen de la Province. Cette fermeture de couvert pourrait être obtenue par 20 à 30 limbas par hectare de plus de 50 ans si les autres essences sont éliminées. Mais cela doit être confirmé par des études à plus long terme. Il serait également intéressant d'étudier le comportement de la parcelle P10 qui a 64 limbas et dont la bananeraie vient d'être relancée.

Pour lutter contre les deux maladies rencontrées, des techniques simples de luttés permettraient d'améliorer la production des bananeraies. En ce qui concerne le Bunchy top (*banana bunchy top babuvirus*, BBTV), le meilleur moyen de lutte est d'éradiquer les pieds malades et de les détruire (CIRAD, 2002). La première étape étant généralement réalisé par les paysans mais pas la destruction des plants. Dans le cas du charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*), la prolifération peut être diminuée, en fendant les pseudo-troncs après la récolte, les pseudo-troncs fendus dessèchent rapidement et sont de la sorte moins propices à servir de lieu de reproduction (Raemaekers, 2001) ; et lors de la plantation, en ôtant la partie superficielle du drageon, partie abritant la plupart des oeufs et des jeunes larves (Sénéchal *et al.*, 1989).

Dans une bananeraie de 'Gros Michel' de plus de 3 cycles en conditions optimales, la hauteur moyenne des bananiers est de 6,5 m, la circonférence au collet de 102 cm et le nombre moyen de mains est de 9,48 (Bourdelle, 1961 cité par Champion, 1967). Pour un nombre égal de mains, dans la bananeraie pure étudiée, les dimensions des bananiers sont bien inférieures. Les conditions écologiques moins bonnes du Mayumbe influencent donc le développement du bananier, comme c'est le cas au Cameroun où la hauteur moyenne de bananiers 'Gros Michel' est de 3,97 m et une circonférence de 69,2 cm (Champion, 1967). Le développement du bananier 'Gros Michel' dans les conditions agroforestières étudiées, a le même "comportement" que celui d'une bananeraie pure de Bilala dans le Mayumbe congolais. Pour

une circonférence donnée, le poids du régime sera le même dans les deux types de bananeraies (Figure 40, Annexe 10). Par contre, le poids moyen d'un régime ($11,22 \pm 0,93$ kg) en saison des pluies est 5 kg moins élevé qu'à Bilala en saison des pluies (Carrouché, 1989 cité par Dagba, 1993).

Nos résultats et ceux de Dagba (1992) montre que l'âge des bananeraies a une grande influence sur la bananeraie. Or la production de ces bananeraies âgées (environ 20 ans), est certes, plus faible que la moyenne provinciale, mais reste appréciable pour l'âge de celles-ci. Ces résultats, ainsi que l'analyse chimique réalisée sur plusieurs parcelles agroforestières nous laisse supposé que la fertilité des sols n'est pas fortement affectée par la durée prolongée de la culture de bananes dans ces parcelles. Ces observations confirment ceux de Tsakala et Schwartz (1990). Ces derniers expliquent que la baisse de rendement observée au bout de quelques années dans les bananeraies du Mayumbe congolais ne semble pas venir d'une baisse de fertilité chimique mais d'autres facteurs, qui amèneraient à une "fatigue" des sols (parasitoses diverses, dégradation des caractéristiques physiques du sol, modification de la flore du sol et de la rhizosphère...). Cette fatigue de sol semble donc réduite sous condition agroforestière. En effet, la rotation de bananeraies bien entretenue du Mayumbe congolais sont généralement de 10 ans. Par la suite, la parcelle est abandonnée à une jachère de 10 à 15 ans (Sénéchal *et al.*, 1989). Il serait intéressant d'étudier plus en profondeur l'évolution de la production d'une bananeraie sous condition agroforestière en fonction de son âge.

PARTIE 4: CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objet de cette étude est d'acquérir une meilleure connaissance du système agroforestier limba–bananier (*Terminalia superba* – *Musa acuminata* cult. 'Gros Michel'). Pour cela, l'étude s'est concentrée sur trois points : caractériser la composante arborée du système, estimer le rendement réalisé par ces bananeraies sous couvert et évaluer la diversité végétale de ce système.

La composante arborée constituée essentiellement du limba (*Terminalia superba*) ne présente plus le potentiel sylvicole prévu à la base. Pour une densité de 26 limbas/ha, le peuplement âgé s'une cinquantaine d'années constitue un volume de 136,71 m³/ha, soit un tiers du volume potentiel de la plantation de départ.

Les essences accompagnatrices du limba sont principalement *Musanga cecropioides*, *Ricinodendron heudelotii*, *Milicia excelsa* et *Sterculia tragacantha*. On retrouve également des espèces fruitières tel que : l'avocatier (*Persea americana*) le safoutier (*Dacryodes edulis*) et le palmier à huile (*Elaeis guineensis*). Ces fruitiers amènent un revenu supplémentaire non négligeable aux paysans qui diversifient ainsi leur production. La composition spécifique diffère de celle d'une plantation de limbas pure (sans culture agricole) par l'importance que prend chacune des essences et, par la présence d'espèces fruitières. Le système agroforestier étudié amène une diminution de 50 % de la diversité ligneuse par rapport à la plantation de limbas d'origine.

Au niveau agricole, les rendements de ces bananeraies agroforestières d'une vingtaine d'années sont de 2,9 t/ha, ce qui est 25 % inférieur à la moyenne provinciale pour les bananes desserts. Les bienfaits du couvert (litière, microclimat, teneur en eau du sol, protection des grands vents) semble compenser la probable diminution du rendement due à l'ombrage. Ce rendement peut paraître faible par rapport aux bananeraies industrielles qui peuvent aller jusqu'à 60 t/ha en condition optimale, mais la durabilité et la faible demande en intervention phytotechnique de ces plantation agroforestières expliquent la présence de ces bananeraies 50 à 60 ans après l'installation des premières cultures. Le cultivar 'Gros Michel' semble donc particulièrement bien convenir en culture agroforstièrè.

Malheureusement, le système d'agroforêt limba–bananiers du bloc UB1 de la Réserve de Biosphère de Luki disparaît petit à petit sous la pression des "carbonisateurs". Ces 60 ans de culture bananière au sein du système sylvo-bananier de départ disparaît donc petit à petit avec les vieilles générations de paysans, les jeunes s'étant tournés vers la carbonisation qui leur semble plus lucrative.

Il faut dès lors se demander si ce système est encore envisageable dans le contexte actuel. Il est certain que des plantations d'arbres en plein, après défriche complète de la forêt préexistante ne sont plus économiquement supportables. Il serait donc plus intéressant de se tourner vers la gestion du patrimoine restant, et favoriser les pratiques agroforestières incluant des espèces fruitières comme: l'avocatier (*Persea americana*) le safoutier (*Dacryodes edulis*), le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) et d'autres espèces comme l'oranger (*Citrus sinensis*), le pamplemoussier (*C. maxima*) ou encore des espèces à produits forestiers non ligneux comme *Gnetum africanum*, *Eremospatha haullevileana*, *Cola acuminata*, *Garcinia kola*, etc. La gestion du patrimoine restant comprend la gestion des bananeraies actuelles. Pour ces dernières il serait donc intéressant d'observer à plus long terme le comportement de bananiers sous un couvert important (conditions retrouvées dans la jeune bananeraie de la parcelle P10), d'établir une méthode de préservation de la régénération des essences d'intérêt lors des sarclages et continuer à observer le comportement des bananeraies sous le couvert des recrûs. La culture de taro (*Colocasia* spp. et *Xanthosoma sagittifolium*), semble également être adaptée en agroforêt. En effet, le taro présente plusieurs atouts importants, il a un tempérament sciaphile, il n'est pas l'hôte *Radopholus similis*, l'une des deux plus importantes espèces de nématode parasites des bananiers et, sa culture, en intercalaire avec le bananier, est déjà couramment réalisée dans la réserve.

Ces pratiques agroforestières répondent aux attentes du programme de l'UNESCO sur L'homme et la biosphère (MAB). En effet, elles permettent une « relation équilibrée entre les êtres humains et la biosphère ». Elles ont donc parfaitement leur place dans la zone de transition de la réserve et doivent être favorisées en soutenant les paysans qui se tournent vers ces pratiques.

Références bibliographiques

Anonyme, (1998). *Monographie de la province du Bas-Congo*. PNUD/UNOPS, Programme National de Relance du secteur Agricole et Rural (PNSAR) & RDC, Ministère de l'agriculture et de l'élevage, du plan, de l'éducation nationale et de l'environnement, conservation de la nature, forêts et pêche. Kinshasa, 347p.

ATIBT (2006). Statistiques. *La lettre de l'ATIBT* **24**, 19-28

Baize D. (1988). *Guide des analyses courantes en pédologie*. Ed. INRA, 172p.

Bakelana K. & Mankangidila K. (1996). The State of Banana in Zaire. *InfoMusa*, **5** (2), 20-22.

Bakelana K., Vangu P. & Mputu K. (1999). *Résultats d'une enquête bananière chez les paysans de la République Démocratique du Congo (RDC)*. Report of the third steering committee meeting held in Ibidjan (CIV), 23-24 Novembre 1999. Douala (CMR), 31-36.

Baldy C., Dupraz C., Schilizzi S. (1993). Vers de nouvelles agroforesteries en climats tempérés et méditerranéens: 1. Aspects agronomiques. *Cahiers Agricultures* **2**, 375-386.

Bernhard-Reversat F. & Tchbinda-Pemo G.A. (1988). Influence du système agro-forestier de culture de la banane sur la dynamique de la matière organique. Résultats préliminaires. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, **XXIX** (4), p. 355

Bernhard-Reversat F. (1989). *Quelques aspects des relations sol-plantes dans les systèmes agroforestiers et forestiers plantes tropicaux*. 239-248.

