

**ECOLOGIE, STRUCTURE ET  
DYNAMIQUE DES PLANTATIONS  
PRIVEES DE TECK (*TECTONA  
GRANDIS* L.F.) DU DEPARTEMENT  
DE L'ATLANTIQUE (SUD-BENIN)**



**Sèdami Igor Armand YEVIDE**



Université d'Abomey-Calavi

Faculté des Sciences Agronomiques

Aménagement et gestion des ressources naturelles



**ECOLOGIE, STRUCTURE ET DYNAMIQUE DES PLANTATIONS  
PRIVEES DE TECK (*TECTONA GRANDIS* L.F.) DU DEPARTEMENT  
DE L'ATLANTIQUE (SUD-BENIN)**



**Sèdami Igor Armand YEVIDE**

*Thèse de Doctorat unique en Sciences Agronomiques*

**Directeur de thèse : Dr Ir. Jean Cossi GANGLO**

**Maître de Conférences en Foresterie et Phytosociologie**

*14 Octobre 2011*

## **Pré-rapporteurs**

Prof. Jean Louis Devineau

CNRS Muséum National d'Histoire Naturelle – Département Hommes Natures Sociétés,  
Paris, France

Prof. Charles De Cannière

Université Libre de Bruxelles, Belgique

Prof. Kouami Kokou

Université de Lomé, Togo

Prof. Noël Fonton

Université d'Abomey-Calavi, Bénin

## **Composition du jury :**

**Président :** Prof. Sinsin A. Brice

Université d'Abomey-Calavi, Bénin

**Premier rapporteur :** Prof. Charles de Cannière

Université Libre de Bruxelles, Belgique

**Deuxième rapporteur :** Prof. Kouami Kokou

Université de Lomé, Togo

**Troisième rapporteur :** Prof. Noël Fonton

Université d'Abomey-Cali, Bénin

**Examineur :** Dr Azontondé Anastase (Maître de Recherches)

Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Bénin

**Directeur de thèse :** Prof. Jean C. Ganglo

Université d'Abomey-Calavi

*A mon épouse Aubierge Joelle et au fruit de notre union Yanis-Farel,*

*Je vous aime.*

## Remerciements

La présente thèse est le fruit de longues années de labeur, de péripéties, de bonheur et d'expérience inestimables. Pendant ces années, nous avons sans cesse bénéficié du soutien, des sages conseils et de la proximité de nombreuses personnes et d'Institutions que nous souhaiterions remercier ici :

Mes premiers mots de remerciement vont à l'endroit de mon directeur de thèse, le Professeur Jean Cossi GANGLO qui, très tôt, m'a initié avec toute la minutie possible à la recherche et, tout au long de la thèse, n'a ménagé aucun effort pour suivre mes travaux et apporter des solutions adéquates à mes préoccupations. Professeur, vous m'avez appris à faire mes premiers pas dans la recherche et à franchir les différents obstacles qui se sont dressés sur mon chemin. Votre rigueur scientifique, votre dynamisme et votre amour du travail bien fait, ont été pour moi une fontaine d'inspiration, de consolation et de détermination. Ils m'ont enseigné et réaffirmé que le succès est le couronnement qui se situe à l'aval des efforts. Je vous dis un sincère merci et que l'Eternel dans sa bonté vous bénisse et vous comble au-delà de vos attentes !

Mes sincères remerciements vont aussi à l'endroit du Professeur Charles DE CANNIERE de l'Université Libre de Bruxelles pour toute son aide précieuse tout au long de ma thèse. Je le remercie particulièrement pour son aide au cours de mes séjours dans son Laboratoire à l'Université Libre de Bruxelles en Belgique. J'en ai gardé de bons souvenirs.

Je remercie tous mes pré-rapporteurs de thèse (Professeurs Charles DE CANNIERE, Kouami KOKOU, Noël FONTON, Jean-Louis DEVINEAU) pour leur objectivité et leur contribution appréciable à la qualité du travail.

Je tiens à remercier très sincèrement le Professeur AWANOU Cossi Norbert, Recteur de l'Université d'Abomey-Calavi pour le suivi du projet PIC.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit du Professeur Jean T. Claude CODJIA, Doyen de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi pour le suivi du projet PIC.

Je remercie les Honorables membres du jury (Professeurs Brice SINSIN, Charles DE CANNIERE, Kouami KOKOU, Noël FONTON, Anastase H. AZONTONDE, Jean Cossi GANGLO) pour le précieux temps sacrifié à l'évaluation de ma thèse.

Je remercie tout aussi chaleureusement tous les autres partenaires du Projet Interuniversitaire ciblé sur la filière teck au Bénin dans lequel j'ai conduit mes recherches: Professeur Brice SINSIN, Professeur Noël FONTON, Dr. Anselme ADEGBIDI, Professeur Jan BOGAERT, Professeur Jean LEJOLY, Professeur Philippe LEJEUNE et Professeur Philippe LEBAILLY.

Je remercie aussi mes collègues doctorants Augustin AOUDJI, Gilbert ATINDOGBE et Mireille TOYI pour leur convivialité et les échanges fructueux que nous avons eus tout au long de notre cheminement. Je n'oublie aucun membre du projet PIC.

Mes sincères remerciements vont aussi à la Commission Universitaire pour le Développement (CUD) et à son staff pour le financement de mes travaux.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit du personnel du centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD-Forêt) spécialement messieurs Henri-Felix MAITRE, Dominique LOUPPE et Jean-Fançois TREBUCHON.

Mes sincères remerciements à mes parents Sébastien YEVIDE et Félicité KPADONOU ; mes beaux parents Joseph FLENON et Agnès ALAYE ; mes frères (Jean-Luc, Martin et Rodrigue) et mon beau frère (Jocelyn) ; mes sœurs (Virginie, Chantal et Alice) et belles sœurs (Joyce, Janice et Judy) ; mes nièces (Grâce et Myriame) et neveux (Manuéli et Prince) pour la joie de vivre qu'ils m'ont apportée et qu'ils continuent de m'apporter.

Mes remerciements aux élus locaux et aux paysans du département de l'Atlantique pour leur intérêt et leur participation à la conduite effective des travaux de recherche en milieu réel.

Mes remerciements à toutes les personnes qui ont participé aux collectes de données notamment Roméo GBAGUIDI et Mariano ZANNOU pour leur sérieux dans la collecte des données.

Je tiens enfin à dire un sincère merci à toutes les personnes qui d'une façon ou d'une autre ont participé à l'aboutissement de cette thèse.



## Résumé

Notre étude s'est déroulée dans le département de l'Atlantique (6°18' à 6°58' de latitude Nord et 1°56' à 2°30' de longitude Est). Ses objectifs ont été de caractériser les méthodes traditionnelles de sylviculture utilisées dans les teckeraies privées par les paysans planteurs et de cerner les relations entre les communautés végétales (phytocénoses) de sous-bois, les facteurs écologiques et la vigueur des plantations, en vue d'apporter une contribution conséquente à la gestion durable des teckeraies privées gérées en régime de taillis. Pour atteindre ces objectifs, nous avons fait des études phytosociologiques suivant l'approche synusiale intégrée pour identifier et décrire les communautés végétales de sous-bois. Nous avons mis en place un réseau de 321 placettes permanentes d'un are chacune aux endroits représentatifs des plantations. Elles ont été régulièrement inventoriées suivant une périodicité de six mois. Les paramètres mesurés sont le diamètre à 1,3 m du sol et la hauteur. L'effet de la densité, de l'âge des rejets et des phytocénoses sur la vigueur des teckeraies a été étudié sur la base d'un essai factoriel à trois facteurs (phytocénose, âge des rejets de souche et nombre de rejets par souche). Des principaux acquis, nous pouvons retenir que les plantations de teck du département de l'Atlantique couvrent environ 2700 ha et que la plupart d'entre elles (81%) ont une superficie inférieure à 1 ha. Le nombre de plantations recensées s'élève à 3413 pour 2495 paysans planteurs. Les paysans pratiquent des coupes de type jardinatoire qui ne favorisent pas la production de bois de grande qualité. Des rejets en nombre élevé (au moins 3) sont laissés par souche. Une corrélation positive a été notée entre la teneur en limon des 30 premiers cm du sol et les paramètres dendrométriques des plantations tels que le diamètre quadratique moyen, la hauteur moyenne et la surface terrière moyenne. L'accroissement du teck diminue avec l'âge (3,31 à 1,20 cm/an pour le diamètre et 3,62 à 1,66 m/an pour la hauteur) pour des plantations âgées de 1 à 5 ans. D'après les courbes de fertilité élaborées à partir de nos résultats de recherche, à 5 ans d'âge, le diamètre quadratique moyen des teckeraies varie entre 4,5 et 8,5 cm en fonction de la fertilité des stations. Les accroissements les plus élevés étant réalisés dans ces plantations déjà à 4 ans, nous recommandons une rotation moyenne de 5 ans pour la production de petites à moyennes perches. Il est aussi possible de produire de grosses perches valorisables comme supports des lignes électriques ou téléphoniques. Dans cette optique, il faut utiliser les stations les plus productives et adopter une rotation de plus de 15 ans. Au total, 444 espèces de plantes appartenant à 315 genres répartis dans 95 familles ont été recensées dans le sous-bois des teckeraies soit, 15% de la flore du Bénin. Ces résultats ont mis en évidence l'intérêt des teckeraies dans la conservation de la diversité biologique. Dix huit phytocénoses ont été décrites dans les teckeraies. Le gradient d'acidité et, dans une moindre mesure, le taux de matière organique, sont les paramètres écologiques qui expliquent au mieux la mise en place des phytocénoses. Les relations entre les phytocénoses et la vigueur des plantations ont permis de comprendre que les phytocénoses à *Chromolaena odorata* et *Panicum maximum*; à *Dichapetalum madagascariense* et *Cnestis ferruginea* et à *Mallotus oppositifolius* et *Macrosphyra longistyla* indiquent les stations les plus favorables au teck.

**Mots clés:** Teckeraies privées, Phytocénoses de sous-bois, caractéristiques structurales et écologiques, modèle de croissance, Département de l'Atlantique, Bénin.



## Abstract

Our study was carried out in the Department of Atlantic (6°18' to 6°58' of North latitude and 1°56' to 2°30' of East longitude). The objectives were to describe the traditional silvicultural practices of peasant planters and understand the relationships between undergrowth plant communities, ecological factors and plantation vigor so as to contribute to the sustainable management of coppice private teak plantations of Benin. To achieve these objectives, we used the synusial approach to phytosociology to identify and describe the undergrowth plant communities. A total of 321 permanent plots of 100 m<sup>2</sup> each were set up at representative points of the plantations. The permanent plots were assessed every six months. Diameter at breast height (1.30 m above ground) and the height of the trees were measured. The effects of age, plantation density and plant communities on the vigor of plantations were studied on the basis of a factorial design where 3 factors were considered (age of shoots, number of shoots per stump and undergrowth plant communities). From the main results, we noted that private teak plantations of the department of Atlantic covered about 2700 ha and most of them (81%) covered less than 1 ha. The total number of plantations assessed was 3413 and belonged to 2495 peasant planters. Silvicultural practices of peasant planters were characterized by irregular cuttings of large trees and did not favor the production of wood of good quality. A high number (more than 3) of shoots were recorded per stump. A positive correlation were noted between soil silt content of the first 30 cm soil depth and dendrometric parameters such as mean quadratic diameter, mean height and mean basal area. The mean annual increments of teak decreased with age (3.31 to 1.20 cm in diameter and 3.62 to 1.66 m in height) in plantations of 1 to 5 year-old. According to the site index curves we elaborated for the private teak plantations of the study area, at 5 year-old, the mean quadratic diameter varied between 4.5 and 8.5 cm according to site fertility. As the highest increments of the plantations were achieved before 5 years, we recommended a mean of 5 years for the cutting rotations to achieve the production of poles of small and mean sizes. The production of largest poles (supports of electricity and telephone cables) is possible through long rotations of about 15 years long on more fertile soils. A total of 444 plants species belonging to 315 genera and 95 families were assessed in the undergrowth vegetation of private teak plantations. This represents 15% of the flora of Benin and highlights the importance of teak plantations for biodiversity conservation. Eighteen undergrowth plant communities were described in the teak plantations. Acidity gradient and, to less extent, the rate of organic matter of the soils are the most reliable factors that controlled the development of undergrowth plant communities. The relationships between undergrowth plant communities and the silvicultural performances of teak plantations helped understand that the plant communities of *Chromolaena odorata* and *Panicum maximum*, *Dichapetalum madagascariense* and *Cnestis ferruginea*, and that of *Mallotus oppositifolius* and *Macrosphyra longistyla* were indicators of the most productive soils for teak plantations.

**Key-words:** Private teak plantations, undergrowth plant communities, structural and ecological characteristics, growth model, department of Atlantic, Benin.



# SOMMAIRE

<b>Chapitre I. INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>2</b>
<b>Chapitre II. CARACTERISATION DU POTENTIEL ET DE LA SYLVICULTURE TRADITIONNELLE DES TECKERAIES PRIVEES DU DEPARTEMENT DE L'ATLANTIQUE (SUD BENIN).....</b>	<b>15</b>
<b>Chapitre III. CARACTERISTIQUES STRUCTURELLES ET ECOLOGIQUES DES PHYTOCENOSSES DE SOUS-BOIS DES PLANTATIONS PRIVEES DE TECK DU DEPARTEMENT DE L'ATLANTIQUE (SUD-BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST) .....</b>	<b>26</b>
<b>Chapitre IV. DENDROMETRIC CHARACTERISTICS OF PRIVATE TEAK PLANTATIONS (TECTONA GRANDIS L. F.) WITH REGARDS TO ECOLOGICAL PARAMETERS AND UNDERGROWTH PLANT-COMMUNITIES IN THE TOWNSHIP OF TORI-BOSSITO (BENIN, WEST AFRICA).....</b>	<b>52</b>
<b>Chapitre V. EFFET DE LA DENSITE, DE L'AGE ET DES GROUPEMENTS VEGETAUX DE SOUS-BOIS SUR LA VIGUEUR DES PLANTATIONS PRIVEES DE TECK (TECTONA GRANDIS L.F.) GERES EN REGIME DE TAILLIS AU SUD-BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST) .....</b>	<b>69</b>
<b>Chapitre VI. GROWTH MODELING IN COPPICE TEAK STANDS IN BENIN (WEST AFRICA) .....</b>	<b>86</b>
<b>Chapitre VII. DISCUSSION GÉNÉRALE, CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>99</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>111</b>

# Chapitre I.

## INTRODUCTION GENERALE

---

# Chapitre I. INTRODUCTION GENERALE

## I. 1. Situation des forêts naturelles et plantées dans le monde et services écosystémiques des forêts

L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO, 2005) définit la forêt comme une terre avec un couvert arboré supérieur à 10% et d'une superficie supérieure à 0,5 ha avec des arbres capables d'atteindre une hauteur minimale de 5 m à maturité *in situ*.

La couverture forestière mondiale est estimée en 2010 à un peu plus de 4 milliards d'hectares (4 033 060 000 ha) soit 31% de la superficie des terres émergées (FAO, 2010). De par le monde, la superficie des plantations forestières est d'environ 264000000 soit 7% de la superficie totale des forêts (FAO, 2010 ; FAO, 2011). Il n'est point à démontrer que les forêts y compris les arbres hors forêts contribuent à modérer les systèmes pédologiques, hydrologiques et aquatiques, de même qu'à maintenir l'eau propre et à réduire les risques et l'impact des inondations, des avalanches, de l'érosion et de la sécheresse (Locatelli, 2002 ; FAO, 2009). Les fonctions protectrices des ressources forestières facilitent aussi la conservation des écosystèmes et sont bénéfiques pour l'agriculture et les moyens ruraux d'existence. De plus, les ressources forestières contribuent à l'économie globale de plusieurs manières, notamment par la création d'emplois et de valeur ajoutée grâce à la transformation et à la commercialisation des produits forestiers, la production d'énergie, le commerce et l'investissement dans le secteur forestier. Les forêts abritent et protègent aussi des sites et des paysages d'une haute valeur culturelle, spirituelle ou récréative. Les forêts sont enfin, la source d'approvisionnement alimentaire de nombre d'habitants sur la terre sans oublier sa fonction de production ligneuse et didactique (Blanc-Pamard, 2002 ; Langbour & Vernay, 2002 ; Roda, 2002 ; Girard *et al.*, 2003 ; Sales, 2003 ; Belem *et al.*, 2008 ; Da Silva *et al.*, 2008 ; Kouamé N'Dri & Gnahoua, 2008 ; Leciak & Bah, 2008 ; Da Silva *et al.*, 2008 ; Kouamé N'Dri & Gnahoua, 2008 ; Leciak & Bah, 2008 ; FAO, 2009).

Entre 2000 et 2010, le monde a perdu 1,3% de son couvert forestier total, ce qui représente une perte moyenne de 0,13% par an. L'Afrique, dont la couverture forestière durant la même période était de 674 419 000 ha soit 17% de la couverture mondiale, y a contribué pour plus de la moitié (FAO, 2010 ; FAO, 2011). L'agriculture, l'élevage, les feux de végétation et l'urbanisation sont les causes majeurs de la déforestation (Hinde *et al.*, 2001 ; Cuny & Sorg, 2003 ; Michon, 2003 ; Yeo *et al.*, 2011). Et même si la déforestation « n'est qu'une des expressions des changements de société, notamment dans les zones tropicales » (Dupuy, 2001) et qu'elle ne pourrait « s'étudier indépendamment des représentations et des systèmes de valeurs qui sous-tendent le rapport des sociétés à la forêt, ni en dehors des dynamiques sociales locales et régionales, ni encore en occultant la prise en compte des grands courants idéologiques sur l'espace, l'économie, les rapports Nord-Sud » (Michon *et al.*, 2003), il n'en demeure pas moins qu'elle participe au réchauffement planétaire et au déséquilibre des grands systèmes climatiques ([www.climatecrisis.net](http://www.climatecrisis.net) : *An Inconvenient truth*). Il se révèle donc inévitable de mener des actions pour freiner la déforestation en Afrique,

voire inverser cette tendance, comme elle l'est déjà dans certaines régions comme l'Europe, l'Asie et le Pacifique (FAO, 2007). La mise en place des plantations forestières est une réponse favorable pour la lutte contre la déforestation que nombre d'Etats et de privés donnent. Les paysans de plusieurs pays du monde reconvertissent déjà des terres en plantations ou en forêts domestiques (Maldonado & Louppe, 1999 ; Quenum, 2002 ; Ganglo & Yessoufou, 2003 ; Michon, 2003 ; Michon *et al.*, 2003 ; Verdeaux, 2003 ; Demenois *et al.*, 2005). Les espèces les plus utilisées pour le reboisement sont l'eucalyptus, le teck et l'acacia.

## **I. 2. Situation des forêts naturelles et plantées au Bénin**

Les ressources forestières du Bénin couvrent une superficie de 2 351 000 ha, dont 114 000 ha de plantations forestières (FAO, 2007 et 2009), et sont soumises à une dégradation alarmante. En effet, le Bénin perd en moyenne 50 000 ha de forêts chaque année (FAO, 2010). Pour suppléer à l'insuffisance des ressources forestières naturelles en vue de satisfaire les besoins des populations en bois d'œuvre de qualité, le gouvernement béninois a réalisé, à partir de 1949, de vastes plantations de teck (Ganglo *et al.*, 1999). Environ 17 000 ha de teckeraies ont ainsi été mises en place par l'État. Le succès des plantations domaniales a incité les paysans et les collectivités locales à planter le teck dans plusieurs départements au Sud du Bénin (Quenum, 2002). Le choix du teck réside dans le fait que son bois est extrêmement durable, facilement usiné, attrayant, résistant et relativement léger (Sarre & Ma, 2004 ; Rance & Monteuis, 2004). De plus, le bois de teck présente une résistance naturelle élevée vis-à-vis des champignons de pourriture et une bonne durabilité à l'égard des termites (Vernay, 2000 ; Niamké *et al.*, 2011).

Plusieurs raisons sous-tendent la mise en place des plantations de teck par les paysans. En effet, les paysans planteurs de teck installent leurs plantations en vue de sécuriser leurs propriétés foncières, produire du bois pour la consommation du ménage (construction, combustible) ou encore pour produire et vendre le bois (Yêvidé, 2007 ; Akoha, 2008 ; Yêvidé, 2009). Les objectifs de production du teck sont multiples et peuvent être la production de bois énergie, de perches, de poteaux et de petites grumes. Cependant, les paysans visent notamment la production de perches. Ces perches, dont les diamètres sont compris entre 5 et 15 cm se prêtent à une dizaine d'utilisations à savoir : baraques, hangars (ou "appâtâmes"), paillottes, charpentes, piquets pour le dallage, échafaudage, support d'antenne télévisuelle, transport d'électricité, clôture, séchoir, étagère (Aoudji *et al.*, 2011). Les bois de teck de grosseur supérieure à celle des perches s'observent peu car peu de paysans visent la production de poteaux ou de petites grumes. Cependant, ces catégories de bois sont transformées par les scieries et menuiseries pour la fabrication de meubles (portes, fenêtres, tables, chaises, bancs, tabourets, fauteuils, armoires, lits, caisses, cercueils) et la réalisation des plafonds (Affoukou, 2010 ; Hounhinto, 2011).

### **I. 3. Point des recherches sur le teck dans le monde et problématique de recherche dans les plantations privées de teck du Bénin**

Au plan international, d'importants travaux de recherche sur la sylviculture du teck, ont permis l'élaboration des tables de production de cette essence dans plusieurs pays comme l'Indonésie, l'Inde, la Trinité et Tobago, la Côte-d'Ivoire, le Costa-Rica... (Von Wulfing, 1932 ; Seth, 1959 ; Miller, 1969 ; Maître, 1983 ; Dupuy, 1990 ; Dupuy *et al.*, 1999 ; Hashim, 2003 ; Bermejo *et al.*, 2004 ; Upadhyay *et al.*, 2005...).

Des études sur les essais de multiplication végétative du teck ont commencé par les travaux de Gupta *et al.* (1980) suivi des travaux de Monteuis *et al.* (1995). Ces travaux se sont poursuivis et ont abouti à la production de clone de teck pour la réalisation de plantations mono ou plurispécifiques à croissance rapide (Monteuuis *et al.*, 1998a, 1998b ; Monteuis & Goh, 1999 ; Khatri *et al.*, 2001 ; Palanisamy & Subramanian, 2001 ; Tiwari *et al.*, 2002 ; Gangopadhyay *et al.*, 2003 ; Husen & Pal, 2003a ; Husen & Pal, 2003b ; Shirin & Sarkar, 2003 ; Aliyu & Mashood, 2005 ; Goh & Monteuis, 2005 ; Shirin *et al.*, 2005 ; Goh *et al.*, 2007 ; Mendoza de Gyves *et al.*, 2007 ; Akram & Aftab, 2008 ; Akram & Aftab, 2009). Ces plantations permettront ainsi de produire du bois de teck à courte durée de rotation afin de répondre à la demande toujours croissante de ce bois dans un environnement où l'espèce est de plus en plus protégée par des réglementations strictes, afin de conserver sa biodiversité *in situ* (Goh *et al.*, 2007). Mais dans cette perspective, un grand intérêt a été accordé aux qualités technologiques de ce bois. En effet de nombreux travaux notifient les qualités exceptionnelles de ce bois aptes à des utilisations multiples.

Des recherches ont permis d'étudier l'influence de l'âge et des caractéristiques écologiques et génétiques sur les qualités des bois de teck (Priya & Bhat, 1999 ; Bah, 2000 ; Vernay, 2000 ; Bhat *et al.*, 2001 ; Pérez Cordeiro & Kanninen, 2003 ; Bhat & Priya, 2004 ; Kokutse *et al.*, 2004 ; Bhat *et al.*, 2005 ; Koppad & Rao, 2005 ; Pérez & Kanninen, 2005 ; Kokutse *et al.*, 2009a ; Kokutse *et al.*, 2009b ; Adjonou *et al.*, 2010 ; Kokutse *et al.*, 2010). Le processus de duraminisation qui permet la fabrication du bois de cœur débute vers 7 ans (Kokutse 2002) pour les plantations en régime de futaie. Il s'est révélé que ce processus est un peu plus précoce pour les plantations traitées en taillis. En effet, il a été noté que la duraminisation varie en fonction des stations et débute généralement déjà à 3 ans. Cependant, le pourcentage d'aubier est nettement supérieur à celui du duramen et cette tendance s'inverse au fur et à mesure que les rejets prennent de l'âge (Goudégnon, 2010). Lukmandaru & Takahashi (2008) ont montré que l'aubier et le bois de cœur des tecks de 8 ans sont plus sensibles à l'attaque des termites, alors que le bois de cœur du teck de 30 ans a une résistance aux termites semblable à celle des tecks de 51 ans. De plus, la perte de masse était modérément corrélée au contenu de l'extrait n-hexane, à celui des extraits totaux, ainsi qu'à la brillance et à la rougeur du bois. Il existe une corrélation positive entre la durabilité et la composition chimique du bois de cœur. Cette corrélation laisse suggérer que l'antraquinone et la tectoquinone seraient les substances qui confèrent une bonne durabilité aux bois de cœur du teck (Lukmandaru *et al.*, 2009 ; Niamké *et al.*, 2011). Ainsi, les quinones sont à l'origine

de la durabilité naturelle du teck (Thulasidas & Bhat, 2007). Cependant, bien qu'il existe une relation linéaire entre les paramètres de résistance naturelle aux termites et la teneur en tectoquinone et isodesoxylapachol, les corrélations observées par Lukmandaru & Takahashi, (2009) sont modestes. L'âge de l'arbre et la position radiale ont été identifiés comme des facteurs influençant la présence et la quantité de quinone détectée dans les extraits de teck (Lukmandaru & Takahashi, 2009). L'âge, la station forestière et la sylviculture influencent la coloration au niveau du bois de teck et il existe une corrélation entre la couleur du bois de cœur et sa résistance aux attaques des termites et des champignons (Moya & Berrocal, 2010). L'âge de la première floraison est un facteur qui détermine aussi la qualité du bois de teck car les floraisons précoces ne conduisent pas à des bois de grande qualité (Krishnapilly, 2000 ; Mohd Rosli *et al.*, 2009). La formation des cernes chez le teck est fortement influencée par la pluviométrie et les cernes se sont révélés comme d'importants outils de reconstitution des précipitations, surtout des épisodes de mousson (Rao & Rajput, 1999 ; Buckley *et al.*, 2007 ; Shah *et al.*, 2007 ; Bhattacharyya & Shah, 2009 ; Borgaonkar *et al.*, 2010 ; Deepak *et al.*, 2010 ; Managave *et al.*, 2010 ; Sinha *et al.*, 2011). Cependant, Kokutse *et al.* (2010a) ont montré que la largeur des cernes dépend fortement des températures durant la saison pluvieuse, alors qu'elle est faiblement dépendante de la pluviométrie. La formation des faux cernes chez le teck est causée par les précipitations en période sèche ainsi que les sécheresses de suffisante durée (Priya & Bhat, 1998).

Bailey & Harjanto (2005) ont montré qu'à 3, 8 et 13 ans, la croissance en diamètre et en hauteur du teck en taillis sont significativement supérieure à celles de la futaie de teck. De plus les hauteurs et diamètres des plantations en taillis sont supérieurs à ceux obtenus en utilisant les tables de production de la Java. Pour une bonne gestion des taillis de teck, Chowdhury *et al.* (2008) recommandent de maintenir une hauteur de souche comprise entre 10 et 20 cm. Ils notifient que ce faisant, la souche produit beaucoup de rejets et qu'il est nécessaire de sélectionner les meilleures pour une bonne croissance.