Bernhard-Reversat F. & Goma-Tchimbakala J. (2006). Comparison of litter dynamics in three plantations of indigenous timber-tree (*Terminalia superba*) and a natural tropical forest in Mayumbe, Congo. *For. Ecol. & Man.* **229**, 304-313.

Corbasson M. & Souvannavong O. (1988). Recherches engagées concernant la biologie, la physiologie et l'amélioration génétique de *Terminalia superba*. *Ressources génétiques forestières* **16**, FAO, 6 p.

Champion J. (1963). *Le bananier*. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 233 p.

Campion J. (1967). Botanique et Génétique des bananiers. *Notes et documents sur les bananiers et leur culture* **1**, IFAC, Ed. STECO, Paris, 214p.

CIRAD (2002). *Memento de l'agronome*. CIRAD-GRET, Ministère des affaires étrangères, Paris, 960-974.

CTFT (1974). LIMBA-FRAKE. *Bois et Forêts des Tropiques* **158**, 33-48.

CTFT (1989). *Mémento du forestier*. Ministère de la coopération et du développement 3^{ème} ed., Paris, 1266p.

- Dagba E. (1992). Influence de quelques facteurs sur le rendement du bananier à Bilila (Congo). *Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride* **4**, 55-71.
- Dagba E. (1993). La teneur en eau du sol dans deux bananeraies (*var. Gros Michel*) de Bilila (Congo). *Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride* **5**, 191-211.
- Dagba E. (1994). La croissance du bananier *var. Gros Michel*, à Bilila (Congo). *Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride* **6**, 119-142.
- Delaunoy Y., De Ridder M., Lejeune G. & Balancier B. (2007). *Le système sylvo-bananier dans le Mayumbe (R.D.C), Aperçu d'un patrimoine agroforestier, 50 ans après sa mise en place*. WWF et Musée Royal de l'Afrique Centrale, 47 p.
- Donis C. (1948). Essais d'économie forestière au Mayumbe. *INEAC, série scientifique* **37**, 92p.
- Donis C. (1951). Sur l'uniformisation par le haut : Une méthode de conversion des forêts sauvages. *INEAC, série scientifique* **51**, 75p.
- Doucet J.L. (2003). *L'alliance délicate de la gestion forestière et de la biodiversité dans les forêts du centre du Gabon*. Thèse de doctorat, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, 323p.
- Doucet J.L., Daïnou K., Kouadio Y.L., Feteke R. & Bourland N. (2007). *Recherches scientifiques menées par l'ASBL Nature plus et le laboratoire de foresterie des régions tropicales et subtropicales (Belgique) au sein de la concession Pallisco (Cameroun)*. Rapport technique annuel 2006.
- Eckstein K., Robinson J.C. & Fraser C. (1997). Physiological responses of banana (*Musa* AAA ; Cavendish sub-group) in the subtropics. VII. Effects of windbreak shading on phenology, physiology and yield. *Journal of Hort. Sc.* **72**, 389-396.
- Gadagkar R. (1989). An undesirable property of Hill's diversity index N_2 . *Oecologia* **80**, 140-141.
- Groulez J. & Wood P.-J. (1984). *Terminalia superba Monographie*. CTFT & CFI, Paris, 85p.
- Humblet, P. (1946). Aménagement des forêts climatiques tropicales au Mayumbe. *Bulletin agricole du Congo Belge* **37** (1), 15-87.
- ITTO, (1997). *Annual review and assessment of the world tropical timber situation 1996*. International Tropical Timber Organization.
- Israeli Y., Plaut Z. & Schwartz A. (1995). Effect of Shade on Banana Morphology, Growth and Production. *Scientia Horticulturae* **62** (1-2), 45-56.
- Korhonen L., Korhonen K.T., Rautiainen M. & Stenberg P. (2006). Estimation of forest canopy cover : a comparison of field measurement techniques. *Sylva Fennica* **40(4)**, 577-588

- Koyo, J.P. (1984). Associations agrosylvicoles de cacaoyer et bananier avec *Terminalia superba* dans le Mayombé (Republique populaire du Congo). *Agroforesterie en Afrique tropicale humide*. Ed. L.H. Mc. Donald. Université des Nations Unies, 135-138.
- Lescot, T (2008). *Normes d'analyses de sol*. Non publié, CIRAD
- Lincy J. (2003). *Méthodes en analyse multivariée : voisinage et diversité*. Mémoire de DEA, Univ. Montpellier II, 46p.
- Lubini A. (1984). *Réserve de la Biosphère de Luki (Bas-Zaire)*. MAB et Département de l'environnement, conservation de la nature et tourisme, Kinshasa, 52p.
- Lubini A. (1997). *La végétation de la Réserve de biosphère de Luki au Mayumbe (Zaire)*. Opera botanica Belgica, Meise, 151 p.
- Malele M., (1978). *Dynamiques des Limba en sylvo-bananier au Mayombe (République du Zaire)*. Mémoire de fin d'étude en bachelier es sciences appliquées (génie forestier), Univ. Laval, Québec, 90p.
- Makobo Ya-Ome K. (1994). Diagnostic géomorphopédologique pour la gestion durable des terres au Bas-Zaire, Cas de la réserve de Luki. Thèse de doctorat inachevé, FUSAGx, 7p.
- Mankoto S. & Maldague M. (2004). Stratégie systématique appliquée à la gestion de la biodiversité. Cas de le Réserve de Biosphère de Luki (RDC). *International Symposium Tropical Forests in a Changing Global Context, Royal Academy of Overseas Sciences, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Brussels*, 115-125.
- Marien J.-N. & Mallet B. (2004). Nouvelles perspectives pour les plantations forestières en Afrique centrale. *Bois et forêts des tropiques* **282**, 67-79.
- Mbizi, K. (1972). *Etude de deux blocs sylvo-bananiers de la Réserve forestière de la Luki (Mayumbe)*. Mémoire de fin d'étude, Université de Kinshasa, RDC, 107p.
- Nair P.K.R. (1993). *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays Bas, 76 - 83
- Ngoma-Tasa M. (1978). *Caractéristiques du LIMBA (*Terminalia superba* ENGL & DIELS) plante en layons au Zaire (Mayombe, Bas-Zaire)*. Mémoire de fin d'étude, Univ. Laval, 45p.
- N'landu Phanzu L. (2006). *Etude des expériences sylvicoles de la Réserve de Luki et la Brigade de reboisement au Mayumbe/Bas-Congo*. Rapport final WWF, 34p.
- Norgrove, L. & Hauser, S. (1998). Musa in multistrata systems: focus on shade. *InfoMusa* **7**, 17-22.
- Norgrove L. & Hauser S. (2000a). Leaf properties, litter fall, and nutrient inputs of *Terminalia ivorensis* at different tree stand densities in a tropical timber-food crop multistrata system. *Can. J. For. Res.* **30**, 1400–1409.

- Norgrove L. & Hauser S. (2000b). Production and nutrient content of earthworm casts in a tropical agrisilvicultural system. *Soil Biology & Biochemistry* **32**, 1651-1660.
- Norgrove L. & Hauser S. (2000c). Response of *Chromolaena odorata* to timber tree densities in an agrisilvicultural system in Cameroon: aboveground biomass, residue decomposition and nutrient release. *Agr., Eco. & Env.* **81**, 191–207.
- Norgrove, L. & Hauser, S. (2002a). Measured growth and tree biomass estimates of *Terminalia ivorensis* in the 3 years after thinning to different stand densities in agrisilvicultural system in southern Cameroon. *For. Eco. & Man.* **1666**, 261-270.
- Norgrove, L. & Hauser, S. (2002b). Yield of plantain grown under different tree densities and ‘slash and mulch’ versus ‘slash and burn’ management in agrisilvicultural system in Southern Cameroon. *Field Crops Reaserch* **78**, 185-195.
- Pauwels L. (1993). *Nzayilu N’ti, guide des arbres et arbustes de la région de Kinshasa – Brazzaville*. Meise, jardin botanique national de Belgique, 495p.
- Pendje G. (1989). *Composition floristique, phytomasse et productivité de deux planatations du Myombe zairois : LIMBA (Terminalia superba) et BILINGA (Nauclea diderrichii)*. Mémoire de DEA en biologie végétale tropicale, Univ. Paris VI, 62p.
- Raemaekers R. (2001). *Agriculture en Afrique tropicale*. DGCI, Bruxelles, 611-637.
- Rondeux J. (1993). *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, 521p.
- Sénéchal J., Kabala M. & Fournier F. (1989). *Revue des connaissances sur le Mayumbe*. Ministère de la recherche scientifique et de l’environnement, République populaire du Congo. PNUD/Unesco, 341p.
- Stover R.H. & Simmonds N.W. (1987). *Bananas*. Longman, New York, 3^{ème} ed., 462p.
- Tshinkenke V. (1992). *Etablissement de tables de production du LIMBA (Terminalia superba ENGL. & DIELS) en plantation dans le Haut-Zaïre*. Mémoire de M.Sc., Univ. Laval, Québec, 68p.
- Tutula P. (1968). *L’enrichissement de la forêt de Mayumbe en Terminalia superba Engl. & Diels par le système sylvo-bananier*. Mémoire de fin d’étude, Univ. de Kinshasa, RDC, 75p.
- USDA (1951). *Soil Survey Manual*. U.S. Dept. Agriculture, Handbook **18**, Washington D.C., 503p.
- Vandermeer J., van Noordwijk M., Anderson J. & Perfecto I. (1998). Global change and multi-species agroecosystems: concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **67**, 1-22.
- Vangu Lutete L.M. & Mabiála-ma-Khete J. (1982). *Résultats de l’inventaire d’aménagement forestier du Bas-fleuve (Région du Bas-Zaïre), Document 2*. République du Zaïre,

Département de l'environnement, conservation de la nature et du tourisme, SPIAF, Kinshasa, 132p.