Les plantations de teck participent aussi à la lutte contre le réchauffement climatique. Des études ont été effectuées pour apprécier le potentiel de séquestration du carbone par les plantations de teck. Elles ont permis de remarquer que les plantations de teck ont un potentiel appréciable de séquestration de carbone allant de 20 à 351 t C/ha en fonction de l'âge de la plantation (Locatelli *et al.*, 2002 ; Kraenzel *et al.*, 2003 ; Potvin *et al.*, 2004 ; Khanduri *et al.*, 2008 ; Derwisch *et al.*, 2009 ; Bijalwan *et al.* 2010 ; Kaul *et al.*, 2010).

Kumar *et al.* (1998) ont montré que l'association du teck avec *Leucaena leucocephala* améliore la croissance du teck à cause de la capacité fixatrice d'azote que développe *Leucaena leucocephala*. Le teck est aussi associé à d'autres espèces comme le Bambou et le *Vateria indica* (Divakara *et al.*, 2001) et aussi à des cultures annuelles (Mittelman, 2000).

Bien que le bois du teck jouisse d'une bonne durabilité naturelle, l'espèce est attaquée par des insectes défoliateurs dont notamment *Hyblaea puera* et des champignons (Baksha et Crawley, 1998 ; Loganathan & David, 1999 ; Chandrasekhar *et al.*, 2005 ; Murali *et al.*, 2006 ; Nathan & Sehoon, 2006 ; Kulkarni *et al.*, 2009 ; Sun *et al.*, 2009). Daly *et al.* (2006) ont découvert en 2006 de la rouille causée par *Olivea tectonae* dans les plantations commerciales irriguées de teck âgées de 2 à 3 ans. Loganathan & David (1999) ont rapporté

que les attaques des monocultures de teck par les défoliateurs occasionnent plus de dégâts que dans les plantations multi spécifiques car ces dernières accueillent les ennemis naturels des défoliateurs. De plus, le teck est moins attaqué en Afrique de l'Ouest qu'en Asie du Sud (Adu-Bredu *et al.*, 2008). Toutefois, il est possible de contrôler la population des défoliateurs du teck en utilisant des extraits de *Melia azedarach* (Nathan & Sehoon, 2006). Cependant, il importe de noter que d'autres insectes sont utiles pour le teck. En effet, les insectes pollinisateurs du teck participent à la reproduction de l'espèce même si le rôle de pollinisation varie d'une espèce d'insecte à une autre (Tangmitcharoen *et al.*, 2006a ; Tangmitcharoen *et al.*, 2006b).

Plusieurs travaux d'aménagement et de recherche ont été entrepris dans les teckeraies domaniales du Bénin. Ces recherches se sont focalisées sur l'impact de la richesse du sol sur la croissance du teck et ont conclu qu'une teneur élevée en Ca, P, C, N, un rapport C/N et une CEC élevés sont favorables à la croissance du teck (CTFT, 1969). Catinot (1970) a fait remarquer que la faible profondeur des sols et leur faible teneur en eau sont principalement responsables de la déformation des fûts du teck. Des maladies cryptogamiques ont été observées dans les teckeraies, dont le principal agent est *Fomes lignosus* (CTFT, 1971). Les études sur les éclaircies ont été aussi faites dans les teckeraies du Bénin ; elles ont permis de conclure que les éclaircies sélectives conduisent à une meilleure croissance que les éclaircies mécaniques. Yêhouenou (1982) a fait une évaluation économique du projet de plantations de teck de Djigbé ; il a souligné que les effets du vent peuvent compromettre considérablement le profit alors qu'il est possible de négliger le risque inhérent aux feux de brousse. D'autres études ont porté sur la croissance du teck ainsi que la modélisation de la production des peuplements (Fonton, 1985 ; Onibon, 1986 ; Akossou, 1998 ; Akanni, 2001). Il ressort de ces travaux que l'accroissement moyen courant en diamètre varie de 5 à 6 mm/an entre 20 et 30 ans et que la connaissance de l'âge, de l'indice de fertilité et de la surface terrière est suffisante pour prédire la production. Onzo (1986) a montré que les teckeraies du Sud-Bénin sont caractérisées par une trop forte densité préjudiciable à leur avenir et que la concurrence qui s'en suit affecte de manière sensible l'accroissement en diamètre des arbres, tandis que son influence sur la croissance en hauteur demeure très faible. Récemment, l'utilisation de la phytosociologie pour l'étude des forêts du Bénin a permis de mettre en évidence les relations entre les facteurs écologiques, la végétation du sous-bois et la productivité des teckeraies. Ces relations ont permis d'identifier et de cartographier plusieurs stations forestières (Ganglo *et al.*, 1999 ; Ganglo, 2005a ; Noumon & Ganglo, 2005 ; Dossa *et al.*, 2005 ; Dossa & Ganglo, 2006 ; Aoudji & Ganglo, 2006 ; Aoudji *et al.*, 2006 ; Ganglo & de Foucault, 2006 ; Noumon *et al.*, 2006 ; Tohngodo *et al.*, 2006a, 2006b). Azankpan *et al.* (2009) ont montré que le teck de provenance Tanzanienne est plus vigoureux, plus productif et présente une hauteur de fût significativement supérieure en comparaison avec les provenances de teck précédemment plantées au Bénin.

La plupart de ces études ont été faites sur les plantations de teck gérées en régime de futaie, les études sur les teckeraies privées étant rares. Au Bénin, les premières études sur les teckeraies privées remontent à Quenum (2002) qui a étudié les caractéristiques dendrométriques et le mode de gestion des plantations privées de teck dans la commune de Tori-Bossito au Sud du Bénin. Il a montré par cette étude que le nombre d'arbres à l'hectare

varie d'une plantation à une autre entre 734 et 6581 arbres avec des diamètres de surface terrière moyenne variant de 2,2 cm à 21,2 cm, des hauteurs dominantes qui se situent entre 2,6 et 16,3 m et des surfaces terrières comprises entre 0,6 m<sup>2</sup>/ha et 42,8 m<sup>2</sup>/ha. A la suite de cet auteur, Ganglo & Yéssoufou (2003) ont réalisé une étude diagnostique dans les plantations privées de teck de la commune de Toffo. Ces travaux ont révélé un certain nombre de problèmes dont les principaux sont la densité des plantations, très variable et parfois très élevée (1750 à 10000 pieds/ha) ; le nombre élevé de rejets par souche variant de 2 à 8 sans aucun effort de sélection des brins les plus vigoureux ; la hauteur élevée des souches qui varie en moyenne entre 20 et 50 cm ; certaines atteignent même 100 cm de hauteur. Malgré ces travaux, des contraintes majeures subsistent et limitent la gestion durable des teckeraies privées. Au nombre de ces contraintes, les plus importantes sont les suivantes :

- absence de statistiques et faible connaissance des caractéristiques structurales des plantations privées de teck ;
- absence de connaissance sur les objectifs de production des paysans planteurs en rapport avec les modes de gestion ;
- méconnaissance des méthodes traditionnelles utilisées par les paysans planteurs dans la gestion de leurs teckeraies ;
- connaissance limitée des indicateurs de fertilité des stations ;
- absence de connaissance de la dynamique des taillis de teck ;
- méconnaissance des durées optimales de rotation dans la gestion sylvicole des taillis de teck.

Au vu du nombre croissant de paysans planteurs qui s'investissent dans les plantations de teck, malgré leurs maigres ressources, l'objectif principal de cette thèse est de contribuer à lever les contraintes ci-dessus énumérées afin d'aider les paysans planteurs à tirer meilleur profit de leur investissement.

## **I. 4. Objectifs de la thèse**

L'objectif général de cette thèse est d'étudier l'écologie, la structure et la dynamique des plantations privées de teck dans le département de l'Atlantique au Sud du Bénin. Ces plantations privées de teck sont des taillis, c'est-à-dire des peuplements caractérisés par des rejets et/ou des drageons et dont la régénération s'obtient par des coupes de rajeunissement.

Les objectifs spécifiques suivants en découlent :

1. Caractériser les plantations privées de teck et faire ressortir leurs modes de gestion ;
2. Décrire les groupements végétaux de sous bois des plantations privées de teck et leurs relations avec les facteurs écologiques ;
3. Etudier les relations entre les facteurs biotiques et abiotiques des plantations privées de teck ;
4. Etudier l'effet de l'âge, de la densité et de la station forestière sur la croissance du teck ;
5. Modéliser la croissance du teck suivant différentes normes sylvicoles ; et
6. Proposer des itinéraires techniques simplifiés pour la sylviculture du teck dans les plantations privées gérées en cycle court.

## I. 5. Hypothèses de recherche

Les hypothèses de recherches suivantes sont formulées :

1. les plantations privées de teck sont pour plus de 50% de superficie inférieure à 1 ha ;
2. des paramètres écologiques contrôlent la mise en place des communautés végétales de sous-bois des taillis de teck ;
3. les caractéristiques structurelles des plantations varient en fonction des communautés végétales ;
4. il existe des relations entre les facteurs biotiques et les facteurs abiotiques des plantations privées de teck ;
5. la croissance du teck est contrôlée par l'âge et le nombre de rejets laissés par souche.

## I. 6. Description et écologie du teck

Le teck, du nom scientifique *Tectona grandis* L.f., fait partie des espèces ligneuses les plus plantées dans le monde à cause des qualités de son bois, de sa durabilité naturelle et de sa capacité à résister au passage du feu (Rajendrudu & Naidu, 1997 ; Baksha & Crawley, 1998 ; Nunifu & Murchison, 1999 ; Tiwari *et al.*, 2002 ; Gangopadhyay *et al.*, 2003 ; Kraenzel *et al.*, 2003 ; Bandyopadhyay *et al.*, 2004 ; Chandrasekhar *et al.*, 2005 ; Kaewkrom *et al.*, 2005 ; Shirin *et al.*, 2005 ; Shrestha *et al.*, 2005 ; Verhaegen *et al.*, 2005 ; Nathan & Sehoon, 2006 ; Tangmitcharoen *et al.*, 2006b ; Varghese *et al.*, 2006 ; Koonkhunthod *et al.*, 2007 ; Mendoza de Gyves *et al.*, 2007 ; Thulasidas & Bhat, 2007 ; Adu-Bredu *et al.*, 2008 ; Dexiang *et al.*, 2008 ; Akram & Aftab, 2009 ; Mohd Rosli *et al.*, 2009 ; Nor Aini *et al.*, 2009 ; Purnomo *et al.*, 2009 ; Widiyanto *et al.*, 2009 ; Iamtasna *et al.*, 2010 ; Kokutse *et al.*, 2010a , 2010b ; Moya & Berrocal, 2010 ; Palupi *et al.*, 2010 ; Miranda *et al.* 2011 ; Niamké *et al.*, 2011 ; Soumya *et al.*, 2011). Il appartient à l'ordre des Lamiales, à la famille des Verbenaceae selon la classification classique (Wagstaff & Olmstead 1997 ; Nunifu & Murchison, 1999 ; Divakara *et al.*, 2001 ; Saha, 2001 ; Tiwari *et al.*, 2002 ; Attignon *et al.*, 2005 ; Upadhyay *et al.*, 2005 ; Narayanan *et al.*, 2006 ; Palupi *et al.*, 2010) et à famille des Labiatae ou Lamiaceae selon la classification phylogénétique (Wagstaff & Olmstead 1997 ; Shrestha *et al.*, 2005 ; Koonkhunthod *et al.*, 2007). Le genre *Tectona* comprend trois autres espèces :

- *T. hamiltoniana* Wall., endémique dans la zone sèche en Birmanie ;
- *T. philippinensis* Benth. & Hook. f., de l'île Iling aux Philippines ;
- *T. abludens* Santi & Rudjiman, identifié en Indonésie sur l'île de Java.

Pour l'instant, ces espèces ne sont pas présentes sur le marché, mais elles peuvent avoir un intérêt dans les programmes d'amélioration génétique (Behaghel, 1999).

Le teck est une espèce héliophile qui ne tolère pas l'ombre quelque soit son stade de développement (Pandey & Brown, 2000). C'est une espèce à longue durée de vie et les plus vieux arbres peuvent atteindre 80 voir 90 ans. Il peut atteindre 30 à 40 m de hauteur pour un diamètre de 150 à 250 cm. Avec l'âge, la base du tronc se cannelé et il se développe des contreforts. La floraison du teck à lieu entre 6 et 8 ans et parfois plus tard selon les conditions environnementales et la sylviculture et la provenance. Toutefois il est à noter que cette floraison peut se faire plus tôt, de 5 à 6 ans après plantation mais, dans certaines conditions, il

peut fleurir dès 3 ans (Norlia *et al.*, 2008). Dupuy et Verhaegen (1993) ont observé en Côte d'Ivoire, sous certaines conditions de croissance rapide, des tecks fleurirent à 2 ans. Ces floraisons précoces sont contrôlées par les facteurs génétiques mais aussi environnementaux (Mohd Rosli *et al.*, 2009). Les inflorescences forment de très grosses panicules d'environ 45 cm de long et contiennent entre 5000 et 8000 petites fleurs hermaphrodites de couleur blanchâtre (Leroy, 2006). Les fleurs, regroupées en cymes, mesurent entre 3 et 6 mm. Le fruit est une drupe globuleuse de 1 à 1,5 cm de diamètre, densément poilue et contenant généralement 1 à 2 graines ovoïdes, sans albumen, d'environ 6 mm x 4 mm. Le péricarpe dur et épais qui enveloppe la graine empêche la germination facile et une bonne partie des graines fraîches reste en dormance pendant la première année. Les semences de teck restent viables pendant de nombreuses années.

Le teck pousse particulièrement bien dans les endroits où les précipitations annuelles sont comprises entre 1250 et 3750 mm, la température minimale entre 13 et 17°C et la température maximale entre 39 et 43°C (Pandey et Brown, 2000). Pour produire du bois de bonne qualité, l'arbre a besoin d'une saison sèche d'au moins quatre mois, avec des précipitations inférieures à 60 mm (Kaosa-ard, 1981 ; Khanduri *et al.*, 2008). Toutefois, son développement est optimal dans les zones humides où se distingue toujours une saison sèche bien marquée de 3 à 6 mois. Il pousse mieux au-dessous de 1000 mètres d'altitude sur des sols latéritiques profonds, bien drainés, riches en phosphore et de pH compris entre 6,5 et 8. Le teck préfère des sols fertiles en particulier les substrats volcaniques ou les sols alluviaux de différentes origines (Krishnapillay, 2000) et les plantations ne survivent pas lorsqu'elles sont établies sur des terres basses mal drainées à sol argileux (Seth & Yadav, 1959).

## **I. 7. Esquisse du milieu d'étude**

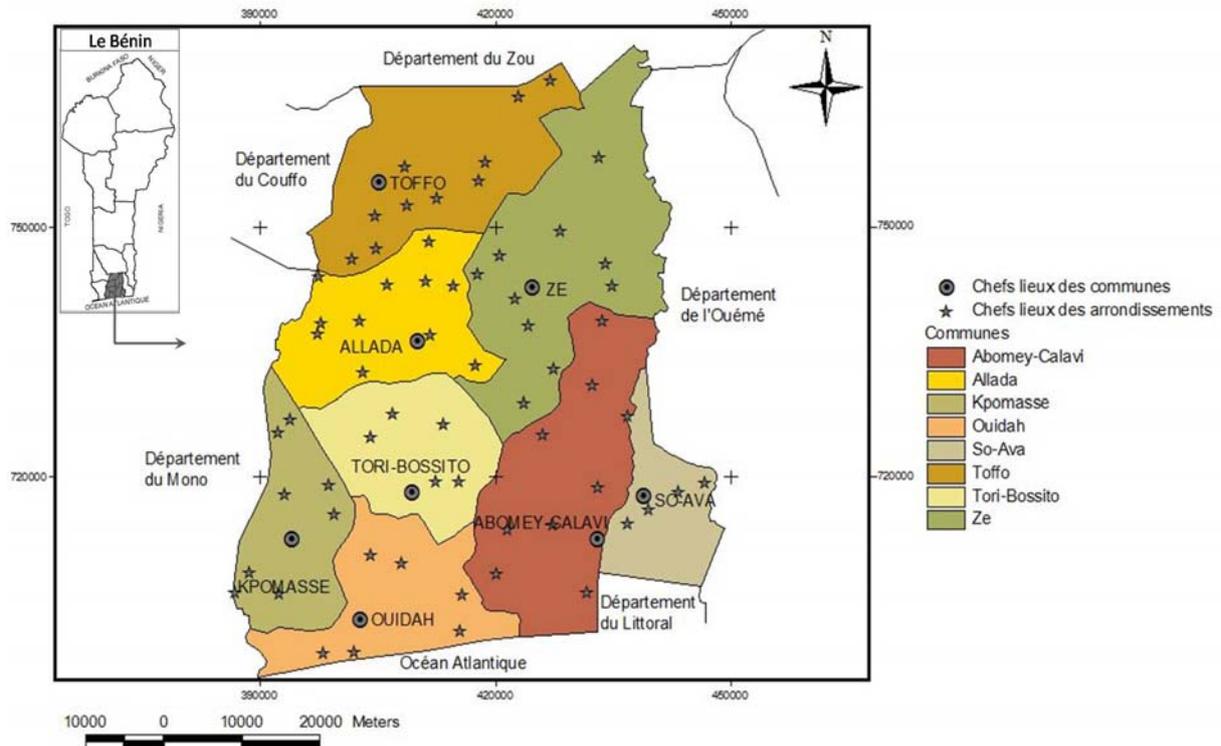
Le département de l'Atlantique est situé au Sud du Bénin. Il est compris entre 6°18' - 6°58' de latitude Nord et 1°56' - 2°30' de longitude Est. Il est limité au Nord par le département du Zou, au Sud par l'Océan Atlantique et le département du Littoral, à l'Est par le département de l'Ouémé et à l'Ouest par le département du Mono (Figure I. 1). S'étendant sur une superficie de 3233 km<sup>2</sup>, le département de l'Atlantique regroupe 500 villages pour 74 arrondissements répartis dans 8 communes que sont : Abomey-Calavi, Allada, Kpomassè, Ouidah, So-Ava, Toffo, Tori-Bossito et Zè.

On distingue deux formations géologiques dans le département, il s'agit des formations récentes et du Continental terminal. Les formations récentes regroupent le cordon littoral en bordure de l'océan Atlantique, avec une largeur allant de 1 à 10 km et, les alluvions en bande de largeur variable, rencontrés le long des cours d'eau. A partir du Continental terminal s'est formée la terre de barre qui est un sédiment meuble argilo-sableux de couleur rouge et qui fait partie de la série des sols ferrallitiques faiblement désaturés (Volkoff & Willaime, 1976). Ainsi, les sols ferrallitiques et les sols hydromorphes sont les plus répandus dans le département (Figure I. 2).

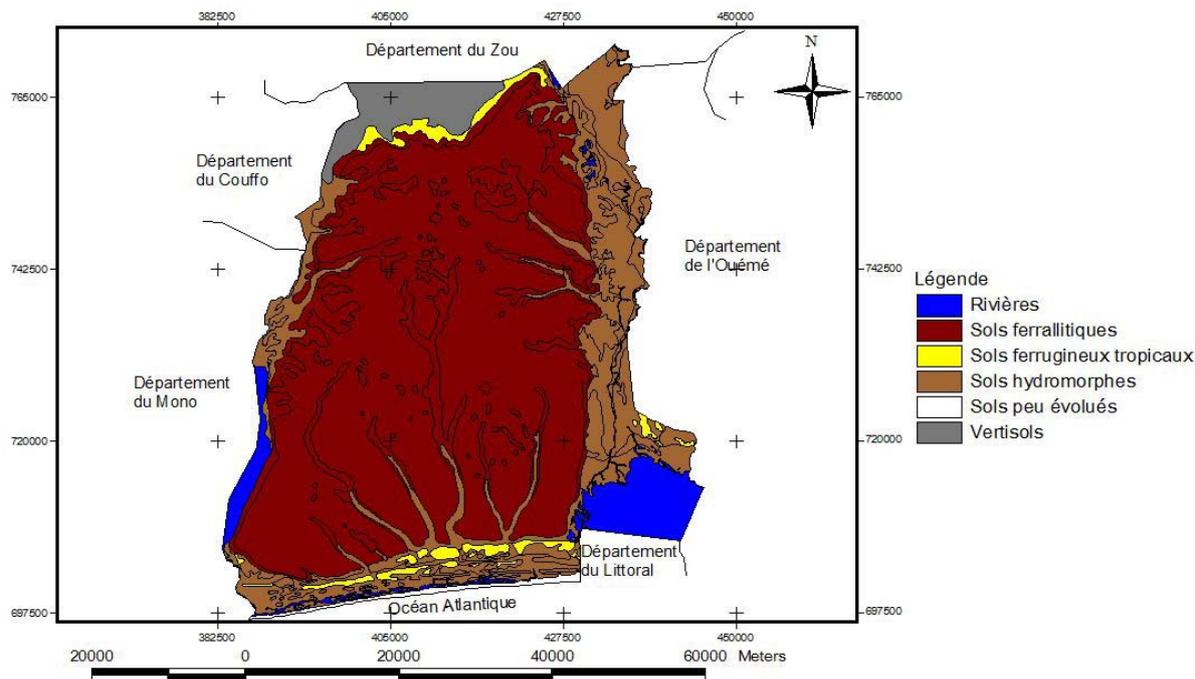
Le département de l'Atlantique est sous l'influence du climat subéquatorial caractérisé par deux saisons sèches alternant avec deux saisons pluvieuses (avril-juillet et septembre-octobre ; Figure I. 3). La pluviométrie moyenne annuelle est voisine de 1200 mm. Les

températures moyennes mensuelles varient entre 27 et 31 °C. L'amplitude thermique est de l'ordre de 3,2 °C dans la zone sud, alors qu'elle est de 3,8 °C dans le nord du département.

Notre zone d'étude est largement défrichée et la végétation climacique de forêts denses semi-décidues, caractérisée par la fréquence de *Triplochiton scleroxylon*, *Celtis mildbraedii*, *C. zenkeri*, *Antiaris toxicaria*, *Albizia adianthifolia*, *A. ferruginea*, *A. zygia*, *Ceiba pentandra* (Aubréville, 1937 ; Akoégninou, 1984, 2004) n'existe plus qu'en petits îlots d'extension négligeable. Actuellement, elle est caractérisée par une végétation arbustive, associée à des peuplements plus ou moins denses de palmiers à huile (Figure I. 4).

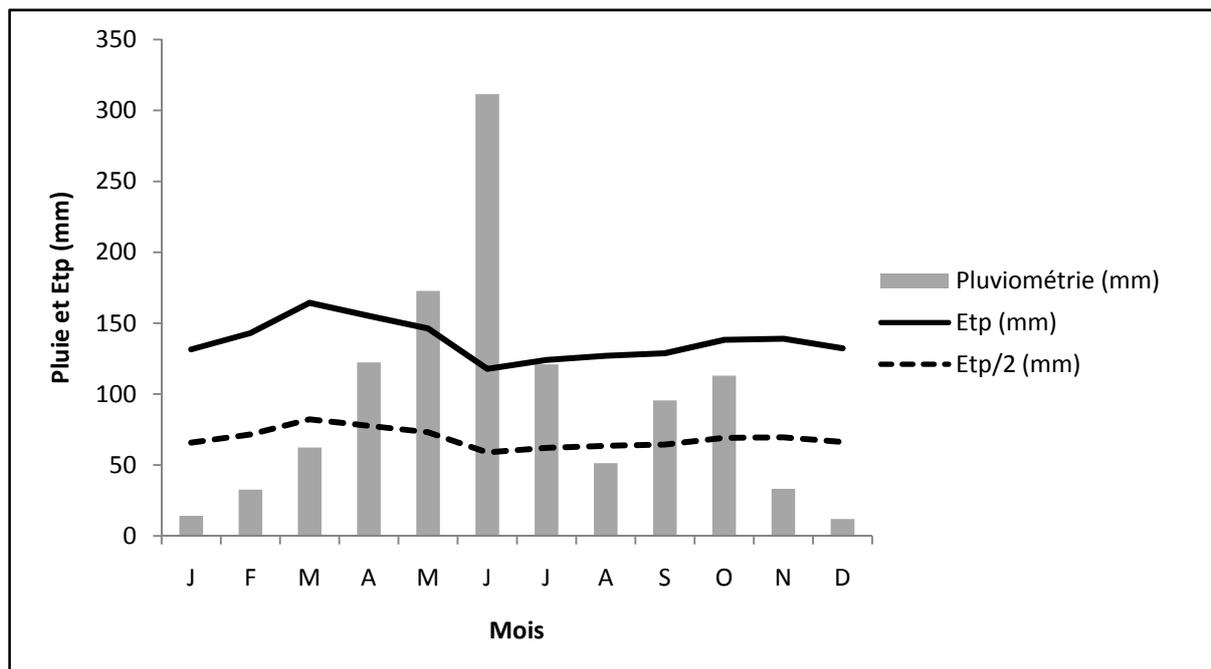


**Figure I. 1 : Situation géographique et localisation des communes du département de l'Atlantique.**



**Figure I. 2 : Carte des types de sols du département de l'Atlantique.**

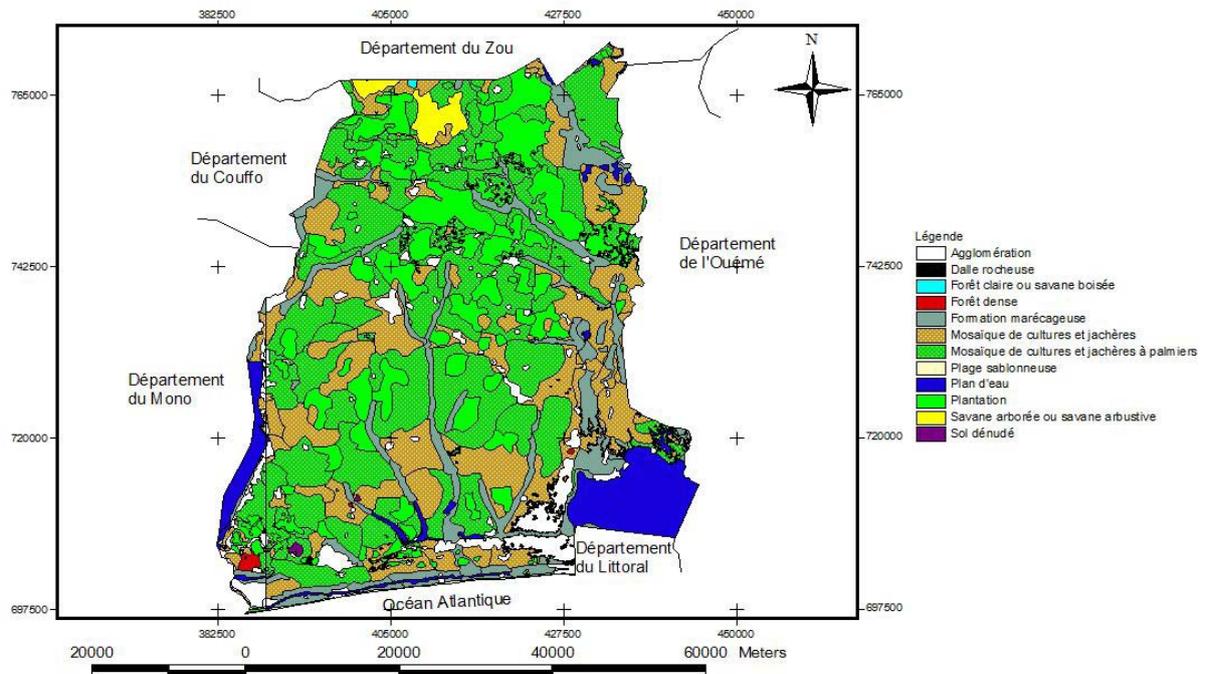
Source : Yêvidé Armand sur la base des données du CENATEL.



**Figure I. 3 : Diagramme climatique du Département de l'Atlantique sur la base des données de l'Agence pour la Sécurité et la Navigation Aérienne (ASECNA).**

NB : Pluviométrie : moyennes mensuelles de Ouidah (millimètre, de 1960 à 2006) ; Etp : évapotranspiration potentielle (millimètre, de 1960 à 2006).

Selon le troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH 3) réalisé en 2002, le département de l'Atlantique compte 801 683 habitants dont 412 561 femmes contre 389 122 hommes. La densité de population est de 248 habitants au km<sup>2</sup> et varie à l'intérieur des différentes communes allant de 112 habitants à 571 habitants au km<sup>2</sup> (Abomey-Calavi) au km<sup>2</sup> (Zè). Les ethnies les plus fréquentes sont les Aïzo (32,6%) et les Fons (28,9%). Le commerce (32%) et l'agriculture (30%) sont les activités économiques dominantes.



**Figure I. 4 : Carte d'occupation du sol du département de l'Atlantique.**

Source : Yêvidé Armand sur la base des données du CENATEL.

## I. 8. Plan de la thèse

Le présent document qui est une thèse-articles est structuré autour de sept chapitres dont un chapitre introduction générale, cinq chapitres articles et un dernier chapitre, discussion générale conclusion et perspectives.

L'introduction générale qui est le **premier chapitre de la thèse** présente la pertinence de l'étude, fait le point des travaux réalisés sur le teck, pose la problématique de la recherche et fait une description sommaire de du teck et de son écologie. Pour finir, elle présente les objectifs et les hypothèses de recherche.

Les cinq chapitres articles se présentent comme suit :

1. Au **chapitre 2** de la thèse, nous avons décrit les caractéristiques des plantations privées de teck et fait ressortir les méthodes traditionnelles de sylviculture utilisées par les paysans ;

2. Au **chapitre 3**, pour cerner les indicateurs de niveau de fertilité des sols, nous avons procédé à l'identification et la description des groupements végétaux du sous-bois des plantations privées de teck et fait ressortir leurs diversités spécifiques, leurs caractéristiques écologiques et leurs relations avec les paramètres dendrométriques des plantations ;
3. Le **chapitre 4** de la thèse est un approfondissement du chapitre 3 en ce sens que les relations entre les facteurs abiotiques, notamment la texture du sol, le pH, la matière organique, la pente et les paramètres dendrométriques ont été analysées pour tirer des conclusions sur les facteurs écologiques qui influencent la production du teck ;
4. En vue de faire des recommandations pour améliorer la sylviculture du teck en plantations privées, au **chapitre 5** de la thèse, nous avons étudié l'effet de la densité, de l'âge et des groupements végétaux de sous-bois sur la vigueur des plantations ;
5. Enfin la modélisation de la croissance du teck des plantations privées du département de l'Atlantique a été présentée au **chapitre 6** et nous a permis de définir les durées de rotation à envisager en fonction des objectifs de production du teck en régime de taillis.

Le **chapitre 7** de la thèse présente une discussion générale des principaux résultats obtenus et fait ressortir leurs intérêts pour la gestion durable des plantations privées de teck gérées en régime de taillis. Une conclusion générale et des perspectives de recherche et d'assistance aux planteurs privés de teck, concluent ce chapitre.

## Chapitre II.

# CARACTERISATION DU POTENTIEL ET DE LA SYLVICULTURE TRADITIONNELLE DES TECKERAIES PRIVEES DU DEPARTEMENT DE L'ATLANTIQUE (SUD BENIN)

---

Yêvidé ASI, Ganglo JC, De Cannière C. Caractérisation du potentiel et de la sylviculture traditionnelle des teckeraies privées du département de l'Atlantique (Sud Bénin).

Article présenté aux Journées Scientifiques Internationales de Lomé en 2010 et à l'Atelier Scientifique National (7<sup>ème</sup> édition) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, puis soumis à la revue *Sciences et Natures* de la Côte-D'Ivoire.

# **Chapitre II. CARACTERISATION DU POTENTIEL ET DE LA SYLVICULTURE TRADITIONNELLE DES TECKERAIES PRIVEES DU DEPARTEMENT DE L'ATLANTIQUE (SUD BENIN)**

## **II. 1. Résumé**

Notre étude s'est déroulée dans le département de l'Atlantique (6°18' et 6°58' de latitude Nord et 1°56' et 2°30' de longitude Est). Son objectif est d'inventorier les plantations privées de teck du département et de décrire les méthodes traditionnelles de sylviculture utilisées par les paysans. Dans chacun des 224 villages échantillonnés, les paysans planteurs ont été recensés et leurs plantations inventoriées. D'après les principaux résultats, les teckeraies privées du département sont de formes irrégulières et couvrent 2 696,85 ha. Le nombre de plantations recensées s'élève à 3 413 pour 2 495 paysans planteurs. 81 % des plantations inventoriées ont une superficie inférieure à 1 ha ; 28,4 % des plantations ont un diamètre moyen quadratique inférieur à 5 cm et 69,5 % des peuplements ont un diamètre moyen quadratique compris entre 5 et 10 cm. Les hauteurs moyennes de 88 % des plantations sont comprises entre 5 et 10 m et la surface terrière varie entre 1,86 et 29,85 m<sup>2</sup>/ha. L'itinéraire technique de production de teck utilisé par les paysans se résume à la production des plants, la préparation du terrain, la mise en place des jeunes plants et l'entretien des plantations qui se limite généralement à 3 à 6 sarclages par an avant l'état de massif. Après la coupe, les rejets sont réduits à trois au moins par souche.

**Mots clés:** Plantation privée de teck, Sylviculture, Département de l'Atlantique, Bénin.

## **II. 2. Abstract**

The study was carried out in the department of Atlantic (6°18' - 6°58' North latitude and 1°56' - 2°30' East longitude). The objectives were to characterize the private Teak plantations and describe the traditional forestry methods used by farmers. In each of the 224 villages sampled, farmers were identified and their plantations inventoried. As main results, private Teak plantations are irregularly shaped and covered 2 696.85 ha. A total of 3 413 plantations were inventoried for 2 495 farmers. 81 % of the surveyed plantations covered less than 1 ha. 28.4 % of the plantations had a mean quadratic diameter less than 5 cm and 69.5 % of the stands had a mean quadratic diameter between 5 and 10 cm. The average heights of 88 % of the plantations ranged between 5 and 10 m, and the basal area varied between 1.86 and 29.85 m<sup>2</sup>/ha. The traditional forestry methods used by farmers in Teak production consisted in seedlings production, site preparation, planting and plantations tending such as weeding 3 to 6 times per year according to soil fertility and the plantation stage of development. After felling, shoots were reduced to 3 per stump at least.

**Key words:** Private Teak plantation, Silviculture, Department of Atlantic, Benin.

## II. 3. Introduction

Le Bénin dispose d'une couverture forestière de 2351000 ha soit 21,3 % du territoire (FAO, 2007). Ces forêts sont malheureusement soumises à de fortes pressions occasionnant une perte nette de 65000 ha par an (FAO, 2007). Pour suppléer à l'insuffisance des ressources forestières naturelles en vue de satisfaire les besoins des populations en bois d'œuvre de qualité, le gouvernement béninois a réalisé, à partir de 1949, de vastes plantations de teck (Ganglo *et al.*, 1999). Le choix du teck comme essence de reboisement se justifie par son fort potentiel de croissance et les qualités exceptionnelles de son bois (Sarre & Ma, 2004 ; Rance & Monteuis, 2004). Le succès des plantations domaniales a incité les paysans à se lancer dans la production du bois de teck en vue d'une diversification de leurs revenus financiers mais aussi pour l'immobilisation et la sécurisation du foncier.

Au plan international, d'importants travaux de recherche sur la sylviculture du teck, ont permis l'élaboration des tables de production de cette essence dans plusieurs pays comme l'Indonésie, l'Inde, la Trinité et Tobago, la Côte-d'Ivoire, le Costa-Rica... (Von Wulfing, 1932 ; Seth, 1959 ; Miller, 1969 ; Maître, 1983 ; Dupuy, 1990 ; Dupuy *et al.*, 1999 ; Hashim, 2003 ; Bermejo *et al.*, 2004 ; Upadhyay *et al.*, 2005...).

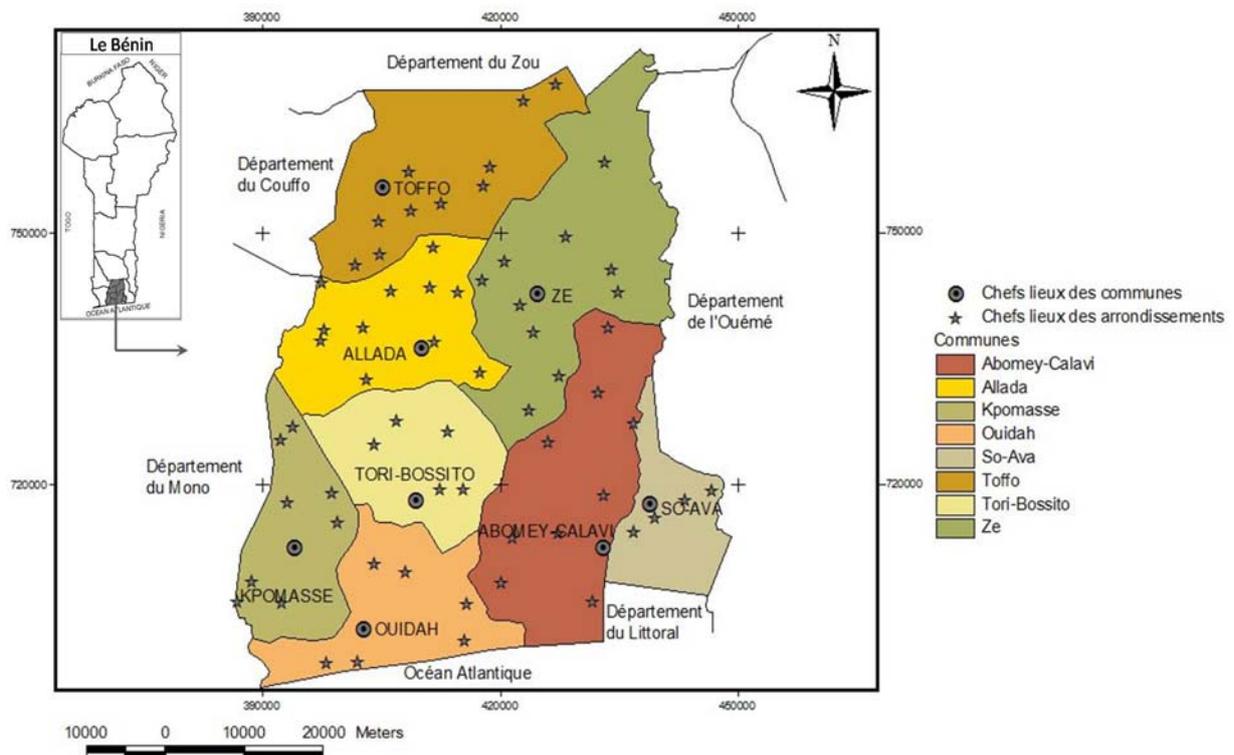
Plusieurs travaux d'aménagement et de recherche ont été entrepris dans les teckeraies domaniales du Bénin. Ces recherches se sont focalisées sur l'impact de la richesse du sol sur la croissance du teck (CTFT, 1969). D'autres études ont porté sur la croissance du teck ainsi que la modélisation de la production des peuplements (Fonton, 1985 ; Onibon, 1986 ; Akossou, 1998 ; Akanni, 2001). Onzo (1986) a montré que les teckeraies du Sud-Bénin sont caractérisées par une trop forte densité préjudiciable à leur avenir et que la concurrence qui s'en suit affecte de manière sensible l'accroissement en diamètre des arbres, tandis que son influence sur la croissance en hauteur demeure très faible. Azankpan *et al.* (2009) ont montré que le teck de provenance Tanzanienne est plus vigoureux, plus productif et présente une hauteur de fût significativement supérieure en comparaison avec les provenances de teck antérieurement plantées au Bénin. La plupart de ces études ont été faites sur les plantations de teck gérées en régime de futaie, les études sur les teckeraies privées étant rares. En effet, les premières études sur les teckeraies privées remontent à Quenum (2002) et Ganglo & Yéssoufou (2003). Leurs travaux ont révélé un certain nombre de problèmes dont les principaux sont la densité des plantations très variable et parfois très élevée (1750 à 10000 pieds/ha) ; le nombre élevé de rejets par souche variant de 2 à 8 sans aucun effort de sélection des brins les plus vigoureux ; la hauteur élevée des souches qui varie en moyenne entre 20 et 50 cm ; certaines atteignant même 100 cm de hauteur. Ainsi, des contraintes sylvicoles subsistent dans la gestion durable des taillis de teck. Pour contribuer à lever ces contraintes qui freinent la gestion durable des teckeraies, le présent article a pour objectif de faire le point sur les potentialités en teckeraies privées du département de l'Atlantique ; de présenter les caractéristiques dendrométriques des teckeraies ; de décrire les méthodes traditionnelles de sylviculture utilisées afin de faire ressortir leurs faiblesses éventuelles en fonction des objectifs de production des paysans planteurs.

## II. 4. Matériel et méthodes

Le département de l'Atlantique est situé au sud du Bénin ( $6^{\circ}18'$  -  $6^{\circ}58'$  de latitude Nord et  $1^{\circ}56'$  -  $2^{\circ}30'$  longitude Est) (Figure II. 1). Il s'étend sur une superficie de 3233 km<sup>2</sup> et compte 500 villages répartis dans 8 communes et 74 arrondissements. On y distingue deux groupes de formations géologiques : les formations récentes et le Continental terminal. Les formations récentes regroupent le cordon littoral en bordure de l'Océan Atlantique et les alluvions, le long des cours d'eau. A partir du Continental terminal s'est formée la terre de barre.

Le milieu d'étude est essentiellement marqué par un climat subéquatorial caractérisé par deux saisons sèches alternant avec deux saisons pluvieuses (Avril – Juillet et Septembre – Octobre). La pluviométrie moyenne annuelle est voisine de 1200 mm et la température moyenne est de 27°C.

La végétation du milieu d'étude est actuellement caractérisée par des fourrés et jachères associées à des peuplements plus ou moins denses de palmiers à huile.



**Figure II. 1 : Situation géographique du département de l'Atlantique.**

Des données démographiques et infrastructurelles ont été obtenues à l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE, 2004). Elles ont servi de base à une classification hiérarchique ascendante (CHA) qui a permis de regrouper les villages et quartiers de ville en groupes homogènes. Les critères utilisés pour la classification des villages sont : taille de la population ; proportions d'adultes, de jeunes, d'hommes, de femmes, taille de la population agricole ; nombre de point d'adduction d'eau, d'école primaire, de collège et de centre de santé. Par groupe homogène et par commune, le nombre de villages échantillonnés a été déterminé en appliquant un taux d'échantillonnage minimal de

30 %. Au total, 224 villages ont été retenus, soit un taux d'échantillonnage de 49 % à l'échelle du département. Le nombre de villages disposant de teckeraies privées dans l'échantillon a été noté. Au total, 1 182 paysans ont fait l'objet d'une enquête. Les informations recherchées au cours de l'enquête sont : nombre de plantations privées détenues ; superficie des plantations ; situation géographique ; méthodes de production des plants ; type de plants utilisés en plantation ; écartements utilisés à la mise en place des plants ; travaux d'entretien .... Un inventaire de leurs plantations a été ensuite fait : deux placettes temporaires de forme carrée et de superficie 1 are (10 m \* 10 m) chacune ont été implantées dans chacune des plantations. La superficie d'un are a permis de compter au moins une douzaine d'arbres de teck par placette (Duplat & Perrote, 1981).

Au sein de chaque placette, la circonférence ( $C_i$ ) à hauteur de poitrine (1,30 m du sol) de tous les arbres a été mesurée au mètre-ruban et au centimètre le plus proche. Après calcul du diamètre moyen quadratique ( $D_g$ ), trois arbres moyens (classe de diamètre  $D_g \pm 2,5\text{cm}$ ), ont servi pour la mesure de la hauteur totale au clinomètre et au calcul de la hauteur moyenne ( $H_g$ ).

Le diamètre moyen quadratique ( $D_g$ ) est calculé au moyen de la formule  $D_g = \sqrt{\sum(C_i/\pi)^2/n}$  et la surface terrière moyenne ( $G$ ) est obtenue par la formule :  $G = \sum(C_i^2/4\pi)$ . La superficie des plantations a été notée en unité locale (kanti) puis convertie en hectare sur la base des essais de mesures réalisés en milieu réel. Le nombre de rejets et les écartements ont été également notés. A l'échelle de chaque commune, les moyennes des paramètres (nombre de plantations, nombre de paysans et superficie totale des teckeraies privées) ont été calculées. Le test de Kruskal-Wallis a été réalisé avec le logiciel R2.6.1 (R Development Core Team, 2007) pour comparer la superficie des teckeraies privées entre les différentes communes.

## II. 5. Résultats et discussion

### II. 5.1. Potentiel et caractéristiques dendrométriques des teckeraies privées du département de l'Atlantique

Nos résultats montrent que les plantations privées de teck sont de formes diverses et irrégulières. La superficie totale des plantations privées de teck est de  $2696,85 \pm 1150,52$  ha (niveau de 95 %) (Tableau II. 1) soit  $0,83 \pm 0,36$  % de la superficie totale du département. Le nombre de plantations recensées est de  $3413 \pm 848$  pour  $2495 \pm 578$  paysans planteurs. Toutefois, les superficies totales des plantations par paysan varient de moins de 0,02 ha à plus de 26 ha. Dix neuf pour cent des teckeraies privées ont une superficie supérieure ou égale à 1 ha. Les plantations sont de différents âges, cependant, le diamètre moyen quadratique varie de 1,94 cm à 15,75 cm ; 28,4 % des plantations ont un diamètre moyen quadratique inférieur à 5 cm et 69,5 % des peuplements ont un diamètre moyen quadratique compris entre 5 et 10 cm. Les hauteurs moyennes totales des plantations sont comprises entre 2,5 et 13 m. Toutefois, 88 % des plantations ont des hauteurs moyennes comprises entre 5 et 10 m. La surface terrière est comprise entre 1,86 et 29,85 m<sup>2</sup>/ha. En Thaïlande, les teckeraies des paysans ont une

superficie moyenne d'environ 0,05 ha (Mittelman, 2000) ; en Côte d'Ivoire, la superficie des teckeraies des paysans varie de 0,5 ha à 10 ha (Maldonado & Louppe, 1999) ; en Inde du Sud, les agriculteurs du Kerala et du Tamil Nadu disposent des plantations couvrant moins de 0,81 ha à plus de 4,05 ha (Demenois *et al.*, 2005). Nous en déduisons que dans le département de l'Atlantique, certains paysans allouent aux teckeraies, des superficies plus petites (0,02 ha) que celles des paysans de Nakhon Sawan en Thaïlande et ceux de Kerala et Tamil Nadu de l'Inde du Sud. Les paysans de notre zone d'étude disposent toutefois de teckeraies qui font plus du double de la superficie maximale des teckeraies des paysans de la Côte d'Ivoire et plus de six fois la superficie maximale des teckeraies des paysans de l'Inde du Sud. La commune de Sô-Ava ne dispose pas de teckeraies privées (Figure II. 2). Au seuil de 5%, une différence significative existe entre les superficies des teckeraies privées des différentes communes. En effet, les communes d'Abomey-Calavi, d'Allada, de Toffo, de Tori-Bossito et de Zè ont de plus grandes superficies de teckeraies privées ( $374,24 \pm 145,26$  à  $566,23 \pm 378,08$  ha) que les communes de Kpomassè et de Ouidah. Par commune, les plantations privées de teck sont inégalement réparties dans les arrondissements. A Tori-Bossito par exemple, l'arrondissement de Tori-Cada dispose de 65 % de la superficie totale des teckeraies privées de la commune, de 52 % des plantations et de 46 % des paysans planteurs (Figure II. 3). Dans la commune d'Abomey-Calavi, les arrondissements les plus pourvus en plantations privées de teck sont situés au Nord de la commune, à l'opposé des arrondissements plus urbanisés situés au Sud.

**Tableau II. 1 : Potentiel en teckeraies privées des communes du département de l'Atlantique.**

Communes	Nombre de plantations	Nombre de paysans planteurs	Superficie totale (ha)
Abomey-Calavi	$533 \pm 178$	$414 \pm 118$	$566,23 \pm 378,08$
Allada	$787 \pm 215$	$572 \pm 143$	$374,24 \pm 145,26$
Kpomassè	$272 \pm 136$	$204 \pm 68$	$241,40 \pm 150,28$
Ouidah	44	39	37,92
Toffo	$660 \pm 110$	$495 \pm 110$	$542,85 \pm 257,40$
Tori-Bossito	769	492	498,00
Zè	$348 \pm 209$	$279 \pm 139$	$436,21 \pm 219,50$
<b>Total</b>	<b><math>3413 \pm 848</math></b>	<b><math>2495 \pm 578</math></b>	<b><math>2696,85 \pm 1150,52</math></b>

**NB :** Les communes de Tori-Bossito et de Ouidah ont fait l'objet d'un inventaire exhaustif.

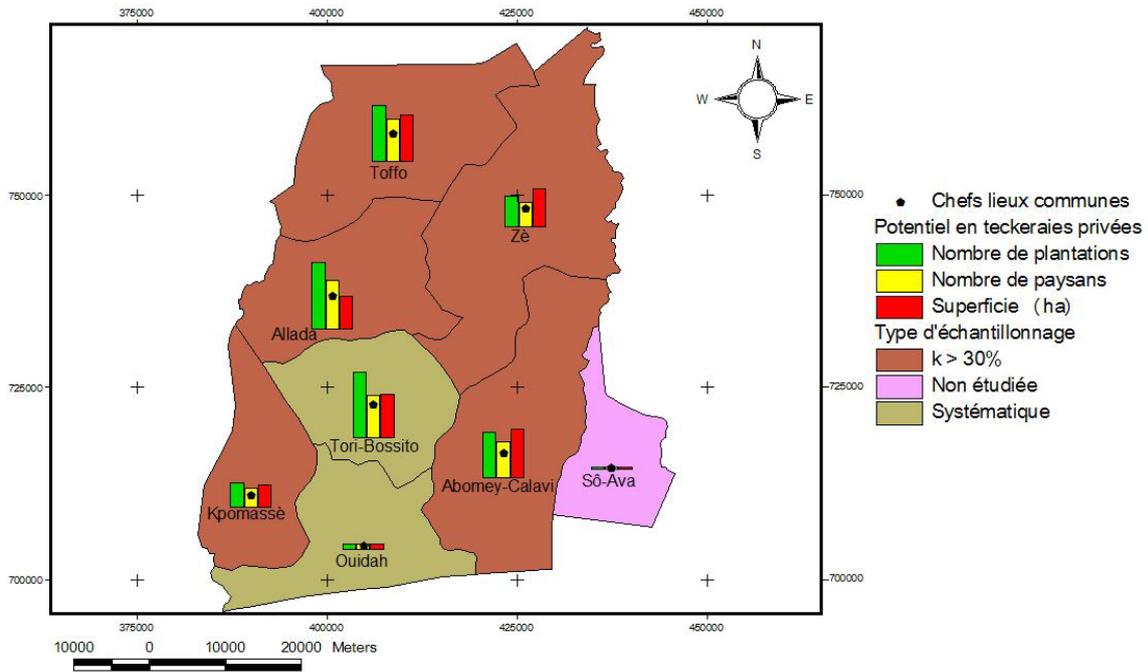


Figure II. 2 : Carte illustrant le potentiel en teckeraies privées dans les communes du département de l'Atlantique.

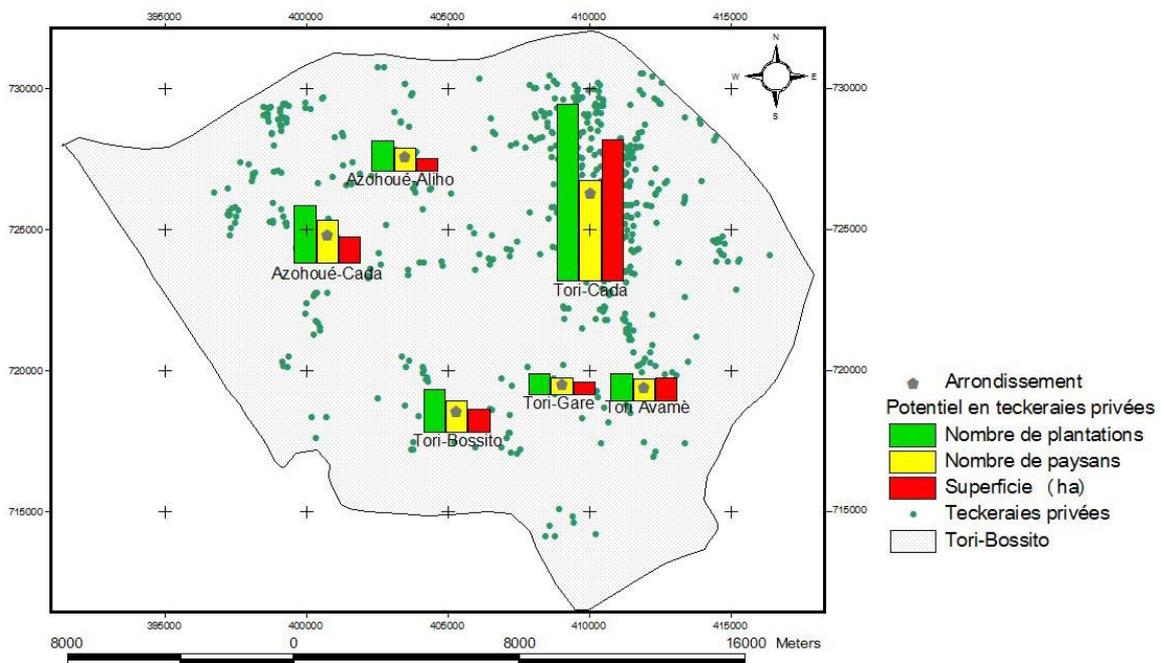


Figure II. 3 : Histogramme des effectifs des plantations et des paysans ainsi que la superficie des teckeraies privées par arrondissement dans la commune de Tori-Bossito.

## II. 5.2. La sylviculture traditionnelle du teck dans le département de l'Atlantique

D'après les résultats de nos enquêtes, les principaux objectifs poursuivis par les paysans planteurs dans la mise en place de leurs plantations sont la sécurisation foncière (Yêvidé, 2007 ; Akoha, 2008 ; Yêvidé, 2009) et la production de perches de différentes catégories pour la vente et l'autoconsommation (Yêvidé, 2007 ; Akoha, 2008 ; Yêvidé, 2009 ; Aoudji *et al.*, 2011). Les techniques de gestion des plantations en vue d'atteindre ces objectifs, sont variables en fonction des connaissances des paysans mais peuvent être résumées comme suit : production des plants, préparation du terrain, mise en place de la plantation et entretien des plants.

### II. 5.2.1. Production des plants et préparation du terrain

Avant l'installation de toute pépinière, les paysans sarclent. Le nettoyage du terrain est suivi de la confection de planches de semis. Les semences sont soumises à un traitement hydrique d'une durée variant de 2 jours à 4 semaines par 63 % des paysans. Les graines lèvent entre une semaine et deux mois après le semis. Les planches sont désherbées périodiquement et les plantules séjournent en pépinière pendant 2 à 12 mois (Photos II. 1 et II. 2).