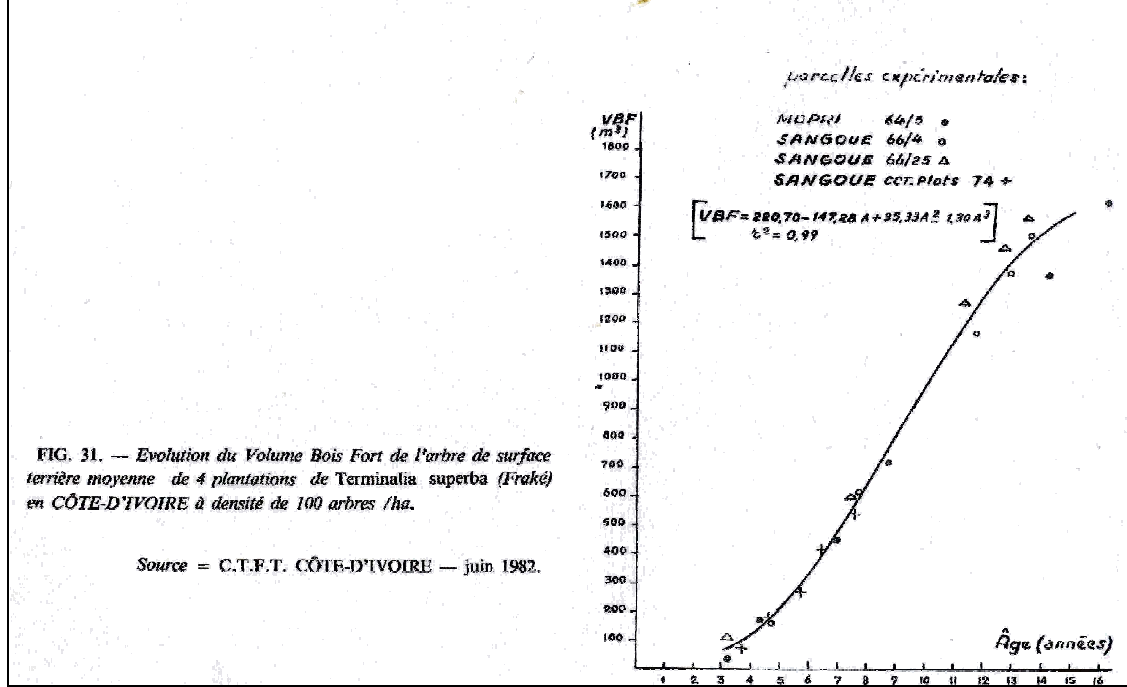
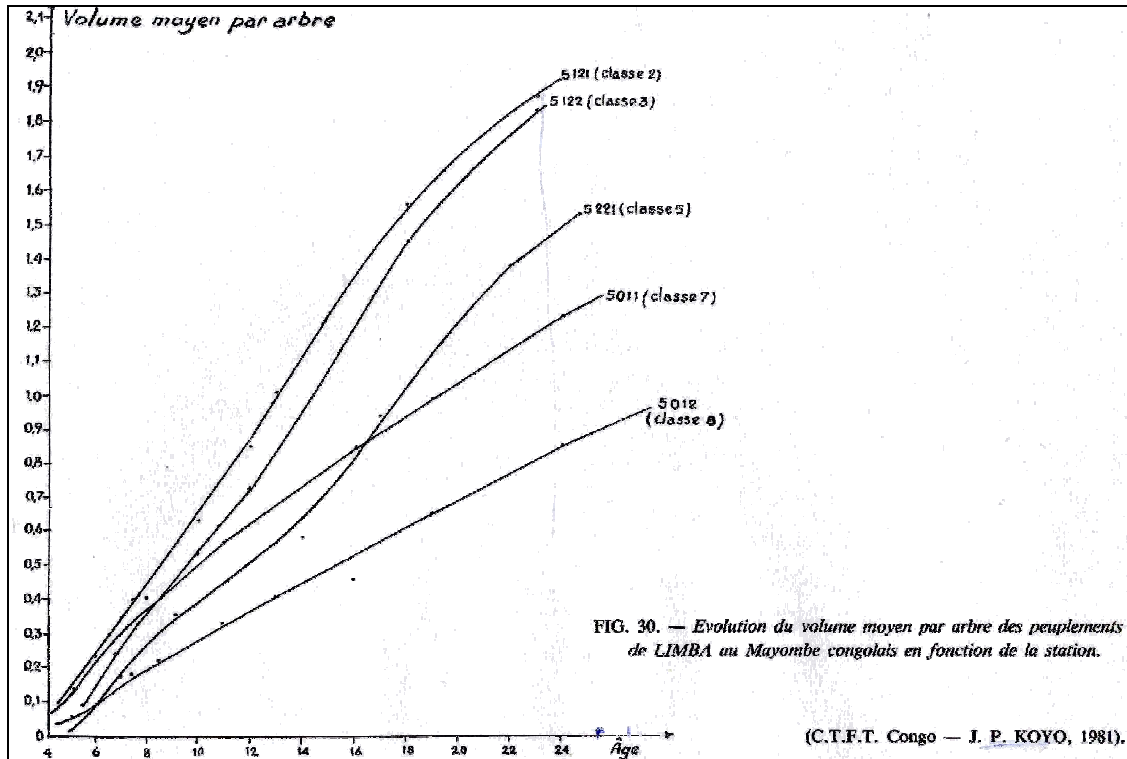
Wagemans J. & Maudoux E. (1961) *Contribution à l'étude des problèmes du reboisement et de la conservation du sol : Aménagement des forêts denses par la méthode sylvo-agricole à base de plantations de bananiers (expérience de Luki et du Mayumbe)*. INEAC, Bruxelles, 35p.

Wilten W. (1955). Aspects de la Sylviculture au Mayumbe. *Bulletin agricole du Congo Belge* **XLVI** (2), 319-328.

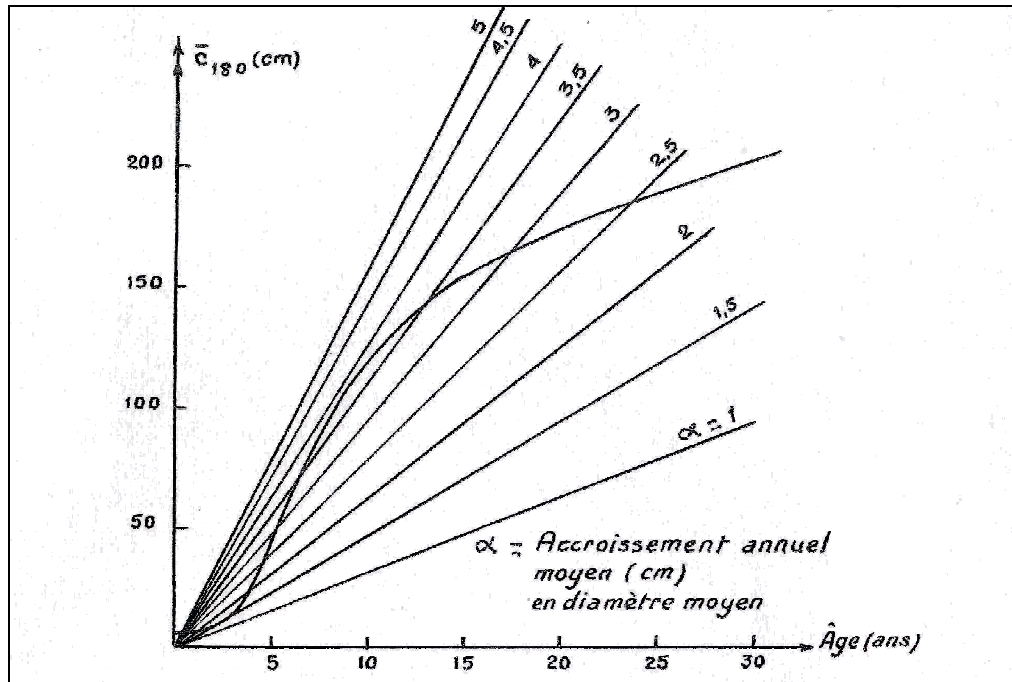
Annexes :

Annexe 1 :	83
Annexe 2:	84
Annexe 3 :	85
Annexe 4:	86
Annexe 5 :	87
Annexe 6 :	88
Annexe 6 (suite) :	89
Annexe 7 :	90
Annexe 7 (suite)	91
Annexe 8 :	92
Annexe 9 :	94
Annexe 10 :	95
Annexe 11	97

Annexe 1 : Evolution du volume moyen par arbre des peuplements de limba au Mayombe congolais en fonction de la station, et évolution du Bois Fort de l'arbre de surface terrière moyenne de 4 plantations de limba en Côte d'Ivoire à densité de 100 arbres/ha (Source : Groulez et Wood, 1984)

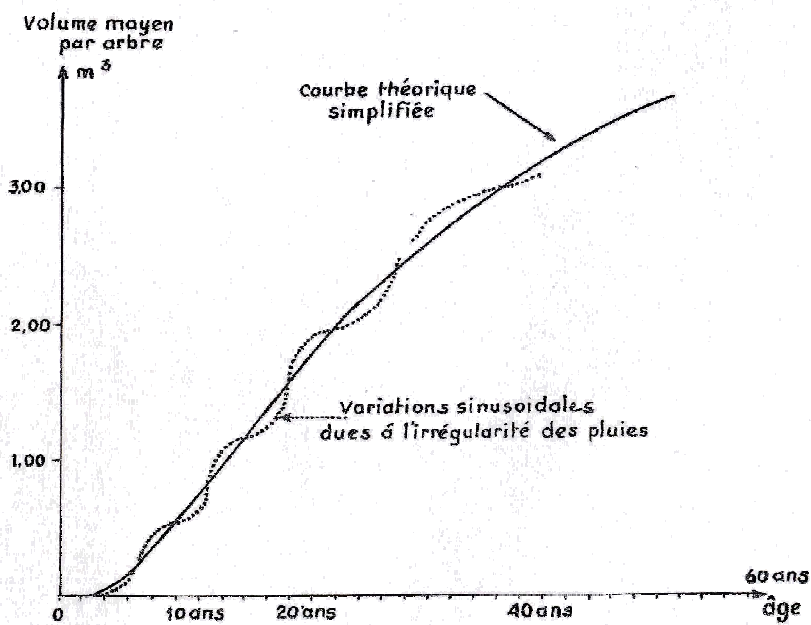


Annexe 2: Evolution de la circonférence moyenne d'un peuplement artificiel de limba (Mayumbe) et schéma théorique de l'accroissement en volume moyen par arbre (Mayumbe) (Source : Groulez, 1984)



Origine : C.T.F.T. Congo, 1974.