**Photo II. 1 : Planche de pépinière de teck à Sèhouè (Commune de Toffo).**



**Photo II. 2 : Plants de teck en pépinière à Sèhouè (Commune de Toffo).**

La préparation du terrain consiste à le débarrasser des mauvaises herbes par sarclage suivi du brûlis et du piquetage lorsqu'il s'agit d'une jachère (Photos II. 3 et II. 4). En présence de cultures annuelles (maïs, manioc), la préparation du terrain se réduit au désherbage et au piquetage. Les piquets de taille moyenne 20 cm sont placés suivant les écartements variables : 1 x 1 ; 1,5 x 1,5 ; 2 x 1 ; 2 x 2 ; 3 x 3 (m<sup>2</sup>) et plus. Plus de 75 % des plantations sont réalisées suivant des écartements inférieurs à 2 m x 2 m. Nos résultats confirment ceux de Ganglo & Yéssoufou (2003) qui avaient déjà constaté des densités très élevées dans les plantations privées de teck de la commune de Toffo. A l'opposé des paysans de notre milieu d'étude, les paysans de Nakhon Sawan plantent en moyenne 50 à 100 arbres sur une superficie d'environ 0,05 ha (Mittelman, 2000) ; ils mélangent des espèces arboricoles à usages multiples et à

croissance rapide avec des cultures annuelles. L'association de cultures annuelles avec le teck est aussi fréquente dans le département de l'Atlantique. Malgré la forte densité des plantations, les paysans associent généralement, dans le jeune âge de la plantation (deux premières années), le teck à des cultures annuelles (Photos II. 5 et II. 6).

La méthode de préparation de terrain, qui consiste à incinérer les mauvaises herbes avant la mise en place des plants, est une pratique qui n'assure pas le maintien de la fertilité des stations. En effet, les éléments nutritifs libérés par l'incinération des débris végétaux sont très vite emportés par le vent et lessivés par les pluies. De ce fait cette pratique est à déconseiller pour la production de perches de différentes catégories pour la vente et l'autoconsommation même si en matière de sécurisation foncière elle ne pose pas de problème majeur.



**Photo II. 3 : Parcelle sarclée suivie de brûlis à Agonsoudja (Commune d'Abomey-Calavi).**



**Photo II. 4 : Piquetage de la parcelle avant la mise en place des plants à Agonsoudja (Commune d'Abomey-Calavi).**



**Photo II. 5 : Plantation de teck en association avec le maïs à Sogbé (Commune de Tori-Bossito).**



**Photo II. 6 : Plantation de teck en association avec le manioc et le maïs à Sogbé (Commune de Tori-Bossito).**

### II. 5.2.2. Mise en place et entretien des plants

Les plants produits sont traités en stumps obtenus par diminution des racines du plant aoûté et suppression des feuilles. Les poils absorbants des racines sont réduits ainsi que le pivot central à 20 cm de longueur environ. La tige est ensuite coupée jusqu'au niveau de la première insertion des feuilles à compter du collet (Photo II. 7). Les stumps qui ne sont pas plantés le jour même de leur production sont conservés dans des trous creusés à cet effet et copieusement arrosés jusqu'au jour de la plantation. Ils sont alors plantés aux pieds des piquets dans des trous creusés à la machette par les planteurs. Les sarclages servent aux cultures vivrières et au teck ; ils se font 3 à 6 fois l'an (Photo II. 8). Lorsque les plantations de teck arrivent à l'état de massif, le terrain est délaissé au profit du teck. L'élagage et le délianage se font lors du sarclage. Après les coupes, le teck émet beaucoup de rejets de souches. Les rejets sont réduits de manière à en laisser au moins trois par souche. (Photo II. 9).

Les écartements utilisés, l'élagage artificiel et mal réalisé ainsi que le nombre élevé de rejets laissés par souche ne permettent pas aux paysans planteurs d'atteindre de façon efficiente leurs objectifs de production de perches. Ceci conduit à la non satisfaction des consommateurs qui déplorent la présence de nœuds fréquents et de courbure sur les perches ainsi que leur dureté et durabilité (Aoudji *et al.*, 2011). Il serait donc judicieux, afin de répondre aux attentes des consommateurs, d'aider les paysans planteurs à améliorer leurs produits en leur apportant une assistance technique adéquate dans la gestion de leurs plantations. Cette assistance technique consistera à conseiller et à former les paysans planteurs. Dans le domaine de la mise en place des plantations pour la sécurisation foncière et la production de perches de différentes catégories pour la vente et l'autoconsommation, l'incinération des parcelles après désherbage est à déconseiller pour limiter la perte de fertilité des sols par lessivage. Par ailleurs, les paysans planteurs doivent être formés aux bonnes pratiques d'élagage et de déjumelage pour améliorer la qualité des produits et la vigueur des plantations. En outre, il faut mettre en place des parcelles de démonstration aux densités adéquates (2500 arbres/ha) telles que celle recommandée par l'ONAB (2005) et organiser des visites des paysans planteurs dans ces parcelles de démonstration.



**Photo II. 7 : Plant de teck traité en stumps.**



**Photo II. 8 : Utilisation du coupe-coupe pour le sarclage d'une plantation de teck (Commune : Tori-Bossito ; Village : Zoungoudo).**



**Photo II. 9 : Nombre élevé de tiges par souche dans une plantation de teck (Commune de Toffo).**



**Photo II. 10 : Plantations de teck en bordure de route à Domè-Sèko (Commune de Zè).**

## **II. 6. Conclusion**

Au sein du département de l'Atlantique, les teckeraies privées font 2696,85 ha et sont détenues par 2495 paysans planteurs ; 28,4 % des plantations ont un diamètre moyen quadratique inférieur à 5 cm et 69,5 % des peuplements ont un diamètre moyen quadratique compris entre 5 et 10 cm. Les hauteurs moyennes de 88 % des plantations sont comprises entre 5 et 10 m et la surface terrière varie entre 1,86 et 29,85 m<sup>2</sup>/ha. Le potentiel appréciable des teckeraies privées du département est la preuve que celles-ci sont une ressource qui mérite autant d'attention que les plantations domaniales et les forêts naturelles du pays. Les techniques traditionnelles de sylviculture des paysans planteurs montrent un manque crucial d'encadrement technique. Il importe donc que des efforts de recherche se poursuivent sur les teckeraies privées afin d'apporter un appui technique efficace aux paysans planteurs.

## Chapitre III.

# CARACTERISTIQUES STRUCTURELLES ET ÉCOLOGIQUES DES PHYTOCÉNOSES DE SOUS-BOIS DES PLANTATIONS PRIVÉES DE TECK DU DÉPARTEMENT DE L'ATLANTIQUE (SUD-BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST)

---

Yêvidé ASI, Ganglo JC, Aoudji AK, Toyi MS, De Cannière C, De Foucault B, Devineau JL, Sinsin B. 2011. Caractéristiques structurelles et écologiques des phytocénoses de sous-bois des plantations privées de teck du département de l'Atlantique (Sud-Bénin, Afrique de l'Ouest). *Acta Botanica Gallica*, **158**(2): 263-283.

# **Chapitre III. CARACTERISTIQUES STRUCTURELLES ET ECOLOGIQUES DES PHYTOCENOSSES DE SOUS-BOIS DES PLANTATIONS PRIVEES DE TECK DU DEPARTEMENT DE L'ATLANTIQUE (SUD-BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST)**

## **III. 1. Résumé**

Les caractéristiques structurelles et écologiques des plantations privées de teck du département de l'Atlantique au sud du Bénin ont été étudiées par la phytosociologie synusiale intégrée en vue de contribuer à leur gestion durable. Pour étudier leur caractéristiques dendrométriques, deux placettes temporaires de 1 are ont été implantées dans 150 plantations, à des endroits représentatifs des phytocénoses. Au sein de chaque placette, la circonférence à 1,3 m du sol des arbres et la hauteur totale des trois arbres moyens ont été mesurées. 99 synusies ont été identifiées, décrites et regroupées en 18 phytocénoses. Les caractéristiques écologiques ont été précisées.

**Mots clés :** Bénin, teckeraies, caractéristiques structurelles et écologiques, phytocénoses.

## **III. 2. Abstract**

Structural and ecological characteristics of private Teak plantations in the Atlantique department, South Benin were studied according to the synusial approach of phytosociology in order to contribute to the sustainable management of the plantations. The study of dendrometric characteristics of Teak plantations was done by establishing two temporal plots, each of 1 are. In each plot, the stem girth of the trees and the total height of three mean trees were measured. A total of 99 vegetal synusias has been described, then combined into 18 phytocoenoses. Ecological characteristics are also studied.

**Keywords:** Benin, teak plantations, ecological and structural characteristics, phytocoenoses.

### III. 3. Introduction

Les ressources forestières du Bénin couvrent seulement une superficie de 2351000 ha, dont 114000 ha de plantations forestières (FAO, 2007). Elles sont malheureusement soumises à une dégradation alarmante. En effet, le Bénin perd en moyenne 65000 ha de forêts chaque année (FAO, 2007).

Pour réhabiliter les écosystèmes forestiers, limiter leur destruction et améliorer la production et autres services rendus par les forêts, la solution a été depuis les années 1940 de reboiser les espaces dégradés (Ganglo & de Foucault, 2006) et ceci par l'utilisation d'espèces de valeur comme le teck (*Tectona grandis* L. f.). Environ 17000 ha de teckeraies ont ainsi été mises en place par l'État. Le choix du teck comme essence de reboisement se justifie par son fort potentiel de croissance et les qualités exceptionnelles de son bois (Sarre & Ma, 2004 ; Rance & Monteuis, 2004). Le succès des plantations domaniales a incité les paysans et les collectivités locales à le planter dans plusieurs départements du Sud-Bénin (Quenum, 2002).

Plusieurs travaux d'aménagement et de recherche ont été entrepris dans les teckeraies domaniales du Bénin. Ces recherches se sont focalisées sur l'impact de la richesse du sol sur la croissance du teck et ont conclu qu'une teneur élevée en Ca, P, C, N, un rapport C/N et une CEC élevés sont favorables à la croissance du teck (CTFT, 1969). Catinot (1970) a fait remarquer que la faible profondeur des sols et leur faible teneur en eau sont principalement responsables de la déformation des fûts du teck. Des maladies cryptogamiques ont été observées dans les teckeraies, dont le principal agent est *Fomes lignosus* (CTFT, 1971). Les études sur les éclaircies ont été aussi faites dans les teckeraies du Bénin ; elles ont permis de conclure que les éclaircies sélectives conduisent à une meilleure croissance que les éclaircies mécaniques. Récemment, l'utilisation de la phytosociologie pour l'étude des forêts du Bénin a permis de mettre en évidence les relations entre les facteurs écologiques, la végétation du sous-bois et la productivité des teckeraies. Ces relations ont permis d'identifier et de cartographier plusieurs stations forestières (Ganglo *et al.*, 1999 ; Ganglo, 2005a ; Noumon & Ganglo, 2005 ; Dossa *et al.*, 2005 ; Dossa & Ganglo, 2006 ; Aoudji & Ganglo, 2006 ; Aoudji *et al.*, 2006 ; Ganglo & de Foucault, 2006 ; Noumon *et al.*, 2006 ; Tohngodo *et al.*, 2006a, 2006b).

Au plan international, sur la base d'importants travaux de recherche sur la sylviculture du teck, des tables de production de cette essence ont été élaborées dans plusieurs pays (Indonésie, Inde, Trinité et Tobago, Côte-d'Ivoire... ; Von Wulfing, 1932 ; Seth, 1959 ; Miller, 1969 ; Maître, 1983 ; Dupuy, 1990 ; Dupuy *et al.*, 1999...). D'autres recherches sur les caractéristiques du bois de teck, ont permis d'analyser l'influence des âges, de la provenance et des facteurs écologiques sur les propriétés de ce bois au Togo (Kokutse *et al.*, 2009a ; Kokutse *et al.*, 2009b ; Adjonou *et al.*, 2010).

Ces nombreux résultats de recherche sont obtenus, pour plupart, dans les teckeraies gérées en régime de futaie alors que les données sur les taillis de teck, comme c'est le cas des teckeraies privées du département de l'Atlantique, sont encore limitées. Par ailleurs, les résultats de recherche obtenus sur ces futaies ne sont pas forcément transposables aux taillis. Il est donc important que de nouvelles recherches soient conduites dans les taillis de teck pour

analyser les relations entre les facteurs écologiques et biologiques afin d'aider à la prise de décision sur la gestion durable des plantations. Ainsi, la présente étude a pour objectif de décrire les groupements végétaux de sous bois des plantations privées de teck et d'étudier leurs relations avec les facteurs écologiques. Nos hypothèses de recherches sont : 1) des paramètres écologiques contrôlent la mise en place des communautés végétales (phytocénoses) de sous-bois des taillis de teck ; 2) les caractéristiques structurelles des plantations varient en fonction des phytocénoses.

### III. 4. Milieu d'étude

Situé au sud du Bénin, le département de l'Atlantique est compris entre 6°18' et 6°58' de latitude nord et 1°56' et 2°30' de longitude est. Il s'étend sur une superficie de 3233 km<sup>2</sup> et compte 500 villages répartis dans 74 arrondissements et 8 communes (Figure III. 1).

On distingue deux groupes de formations géologiques dans le département : les formations récentes et le Continental terminal. Les formations récentes regroupent le cordon littoral en bande de largeur variable, rencontrées le long des cours d'eau. A partir du Continental terminal s'est formée la terre de barre (sédiment meuble argilo-sableux de couleur rouge) qui fait partie de la série des sols ferrallitiques faiblement désaturés (Volkoff & Willaime, 1976).

Le département de l'Atlantique est sous l'influence d'un climat subéquatorial caractérisé par deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses (avril-juillet et septembre-octobre ; Figure III. 2). La pluviométrie moyenne annuelle est voisine de 1200 mm. Les températures moyennes mensuelles varient entre 27 et 31 °C. L'amplitude thermique est de l'ordre de 3,2 °C dans la zone sud, alors qu'elle est de 3,8 °C dans le nord du département.

Notre zone d'étude est largement défrichée et la végétation climacique de forêts denses semi-décidues, caractérisée par la fréquence de *Triplochiton scleroxylon*, *Celtis mildbraedii*, *C. zenkeri*, *Antiaris toxicaria*, *Albizia adianthifolia*, *A. ferruginea*, *A. zygia*, *Ceiba pentandra* (Aubréville, 1937 ; Akoégninou, 1984, 2004) n'existe plus qu'en petits îlots d'extension négligeable. Actuellement, elle est caractérisée par une végétation arbustive, associée à des peuplements plus ou moins denses de palmiers à huile.

Dans les plantations forestières du département, la végétation de sous-bois est caractérisée par la fréquence élevée de la présence de *Mallotus oppositifolius*, *Macrosphyra longistyla*, *Paullinia pinnata*, *Reissantia indica*, *Chromolaena odorata* et *Panicum maximum*.

Dans le département de l'Atlantique, les plantations privées de teck sont d'âges très variables mais généralement inférieur à 10 ans. Elles couvrent environ une superficie de 2697 ha. Le nombre de plantations s'élève à 3413 pour 2495 paysans planteurs. La superficie totale des plantations par paysan varie de moins de 0,02 ha à plus de 26 ha. Cependant, 19% seulement des plantations ont une superficie supérieure ou égale à 1 ha.

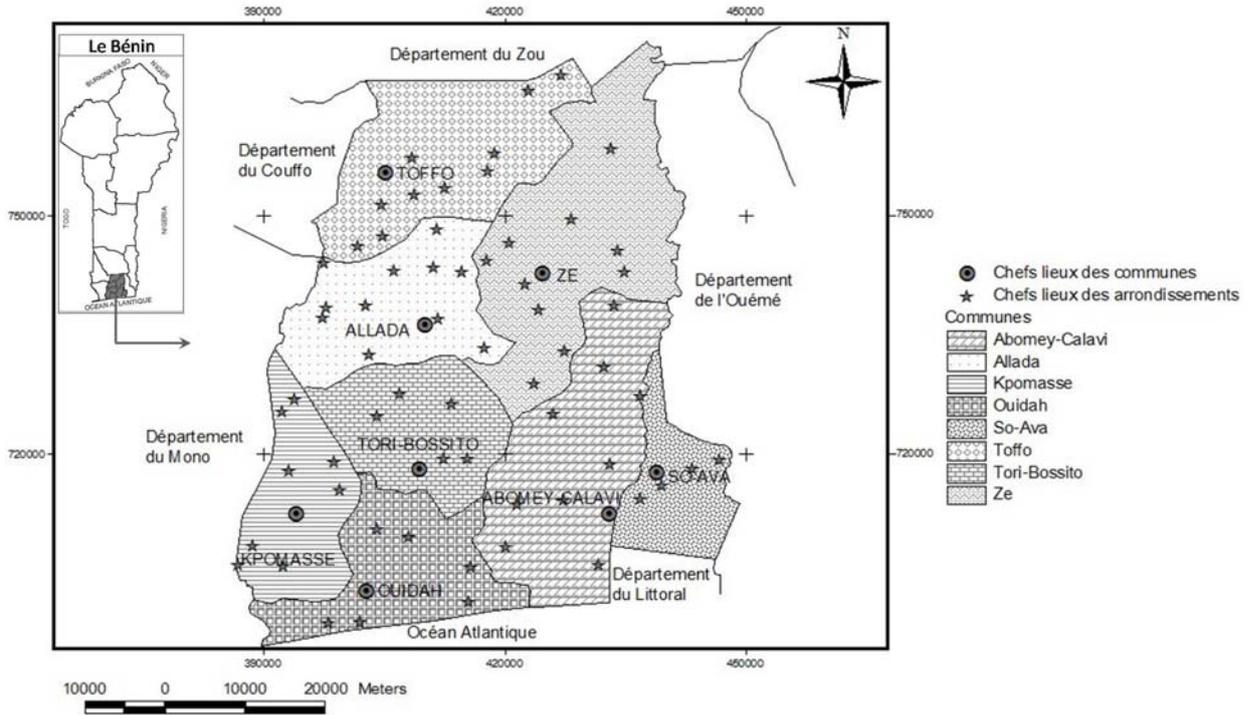


Figure III. 1 : Situation et localisation géographique du Département de l'Atlantique.

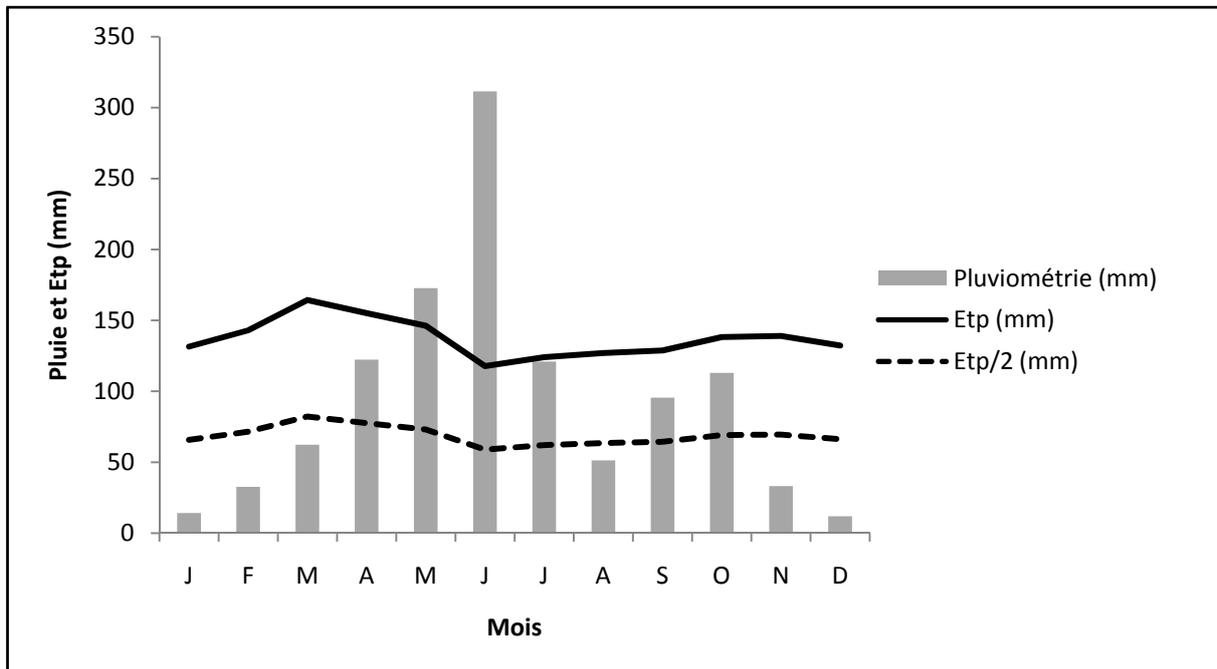


Figure III. 2 : Diagramme climatique du Département de l'Atlantique sur la base des données de l'Agence pour la Sécurité et la Navigation Aérienne (ASECNA).

NB : Pluviométrie : moyennes mensuelles de Ouidah (millimètre, de 1960 à 2006) ; Etp : évapotranspiration potentielle (millimètre, de 1960 à 2006).

### III. 5. Méthodologie

#### III. 5.1. Etude phytosociologique de la végétation

Les études phytosociologiques ont été conduites suivant l'approche de la phytosociologie synusiale intégrée de Gillet *et al.* (1991), en vue de l'identification des synusies végétales et des phytocénoses qui composent le sous-bois des plantations privées de teck. Cette approche a consisté dans un premier temps à explorer tous les compartiments de la végétation de sous-bois des plantations à la recherche des synusies végétales, c'est-à-dire des groupes d'espèces caractérisés par une composition floristique homogène et la prédominance d'un type morphologique, d'une stratégie adaptative et d'un type biologique donné. La répétition des combinaisons d'espèces en relation avec les facteurs du milieu (sol, position topographique, pente...) a permis d'identifier les synusies végétales. Dans un second temps, les relations spatio-temporelles des synusies identifiées ont été analysées. Cette analyse a permis d'intégrer ces synusies en groupements végétaux (phytocénoses) qui sont en fait des strates de végétation homogènes d'un point de vue écologique et structural. Toutes les espèces présentes dans les synusies de même que les synusies au sein des phytocénoses ont été affectées de coefficients d'abondance-dominance. De plus, les synusies ont été ensuite affectées de coefficients d'agrégation. Ceux-ci sont complétés par une description de la forme spatiale et des contours des synusies selon (Gillet *et al.*, 1991). La dénomination des espèces a suivi la nomenclature de Lebrun & Stork (1991-1997).

L'identification des synusies a été objectivée par une analyse des correspondances redressées (DCA) et une classification hiérarchique ascendante (CHA) avec le logiciel *Community Analysis Package 2.0* après encodage des données dans *Excel*. Ces outils sont choisis du fait de leur bonne précision dans l'analyse des données phytosociologiques (Pisces, 2001). La diversité floristique des synusies a été appréciée au moyen des indices de diversité. L'indice de Shannon a été calculé sur la base des recouvrements des espèces au sein des relevés. Il est donné par  $H = -\sum P_i \log_2 P_i$ , avec  $P_i = r_i / r$  où  $r_i$  est le recouvrement de l'espèce  $i$  dans le relevé considéré et  $r$  désigne la somme totale des recouvrements des espèces du relevé. Le coefficient d'équitabilité de Pielou est donné par  $E = H / H_{\max}$ , avec  $H_{\max} = \log_2 S$  où  $S$  est le nombre total d'espèces ; il est compris entre 0 et 1 et traduit le degré de diversité atteint par rapport au maximum possible. Une analyse comparative des indices de diversité spécifique entre les synusies unificatrices des phytocénoses a été réalisée au moyen d'une analyse de variance suivie du test de comparaison des moyennes de Student-Newman-Keuls.

#### III. 5.2. Etude dendrométrique

Un effectif de 150 plantations réparties dans l'ensemble des phytocénoses du département a servi pour la collecte des informations dendrométriques. Deux placettes temporaires de forme carrée et de superficie 1 are (10 m \* 10 m) chacune ont été implantées dans chacune des 150 plantations, à des endroits représentatifs des phytocénoses, soit un total de 300 placettes. La superficie d'un are a permis de compter au moins une douzaine d'arbres de teck par placette (Duplat & Perrote, 1981).

Au sein de chaque placette, la circonférence ( $C_i$ ) à hauteur de poitrine (1,3 m du sol) de tous les arbres a été mesurée avec le mètre-ruban au centimètre le plus proche. Après calcul du diamètre quadratique ( $D_g$ ), trois arbres moyens (classe de diamètre  $D_g \pm 2,5\text{cm}$ ), ont servi pour la mesure de la hauteur totale au clinomètre et au calcul de la hauteur moyenne ( $H_g$ ).

Le nombre de pieds ( $N_c$ ) et le nombre de tiges ( $N_t$ ) ont été dénombrés ; ils ont servi au calcul de la densité initiale de la plantation (densité d'arbres)  $D_p$  avec  $100 \times [(N_{cp1} + N_{cp2})/2]$  et de la densité de rejets (densité de tiges)  $D_r$  avec  $100 \times [(N_{tp1} + N_{tp2})/2]$  où  $p1$  et  $p2$  correspondent respectivement à placette1 et placette2 de chaque plantation.

Le diamètre moyen quadratique  $D_g$  est calculé par  $[\sum (C_i/\pi)^2 / n]^{1/2}$  et la surface terrière moyenne  $G$  par  $\sum (C_i^2 / 4\pi)$ .

Les structures diamétriques des plantations ont été décrites en utilisant les fréquences des classes de diamètres et les mélanges de modèles. En effet, plusieurs auteurs ont conclu que les mélanges de distributions constituent la meilleure alternative pour la modélisation des structures diamétriques des peuplements mélangés ou d'âges multiples (Zhang *et al.*, 2001 ; Liu *et al.*, 2002). Dans ce travail la méthode d'ajustement sans contrainte sur les paramètres a été retenue. Toutes les analyses ont été réalisées dans le logiciel R2.6.1 (R Development Core Team, 2007). Pour l'estimation des paramètres du mélange, le package *mixdist* a été utilisé.

### III. 5.3. Etude écologique

Des sondages à la tarière pédologique ont été effectués aux endroits représentatifs de chaque phytocénose. Sur les trente premiers centimètres du sol, un échantillon de sol a été prélevé par relevé et a fait l'objet d'analyse au laboratoire de sciences du sol de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA).

Le pH (pHeau) du sol a été déterminé avec un pHmètre dont les électrodes ont été immergées dans une solution de 20 g de sol et de 50 mL d'eau distillée. L'analyse granulométrique du sol pour l'identification des taux de sable, limon, argile a été faite par la méthode de la pipette de Robinson. La texture a été déterminée en utilisant le diagramme triangulaire (Baize, 2000). L'azote total ( $N_t$ ) a été déterminé par la méthode de Kjeldahl. Le taux de carbone a été déterminé par la méthode de Walkley et Black et le taux de matière organique ( $MO$ ) calculé par multiplication du taux de carbone ( $C$ ) avec le coefficient 1,72 ( $MO = 1,72 \times C$ ), on peut en déduire le rapport carbone-azote ( $C/N_t$ ). La capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée par dosage des cations échangeables.

Les analyses de laboratoire des échantillons de sol ont été complétées par l'appréciation de la texture tactile au sein de chaque relevé. Cette appréciation a été faite sur les cinquante premiers centimètres de profondeur des horizons de surface. Ainsi, par intervalle de 10 cm, la texture tactile a été déterminée par appréciation de la présence relative des particules granulométriques du sol (sable, limon et argile).

### III. 6. Résultats

L'étude phytosociologique de la végétation spontanée du sous-bois des plantations privées de teck a permis d'identifier au total 444 espèces appartenant à 315 genres répartis dans 95 familles. Les familles les plus diversifiées sont celles des Poaceae, Fabaceae et Rubiaceae avec respectivement 35, 35 et 25 espèces, soit respectivement 7,9%, 7,9% et 5,6% du nombre total d'espèces. Les genres les plus diversifiés sont ceux des *Desmodium* (1,8%), des *Cassia* (1,8%), des *Combretum* (1,6%) et des *Ficus* (1,4%) du nombre total d'espèces. Nous avons par ailleurs identifié et décrit quatre vingt dix neuf synusies végétales qui, sur la base de leurs relations spatio-temporelles, sont intégrées en dix huit phytocénoses différenciées par leurs synusies unificatrices. Les caractéristiques structurelles et écologiques des phytocénoses font l'objet de la présentation qui suit.

#### III. 6.1. Les phytocénoses à *Mallotus oppositifolius*

Dans le sous-bois des plantations privées de teck du département de l'Atlantique, dix phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* ont été identifiées et décrites (Tableau III. 1).