FIG. 28. — Evolution de la circonférence moyenne d'un peuplement artificiel de LIMBA au CONGO (Mayombe).



(Extrait des archives du C.T.F.T. Congo). Cf. Bibliographie n° 48.

FIG. 29. — Schéma théorique de l'accroissement en volume moyen par arbre d'un peuplement artificiel de LIMBA (Mayombe).

Annexe 3 : Tableau synthétique sur les accroissements moyens du limba de peuplements artificiels dans différents pays d'Afrique centrale (Groulez et Wood, 1984).

Pays	Age (année)	Densité	Diam. moy. (cm)	HT moy. (m)	a.a.m en diam(cm)	a.a.m en HT (m)
R.p.Congo (Mayumbe)	5	67			3.5	
	5.5	99			3.9	
	5.5	85			4	
	6.5	119			5.5	
	6.5	105			2.9	
	19	640 puis 76			1.3	
Ghana	13		29.6	25.6	2.28	1.96
Nigeria	6			11.3		1.9
	21		31.8	28	1.52	1.33
Sierra Leone	12				3	
Cameroun	10				1.8	1.2
RDC (Mayom.)	8				2.55	
RDC (Kasaï)	5				2.67	2
RDC (Equateur)	6				2.6	2.33
	14				2	1.43

Annexe 4: Données météorologiques à Bilala de juillet 1987 à juin 1992 (Source : Dagba, 1994)

Fig.1: Données météorologiques à Bilala de Juillet 1987 à Juin 1992

fig. 1a: Courbe ombro-thermique à ciel ouvert

Δ = P = Pluviométrie (mm)
 + = T = Temp. moyenne ($^{\circ}\text{C}$ et 1/10)
 [hatched box] Saison pluvieuse [diagonal lines] saison sèche

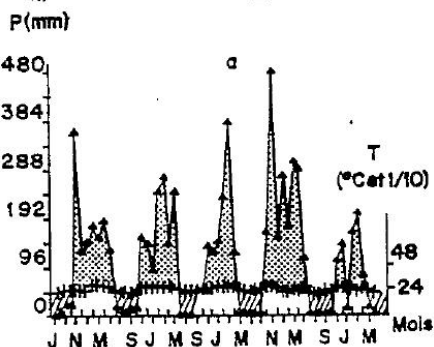


fig. 1b: Rayonnement solaire globale à ciel ouvert et en sous bois

Δ = Ciel ouvert
 + = Sous bois

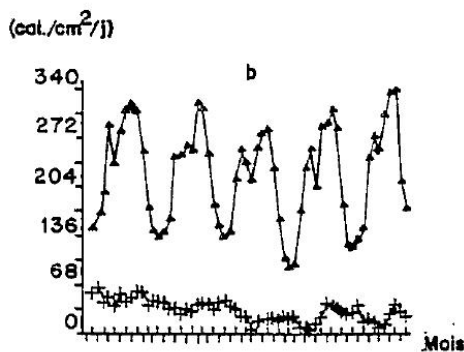


fig. 1c: Maxima et minima de l'humidité relative de l'air à ciel ouvert et en sous bois

Δ = maxima à Ciel ouvert; + = maxima en sous bois
 O = Minima à ciel ouvert; \square = minima en sous bois

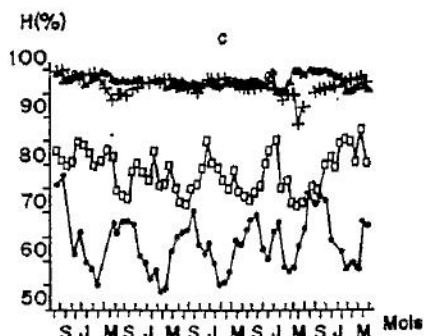


fig. 1d: Humidité relative moyenne de l'air à ciel ouvert et en sous bois

Δ = Ciel ouvert
 + = Sous bois

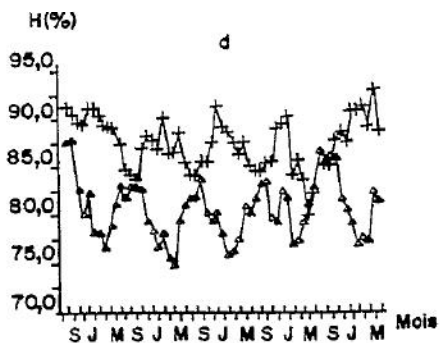


fig. 1e: Moyenne mensuelle de température ($^{\circ}\text{C}$) à ciel ouvert et en sous bois

Δ = Ciel ouvert ; + = Sous bois

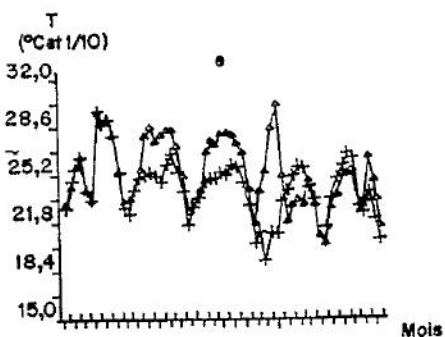
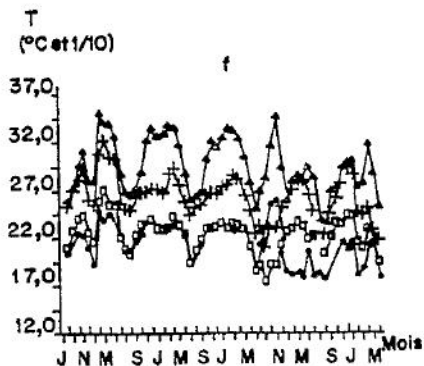
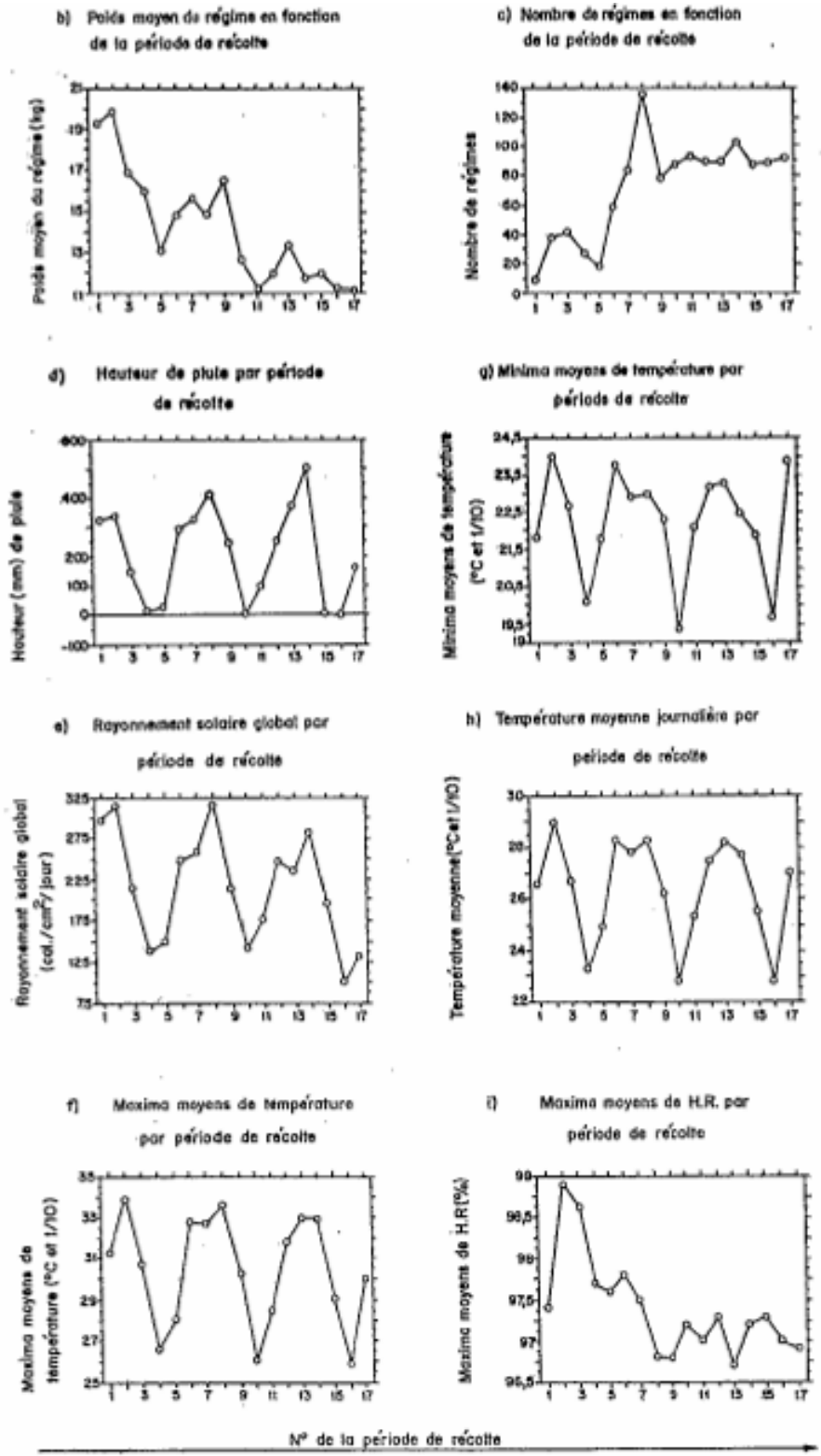


fig. 1f: Maxima et minima mensuels de température ($^{\circ}\text{C}$) à ciel ouvert et en sous bois

Δ = maxima à Ciel ouvert; + = maxima en sous bois
 O = Minima à ciel ouvert; \square = minima en sous bois



Annexe 5 : Evolution du poids moyen d'un régime dans le temps en fonction de la période de récolte et du nombre de cycles du bananier (Dagba, 1992)



Annexe 6 : Tableau synthétique du pré-inventaire sur la densité des bananiers et des arbres et Schéma du dispositif 1.

Hectares	Bananiers		Limbas		Autres essences		Total arbres	
	0,75 ha	1 ha	0,75 ha	1 ha	0,75 ha	1 ha	0,75 ha	1 ha
H1	207	301					29	57
H2	188	251					38	50
H3	95	126					57	75
H4	144	192	22	44				0
H5	107	143					39	52
H6	78	103					59	79
H7	165	219					50	100
H8	165	220					29	39
H9	110	146					66	88
H10	99	144					56	75
H11	74	118					75	120
H12	166	241	14	37	30	21	44	59
H13	187	249					71	94
H14	192	256					52	69
H15	145	193					74	99
H16	155	206					77	102
H17	141	188					39	51
H18	126	167					68	90
H19	181	241					54	71
H20	98	131					58	77
H21	145	193					73	97
H22	102	135	5	7	69	91	74	98
H23	102	148			69	92	69	92
H24	112	149	7	9	88	117	95	126
H25	70	93	9	14	82	107	91	121
H26	84	112	14	19	59	79	73	97
H27	37	49	13	21	73	93	86	114
H28	55	73	26	35	68	91	94	125
H29	78	103	20	36	62	74	82	109
H30	59	78	11	15	58	77	69	91
H31	20	31		0	87	139	87	139
H32	69	91	12	16	94	125	106	141
H33	55	88		0	65	103	65	103
H34	65	86	35	47	53	70	88	117
H35	175	233	31	49	38	42	68	91
H36	45	60	55	73	73	97	128	170
H37	80	107	42	66	72	84	113	151
H38	51	68	45	60	60	80	105	140
H39	72	96	47	75	43	44	90	119

Annexe 6 (suite) :

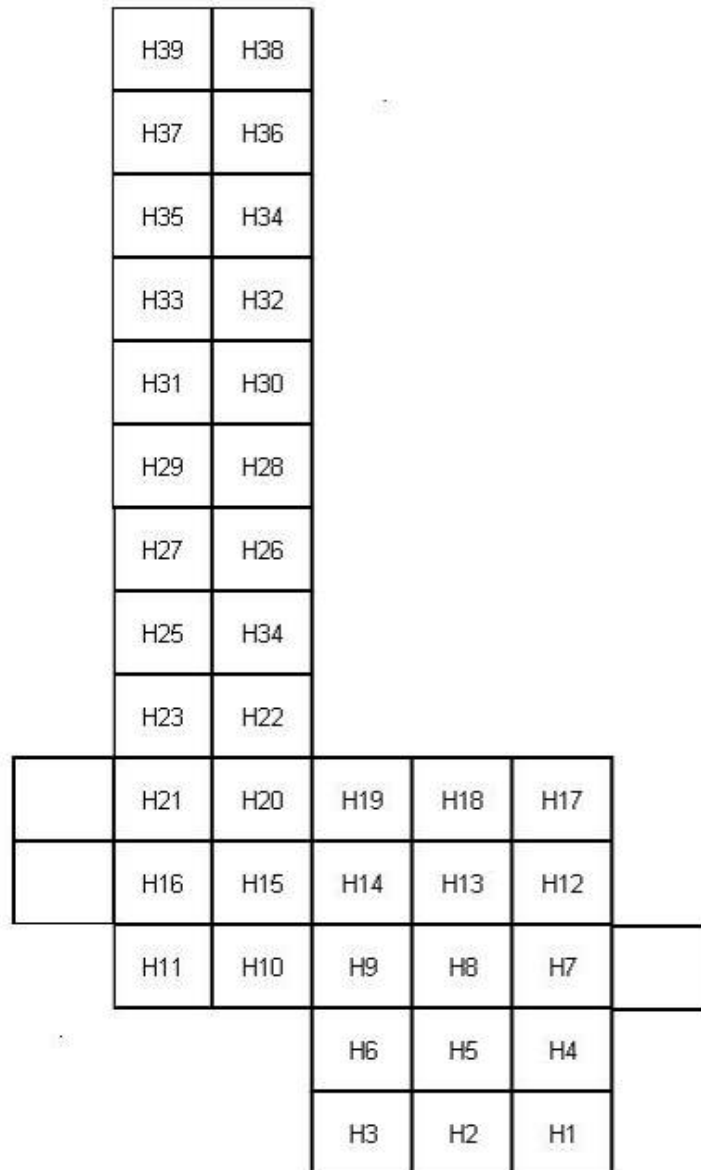


Figure 30 : Schéma du dispositif 1

Annexe 7 : Tests statistiques sur différents paramètres utilisés pour la description dendrométrique.

Tableau 16 : Analyse de la variance des circonférences de chaque parcelle (6) des plantations de limbas à haute densité par le logiciel MINITAB.

General Linear Model: CHP versus Parcelle

Factor	Type	Levels	Values
Parcelle	random	6	PL1; PL5; PL6; PL7; PL8; PL9

Analysis of Variance for CHP, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Parcelle	5	13740	13740	2748	0,96	0,443 Non significatif
Error	473	1356908	1356908	2869		
Total	478	1370649				

S = 53,5605 R-Sq = 1,00% R-Sq(adj) = 0,00%

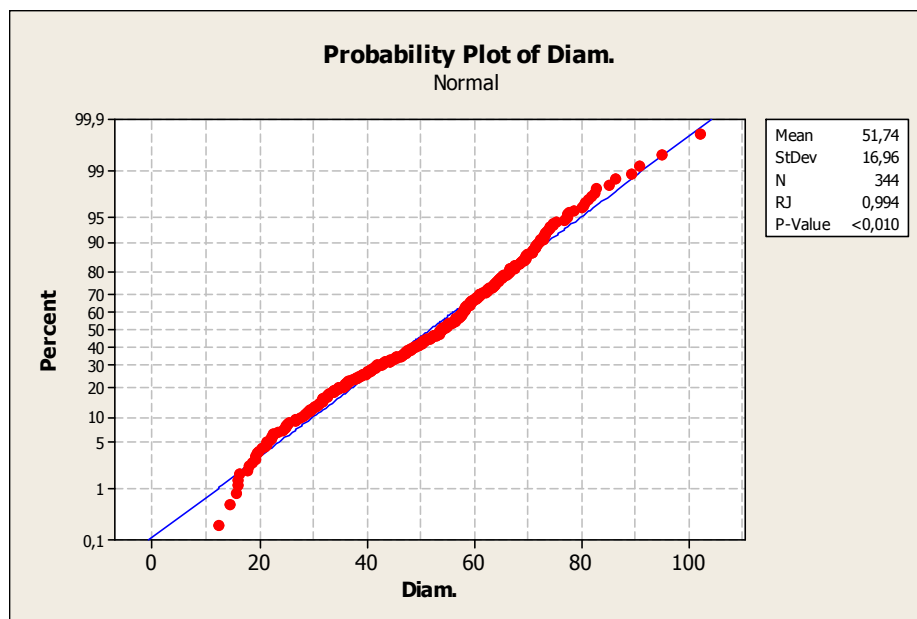


Figure 31 : Test de Normalité selon Ryan-Joiner de la distribution des diamètres du coupon 48-49.

Annexe 7 (suite)

Tableau 17 : Détermination de l'équation de régression liant la hauteur totale (HT) aux variables diamètre (Diam), logarithme du diamètre (ln Diam) et Diamètre au carré (Diam²), par la méthode « Stepwise » du logiciel MINITAB.