##### III. 6.1.1. Caractéristiques écologiques

Les phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* sont les plus répandues dans le département de l'Atlantique. Elles ont été identifiées dans toutes les communes du département et s'établissent sur les sols ferrallitiques. Elles colonisent des sols de textures diverses (sableuse à argileuse) et occupent des positions topographiques variées.

Les analyses des échantillons de sol réalisées permettent de remarquer que le taux d'acidité du sol et le taux de matière organique sont les paramètres écologiques qui expliquent au mieux la mise en place des phytocénoses. En effet, les phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Premna angolensis*, à *Mallotus oppositifolius* - *Cnestis ferruginea* et à *Mallotus oppositifolius* - *Combretum sordidum* occupent les milieux les plus acides avec de faible taux de matière organique alors que les phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Clerodendrum capitatum*, à *Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata* et à *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla* occupent les milieux les moins acides avec de forts taux de matière organique (Tableau III. 1). Les autres phytocénoses occupent des milieux d'acidité intermédiaire. Ainsi, les forts taux de matière organique sont associés aux biotopes les moins acides alors que les faibles taux sont associés aux biotopes les plus acides. Exception est faite toutefois de la phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Flueggea virosa* qui a le plus fort taux de matière organique tout en s'étendant sur les sols moyennement acides (Tableau III. 1). Ainsi, nous notons de significatives différences entre les phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* vis-à-vis des paramètres pédologiques des sols sur lesquels elles se sont établies.

##### III. 6.1.2. Diversité spécifique des synusies composantes

Les indices de diversité calculés pour les synusies unificatrices des différentes phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* montrent que celles-ci comptent plus de 40 espèces

végétales en moyenne, sauf les synusies unificatrices des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Rourea coccinea*, à *Mallotus oppositifolius* - *Flueggea virosa*, à *Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata* et à *Mallotus oppositifolius* - *Dichapetalum madagascariense*. Les synusies unificatrices des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Combretum sordidum*, à *Mallotus oppositifolius* - *Premna angolensis* et à *Mallotus oppositifolius* - *Clerodendrum capitatum* ont la plus grande richesse spécifique, soit respectivement 86, 62 et 57 espèces.

La diversité spécifique est la plus faible au sein de la synusie unificatrice de la phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Flueggea virosa* ( $H = 1,90$ ) et celle de la phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata* ( $H = 2,04$ ). Contrairement à celles-ci, les synusies unificatrices des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Clerodendrum capitatum*, à *Mallotus oppositifolius* - *Premna angolensis* et à *Mallotus oppositifolius* - *Cnestis ferruginea*, ont la diversité spécifique la plus grande, soit respectivement 3,31 ; 3,11 et 3,08 pour l'indice de Shannon. Seules les synusies unificatrices de ces trois dernières phytocénoses et celle de la phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Combretum sordidum* ont le meilleur équilibre dans la répartition d'abondance spécifique ( $E > 0,50$ ). Le tableau III. 2 présente la comparaison des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* sur la base de leurs diversités spécifiques. Il apparaît globalement que les richesses spécifiques les plus élevées et les meilleurs équilibres d'abondance spécifique se retrouvent sur les sols les plus acides.

**Tableau III. 1 : Caractéristiques pédologiques des échantillons de sol prélevés sur 30 cm de profondeur des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* et résultats de leurs comparaisons.**

Phytocénoses	Nom- bre d'obser- vations	pHeau	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Matière Organique (%)	Azote (%)	Carbone/ Azote	Capacité d'Echange Cationique (cmol <sup>+</sup> /kg)
		p = 0,0011	p = 0,0081	p = 0,0144	p = 0,0085	p < 0,0001	p = 0,0141	p = 0,0028	p = 0,0407
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Clerodendrum capitatum</i>	4	6,7 ± 1,8 a	70,97 ± 30,99 a	15,06 ± 28,43 a	13,98 ± 8,19 b	3,34 ± 4,77 ab			
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Macrosphyra longistyla</i>	12	6,4 ± 0,1 ab	79,14 ± 2,93 a	3,92 ± 1,26 bc	16,95 ± 2,73 b	1,72 ± 0,32 cd	0,068 ± 0,01 bc	16,60 ± 3,02 bc	8,6 ± 2,2 b
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Paullinia pinnata</i>	12	6,4 ± 0,3 ab	65,72 ± 9,19 ab	6,19 ± 2,97 bc	28,10 ± 7,92 ab	2,40 ± 0,66 bc	0,083 ± 0,01 abc	18,68 ± 3,34 bc	15,0 ± 4,9 ab
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Rourea coccinea</i>	2	6,1 ± 0,0 abc	68,13 ± 39,63 a	7,38 ± 4,76 abc	24,50 ± 44,49 b	2,20 ± 4,94 bc	0,097 ± 0,16 ab	13,16 ± 8,00 c	13,5 ± 31,5 ab
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Flueggea virosa</i>	4	6,1 ± 0,6 abc	47,31 ± 39,19 b	9,88 ± 13,94 ab	42,81 ± 26,36 a	4,44 ± 0,60 a	0,100 ± 0,01 a	25,76 ± 2,31 a	24,0 ± 14,6 a
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Dichapetalum madagascariense</i>	3	6,0 ± 0,8 bc	76,92 ± 15,73 a	3,42 ± 4,12 bc	19,67 ± 13,64 b	1,66 ± 1,09 cd	0,076 ± 0,04 abc	12,73 ± 5,91 c	10,0 ± 8,7 b
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Reissantia indica</i>	17	5,9 ± 0,2 bc	76,80 ± 6,89 a	4,16 ± 1,55 bc	19,04 ± 6,90 b	1,65 ± 0,41 cd	0,059 ± 0,01 c	21,73 ± 1,81 ab	13,6 ± 4,9 ab
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Cnestis ferruginea</i>	4	5,8 ± 0,5 bc	77,44 ± 13,95 a	2,06 ± 2,48 bc	20,50 ± 13,43 b	1,64 ± 0,38 cd	0,059 ± 0,03 c	17,05 ± 5,58 bc	9,5 ± 7,5 b
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Combretum sordidum</i>	4	5,8 ± 0,6 bc	76,70 ± 7,21 a	1,25 ± 0,86 c	22,06 ± 7,46 b	0,85 ± 0,37 d			
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Premna angolensis</i>	4	5,5 ± 0,64 c	73,94 ± 20,52 a	2,31 ± 1,50 bc	23,76 ± 19,35 b	0,87 ± 0,68 d			

**NB :** Chaque cellule contient la valeur moyenne de chaque paramètre plus ou moins sa marge d'erreur ; les cellules vides signifient que les données ne sont disponibles. Pour chaque paramètre physico-chimique du sol, les phytocénoses ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes les unes des autres au seuil de 5 % de probabilité (test de comparaison de Student Newman-Keuls). p = probabilité.

**Tableau III. 2 : Comparaison des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* sur la base des indices de diversité de leurs synusies unificatrices.**

Phytocénoses identifiées	Nombre d'observations	Indice de Shannon des synusies unificatrices	Equitabilité de Piélou des synusies unificatrices	Richesse Spécifique des synusies unificatrices
		p = 0,0007	p = 0,0053	p = 0,0003
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Clerodendrum capitatum</i>	6	3,31 a	0,59 a	57 bc
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Cnestis ferruginea</i>	3	3,08 ab	0,57 ab	43 bcd
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Combretum sordidum</i>	2	2,53 abc	0,52 abc	86 a
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Dichapetalum madagascariense</i>	5	2,42 abc	0,39 bc	38 cd
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Macrosphyra longistyla</i>	14	2,38 abc	0,44 abc	46 bcd
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Premna angolensis</i>	2	3,11 ab	0,58 ab	62 b
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Paullinia pinnata</i>	10	2,04 c	0,35 c	37 cd
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Rourea coccinea</i>	2	2,18 bc	0,44 abc	32 d
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Reissantia indica</i>	15	2,62 abc	0,47 abc	47 bcd
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Flueggeavirosa</i>	13	1,90 c	0,39 bc	33 d

NB : Pour chaque paramètre de diversité spécifique, les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes les unes des autres au seuil de probabilité de 5 % (test de comparaison de Student Newman-Keuls). p = probabilité.

**Tableau III. 3 : Résultats de comparaison des caractéristiques dendrométriques des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius*.**

Phytocénoses	Nombre d'observations	Densité Arbres/ha	Hauteur (m)	Diamètre (cm)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	Age des tiges (ans)
		p = 0,0500	p = 0,2533	p = 0,0042	p = 0,0044	p = 0,2483
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Clerodendrum capitatum</i>	4	3188 abc	6,08 a	4,67 c	11,44 bc	2,8 a
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Cnestis ferruginea</i>	4	3688 ab	7,27 a	5,53 abc	14,58 abc	1,9 a
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Combretum sordidum</i>	10	3830 a	6,69 a	7,29 a	21,81 a	4,4 a
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Dichapetalum madagascariense</i>	9	3000 abc	6,33 a	4,81 bc	10,73 bc	4,7 a
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Macrosphyra longistyla</i>	12	3221 abc	7,86 a	7,03 ab	13,00 bc	6,6 a
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Premna angolensis</i>	4	2375 bc	6,65 a	6,89 abc	17,29 ab	6,8 a
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Paullinia pinnata</i>	13	3242 abc	6,06 a	5,07 abc	12,43 bc	2,6 a
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Rourea coccinea</i>	2	3375 ab	6,21 a	6,33 abc	11,24 bc	4,5 a
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Reissantia indica</i>	23	3137 abc	6,50 a	6,47 abc	15,3 abc	4,3 a
<i>Mallotus oppositifolius</i> et <i>Flueggea virosa</i>	4	1950 c	6,76 a	5,41 abc	7,40 c	5,0 a

NB : Pour chaque paramètre dendrométrique, les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes les unes des autres (test de comparaison de Student Newman-Keuls). p = probabilité.

### III. 6.1.3. Caractéristiques dendrométriques des teckeraies en place

Les peuplements de teck mis en place dans les phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* sont établis suivant des densités d'arbres qui varient de 1300 à 6050 par hectare et dont la grande majorité (75% environ) sont de densité supérieure à 2500 arbres/ha. Ces peuplements sont de différents âges et leur diamètre moyen quadratique varie de 1,94 cm à 15,75 cm. Il faut cependant remarquer que 28,4% des peuplements ont leur diamètre moyen quadratique inférieur à 5 cm et 69,5% ont leur diamètre moyen quadratique compris entre 5 et 10 cm. Les hauteurs moyennes totales des peuplements sont comprises entre 2,5 et 13 m. Les 88% des peuplements ont toutefois des hauteurs moyennes comprises entre 5 et 10 m. La surface terrière des peuplements est comprise entre 1,86 et 29,85 m<sup>2</sup>/ha.

Le tableau III. 3 présente les résultats de la comparaison des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* suivant les caractéristiques dendrométriques. Il en ressort que la phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Combretum sordidum* présente les peuplements les plus denses avec des diamètres quadratiques moyens et des surfaces terrières les plus élevés. A l'opposé, les peuplements de la phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Flueggea virosa* sont les moins denses et présentent les surfaces terrières les plus faibles, alors que la phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Clerodendrum capitatum* dispose des peuplements ayant les plus faibles diamètres quadratiques moyens. Il n'existe cependant pas de différence significative entre les hauteurs moyennes et l'âge moyen des peuplements des différentes phytocénoses à *Mallotus oppositifolius*. Nous pouvons retenir que les peuplements de teck ayant les surfaces terrières les plus élevées se retrouvent globalement sur les sols les plus acides. C'est notamment le cas des teckeraies des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Cnestis ferruginea*, à *Mallotus oppositifolius* - *Clerodendrum capitatum* et à *Mallotus oppositifolius* - *Rourea coccinea* dans lesquelles les surfaces terrières sont les plus élevées avec des âges et des densités non significativement supérieurs à ceux des autres teckeraies. Ces phytocénoses indiquent donc les stations les plus appropriées pour la culture du teck.

### III. 6.1.4. Structures diamétriques des plantations de teck

Les structures diamétriques des teckeraies des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* s'ajustent à plusieurs distributions, dont notamment les distributions mixtes (Figure III. 3). Ainsi, les structures diamétriques s'ajustent à la distribution normale (P1), à des mélanges de deux distributions normales (P2) ou deux distributions de Weibull (P3) ou encore à deux distributions log-normales (P4). Il s'en suit que les plantations des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* sont majoritairement des mélanges de peuplements de différents âges.

La plantation P1 présente une structure normale avec 50% de tiges de diamètre inférieur à la moyenne (6,3 cm) et 50% de tiges de diamètre supérieur à cette moyenne. Cette plantation conduite en futaie jouit d'un bon entretien et les coupes occasionnelles ou frauduleuses y sont rares sinon inexistantes.

Les structures diamétriques des plantations P2, P3 et P4 attestent de la présence effective de deux peuplements au sein des plantations. Les plantations P2 et P4 présentent pour le premier peuplement 50% d'individus de tige de diamètre inférieur à la moyenne qui

respectivement est de 6,1 cm et 5,3 cm. Le second peuplement de la plantation P2 compte 72% de tiges de diamètre inférieur à la moyenne (11,1 cm) et 28% de tiges de diamètre supérieur à cette moyenne alors que le deuxième peuplement de la plantation P4 compte 56% de tige de diamètre inférieur à la moyenne (8,6 cm) et 44% qui en sont supérieurs. Le premier peuplement de la plantation P3 présente 45% et 55% de tiges de diamètre respectivement inférieur et supérieur à la moyenne (7,7 cm) alors que son second peuplement présente 42% et 58% de tiges de diamètre respectivement inférieur et supérieur à la moyenne (10,9 cm). Les plantations P2, P3 et P4 sont conduites en taillis dans une réserve de futaie. Ce sont des plantations qui enregistrent de fréquentes coupes occasionnelles et sont conduites de façon à produire à la fois des bois de service et des bois de petit sciage.

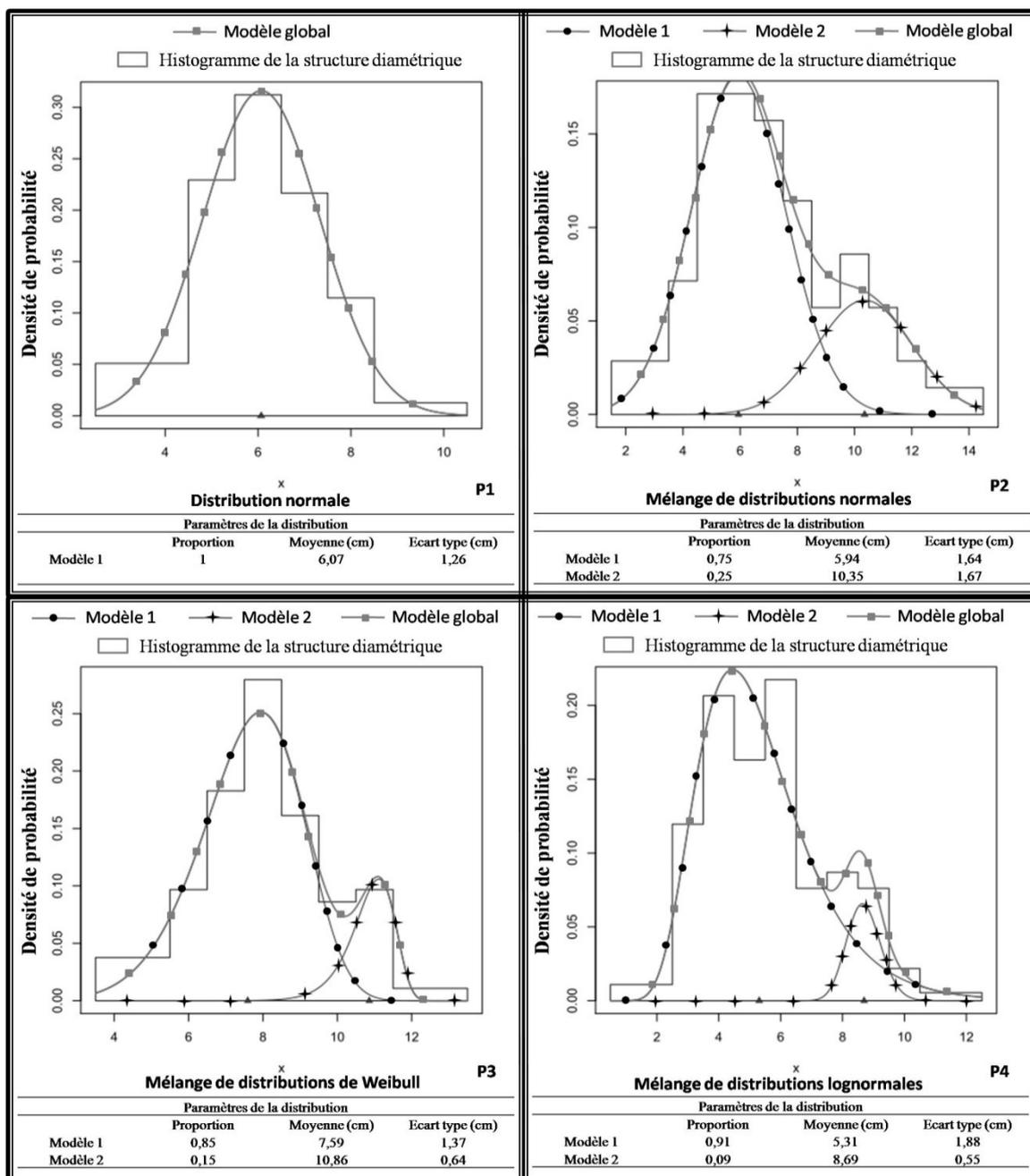


Figure III. 3 : Structures diamétriques de quelques plantations des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius*.

### III. 6.2. Les phytocénoses à *Chromolaena odorata*

Deux phytocénoses à *Chromolaena odorata* ont été identifiées. Il s'agit de :

- la phytocénose herbacée vivace haute à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum* et
- la phytocénose herbacée vivace haute à *Chromolaena odorata* - *Imperata cylindrica*.

En dehors des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius*, ces phytocénoses sont les plus répandues dans les plantations privées de teck du département de l'Atlantique.

#### III. 6.2.1. Caractéristiques écologiques

Les phytocénoses à *Chromolaena odorata* ont été identifiées dans les plantations ouvertes ou dans les trouées des plantations relativement fermées. Leurs présences sont principalement déterminées par le facteur photique. Elles sont établies sur des sols ferrallitiques de texture sableuse à argilo-sableuse. La phytocénose à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum* indique des sols plus riches en matière organique (2,44%) et moins lessivés que la phytocénose à *Chromolaena odorata* - *Imperata cylindrica* avec un taux de matière organique de 0,93% (Tableau III. 4a).

#### III. 6.2.2. Diversité spécifique des synusies composantes

Les synusies unificatrices des phytocénoses à *Chromolaena odorata* ont une richesse spécifique totale de treize espèces végétales. La synusie unificatrice de la phytocénose à *Chromolaena odorata* - *Imperata cylindrica* ( $H = 1,19$ ) apparaît plus diversifiée que celle de la phytocénose à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum* ( $H = 0,72$ ). La répartition de l'abondance dominance est également plus équilibrée au sein de la synusie unificatrice de la phytocénose à *Chromolaena odorata* - *Imperata cylindrica* ( $E = 0,43$ ) qu'au niveau de celle de la phytocénose à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum* ( $E = 0,36$ ). Au seuil de 5% il n'existe toutefois pas de différence significative entre la diversité spécifique et la répartition de l'abondance spécifique des différentes synusies unificatrices des deux phytocénoses (Tableau III. 5a).

#### III. 6.2.3. Caractéristiques dendrométriques des teckeraies en place

Les densités des peuplements de teck mis en place dans les phytocénoses à *Chromolaena odorata* varient de 900 à 5250 arbres/ha avec 62,5% des peuplements dont la densité est inférieure 2500 arbres/ha. Bien que les peuplements aient différents âges, le diamètre quadratique moyen varie de 3,05 à 9,14 cm, les hauteurs moyennes varient de 3,07 à 9,70 m et la surface terrière est comprise entre 2,92 et 24,88 m<sup>2</sup>/ha. 44,1% des peuplements ont un diamètre quadratique moyen inférieur à 5 cm et 20,6% ont une hauteur inférieure à 5 m.

Le tableau III. 6a permet de remarquer qu'au seuil de 5% la phytocénose à *Chromolaena odorata* - *Imperata cylindrica* a des peuplements de densité plus élevée mais de plus faibles hauteurs moyennes que les peuplements de la phytocénose à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum*. Cependant, il n'existe pas de différence significative entre le diamètre quadratique moyen, l'âge moyen et la surface terrière des peuplements des phytocénoses à *Chromolaena odorata*.

**Tableau III. 4 : Caractéristiques pédologiques des échantillons de sol prélevés sur 30 cm de profondeur des phytocénoses autres que celles à *Mallotus oppositifolius* et résultats de leurs comparaisons.**

4a									
Phytocénoses à <i>Chomalaena odorata</i>	Nombre d'observations	pHeau	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Matière Organique (%)	Azote (%)	Carbone/ Azote	Capacité d'Echange Cationique (cmol <sup>+</sup> /kg)
		p = 0,4658	p = 0,0836	p = 0,4869	p = 0,0227	p = 0,0179			
<i>Chromolaena odorata</i> et <i>Panicum maximum</i>	9	6,7 ± 0,5 a	70,45 ± 8,94 a	4,86 ± 2,13 a	24,69 ± 8,20 a	2,44 ± 1,12 a	0,069 ± 0,02	19,20 ± 3,23	13,0 ± 4,4
<i>Chromolaena odorata</i> et <i>Imperata cylindrica</i>	7	6,5 ± 0,3 a	81,29 ± 10,59 a	6,50 ± 5,72 a	12,21 ± 7,56 b	0,93 ± 0,26 b			
4b									
Les autres phytocénoses	Nombre d'observations	pHeau	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Matière Organique (%)	Azote (%)	Carbone/ Azote	Capacité d'Echange Cationique (cmol <sup>+</sup> /kg)
		p = 0,0004	p = 0,0827	p = 0,3431	p = 0,0469	p = 0,0662	p = 0,4168	p = 0,5445	p = 0,7504
<i>Uvaria chamae</i> et <i>Agelaea obliqua</i>	4	6,8 ± 0,5 a	77,19 ± 11,85 a	2,63 ± 2,16 a	20,19 ± 11,87 ab	1,34 ± 0,80 a	0,055 ± 0,02 a	14,08 ± 6,57 a	11,5 ± 7,0 a
<i>Macrosphyra longistyla</i> et <i>Reissantia indica</i>	6	6,6 ± 0,3 ab	87,51 ± 1,90 a	3,79 ± 1,85 a	8,72 ± 3,19 b	1,21 ± 0,29 a			
<i>Dichapetalum madagascariense</i> et <i>Reissantia indica</i>	5	6,1 ± 0,4 bc	81,51 ± 10,47 a	4,65 ± 1,34 a	12,84 ± 9,51 ab	1,89 ± 0,61 a			
<i>Uvaria chamae</i> et <i>Cnestis ferruginea</i>	2	5,7 ± 1,8 c	74,76 ± 101,65 a	3,25 ± 3,15 a	22,00 ± 104,88 ab	2,02 ± 1,35 a	0,066 ± 0,16 a	18,40 ± 32,98 a	11,5 ± 82,7 a
<i>Dichapetalum madagascariense</i> et <i>Cnestis ferruginea</i>	4	5,6 ± 0,8 c	70,13 ± 14,18 a	3,00 ± 3,02 a	26,88 ± 13,92 a	1,87 ± 0,62 a	0,069 ± 0,03 a	16,52 ± 8,18 a	14,3 ± 7,6 a
<i>Reissantia indica</i> et <i>Combretum sordidum</i>	4	5,6 ± 0,8 c	66,01 ± 36,66 a	8,44 ± 14,49 a	25,56 ± 27,24 a	1,38 ± 0,94 a			

**NB :** Chaque cellule contient la valeur moyenne de chaque paramètre plus ou moins sa marge d'erreur ; les cellules vides signifient que les données ne sont disponibles. Pour chaque paramètre physico-chimique du sol, les phytocénoses ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes les unes des autres au seuil de 5 % de probabilité (test de comparaison de Student Newman-Keuls). p = probabilité.

**Tableau III. 5 : Comparaison des phytocénoses autres que celles à *Mallotus oppositifolius* sur la base des indices de diversité leurs synusies unificatrices.**

5a				
Phytocénoses à <i>Chomalaena odorata</i>	Nombre d'observations	Indice de Shannon des synusies unificatrices	Equitabilité de Piélu des synusies unificatrices	Richesse Spécifique des synusies unificatrices
		p = 0,0602	p = 0,5257	p = 0,0125
<i>Chromolaena odorata</i> et <i>Imperata cylindrica</i>	4	1,19 a	0,43 a	13 a
<i>Chromolaena odorata</i> et <i>Panicum maximum</i>	9	0,72 a	0,36 a	6 b
5b				
Les autres phytocénoses	Nombre d'observations	Indice de Shannon des synusies unificatrices	Equitabilité de Piélu des synusies unificatrices	Richesse Spécifique des synusies unificatrices
		p = 0,0900	p = 0,0421	p = 0,0061
<i>Dichapetalum madagascariense</i> et <i>Cnestis ferruginea</i>	4	2,86 a	0,53 ab	43 b
<i>Dichapetalum madagascariense</i> et <i>Reissantia indica</i>	5	2,69 a	0,48 ab	47 b
<i>Macrosphyra longistyla</i> et <i>Reissantia indica</i>	6	2,92 a	0,52 ab	50 b
<i>Reissantia indica</i> et <i>Combretum sordidum</i>	2	3,15 a	0,59 a	70 a
<i>Uvaria chamae</i> et <i>Agelaea obliqua</i>	7	2,11 a	0,39 b	43 b
<i>Uvaria chamae</i> et <i>Cnestis ferruginea</i>	3	2,34 a	0,42 b	38 b

**NB :** Pour chaque paramètre de diversité spécifique, les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes les unes des autres (test de comparaison de Student Newman-Keuls). p = probabilité.

**Tableau III. 6 : Résultats de comparaison des caractéristiques dendrométriques des phytocénoses autres que celles à *Mallotus oppositifolius*.**

6a						
Phytocénoses à <i>Chomalaena odorata</i>	Nombre d'observations	Densité Arbres/ha	Hauteur (m)	Diamètre (cm)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	Age des tiges (ans)
		p = 0,0085	p = 0,0465	p = 0,2134	p = 0,4437	P = 0,9217
<i>Chromolaena odorata</i> et <i>Imperata cylindrica</i>	12	3412 a	5,76 b	5,09 a	11,68 a	3,3 a
<i>Chromolaena odorata</i> et <i>Panicum maximum</i>	9	2300 b	7,22 a	5,95 a	9,71 a	3,3 a
6b						
Les autres phytocénoses	Nombre d'observations	Densité Arbres/ha	Hauteur (m)	Diamètre (cm)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	Age des tiges (ans)
		p = 0,0484	p = 0,2787	p = 0,0134	p = 0,0065	P = 0,4264
<i>Dichapetalum madagascariense</i> et <i>Cnestis ferruginea</i>	4	3588 a	6,34 a	5,21 bc	14,25 b	4,6 a
<i>Dichapetalum madagascariense</i> et <i>Reissantia indica</i>	5	3743 a	7,46 a	6,76 ab	11,19 b	5,7 a
<i>Macrosphyra longistyla</i> et <i>Reissantia indica</i>	6	2450 ab	5,18 a	5,66 bc	12,33 b	3,6 a
<i>Reissantia indica</i> et <i>Combretum sordidum</i>	6	3275 ab	6,85 a	8,69 a	23,28 a	6,8 a
<i>Uvaria chamae</i> et <i>Agelaea obliqua</i>	4	1850 b	8,26 a	6,61 ab	10,12 b	5,5 a
<i>Uvaria chamae</i> et <i>Cnestis ferruginea</i>	2	3050 ab	5,97 a	3,83 c	9,02 b	1,0 a

**NB :** Pour chaque paramètre dendrométrique, les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes les unes des autres au seuil de 5 % de probabilité (test de comparaison de Student Newman-Keuls). p = probabilité.

### III. 6.2.4. Structures diamétriques des plantations de teck à *Chromolaena odorata*

Au sein des phytocénoses à *Chromolaena odorata*, les structures diamétriques des plantations s'ajustent mieux à des distributions mixtes (Figure III. 4).

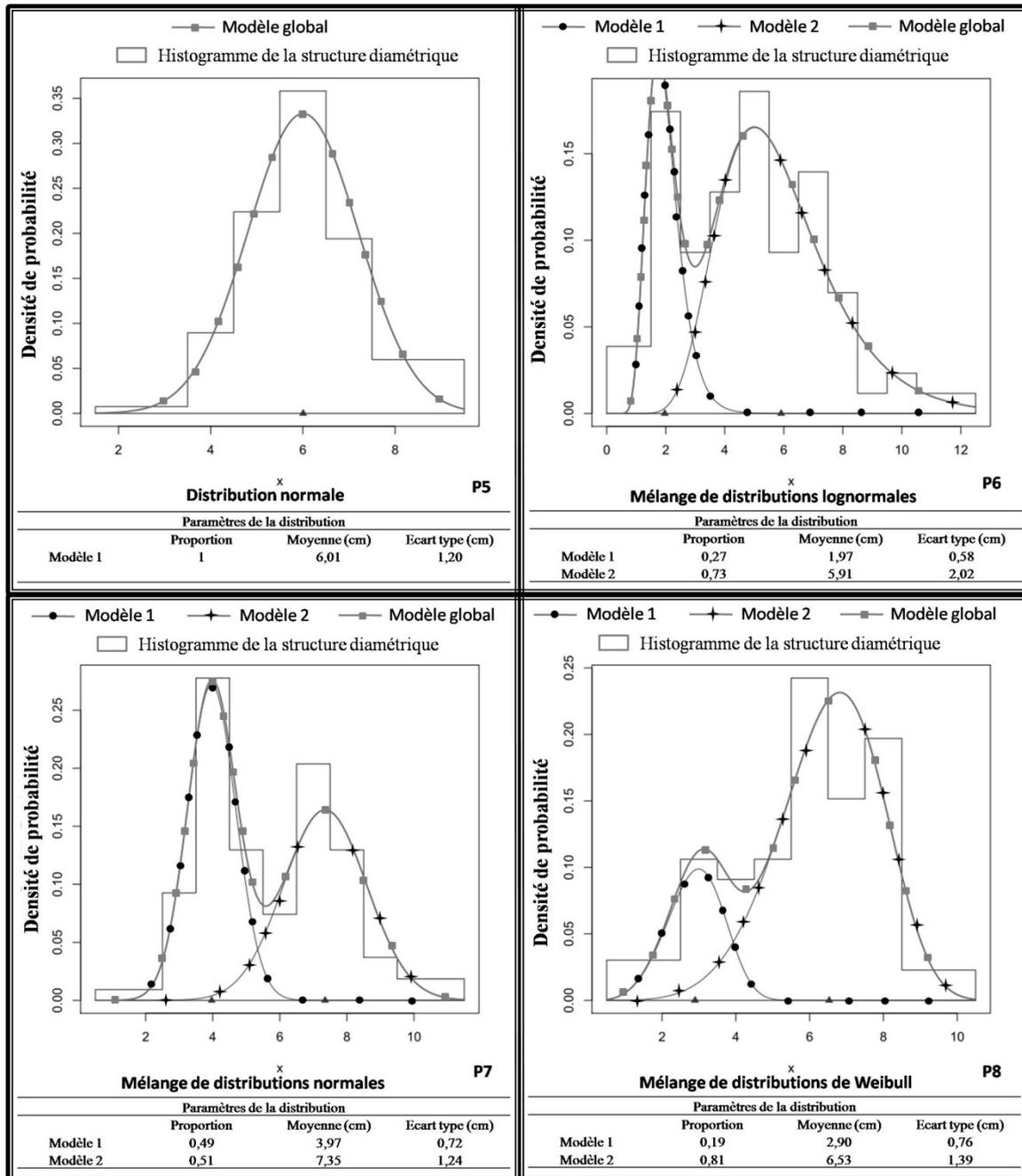


Figure III. 4 : Structures diamétriques de quelques plantations des phytocénoses à *Chromolaena odorata*.

Ainsi, on constate que les structures diamétriques s'ajustent à la distribution normale (P5), à des mélanges de deux distributions normales (P7) ou deux distributions de Weibull (P8) ou encore à deux distributions log-normales (P6). Les plantations des phytocénoses à *Chromolaena odorata* sont donc aussi principalement formées de mélanges de peuplements

de différents âges. Pour les plantations P6, P7 et P8, les diamètres moyens des plus jeunes peuplements sont respectivement 2,8 cm, 4,7 cm et 3,6 cm et ceux des peuplements plus âgés sont respectivement 6,4 cm, 8,0 cm et 7,1 cm. Les peuplements des plantations P5, P7 et P8 comptent une proportion plus élevée de tiges de diamètre inférieur à la moyenne. Par contre, les peuplements de la plantation P6 comptent plus de tiges de diamètre supérieur à la moyenne (Figure III. 4).

### **III. 6.3. Les autres phytocénoses**

Les autres phytocénoses identifiées dans le département de l'Atlantique sont au nombre de six (Tableau III. 4b). Elles constituent les phytocénoses les moins répandues dans le département.

#### **III. 6.3.1. Caractéristiques écologiques**

Les phytocénoses à *Reissantia indica* - *Combretum sordidum*, à *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea* et à *Uvaria chamae* - *Cnestis ferruginea* occupent les milieux les plus acides alors que les phytocénoses à *Macrosphyra longistyla* - *Reissantia indica* et à *Uvaria chamae* - *Agelaea obliqua* occupent les milieux les moins acides (Tableau III. 4b). La phytocénose à *Dichapetalum madagascariense* - *Reissantia indica* occupe des milieux d'acidité intermédiaire. Le taux d'acidité est donc aussi déterminant dans la mise en place de ces phytocénoses.

#### **III. 6.3.2. Diversité spécifique des synusies composantes**

La richesse spécifique moyenne est supérieure à 40 espèces végétales pour la plupart des synusies unificatrices des phytocénoses mais elle est de 38 espèces pour la synusie unificatrice de la phytocénose à *Uvaria chamae* - *Cnestis ferruginea*. La diversité spécifique est la plus élevée au sein des synusies unificatrices des phytocénoses à *Reissantia indica* - *Combretum sordidum* ( $H = 3,15$ ) ; à *Macrosphyra longistyla* - *Reissantia indica* ( $H = 2,92$ ) et à *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea* ( $H = 2,86$ ). La plupart des synusies unificatrices de ces phytocénoses ont les meilleurs équilibres de l'abondance spécifique. Toutefois, au seuil de 5%, il n'existe pas de différence significative entre la diversité spécifique des synusies unificatrices des différentes phytocénoses (Tableau III. 5b). Les richesses spécifiques les plus élevées et les meilleurs équilibres d'abondance spécifique se retrouvent également sur les sols les plus acides.

#### **III. 6.3.3. Caractéristiques dendrométriques des teckeraies en place**

Mis en place à des densités variant de 1500 à 6300 arbres/ha, les peuplements de teck ont des diamètres moyens quadratiques qui varient de 1,94 à 11,81 cm avec des hauteurs totales moyennes allant de 3,3 à 13,5 m et des surfaces terrières comprises entre 1,95 et 29,91 m<sup>2</sup>/ha. Les peuplements mis en place à des densités supérieures à 2500 arbres/ha font 60%. Nous avons noté aussi que 64% des peuplements ont un diamètre quadratique moyen compris entre 5 et 10 cm et 28% ont une hauteur inférieure à 5 m.

Au seuil de 5%, il existe une différence significative entre la densité, le diamètre quadratique moyen et la surface terrière des phytocénoses alors qu'aucune différence significative n'est notée au niveau des hauteurs moyennes (Tableau III. 6b). Ainsi, les phytocénoses à *Dichapetalum madagascariense* - *Reissantia indica* et à *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea* ont les peuplements les plus denses contrairement à la phytocénose à *Uvaria chamae* - *Agelaea obliqua*. Les peuplements de la phytocénose à *Reissantia indica* - *Combretum sordidum* ont les valeurs les plus élevées de diamètre moyen quadratique et de surface terrière alors que les valeurs les plus faibles de ces paramètres sont observées au sein des peuplements de la phytocénose à *Uvaria chamae* - *Cnestis ferruginea*. Il apparaît que les peuplements les plus âgés ont les valeurs les plus élevées de diamètre moyen quadratique et de surface terrière alors que les plus faibles valeurs de ces paramètres sont notées au sein des peuplements les moins âgés. Il n'existe cependant pas de différence significative entre les âges moyens des peuplements des différentes phytocénoses.

Globalement, les surfaces terrières les plus élevées des peuplements de teck se retrouvent sur les sols les plus acides.

#### **III. 6.3.4. Structures diamétriques des plantations de teck au sein des phytocénoses**

La figure III. 5 présente les structures diamétriques des plantations ; elles s'ajustent mieux aux mélanges de deux distributions normales (P10, P11 et P12) ou à une distribution normale (P9). La plupart des plantations sont donc formées de mélanges de peuplements de différents âges. Au sein de la plantation P9, 56% des tiges sont de diamètre inférieur à la moyenne (6,0 cm). Pour les plantations P10, P11 et P12, le diamètre moyen des jeunes peuplements sont respectivement 3,6 cm, 5,0 cm et 3,5 cm et celui des peuplements plus âgés sont respectivement 14,5 cm, 9,4 cm et 6,4 cm. Bien que les plantations P10, P11 et P12 soient composées de deux peuplements, la plantation P10 jouit d'une sylviculture qui associe de façon évidente la production de bois de service avec des bois de petits sciages.

Il ressort de nos principaux résultats, que le gradient d'acidité et, dans une moindre mesure, le taux de matière organique expliquent au mieux la mise en place des phytocénoses du sous-bois des teckeraies privées du département de l'Atlantique. Notre première hypothèse selon laquelle des paramètres écologiques contrôlent la mise en place des communautés végétales (phytocénoses) de sous-bois des taillis de teck est donc vérifiée. Nous n'avons toutefois pas observé une variation de la structure diamétrique des plantations en fonction des phytocénoses. Notre deuxième hypothèse selon laquelle les caractéristiques structurelles des plantations varient en fonction des phytocénoses n'est donc pas vérifiée.

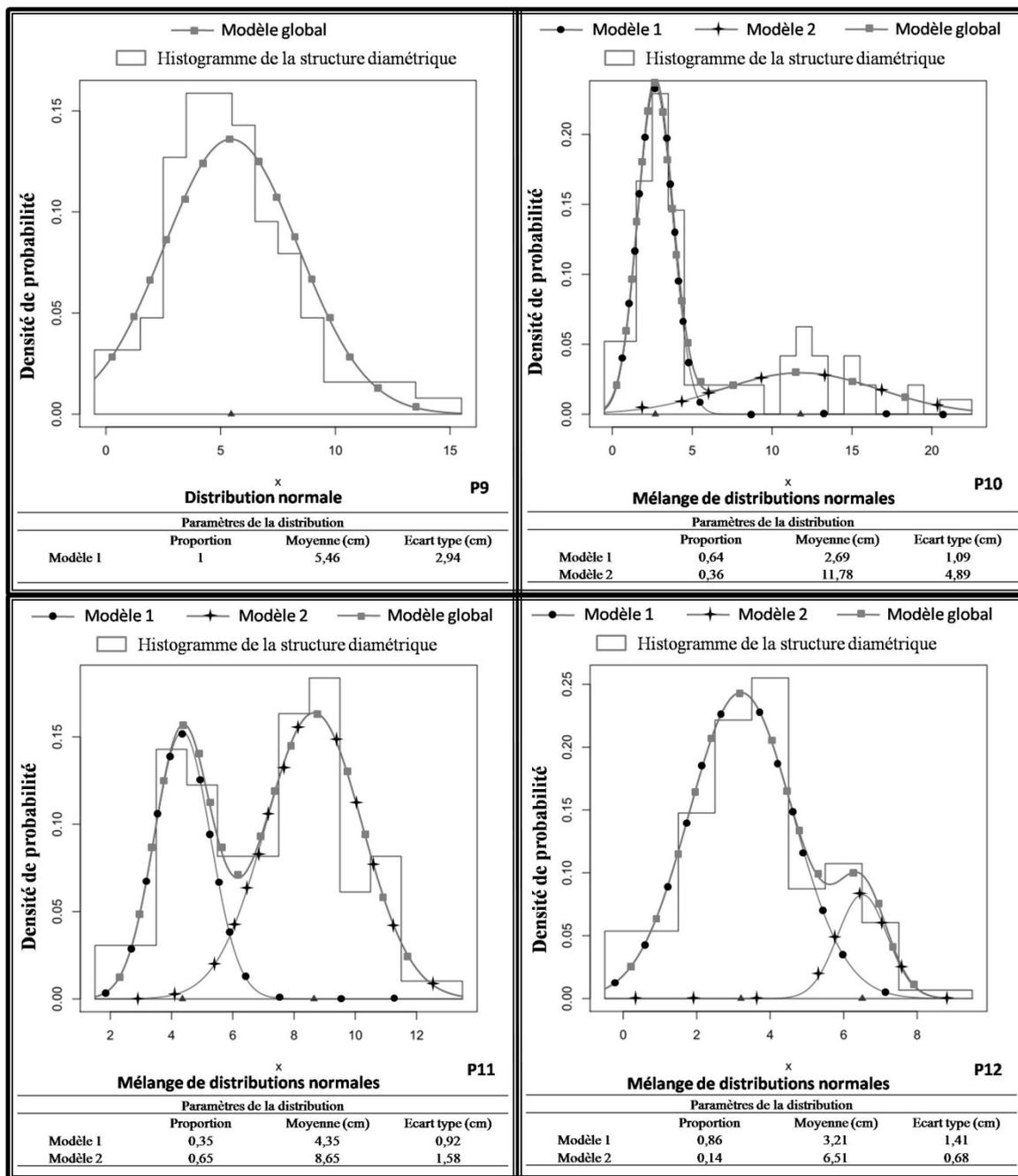


Figure III. 5 : Structures diamétriques de quelques plantations des autres phytocénoses.

## III. 7. Discussion

### III. 7.1. Déterminisme écologique des phytocénoses

La plupart des phytocénoses identifiées et décrites dans le sous bois des plantations privées de teck du département de l'Atlantique ont moins de 30% d'argile dans leurs sols. La phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Flueggea virosa* est la seule à se développer préférentiellement sur sol argileux. Ainsi, la majorité des phytocénoses sont sur des sols sableux bien drainants. Les phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* ont généralement les plus forts taux de matière organique et les rapports C/N les plus élevés en comparaison avec les

autres phytocénoses. Les caractéristiques physico-chimiques du sol dont notamment le pH déterminent la mise en place des phytocénoses du sous-bois des plantations privées de teck. Ainsi, les phytocénoses à *Premna angolensis*, *Combretum sordidum* et *Cnestis ferruginea* indiquent les milieux les plus acides alors que celles à *Agelaea obliqua*, *Clerodendrum capitatum* et *Panicum maximum* indiquent les milieux les moins acides. La lumière constitue par ailleurs le principal déterminisme des phytocénoses pionnières notamment les phytocénoses herbacées vivaces hautes à *Chromolaena odorata*. Dans l'étude des gradients écologiques influençant la variation de la végétation dans les vergers en Nouvelle-Zélande, Ullmann *et al.* (1995) ont identifiés comme facteurs principaux : la pluviométrie, l'altitude et les caractéristiques chimiques du sol (matière organique, pH et capacité d'échange cationique...). Au Bénin, Noumon *et al.* (2006) ont montré à l'issue d'une étude synécologique que les facteurs écologiques tels que la topographie et les caractéristiques physico-chimiques du sol déterminent au mieux la mise en place des phytocénoses et que la lumière est le principal déterminisme des synusies pionnières, notamment les synusies annuelles et herbacées vivaces hautes. Les résultats de la présente étude sont conformes aux conclusions de ces auteurs.

### III. 7.2. Diversité floristique

L'investigation phytosociologique de la végétation spontanée des plantations privées de teck du département de l'Atlantique a conduit à l'identification de 18 phytocénoses et 444 espèces végétales dans les synusies constituantes. Les synusies unificatrices des phytocénoses arbustives ont une richesse spécifique plus élevée que les synusies unificatrices des phytocénoses herbacées vivaces hautes représentées par les phytocénoses à *Chromolaena odorata*. La dispersion de types anémochore et zoochore (Gautier, 1994) des fruits très abondants du *Chomolaena odorata*, favorise le développement de cette espèce dans les plantations ouvertes. Grâce à son vigoureux développement, elle monopolise les ressources du milieu et réduit l'espace vital des autres espèces tant que la station jouit d'un bon éclaircissement. De ce fait, les autres espèces se raréfient dans le milieu et, ce faisant, la richesse spécifique diminue. La diversité spécifique est aussi plus faible au sein des synusies unificatrices des phytocénoses à *Chromolaena odorata* - *Imperata cylindrica* et à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum* ( $H < 1,19$ ) que dans les autres phytocénoses. Toutefois, Ganglo (2005a, b) a noté dans la forêt de la Lama une richesse spécifique de 84 espèces sur terre de barre et 99 espèces sur vertisols et une diversité spécifique supérieure à 1,6 dans les phytocénoses à *Chromolaena odorata*. Ayant conclu sur une bonne diversité des phytocénoses à *Chromolaena odorata* il a souligné la contradiction de ses résultats avec ceux des auteurs qui stipulent que les phytocénoses à *Chromolaena odorata* ne sont pas assez diversifiées spécifiquement.

Les synusies unificatrices des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Clerodendrum capitatum*, à *Reissantia indica* - *Combretum sordidum*, à *Mallotus oppositifolius* - *Premna angolensis*, à *Mallotus oppositifolius* - *Cnestis ferruginea* et à *Macrosphyra longistyla* - *Reissantia indica* sont les plus diversifiées des phytocénoses identifiées dans le sous-bois des plantations privées de teck du département de l'Atlantique. Les valeurs de l'indice de Shannon de ces synusies unificatrices varient de 2,92 à 3,31. Elles sont plus diversifiées que

les synusies unificatrices des phytocénoses suivantes : phytocénose à *Icacina trichantha* ( $H = 2,32$ ) décrite par Ganglo & de Foucault (2005a) dans les plantations de teck du sud et du centre Bénin, phytocénose à *Psychotria vogeliana* ( $H = 2,1 \pm 0,3$ ) des plantations de teck de la forêt de Djigbé (Ganglo *et al.*, 2006), phytocénose à *Lecaniodiscus cupanioides* ( $H = 1,70$ ) de la forêt de Toffo (Ganglo & de Foucault, 2005b), phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Deinbollia pinnata* ( $H = 0,81$ ) des plantations de teck du secteur forestier de Koto (Noumon *et al.*, 2006). Les phytocénoses des plantations privées de teck du département de l'Atlantiques ont néanmoins une diversité spécifique comparable à celle de la phytocénose à *Barteria nigritana* - *Rauvolfia vomitoria* ( $H = 3,58$ ) des sous-bois des plantations de bois de feu de la forêt classée de Pahou, établie sur sol acide à pH de l'ordre de 5 (Aoudji *et al.*, 2006).

### III. 7.3. Caractéristiques dendrométriques

#### III. 7.3.1. Densité des plantations

La densité en termes de nombre d'arbres à l'hectare varie considérablement d'une plantation à une autre au sein de la même phytocénose. De 900 arbres/ha, elle peut atteindre 6300 arbres/ha voire plus. Cette densité nettement supérieure à 2500 arbres/ha (ONAB, 2005), résulte du non respect de l'écartement  $2 \times 2 \text{ m}^2$  et de l'absence de dépressage. De plus, l'utilisation des stumps conduit à un grand nombre de rejets par hectare. En effet la densité de rejets varie de 1900 à 18550 tiges/ha et est due à l'absence du déjumelage et d'éclaircie. Les tiges évoluent donc ensemble, exerçant une forte concurrence entre elles par rapport aux ressources limitées, ce qui conduit à l'obtention des produits de faibles diamètres. Ceci dénote la non maîtrise des techniques de sylviculture par les paysans planteurs. Demenois *et al.* (2005) ont également remarqué le manque de connaissances sylvicoles des planteurs de l'Inde du Sud qui, constatent souvent une faible croissance de leurs arbres sans la relier à une densité trop élevée. Les densités obtenues dans les plantations étudiées sont nettement supérieures à celles des plantations domaniales. En effet, selon Trainer & Ganglo (1992) et Zossou (1999), la densité d'arbres à l'hectare dans les teckeraies gérées en régime de futaie, aux secteurs forestiers de Massi et Koto (Lama), varient de 71 à 1600 arbres/ha. Les densités des plantations étudiées sont supérieures à celles adoptées par les petits exploitants de Nakhon Sawan en Thaïlande (50 à 100 arbres sur 0,05 ha soit 1000 à 2000 arbres /ha) inscrits dans le cadre d'un projet d'agroforesterie et de foresterie communautaire appuyé par un don du gouvernement des Pays-Bas en vue de conjuguer le développement économique locale avec la remise en état de l'environnement (Mittelman, 2000).

#### III. 7.3.2. Variabilité des paramètres dendrométriques

Dans les jeunes futaies de cinq ans ou moins, le diamètre quadratique moyen varie de 5,6 à 7,6 cm avec une hauteur moyenne comprise entre 5,4 et 8,7 m. Dans les taillis, le diamètre quadratique moyen varie considérablement de 1,9 à 15,8 cm avec une hauteur moyenne de 3,5 à 13,5 m. La grande variation remarquée au niveau des taillis résulte d'une part, des âges des rejets (variant entre 1 et 9 ans) et d'autre part, du manque de déjumelage et la rareté des coupes rases.

La surface terrière calculée pour les plantations étudiées varie entre 1,9 et 29,9 m<sup>2</sup>/ha. Quenum (2002) trouvait que la surface terrière des plantations varie entre 0,6 et 42,8 m<sup>2</sup>/ha alors que Ekpé (2008) a trouvé que la surface terrière varie entre 5,8 et 26,9 m<sup>2</sup>/ha. Les résultats de Ekpé (2008) sont comparables aux nôtres.

Le teck, de part son écologie, pousse sur les sols les plus divers, mais le pH optimal est compris entre 6,5 et 7,5 (Krishnapillay, 2000). Nos résultats diffèrent quelque peu de celui de cet auteur en ce sens que globalement, les surfaces terrières les plus élevées des peuplements de teck se retrouvent sur les sols les plus acides (5,5 à 6,6).

Les structures diamétriques des plantations étudiées s'ajustent à plusieurs distributions dont notamment les distributions mixtes. Bien que pour certaines plantations, la structure diamétrique soit ajustée à la distribution normale, la plupart des structures diamétriques sont plutôt ajustées aux mélanges de distributions normale, log-normales, et weibull. Ceci atteste de l'âge multiple des arbres des plantations en raison de la sylviculture du type jardinage pratiqué par les paysans. En effet, les paysans ne font pas de coupe rase dans leurs plantations mais des coupes sélectives en fonction des opportunités de marché et autres utilisations. Nos résultats ne sont pas conformes à ceux de Quenum (2002). Ce dernier a aussi étudié les teckeraies privées de la commune de Tori-Bossito et a remarqué que la structure diamétrique des plantations s'ajustait plutôt à la distribution normale. Contrairement à cet auteur, Ekpé (2008) qui a aussi conduit une étude sur les plantations privées de teck du même milieu a conclu que les structures diamétriques des plantations ne s'ajustaient pas aux distributions simples ; Atindogbé (2009) a aussi remarqué que la structure diamétrique des plantations privées de teck de la commune de Tori-Bossito ne s'ajuste pas aux distributions simples mais plutôt aux distributions mixtes dont notamment le modèle de distribution log-normale. Les résultats de cette étude sont donc conformes à ceux de Ekpé (2008) et de Atindogbé (2009).

### **III. 8. Conclusion**

Le sous-bois des plantations privées de teck du département de l'Atlantique compte 444 espèces appartenant à 315 genres répartis dans 95 familles. Les familles les plus diversifiées sont celles des Poaceae, Fabaceae et Rubiaceae. La phytosociologie appliquée à l'étude du sous-bois des plantations privées de teck du département de l'Atlantique a permis l'identification et la description de 99 synusies végétales intégrées en 18 phytocénoses sur la base de leurs relations spatio-temporelles. Les richesses spécifiques les plus élevées et les meilleurs équilibres d'abondance spécifique se retrouvent sur les sols les plus acides. Le gradient d'acidité et, dans une moindre mesure le taux de matière organique expliquent au mieux la mise en place des phytocénoses. Les peuplements de teck sont établis suivant des densités qui varient considérablement d'une plantation à une autre au sein de la même phytocénose (900 à plus de 6300 arbres/ha). Le diamètre quadratique moyen varie de 1,9 à 15,8 cm ; les hauteurs moyennes sont comprises entre 2,5 et 13,5 m alors que la surface terrière varie entre 1,9 et 29,9 m<sup>2</sup>/ha. Les teckeraies des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Cnestis ferruginea*, à *Mallotus oppositifolius* - *Clerodendrum capitatum* et à *Mallotus oppositifolius* – *Rourea coccinea* indiquent les stations les plus appropriées pour la culture du teck. Bien que la structure diamétrique de certaines plantations s'ajuste à la

distribution normale, la plupart des structures diamétriques s'ajuste plutôt aux mélanges de distributions normale, log-normale, et weibull. Ceci résulte de la sylviculture du type jardinage pratiqué par les paysans. Cette étude a ainsi permis de décrire les caractéristiques structurales des plantations privées de teck et de mettre en évidence leurs relations avec les facteurs stationnels.

### **III. 9. Remerciement**

Cette recherche a été financée par la Commission Universitaire belge pour le Développement (CUD) dans le cadre du projet interuniversitaire ciblé sur la filière teck au Bénin. Nous lui témoignons notre profonde gratitude. Nos remerciements vont aussi à l'endroit du Dr. GLELE KAKAÏ Romain pour ces multiples conseils.

## Chapitre IV.

# **DENDROMETRIC CHARACTERISTICS OF PRIVATE TEAK PLANTATIONS (*TECTONA GRANDIS L. F.*) WITH REGARDS TO ECOLOGICAL PARAMETERS AND UNDERGROWTH PLANT-COMMUNITIES IN THE TOWNSHIP OF TORI-BOSSITO (BENIN, WEST AFRICA)**

---

Yévidé ASI, Ganglo JC, Atindogbé G, Toyi MS, Kakaï Glèlè RL, De Cannière C, Devineau JL, Fonton NH, Sinsin BA. Dendrometric characteristics of private teak plantations (*Tectona grandis* L. f.) with regards to ecological parameters and undergrowth plant-communities in the township of tori-bossito (Benin, West Africa).

Article soumis à la revue *Bois et Forêts des Tropiques*.

# **Chapitre IV. DENDROMETRIC CHARACTERISTICS OF PRIVATE TEAK PLANTATIONS (TECTONA GRANDIS L. F.) WITH REGARDS TO ECOLOGICAL PARAMETERS AND UNDERGROWTH PLANT-COMMUNITIES IN THE TOWNSHIP OF TORI-BOSSITO (BENIN, WEST AFRICA)**

## **IV. 1. Abstract**

The study was conducted in the Atlantic department in South Benin (6°18' to 6°58' of North latitude and 1°56' to 2°30' of East longitude). It aimed at describing the silvicultural and floristic characteristics with regard to soils properties of the private Teak plantations. The study of the undergrowth vegetation was done according to the synusial approach of phytosociology. The dendrometric and ecological characteristics of the Teak stands were assessed on temporary squared plots (10 m x 10 m). As main results, nine undergrowth plant-communities with species richness comprised between 10 and 45 species have been identified and described in the plantations. There is a positive correlation between soil silt content within the first thirty centimeters of the soil layer and the mean quadratic diameter, mean height and mean basal area. As a result of irregular selective loggings, stem diameter distributions of the plantations are skewed and indicate the coexistence of multiple aged stands in the plantations.