Stepwise Regression: HT versus Diam.; ln diam; diam ²	
Alpha-to-Enter: 0,05 Alpha-to-Remove: 0,05	
Response is HT on 3 predictors, with N = 103	
Step	1
Constant	-44,29
ln diam	23,3
T-Value	13,76
P-Value	0,000
S	5,99
R-Sq	65,20
R-Sq(adj)	64,86
Mallows Cp	1,2

Tableau 18 : Test de signification des paramètres de la régression:

$$D_{H/2} = 0.7732D_{HP} + 0.2333$$

The regression equation is				
Diam H/2 = 0,23 + 0,773 Diam.				
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,233	1,707	0,14	0,892
Diam.	0,77322	0,02934	26,36	0,000
S = 4,50509 R-Sq = 88,5% R-Sq(adj) = 88,4%				

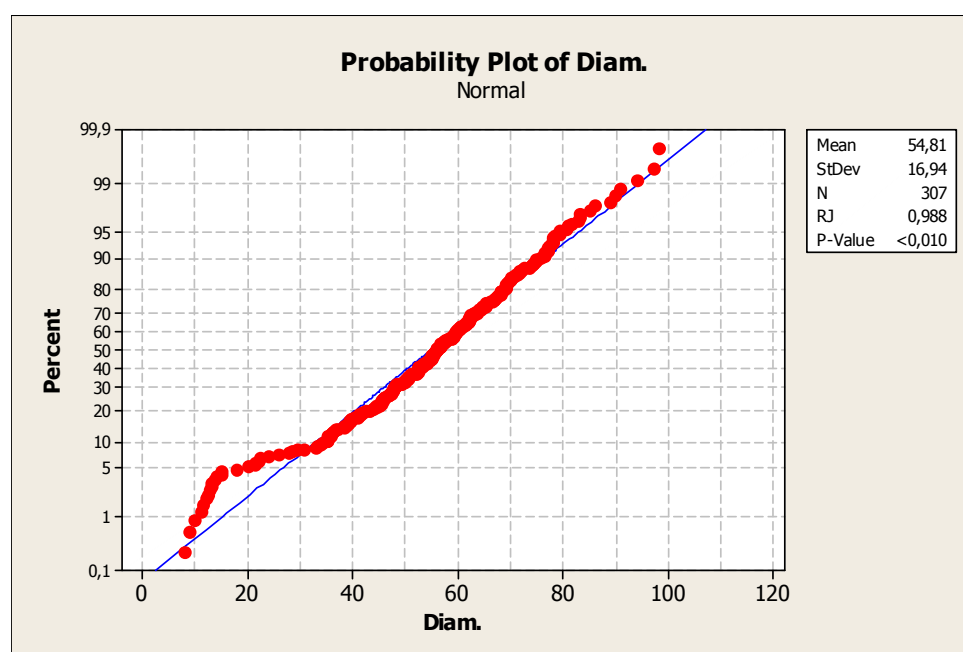


Figure 32 : Test de Normalité Ryan-Joiner de la distribution des diamètre des parcelles agroforestières.

Annexe 8 : Structure en circonférence et en hauteur des différentes bananeraies étudiées.

Les données proviennent des même placeaux que ceux exposés dans les résultats.

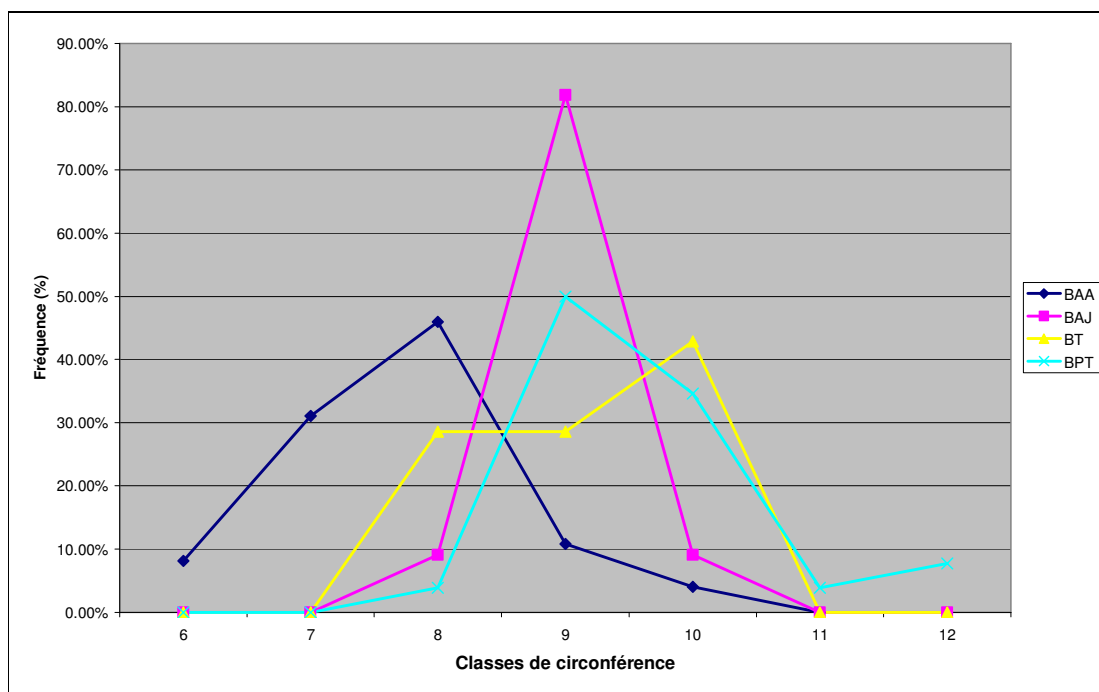


Figure 33 : Nombre relatif de bananiers par classe de circonférence pour les différentes catégories de bananeraies (Classe 6 = circonférence entre 60 et 69,9 cm, classe 7...)

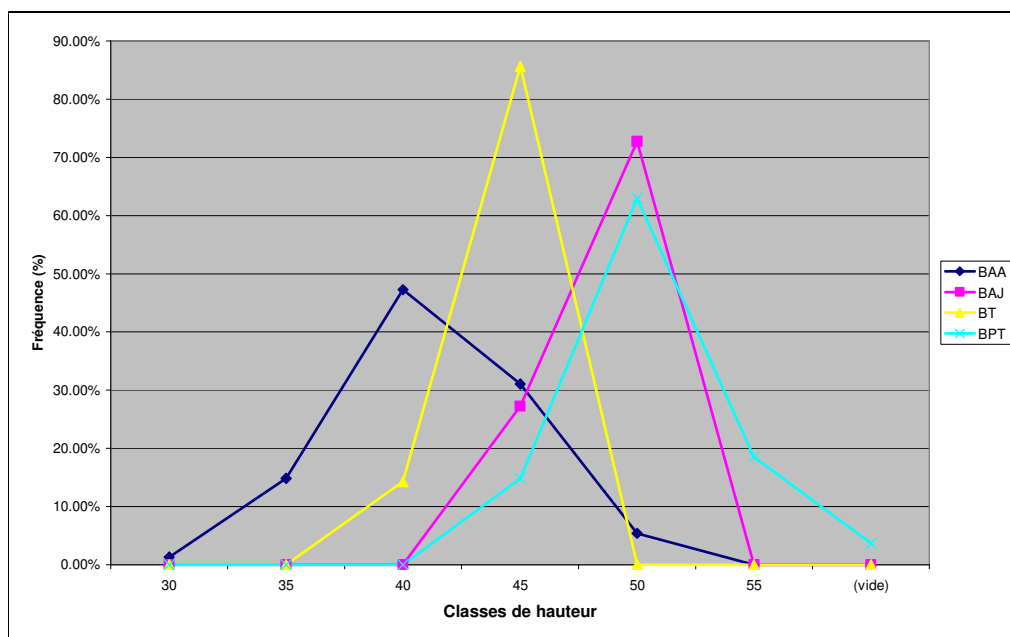


Figure 34 : Nombre relatif de bananiers par classe de hauteur pour les différentes catégories de bananeraies (Classe 30 = hauteur totale de 3 m à 3,49m, etc.)

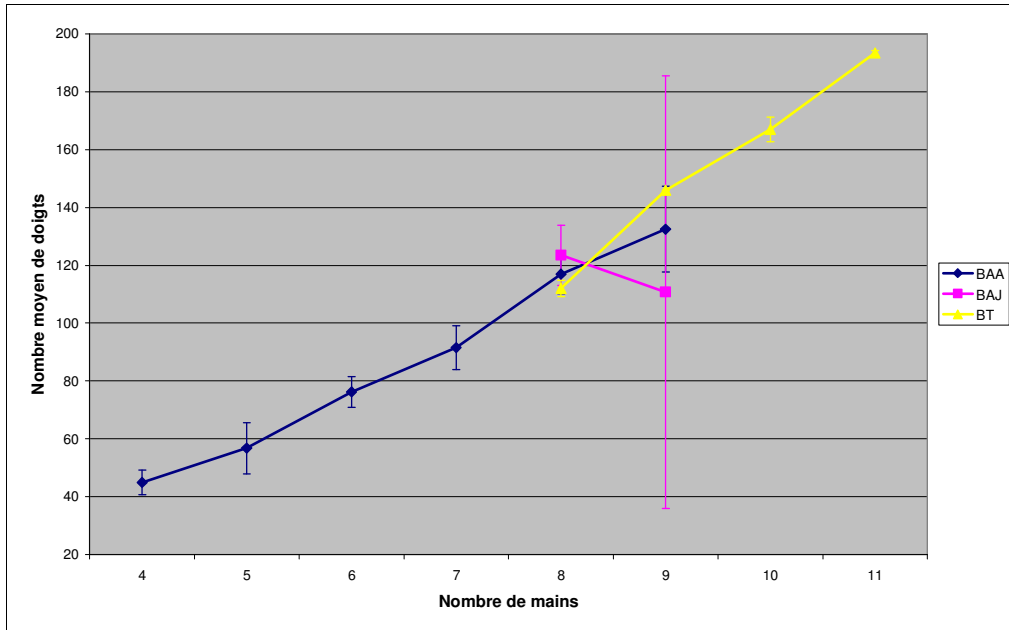


Figure 35 : Nombre moyen de doigts en fonction du nombre de mains par régime et selon le type de bananeraie.