**Keywords:** Private Teak plantations, ecological factors, undergrowth plant-communities, stem diameter structure, dendrometric characteristics, Benin.

## **IV. 2. Résumé**

L'étude a été conduite dans le département de l'Atlantique au sud du Bénin (6°18' et 6°58' de latitude Nord et 1°56' et 2°30' de longitude Est). Elle a eu pour objectif de décrire les pratiques sylvicoles et les caractéristiques floristiques du sous-bois en rapport avec les propriétés des sols des plantations privées de teck. L'étude phytosociologique de la végétation spontanée a été faite suivant l'approche synusiale intégrée. Les caractéristiques dendrométriques et écologiques des plantations de teck ont été obtenues sur des placettes temporaire de forme carré et de superficie d'un are (10 m x 10 m). Comme principaux résultats, neuf communautés végétales de richesse spécifique comprise entre 10 et 45 espèces ont été identifiées et décrites. Il existe une corrélation positive entre le taux de limon contenu dans les 30 premiers centimètres du sol et le diamètre moyen quadratique, la hauteur moyenne et la surface terrière. Les coupes sélectives et irrégulières (coupe de type jardinatoire) ont eu des conséquences sur les structures en diamètre qui montrent la coexistence de peuplements de différents âges dans les plantations.

**Mots clés :** Plantations privées de teck, facteurs écologiques, phytocénoses de sous bois, structure en diamètre, caractéristiques dendrométriques, Bénin.

### IV. 3. Introduction

Forests cover 31 percent of total land area of the world (FAO, 2010) and play important roles in the preservation of the world equilibrium (production of wood and non wood products, biodiversity conservation, carbon storage, climate change effects mitigation, soil and water protection, social services...) (Dupuy, 1998; FAO, 2010). Despite their importance, forest ecosystems are being destroyed at alarming rate. Actually, around 13 million hectares of forest were converted to other uses or lost through natural causes each year in the last decade compared with 16 million hectares per year in the 1990s. At a regional level, South America and Africa suffered the largest net loss of forests between 2000 and 2010, (about 4.0 and 3.4 million hectares per year respectively) (FAO, 2010). Forests in Benin cover about 2,351,000 ha i.e. 21.3% of the territory (FAO, 2009). They represent the most important wood and non-wood products reserve of the country. Nevertheless, they are also unfortunately subjected to great pressures that generated a yearly lost of 50,000 ha between 2005 and 2010 (FAO, 2010). The government's program of reforestation helped to partially replace the degraded natural forests so as to continue to meet the needs of a growing population in forest products. The most planted forest species in Benin are *Tectona grandis*, *Acacia auriculiformis* and *Eucalyptus* spp...

Teak is a valuable forest species of the family of Verbenaceae. It is a high tree with a common height of 30 m and exceptionally of 50-60 m. It has been introduced in Benin since 1916 (Ganglo *et al.*, 1999). Nowadays, it covers more than 17,000 ha in the state plantations of Benin. The species is native of South East Asia (Thailand, India, Laos, Myanmar...) and covers about 3,000,000 ha and 30,000,000 ha respectively in plantations and in natural forests (Behaghel, 1999). The species is planted worldwide from America (Panama, Costa Rica, Brazil...) to Asia (India, Laos, Myanmar, Indonesia...) and Africa (Tanzania, Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Benin, Nigeria...).

Several management and research works have been undertaken in the state Teak plantations of Benin. Those studies focused on the impact of soil richness on Teak growth and concluded that high contents of calcium, phosphorus, carbon, nitrogen, C/N ratio and CEC, are favorable for Teak growth (CTFT, 1969). Also, Catinot (1970) suggested that shallow soils and weak water retention capacity are mainly responsible for Teak stem deformation. Fungus diseases have been observed in Teak plantations and the main parasite was *Fomes lignosus* (CTFT, 1971). Thinning studies have also been undertaken and reached conclusions such as the selective thinning is better than mechanical ones. Recently, in the state Teak plantations of Benin, the relationships between undergrowth vegetation and plantation productivity have been clearly underlined (Ganglo *et al.*, 1999; Ganglo, 2005; Ganglo & de Foucault, 2006; Noumon *et al.*, 2009...).

At the international level, on the basis of successful silvicultural research works, Teak yield tables have been built in many countries (Java, India, Trinidad, Côte d'Ivoire...) (Von Wulffing, 1932; Seth, 1959; Miller, 1969; Maître, 1983; Dupuy, 1990; Dupuy *et al.*, 1999...). In Côte d'Ivoire, Teak plantations cover about 55,000 ha of which 10 percent are private (Maldonado & Louppe, 1999). The private Teak plantations in Côte d'Ivoire are characterized by a lack of appropriate silviculture apart from irregular coppice treatments (Maldonado &

Loupe, 1999). In Togo, research on Teak wood characteristics allowed the analysis of the impact of ages, provenances and ecological factors on wood's properties (Kokutse *et al.*, 2009a; Kokutse *et al.*, 2009b; Adjonou *et al.*, 2010).

Despite the abundant research results at national and international levels, one of the remaining problems is that most of these research works have been undertaken on Teak plantations grown as seed-origin forests (High forest) and then, the results achieved so far are not necessarily applicable to private Teak plantations, which are mainly grown as coppiced-plantations. Hence it is important that new research works address private Teak plantations in order to highlight the relationships between their ecological and biological characteristics so as to assist in sustainable management decision making.

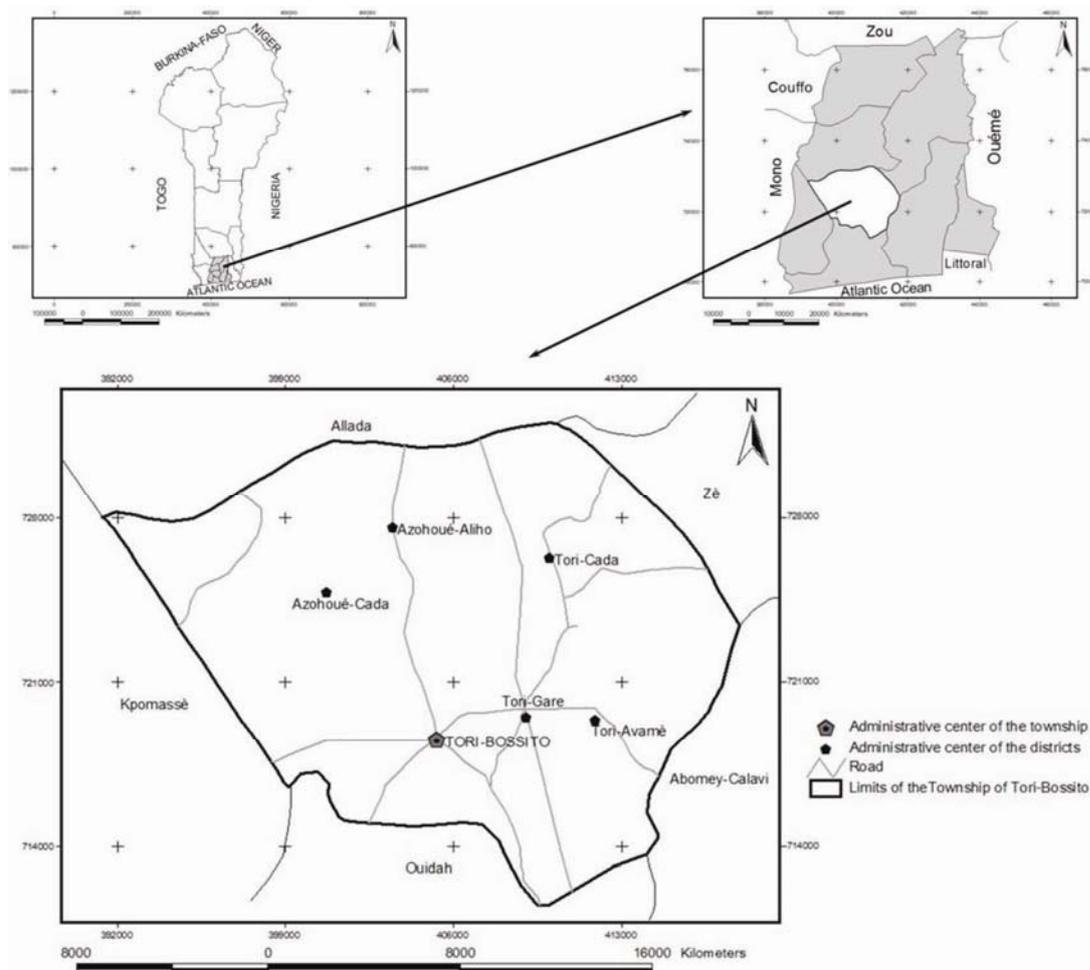
As main refinement of the research so far undertaken on the ecological and structural characteristics of Teak plantations (Yêvidé *et al.*, 2011a), this article focused on the relationships between soils properties (texture, acidity, organic matter content...) and the dendrometric characteristics of teak plantation so as to identify the main ecological parameters that control teak production.

## **IV. 4. Material and Methods**

### **IV. 4.1. Study area**

The study was carried out in the township of Tori-Bossito, located in the Atlantic department in South Benin, between 6°18' to 6°58' of North latitude and 1°56' to 2°30' of East longitude (Figure IV. 1). The study area is located on the geological Continental Terminal formations with several types of soils, mainly, Ferralitic and Hydromorphic soils (Volkoff & Willaime, 1976).

The mean annual rainfall over the period of 1960-2006 is 1140.5 mm and the mean daily temperature varies between 25.8 °C and 29.1 °C. The mean annual rate of atmosphere's humidity is 81.4 %. The study area is heavily farmed and hence, the original forest has nearly disappeared. Nowadays, the vegetation is mostly characterized by fallows of different ages. Because of the success of state Teak plantations, Teak is largely planted by peasant farmers as a complementary source of income. In these plantations the undergrowth vegetation is mainly dominated by *Mallotus oppositifolius* (Geisl.) Müll. Arg., *Macrosphyra longistyla* (DC.) Hiern, *Paullinia pinnata* L, *Reissantia indica* (Willd.) Hallé, *Chromolaena odorata* (Linn.) R. King & H. Robinson and *Panicum maximum* Jacq.



**Figure IV. 1: Geographic location of Tori-Bossito Township.**

#### **IV. 4.2. Phytosociological study of the vegetation**

In order to characterize the floristic diversity of the plantations, a phytosociological study was conducted using the synusial approach of phytosociology (Gillet *et al.*, 1991; Gillet, 2000). It was carried out by prospection for the identification of vegetal synusia (elementary or basic plant-community dominated by plants of the same biological and morphological types, adaptation strategy and homogenous floristic composition) and phytocoenoses (plant-communities made of combinations of vegetal synusias and thus of higher level complexity than a vegetal synusia) in the undergrowth vegetation of the private Teak plantations. With regard to this approach, all the flowering species have been censused; the species in the synusias as well as the synusias within the phytocoenoses have been attributed a coefficient of abundance-dominance (Gillet *et al.*, 1991; Gillet, 2000). Moreover, the synusias have been attributed a coefficient of aggregation to describe their shapes and contours in the phytocoenoses (Gillet *et al.*, 1991; Gillet, 2000). The identification of the synusias has been objectified by running a Detrended Correspondence Analysis (DCA) and an Ascending Hierarchical Classification (AHC) on a matrix of presence-absence of the species. The program CAP (Community Analysis Package 2.0 (Pisces, 2001)) was used for that purpose. Such tools were chosen because of their high precisions in the analysis of

phytosociological data (Pisces, 2001). On the basis of their spatial and temporal relations, the synusias were combined into phytocoenoses. The floristic diversity has been appreciated with the species richness and indices of diversity. The Shannon index was calculated within the records on the basis of the mean cover of species. It was computed as follows:

$H = -\sum P_i \log_2 P_i$ , with  $P_i = r_i / r$  where  $r_i$  is the cover of the species  $i$  within the chosen record and  $r$  represent the total amount of species' covers of the record.

Pielou's equitability coefficient was also computed as follows:

$E = H/H_{max}$ , With  $H_{max} = \log_2 S$  where  $S$  is the total number of species. The value of  $E$  is between 0 and 1 and represents the degree of diversity reached with regard to the maximum possible.

#### **IV. 4.3. Dendrometric study of Teak plantations within plant-communities**

At least two private plantations by phytocoenosis and five at most, of minimal surface of 0.5 ha were considered in collecting dendrometric and ecological information. Altogether, the private Teak plantations sample of the study was composed of twenty-nine (29) plantations.

Two temporary squared plots of 0.01 ha (10 m x 10 m) have been laid out at representative locations to the phytocoenoses of each of the 29 plantations i.e. 58 plots. The plot size (0.01 ha) was chosen to have at least a dozen of Teak trees per plot (Duplat & Perrote, 1981). In each plot, the circumference at breast height ( $C_i$ ) was measured for all the trees using a tape measure to the closest centimeter. The total height of three mean trees within the plot was measured with the Suunto clinometers. The height of the biggest tree per plot was also measured. These records allowed calculation of the mean height ( $H_g$ ), mean quadratic diameter ( $D_g$ ) and the dominant height ( $H_o$ ) of the plantations.

The mean quadratic diameter  $D_g$  was calculated using the formula  $D_g = \sqrt{\sum (C_i/\pi)^2 / n}$  and the basal area ( $G$ ) with  $G = \sum (C_i^2 / 4\pi)$ .

On the basis of those calculations, supplemented by the age since last logging ( $AgeR$ ), the annual mean increment of height ( $AMAH = H_g/AgeR$ ), diameter ( $AMAD = D_g/AgeR$ ) and basal area ( $AMAG = G/AgeR$ ) was calculated in order to assess the growth of the plantations.

The stem diameter structure of the plantations has been established and described using frequencies of diameter classes and mixture distributions. In that respect, several authors have concluded that mixtures distributions represent a better alternative for modeling stem diameter structure of mixed or multiple-aged stands (Zhang *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2002). In this work, the method of adjustment without constraint on the parameters was used. All the analyses were performed with the program R2.6.1 (R Development Core Team, 2007). The package *mixdist* has been used for the estimation of the mixture's parameters.

#### **IV. 4.4. Ecological study of the Teak plantations**

In each of the 92 records, the slope was measured with slope meter device Suunto. Within the first thirty centimeters in the ground, 2 to 5 soil samples were taken at representative points of each phytocoenosis. The soil samples were sent for analysis in the Soil Science Laboratory of the Faculty of Agricultural Sciences (University of Abomey-Calavi).

The pH (pH water and pH KCl) of the soil was determined with the pH meter whose electrodes were immersed into a solution of 20 g of soil and 50 mL of distilled water (pH water) and in a suspension of soil in a basal standard solution of potassium chloride (pH KCl). The granulometric analysis of the soil for identification of sand rate, silt and clay was made by the method of Robinson's pipette. The carbon rate was determined by Walkley and Black's method, the organic matter rate was calculated by multiplication of the carbon rate (%C) with the coefficient 1.72 ( $MO = 1.72 \times \%C$ ) and the Cationic Exchange Capacity (CEC) was determined by dosage of exchangeable cations.

The laboratory analysis of the soil samples was completed by soil tactile texture appreciations in each record. To achieve this, in each soil interval of 10 cm up to 50 cm, the presence of granulometric components (sand, silt and clay) was determined by tactile appreciation.

#### **IV. 4.5. Establishment of the relationship between abiotic and biotic factors**

To describe the relationship between abiotic and biotic factors, Principal component analysis (PCA) was first done on biotic variables of the phytocoenoses in order to obtain non correlated components. After that, Pearson correlation coefficient was computed between the principal components extracted and abiotic factors.

### **IV.5. Results**

#### **IV. 5.1. Structural and ecological characteristics of the undergrowth plant-communities**

##### **IV. 5.1.1. Structural characteristics**

As a result of phytosociological research, nine phytocoenoses were identified and described. The list of the phytocoenoses and their characteristic species are presented in table IV. 1. The species richness and the diversity indices calculated for the different phytocoenoses show that each of them has in general more than thirty species apart from the *Chromolaena odorata* and *Panicum maximum*-community (mean value =  $10 \pm$  standard deviation = 3). The highest species richness has been noticed among the *Dichapetalum madagascariense* and *Cneistis ferruginea*-community ( $41 \pm 9$ ); *Mallotus oppositifolius* and *Macrosphyra longistyla*-community ( $41 \pm 3$ ); *Mallotus oppositifolius* and *Reissantia indica*-community ( $42 \pm 3$ ), and *Mallotus oppositifolius* and *Cneistis ferruginea*-community ( $45 \pm 2$ ).

The Shannon diversity index showed that the species diversity is the lowest within *Chromolaena odorata* and *Panicum maximum*-community (mean value =  $1.08 \pm$  standard deviation = 0.23). But it reaches its highest value within the *Mallotus oppositifolius* and *Cnestis ferruginea*-community ( $3.14 \pm 0.21$ ). With Pielou's equitability of  $0.57 \pm 0.04$  the latter presents a better balance in the dispatching of the abundance-dominance. We deduced that the phytocoenoses have an average species diversity index but a weak balance in the dispatching of the species abundance.

#### **IV. 5.1.2. Ecological characteristics**

The phytocoenoses grow on soils of diverse slopes which in majority are less than 5 %. Laboratory analyses revealed that the water pH and the KCl pH of the phytocoenoses vary respectively from 5.1 to 6.7 and from 4.2 to 6.1 and that indicate slightly acidic ( $5.0 \leq \text{pH} < 6.5$ ) or neutral soils ( $6.5 \leq \text{pH} < 7.5$ ).

The soil organic matter content varies from 1.3 % to 4.5 % in the overall phytocoenoses. However, the organic matter varies less within *Mallotus oppositifolius* and *Reissantia indica*-community (1.3 % to 1.4 %) and *Uvaria chamae* and *Cnestis ferruginea*-community (1.9 % to 2.1 %). The phytocoenoses with the highest organic matter content are *Mallotus oppositifolius* and *Paullinia pinnata*-community; *Mallotus oppositifolius* and *Rourea coccinea*-community; *Chromolaena odorata* and *Panicum maximum*-community and *Dichapetalum madagascariense* and *Cnestis ferruginea*-community (table IV. 2).

As for the pH and the organic matter, the cationic exchange capacity (CEC) varies a lot and is comprised between  $4 \text{ cmol}^+/\text{kg}$  and  $21 \text{ cmol}^+/\text{kg}$  in the overall phytocoenoses. But, among *Mallotus oppositifolius* and *Macrosphyra longistyla*-community the CEC is low and varies from  $4 \text{ cmol}^+/\text{kg}$  to  $8 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ . Contrarily to the latter it is within the *Mallotus oppositifolius* and *Paullinia pinnata*-community that the greatest variability of the CEC is noticed ( $5 \text{ cmol}^+/\text{kg}$  to  $15 \text{ cmol}^+/\text{kg}$ ).

For the granulometric composition, the laboratory analysis shows that the plant-communities with *Mallotus oppositifolius* have the highest sand content ( $> 77 \%$ ). On the other hand, the highest clay content was recorded in *Chromolaena odorata* and *Panicum maximum*-community (29.0 %) and in the community of *Dichapetalum madagascariense* and *Cnestis ferruginea* (26.9 %).

Hence we may conclude that the undergrowth plant-communities of the private Teak plantations studied develop on slightly acidic soils with low content in organic matter; these soils are generally sandy and leached.

### **IV. 5.2. Structural patterns of the private Teak plantations within plant-communities**

#### **IV. 5.2.1. Variation in dendrometric parameters**

The mean quadratic diameter is low (less than 10 cm) in all the studied plantations. Likewise, the dominant and mean heights are low and rarely over 10 m. The stumps of the plantations are of different ages but the shoots are young in general and less than six (06)

years old (table IV. 3). From this table, we deduce that, although the differences between phytocoenoses are not significant at 5% of probability level, regardless of the mean age of the plantations, the mean increments in diameter, height and basal area are the highest in the plant-communities of *Mallotus oppositifolius* and *Cnestis ferruginea*; *Panicum maximum* and *Chromolaena odorata* and, *Uvaria chamae* and *Cnestis ferruginea*. This can help indicate the most appropriate sites for Teak production to farmers.

**Table IV. 1: List of plant-communities and their characteristic species.**

<b>Plant communities</b>	<b>Characteristic species</b>
<i>Dichapetalum madagascariense</i> and <i>Cnestis ferruginea</i> -community	<i>Dichapetalum madagascariense</i> , <i>Cnestis ferruginea</i> , <i>Reissantia indica</i> , <i>Mallotus oppositifolius</i> , <i>Uvaria chamae</i> , <i>Paullinia pinnata</i> and <i>Rothmannia longiflora</i>
<i>Mallotus oppositifolius</i> and <i>Cnestis ferruginea</i> -community	<i>Mallotus oppositifolius</i> , <i>Cnestis ferruginea</i> , <i>Rourea coccinea</i> , <i>Dichapetalum madagascariense</i> , <i>Millettia thonningii</i> , <i>Paullinia pinnata</i> and <i>Agelaea pentagyna</i>
<i>Mallotus oppositifolius</i> and <i>Macrosphyra longistyla</i> -community	<i>Mallotus oppositifolius</i> , <i>Macrosphyra longistyla</i> , <i>Rourea coccinea</i> , <i>Cnestis ferruginea</i> , <i>Dichapetalum madagascariense</i> , <i>Mezoneuron benthamianum</i> and <i>Reissantia indica</i>
<i>Mallotus oppositifolius</i> and <i>Dichapetalum madagascariense</i> -community	<i>Mallotus oppositifolius</i> , <i>Dichapetalum madagascariense</i> , <i>Macrosphyra longistyla</i> , <i>Morinda lucida</i> , <i>Triclisia subcordata</i> , <i>Rourea coccinea</i> and <i>Paullinia pinnata</i>
<i>Cnestis ferruginea</i> and <i>Uvaria chamae</i> -community	<i>Cnestis ferruginea</i> , <i>Uvaria chamae</i> , <i>Antidesnia venosum</i> , <i>Leptoderris brachyptera</i> , <i>Salacia pallescens</i> , <i>Agelaea pentagyna</i> and <i>Holarrhena floribunda</i>
<i>Mallotus oppositifolius</i> and <i>Paullinia pinnata</i> -community	<i>Mallotus oppositifolius</i> , <i>Paullinia pinnata</i> , <i>Rourea coccinea</i> , <i>Reissantia indica</i> , <i>Lecaniodiscus cupanioides</i> , <i>Morinda lucida</i> and <i>Cnestis ferruginea</i>
<i>Mallotus oppositifolius</i> and <i>Reissantia indica</i> -community	<i>Mallotus oppositifolius</i> , <i>Reissantia indica</i> , <i>Macrosphyra longistyla</i> , <i>Chassalia kolly</i> , <i>Lecaniodiscus cupanioides</i> , <i>Cnestis ferruginea</i> and <i>Rourea coccinea</i>
<i>Mallotus oppositifolius</i> and <i>Rourea coccinea</i> -community	<i>Mallotus oppositifolius</i> , <i>Rourea coccinea</i> , <i>Reissantia indica</i> , <i>Paullinia pinnata</i> , <i>Chassalia kolly</i> , <i>Cnestis ferruginea</i> and <i>Albizia zygia</i>
<i>Chromolaena odorata</i> and <i>Panicum maximum</i> -community	<i>Chromolaena odorata</i> , <i>Panicum maximum</i> , <i>Anchomanes difformis</i> , <i>Sporobolus pyramidalis</i> , <i>Dioscorea bulbifera</i> and <i>Mariscus alternifolius</i>

**Table IV. 2: Soil characteristics in the first 30 cm depth according to plant-communities.**

Characteristics	Values	Plant-communities								
		DM CF	MO CF	MO DM	MO ML	MO PP	MO RC	MO RI	PM CO	UC CF
pHeau	Min	5.1	5.6	5.7	6.3	5.9	6.1	5.8	5.4	5.6
	To	to	to	to	to	to	to	to	to	to
	Max	6.1	6.1	6.2	6.5	6.7	6.1	6.2	6.6	5.9
	Mean	5.6	5.9	6.0	6.4	6.3	6.1	6.0	6.0	5.7
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
SD	0.5	0.2	0.3	0.1	0.3	0.0	0.2	0.9	0.2	
pHKCl	Min	4.2	4.7	4.9	5.5	4.9	5.2	4.8	4.4	4.7
	To	to	to	to	to	to	to	to	to	to
	Max	5.3	5.5	5.6	5.7	6.1	5.2	5.6	5.8	5.1
	Mean	4.7	5.2	5.2	5.6	5.5	5.2	5.2	5.1	4.9
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
SD	0.6	0.4	0.4	0.1	0.5	0.1	0.4	1.0	0.3	
Sand rate (%)	Min	58	64.5	69.8	80	70	65	78.3	52.3	66.8
	To	to	to	to	to	to	to	to	to	to
	Max	77.8	83	81.8	82.8	85	71.3	83.5	82.3	82.8
	Mean	70.1	77.4	76.9	80.8	77.0	68.1	80.6	67.3	74.8
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
SD	8.9	8.8	6.3	1.3	5.9	4.4	2.7	21.2	11.3	
Silt rate (%)	Min	1	0.5	1.5	2.25	1.5	7	1.25	3	3
	To	to	to	to	to	to	to	to	to	to
	Max	4.8	3.8	4.5	4.8	3.5	7.8	2.5	4.5	3.5
	Mean	3.0	2.1	3.4	3.9	2.6	7.4	1.8	3.8	3.3
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
SD	1.9	1.6	1.7	1.1	0.8	0.5	0.7	1.1	0.4	
Clay rate (%)	Min	17.5	13.5	16.3	12.5	13	21	14	14.8	13.8
	To	to	to	to	to	to	to	to	to	to
	Max	37.5	32.5	26	17.5	26.5	28	20.5	43.3	30.3
	Mean	26.9	20.5	19.7	15.3	20.5	24.5	17.7	29.0	22.0
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
SD	8.8	8.4	5.5	2.1	5.2	4.9	3.3	20.2	11.7	
Organic matter (%)	Min	1.67	1.43	1.33	1.28	1.33	1.81	1.34	1.98	1.91
	To	to	to	to	to	to	to	to	to	to
	Max	2.47	1.9	2.16	1.83	4.48	2.59	1.41	2.33	2.12
	Mean	1.87	1.64	1.66	1.66	2.45	2.20	1.38	2.16	2.02
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
SD	0.39	0.24	0.44	0.26	1.24	0.55	0.04	0.24	0.15	
Cationic Exchange Capacity : CEC (cmol+/kg)	Min	9	6	8	4	5	11	4	6	5
	To	to	to	to	to	to	to	to	to	to
	Max	20	16	14	8	15	16	10	21	18
	Mean	14.3	9.5	10.0	6.5	10.4	13.5	7.7	13.5	11.5
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
SD	4.8	4.7	3.5	1.7	4.0	3.5	3.2	10.6	9.2	

**Caption:**

SD = Standard deviation; DMCF = *Dichapetalum madagascariense* and *Cnestis ferruginea*-community ; MOCF = *Mallotus oppositifolius* and *Cnestis ferruginea*-community ; MODM =

*Mallotus oppositifolius* and *Dichapetalum madagascariense*-community ; MOML = *Mallotus oppositifolius* and *Macrosphyra longistyla*-community ; MOPP = *Mallotus oppositifolius* and *Paullinia pinnata*-community ; MORI = *Mallotus oppositifolius* and *Reissantia indica*-community ; UCCF = *Uvaria chamae* and *Cnestis ferruginea*-community ; PMCO = *Chromolaena odorata* and *Panicum maximum*-community ; MORC = *Mallotus oppositifolius* and *Rourea coccinea*-community.