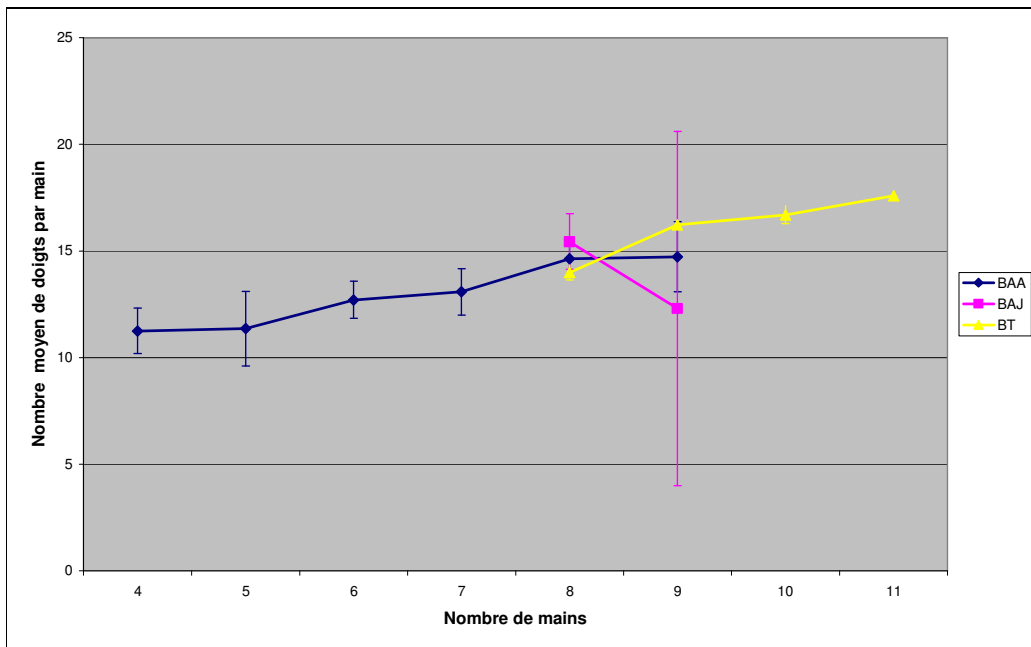


Figure 36 : Nombre moyen de doigts par main en fonction du nombre de mains par régime et selon le type de bananeraie.

Annexe 9 : Régressions entre différents caractères végétatifs des bananeraies agroforestières étudiées.

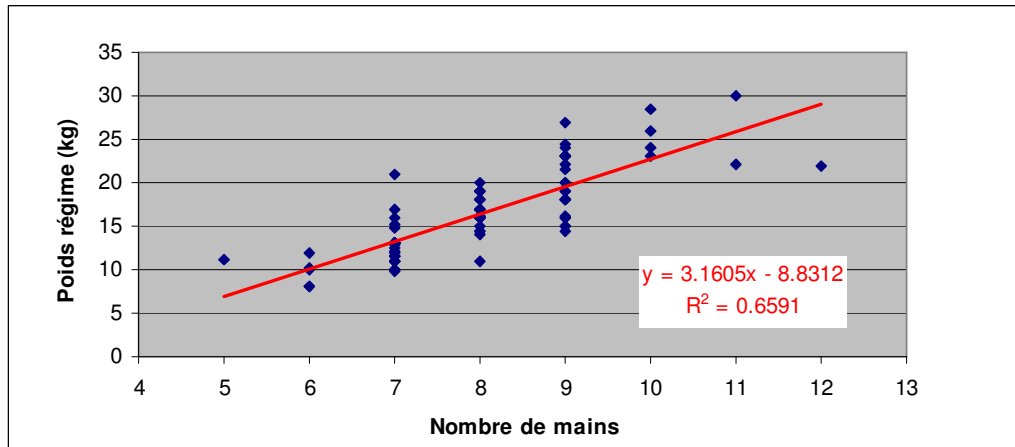


Figure 37 : Droite de régression entre le nombre de mains et le poids du régime de bananes.

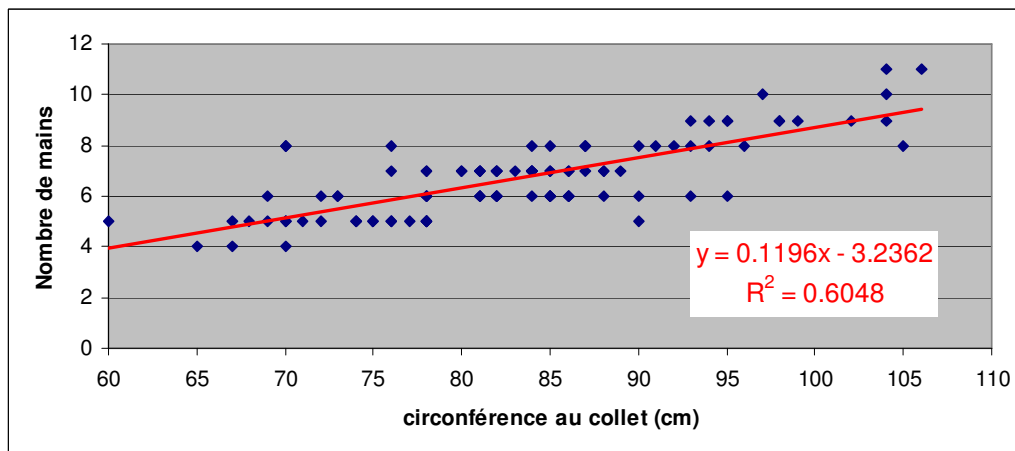


Figure 38 : Droite de régression entre la circonférence au collet et le nombre de mains.

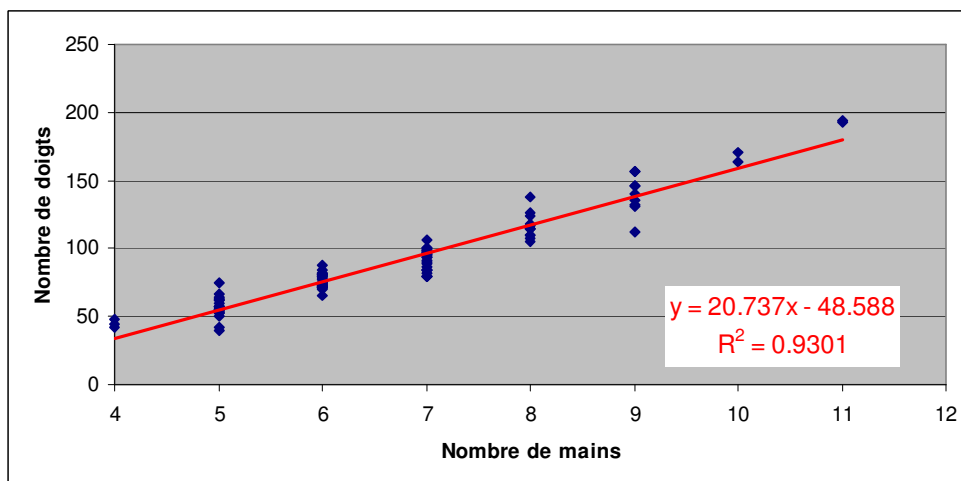


Figure 39 : Droite de régression entre le nombre de mains et le nombre de doigts.

Annexe 10 : Comparaison de différentes régressions sur les caractères végétatifs du ‘Gros Michel’ obtenues par plusieurs études dans différents pays.

Les équations de ces régressions proviennent de Champion (1967) et de Dagba (1992).

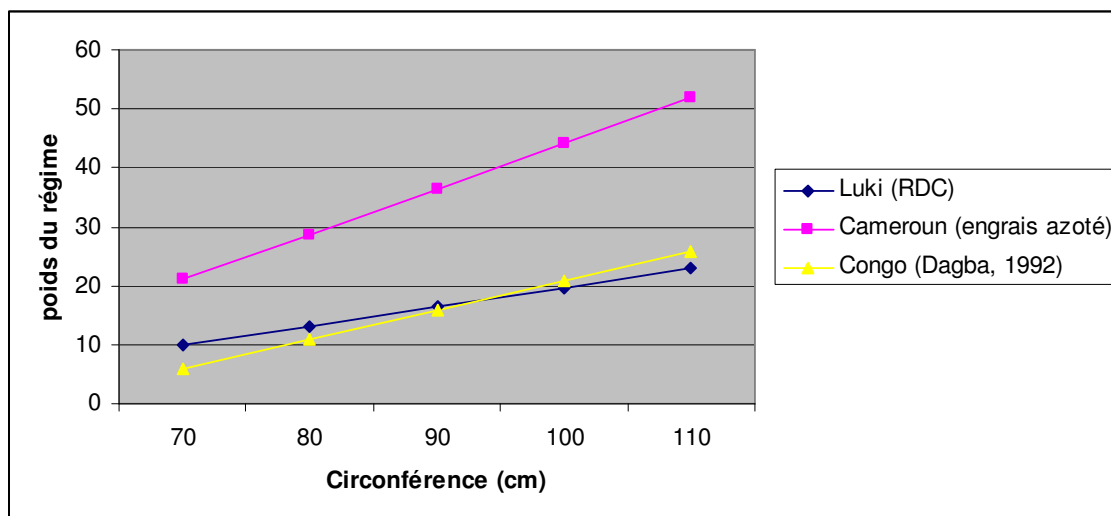


Figure 40 : Evolution du poids des régimes en fonction de la circonférence au collet dans différents pays et sous différentes conditions de cultures.

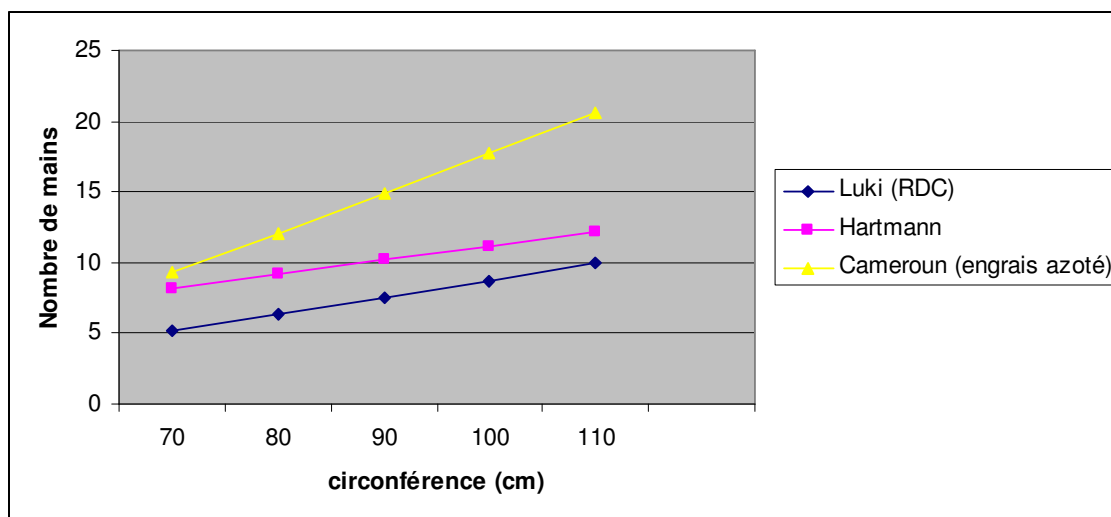


Figure 41 : Evolution du nombre de mains en fonction de la circonférence au collet dans différents pays et sous différentes conditions de cultures.

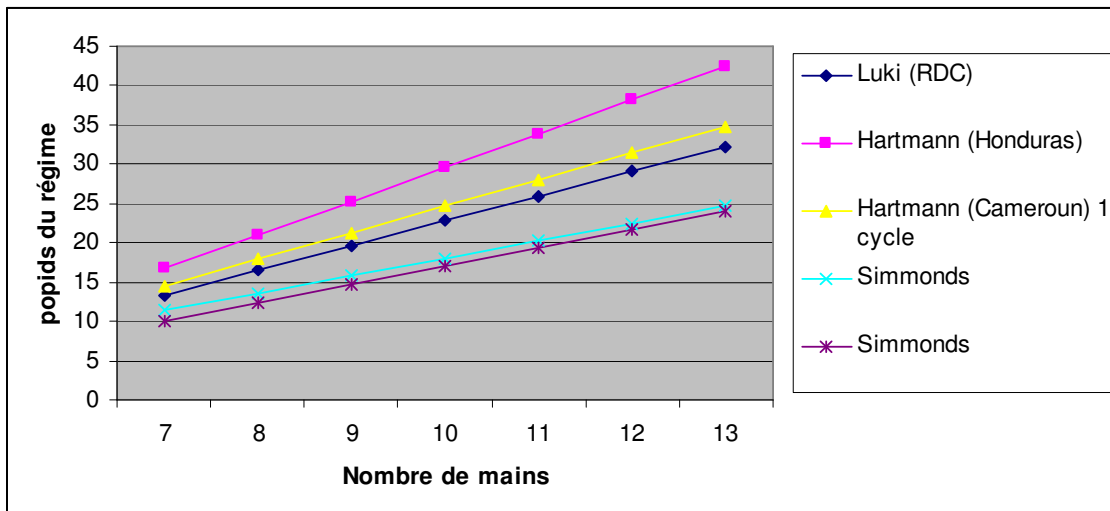


Figure 42 : Evolution du poids des régimes en fonction du nombre de mains dans différents pays et sous différentes conditions de cultures.

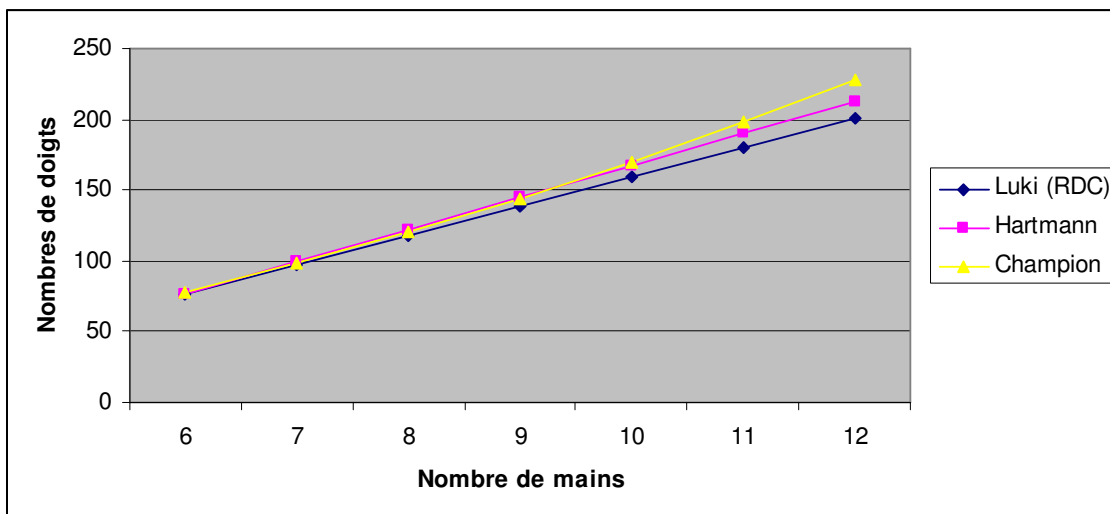


Figure 43 : Evolution du nombre de doigts en fonction du nombre de mains dans différents pays et sous différentes conditions de cultures.

Annexe 11 : Triangle textural (USDA, 1951)

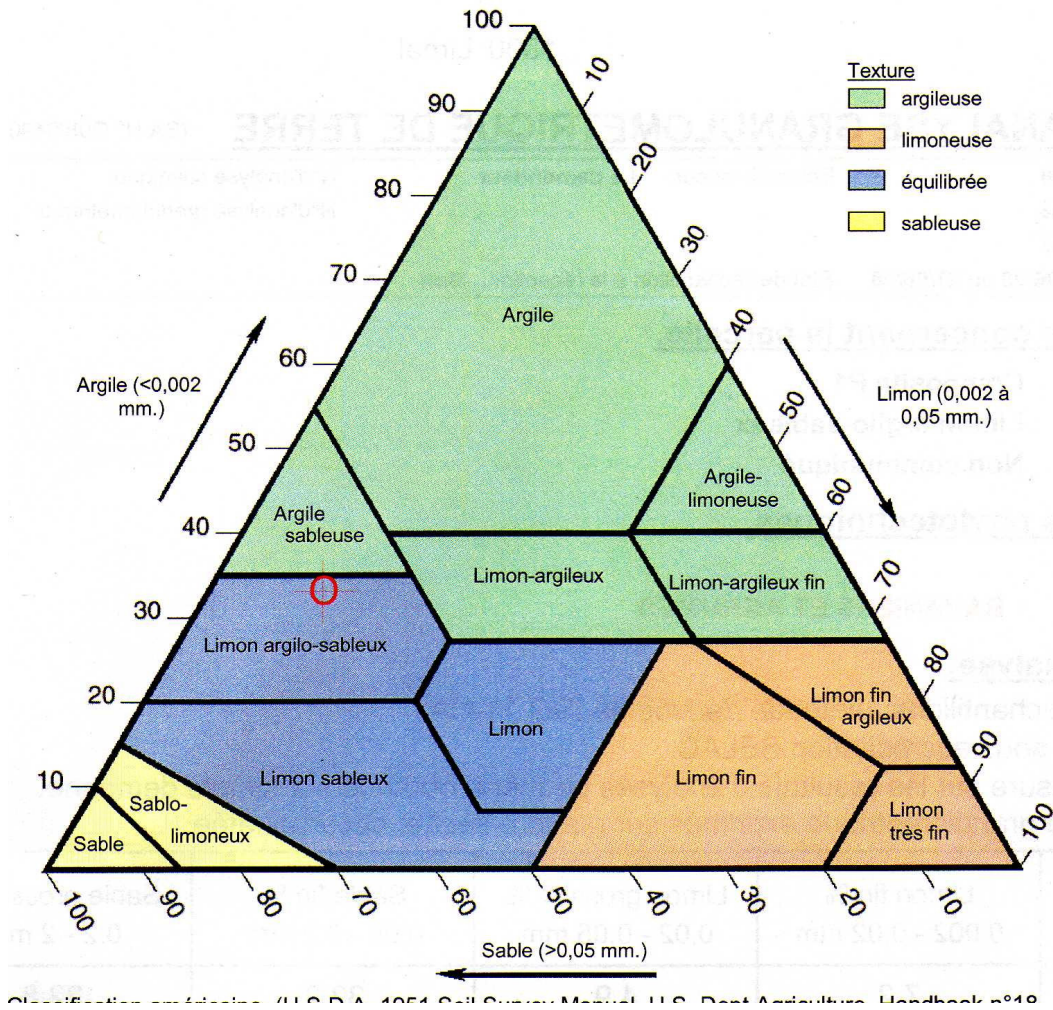


Figure 44 : Triangle textural (USDA, 1951).