**Table IV. 3: Dendrometric characteristics of Teak plantations according to the undergrowth plant communities.**

Characteristics	Values	P	Undergrowth plant communities								
			DM CF	MO CF	MO DM	MO ML	MO PP	MO RC	MO RI	PM CO	UC CF
	N		4	4	3	4	5	2	3	2	2
	Age		5	3	3	5	3	5	4	3	2
Dg	Min To Max		1.94 to 9.22	4.53 to 7.60	1.94 to 4.38	2.93 to 6.99	2.66 to 4.81	5.58 to 7.08	3.85 to 5.64	3.75 to 7.71	3.17 to 4.48
	Mean / SD	0.3885	5.21 / 3.14	5.53 / 1.40	2.94 / 1.28	5.44 / 1.81	3.80 / 0.79	6.33 / 1.07	4.56 / 0.95	5.73 / 2.80	3.83 / 0.93
HTm	Min To Max		3.53 to 9.54	4.8 to 8.53	2.5 to 7.91	4.16 to 8.69	3.58 to 6.47	5.36 to 7.05	5.59 to 7.44	4.96 to 8.63	5.16 to 6.77
	Mean / SD	0.7206	6.34 / 2.61	7.27 / 1.74	4.58 / 2.91	6.63 / 2.05	5.13 / 1.17	6.20 / 1.19	6.49 / 0.92	6.80 / 2.59	5.96 / 1.14
HDm	Min To Max		3.56 to 15.12	5.78 to 11.21	2.56 to 8.64	4.97 to 9.29	4.98 to 8.14	6.99 to 9.63	6.15 to 9.67	5.8 to 8.67	5.82 to 7.88
	Mean / SD	0.6781	8.55 / 5.04	8.84 / 2.26	5.02 / 3.20	7.68 / 2.03	6.32 / 1.23	8.31 / 1.87	8.47 / 2.01	7.24 / 2.03	6.85 / 1.46
Gi	Min To Max		2.31 to 26.47	6.86 to 19.76	1.86 to 11.09	6.04 to 17.17	6.18 to 8.67	8.91 to 13.57	10.29 to 12.32	7.63 to 17.25	6.29 to 11.75
	Mean / SD	0.3880	14.25 / 10.02	14.58 / 5.69	6.01 / 4.68	12.24 / 4.73	7.04 / 1.00	11.24 / 3.29	11.20 / 1.03	12.44 / 6.80	9.02 / 3.86
AMAD	Min		0.39	1.51	0.65	0.59	0.89	1.12	0.96	1.25	1.59
	Max		1.84	2.53	1.46	1.40	1.60	1.42	1.41	2.57	2.24
	Mean	0.3734	1.04	1.84	0.98	1.09	1.27	1.27	1.14	1.91	1.92
AMAH	Min		0.71	1.60	0.83	0.83	1.19	1.07	1.40	1.65	2.58
	Max		1.91	2.84	2.64	1.74	2.16	1.41	1.86	2.88	3.39
	Mean	0.3810	1.27	2.42	1.53	1.33	1.71	1.24	1.62	2.27	2.98
AMAG	Min		0.46	2.29	0.62	1.21	2.06	1.78	2.57	2.54	3.15
	Max		5.29	6.59	3.70	3.43	2.89	2.71	3.08	5.75	5.88
	Mean	0.2898	2.85	4.86	2.00	2.45	2.35	2.25	2.80	4.15	4.51

**Caption:**

N: number of observation; Dg: mean quadratic diameter (cm); HTm: mean total height (m); HDm: Top height (m); Gi: mean basal area (m<sup>2</sup>/ha); AMAD: annual mean increment in diameter (cm/yr); AMAH: annual mean increment in height (m/yr); AMAG: annual mean increment in basal area increase (m<sup>2</sup>/ha/yr); P = Probability; SD = Standard deviation; DMCF = *Dichapetalum madagascariense* and *Cnestis ferruginea* -community; MOCF = *Mallotus oppositifolius* and *Cnestis ferruginea*-community; MODM = *Mallotus oppositifolius* and *Dichapetalum madagascariense*-community; MOML = *Mallotus oppositifolius* and *Macrosphyra longistyla*-community; MOPP = *Mallotus oppositifolius* and *Paullinia pinnata*-community; MORI = *Mallotus oppositifolius* and *Reissantia indica*-community; UCCF = *Uvaria chamae* and *Cnestis ferruginea*-community; PMCO = *Chromolaena odorata* and *Panicum maximum*-community; MORC = *Mallotus oppositifolius* and *Rourea coccinea*-community.

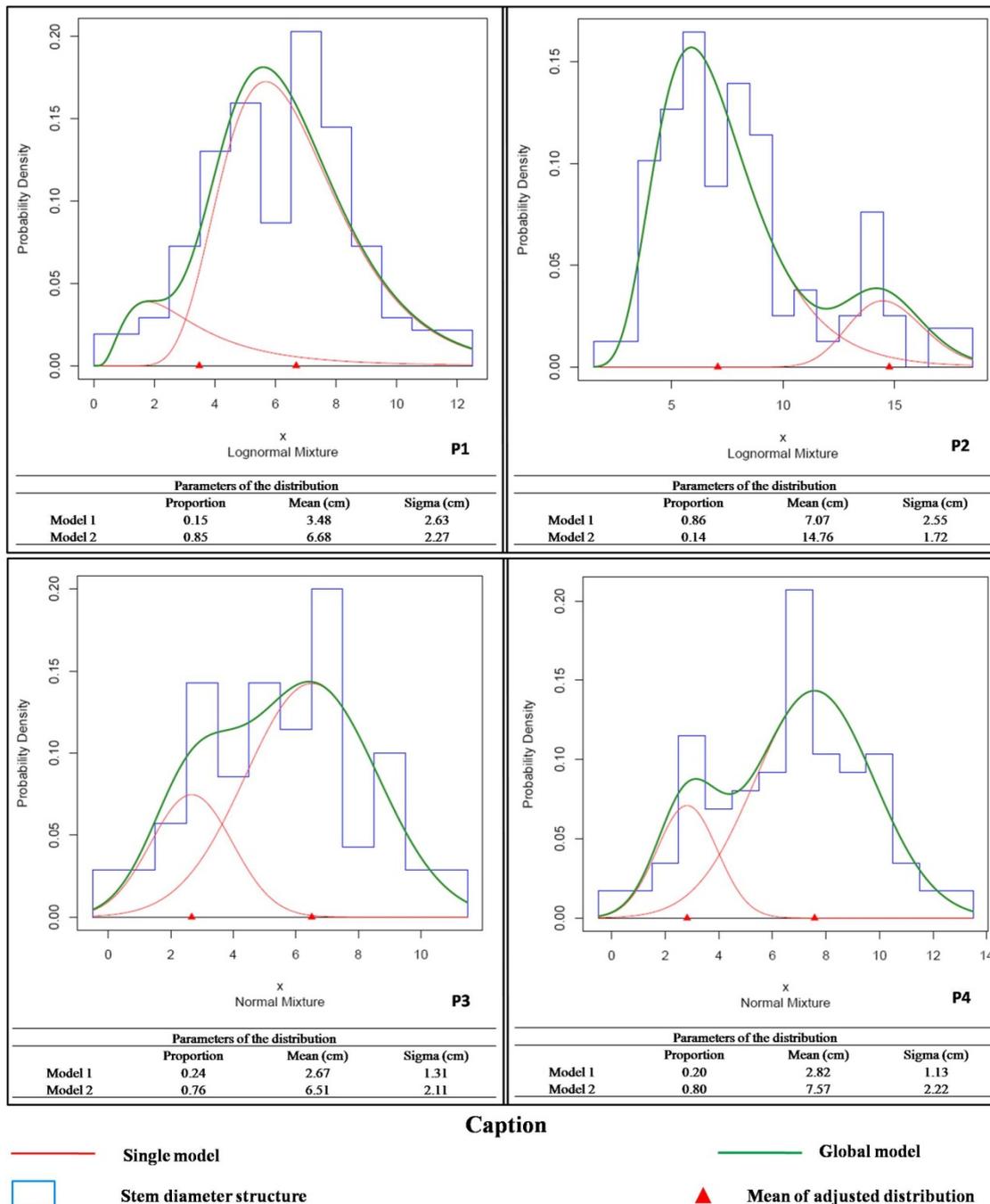
#### IV. 5.2.2. Stem diameter structure of the plantations

The stem diameter structure of representative plantations was adjusted to a mixed model (two log-normal or two normal distributions) (figure IV. 2). The pattern observed may be understood by the coexistence of two stands derived from the silvicultural practices of the peasant planters. Actually, they don't usually clear cut their plantations but they often do selective loggings according to the market demand and sale opportunities. Thus, in the same plantation, old shoots usually coexist with young ones; resulting in the distribution patterns observed. In plantation P1 for instance, young shoots (with diameter inferior to the mean diameter (4.4 cm) of the distribution) count for 31 % of the population whereas old shoots (with diameter superior to the mean diameter of the distribution) count for 69 % of the population. Selective loggings instead of clear cuttings result in the coexistence of shoots of different ages in the same plantation. That practice also explains the stem diameter structure of the plantation P2 where the old shoots (right part of the histogram) have a mean diameter of 13.9 cm whereas the youngest ones (left part of the histogram) have a mean diameter of 6.8 cm.

In plantation P3 we also observe the coexistence of two stands: the first one (left part of the distribution) indicates the young shoots with a mean diameter of 4.4 cm whereas the second one (right part of the distribution) represents the old shoots with a mean diameter of 8.0 cm.

The coexistence of multiple aged shoots in the same plantation is also clearly illustrated in the stem diameter structure of the plantation P4. In evidence, the left part of the histogram P4 shows, the diameter distribution of the youngest stand with a mean diameter of 3.3 cm whereas in the right part, the oldest shoots present a mean diameter of 8.4 cm.

Thus we may conclude that the silvicultural practices of peasant planters are mainly characterized by selective loggings (sale opportunities and market needs dependence) resulting in the coexistence of multiple aged shoots in the same plantation. In consequence, peasants' plantations usually present complex diameter structure that can only be fitted with mixed models.



**Figure IV. 2: Stem diameter structure of plantations.**

### IV. 5.3. Relationship between biotic and abiotic factors of the phytocoenoses

The results of Principal component analysis applied to the biotic variables of phytocoenoses revealed that the first 3 principal components explained 90 % of the overall information on the plant communities (table IV. 4).

**Table IV. 4: Eigenvalues and proportions of information explained after principal component analysis run on biotic variables.**

<b>Principal components</b>	<b>Eigenvalue</b>	<b>Proportion</b>	<b>Cumulative</b>
<b>Pc1</b>	3.82	38.24	38.24
<b>Pc2</b>	2.80	28.00	66.24
<b>Pc3</b>	2.37	23.71	<b>89.95</b>

Table IV. 5 shows the correlations between biotic variables and the principal components. Variables corresponding to dendrometric characteristics are positively correlated with the first principal component (Pc1) whereas growth parameters are all positively correlated with the second principal component (Pc2) and the biological indices are positively correlated with the third principal component (Pc3). We therefore deduce that all the biotic variables sum up to three principal components and that the first principal component expresses a dendrometric gradient whereas the second one expresses a growth gradient and the third, a gradient of biologic indices.

At 5 % of probability level, there exists a positive correlation between the rate of silt within the first thirty centimeters of soil and the first principal component (dendrometric gradient). At the same probability level, the soil's texture within 10 to 20 cm and 30 to 40 cm in depth is negatively correlated with the second principal component (growths gradient). But the soil texture from 20 to 30 cm and from 40 to 50 cm is also negatively correlated with the second principal component at 10 % of probability level (table IV. 6).

The positive correlation of dendrometric gradient with the soil content in silt could imply that the increase in silt within the first thirty centimeters of soils causes an increase of the mean quadratic diameter, mean height and mean basal area. However, the negative correlation between the soil's texture and the growths gradient let think that the more clayish the texture of the soil gets (heavy soil), the less the trees grow in diameter, height and basal area.

**Table IV. 5: Correlation between principal components and biotic variables.**

Biotic variables		Principal components		
		Pc1	Pc2	Pc3
<b>Plant communities</b>	Species richness	0.26	0.34	<b>0.71</b>
	Shannon-Wiever's index	-0.04	0.36	<b>0.91</b>
	Evenness of Pielou's index	0.09	0.30	<b>0.85</b>
<b>Teak plantation</b>	Quadratic diameter average	<b>0.85</b>	-0.41	0.05
	Total height average	<b>0.93</b>	-0.24	-0.05
	Height average of the biggest tree	<b>0.93</b>	-0.23	0.04
	Basal area	<b>0.95</b>	-0.19	0.03
	annual average in diameter increase diameter	0.28	<b>0.84</b>	-0.36
	annual average in height increase	0.23	<b>0.90</b>	-0.35
	annual average in basal area increase	0.51	<b>0.80</b>	-0.24

**Table IV. 6: Canonical correlation of abiotic variables with the major principal components of biotic variables.**

Abiotic variables	Principal components					
	Pc1		Pc2		Pc3	
	r	P	r	p	r	P
<b>pH</b>	0.26	0.172	0.16	0.515	0.22	0.252
<b>pHKCl</b>	0.15	0.439	0.17	0.374	0.02	0.918
<b>Sand</b>	-0.06	0.774	0.23	0.232	0.07	0.709
<b>Silt</b>	<b>0.39</b>	<b>0.034</b>	0.03	0.866	-0.13	0.505
<b>Clay</b>	-0.03	0.881	-0.25	0.190	-0.05	0.805
<b>Organic matter</b>	0.19	0.325	-0.16	0.418	0.29	0.124
<b>CEC</b>	-0.04	0.856	-0.27	0.153	0.03	0.865
<b>Slope</b>	0.01	0.973	-0.16	0.404	-0.19	0.325
<b>Texture at 10 cm in depth</b>	-0.02	0.913	-0.13	0.486	-0.13	0.503
<b>Texture at 20 cm in depth</b>	0.07	0.732	<b>-0.34</b>	<b>0.048</b>	0.15	0.429
<b>Texture at 30 cm in depth</b>	0.02	0.921	<b>-0.32</b>	<b>0.095</b>	0.16	0.419
<b>Texture at 40 cm in depth</b>	-0.11	0.585	<b>-0.37</b>	<b>0.047</b>	0.11	0.587
<b>Texture at 50 cm in depth</b>	0.07	0.726	<b>-0.36</b>	<b>0.055</b>	0.21	0.282

**Caption:**

r = Correlation coefficient; p = probability

## **IV. 6. Discussion**

### **IV. 6.1. Factors influencing Teak increments**

The results of the study confirm that the silvicultural performance of Teak plantations depends on soil parameters, mainly soil silt content, which is positively correlated with Teak increment; moreover, soil clay content is negatively correlated with Teak increment. Our results confirm those of Maldonado & Louppe (1999) who also reported that the best development of Teak depends on soil properties, namely, deepness and good drainage. Our results also support those of Krishnapillay (2000) who reported that Teak tree can grow on diverse soils, but the growth depends on the depth, structure, porosity, and the draining and water retention capacity of the soils. He clearly pointed out that Teak prefers well-drained, fertile and deep soils, particularly the volcanic substrates or alluvial soils of different origins with the pH comprised between 6.5 and 7.5. As shown in our results, the negative correlation of Teak increment with soil clay content is also in accordance with the results of Pandey & Brown (2000) who underlined that the most successful Teak forests (natural or planted) are observed on well-drained and deep alluvium and that, Teak plantations do not survive when established on clayish and poorly-drained low lands. Elsewhere, the positive impact of the plant residue on diameter and basal area increment has been observed by Tutua *et al.* (2008) after 10 years on the hybrid pines plantation (*Pinus elliottii* var. *Eelliottii* X *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*).

### **IV. 6.2. Stem diameter structure of the plantations**

The stem diameter structures of the studied plantations are all skewed. This is due to the silvicultural practices of the farmers. Actually, farmers usually do selective loggings at sale opportunities and market needs so that in their plantations, multiple age shoots coexist. As a consequence of this, their plantations usually present complex diameter structure that can only be fitted with mixed models. These results support those of Ekpé (2008) and Atindogbé (2009) who also mentioned the complexity of the diameter structure of private Teak plantations in the same study area. The current results are however different from that of Quenum (2002) who found out in the same study area that diameter structure of private Teak plantations can be adjusted to a normal distribution. The discrepancy may be explained by the fact that the plantations studied by Quenum (2002) are not quite representative of the private Teak plantations. In silvicultural practice of irregular selective loggings, Teak trees lack effect of neighborhood competition. Therefore, trees develop low branches which can grow thicker and preclude bole and wood value and quality (Jactel *et al.*, 2009). This will naturally affect the planters' income from wood.

## **IV. 7. Conclusion**

The study of the undergrowth vegetation of the private Teak plantations helps to identify and describe nine undergrowth plant-communities. Teak plantations' increment is mainly controlled by soil silt content in the first 30 cm layer and soil clay content. Regardless of the mean age of the plantations, the mean increments in diameter, height and basal area are the highest in the plant-communities of *Mallotus oppositifolius* and *Cnestis ferruginea*; *Panicum maximum* and *Chromolaena odorata* and, *Uvaria chamae* and *Cnestis ferruginea*. This can help indicate the most appropriate sites for Teak production to farmers. The irregular selective loggings of peasant planters induce a complex diameter structure which can only be fitted with mix models. This silvicultural practice can limit the wood value and quality. We recommend a technical assistance to the farmers so as to elaborate simple management plans that combine sustainability and economic returns on the investment that the plantations represent.

## **IV. 8. Acknowledgements**

We would like to express our gratitude to the Ministry of Foreign Affairs and the “Commission Universitaire pour le Développement” (CUD) of Belgium who funded this study.

## Chapitre V.

# EFFET DE LA DENSITE, DE L'AGE ET DES GROUPEMENTS VEGETAUX DE SOUS-BOIS SUR LA VIGUEUR DES PLANTATIONS PRIVEES DE TECK (*TECTONA GRANDIS* L.F.) GEREEES EN REGIME DE TAILLIS AU SUD-BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST)

---

Yévidé ASI, Ganglo JC, Glèlè-Kakaï RL, De Cannière C. 2011. Effet de la densité, de l'âge et des groupements végétaux de sous-bois sur la vigueur des plantations privées de teck (*Tectona grandis* L.f.) gérées en régime de taillis au sud-Bénin (Afrique de l'Ouest). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **5**(3): 1215-1231.

# **Chapitre V. EFFET DE LA DENSITE, DE L'AGE ET DES GROUPEMENTS VEGETAUX DE SOUS-BOIS SUR LA VIGUEUR DES PLANTATIONS PRIVEES DE TECK (*TECTONA GRANDIS* L.F.) GEREES EN REGIME DE TAILLIS AU SUD-BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST)**

## **V. 1. Résumé**

L'effet de l'âge, du nombre de rejets par souche et des groupements végétaux de sous-bois sur la croissance du teck (*Tectona grandis* L.f) a été étudiée dans les plantations privées gérées en régime de taillis dans le département de l'Atlantique au sud du Bénin. Cette étude est basée sur un essai factoriel à trois facteurs dont la phytocénose, l'âge et le nombre de rejets par souche. Le Modèle Linéaire Généralisé a été utilisé pour étudier les effets des différents facteurs sur les accroissements moyens annuels en diamètre, en hauteur et en surface terrière des plantations privées de teck. Cette analyse est suivie du test de Student Newmann-Keuls (SNK) pour comparer les moyennes des facteurs. Comme principaux résultats, on peut noter que la croissance du teck diminue avec l'âge (3,31 à 1,20 cm/an ; 3,62 à 1,66 m/an). Les meilleurs accroissements en diamètre et en hauteur ont été observés pour les traitements conservant deux rejets par souche (1,42 à 3,31 cm/an et 1,80 à 3,60 m/an suivant les âges). Les teckeraies des phytocénoses à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum*, à *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea* et à *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla* présentent les meilleurs accroissements en diamètres et en hauteur.

**Mots Clés :** Phytocénoses, Teckeraies privées, Accroissements, Taillis, Aménagement.

## V. 2. Introduction

Le couvert forestier mondial en 2010 représente un peu plus de 4 milliards d'hectares (4 033 060 000 ha) soit 31% de la superficie des terres émergées. Entre 2000 et 2010, la planète a perdu 1,3% de son couvert forestier total. L'Afrique, dont la couverture forestière en 2010 était de 674 419 000 ha soit 17% de la couverture mondiale, y a contribué pour plus de la moitié (FAO, 2010).

De part le monde, de nombreuses actions sont menées pour freiner la perte des couverts forestiers, dont notamment les plantations forestières. Au plan mondial, les plantations forestières couvrent une superficie de 264 million d'hectares soit 6,6% de la superficie totale des forêts (FAO, 2010). Les espèces les plus plantées sont les eucalyptus, le teck, l'acacia.

Originaire du sud-est de l'Asie, le teck, (*Tectona grandis* L.f.), appartient à l'ordre des Lamiales, et à la famille des Verbenaceae (Fofana *et al.*, 2009). Il fait partie des espèces tropicales les plus utilisées dans le reboisement à cause de sa croissance rapide et des qualités exceptionnelles de son bois (Krishnapillay, 2000 ; Vernay, 2000 ; Rance & Monteuiis, 2004 ; Sarre & Ma, 2004 ; Derwisch *et al.*, 2009). Introduit au Bénin depuis 1916, le teck a été intensivement planté par l'Etat et la superficie couverte par cette essence, dans les plantations de l'Etat, est estimée à environ 17 000 ha (Ganglo & de Foucault, 2006). De nombreuses recherches ont été entreprises dans les teckeraies domaniales qui sont des plantations de teck conduites en régime de futaie. Elles ont permis d'identifier les stations forestières et de proposer des interventions sylvicoles et des aménagements appropriés (Ganglo, 1999 ; Ganglo *et al.*, 1999 ; Ganglo, 2005 ; Noumon & Ganglo, 2005 ; Ganglo *et al.*, 2006 ; Ganglo & De Foucault, 2006 ; Noumon *et al.*, 2006 ; Sèwadé, 2010). Par contre, très peu d'études ont été entreprises dans les plantations privées de teck qui sont généralement conduite en taillis.

En face des pertes considérables du couvert forestier et des besoins sans cesse grandissant en bois, l'intérêt des paysans pour la reforestation doit être soutenu par une assistance technique en matière de conduite des plantations afin de lutter contre la déforestation, et d'aider les paysans à optimiser leurs revenus.

Toutes les recherches effectuées sur les plantations privées de teck aboutissent au constat que la gestion des paysans se fait au gré des circonstances et sans le suivi d'un schéma rationnel. Ceci s'explique par un manque d'assistance technique qui ne permet pas aux paysans de tirer le meilleur parti de leurs plantations (Maldonado & Louppe, 1999 ; Mittelman, 2000 ; Quenum, 2002 ; Ganglo & Yéssoufou, 2003 ; Demenois *et al.*, 2005). Le choix hasardeux des stations, la surdensité des plantations, le nombre élevé de rejets laissés par souche, constituent autant de problèmes liés à la gestion des taillis privés de teck au Bénin.

Le présent article a pour objectif de présenter nos résultats de recherche sur l'impact des stations forestières, de la densité et de l'âge sur la vigueur des teckeraies privées gérées en régime de taillis au Bénin. Ces résultats permettront de donner des conseils utiles aux paysans planteurs en matière de gestion durable de leurs ressources forestières.

## V. 3. Matériel et Méthode

### V. 3.1. Milieu d'étude

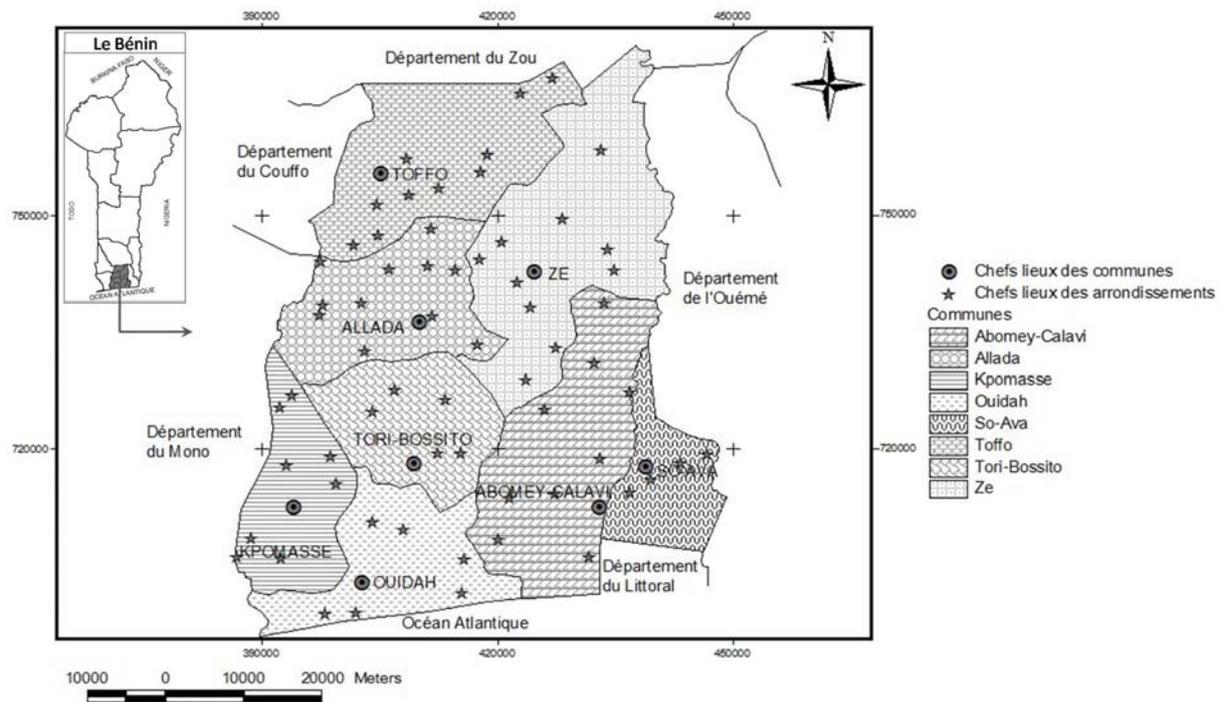
Le département de l'Atlantique est compris entre 6°18' et 6°58' de latitude nord et 1°56' et 2°30' de longitude est (figure V. 1). Il s'étend sur une superficie de 3233 km<sup>2</sup> et compte 500 villages répartis dans 74 arrondissements et 8 communes.

On distingue deux groupes de formations géologiques dans le département : les formations récentes et le Continental terminal. Les formations récentes regroupent le cordon littoral en bande de largeur variable, rencontrées le long des cours d'eau. A partir du Continental terminal s'est formée la terre de barre (sédiment meuble argilo-sableux de couleur rouge) qui fait partie de la série des sols ferrallitiques faiblement désaturés (Volkoff & Willaime, 1976).

Le climat est de type subéquatorial caractérisé par deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses (avril-juillet et septembre-octobre). La pluviométrie moyenne annuelle est voisine de 1200 mm. La température moyenne est de 27,5 °C

La végétation climacique de forêts denses semi-décidues, caractérisée par la fréquence de *Triplochiton scleroxylon*, *Celtis mildbraedii*, *C. zenkeri*, *Antiaris toxicaria*, *Albizia adianthifolia*, *A. ferruginea*, *A. zygia*, *Ceiba pentandra* (Aubréville, 1937 ; Akoégninou, 2004) n'existe plus qu'en petits îlots d'extension négligeable. Actuellement, elle est caractérisée par une végétation arbustive, associée à des peuplements plus ou moins denses de palmiers à huile. Dans les plantations forestières du département, la végétation de sous-bois est caractérisée par la fréquence élevée de *Mallotus oppositifolius*, *Macrosphyra longistyla*, *Paullinia pinnata*, *Reissantia indica*, *Chromolaena odorata* et *Panicum maximum*.

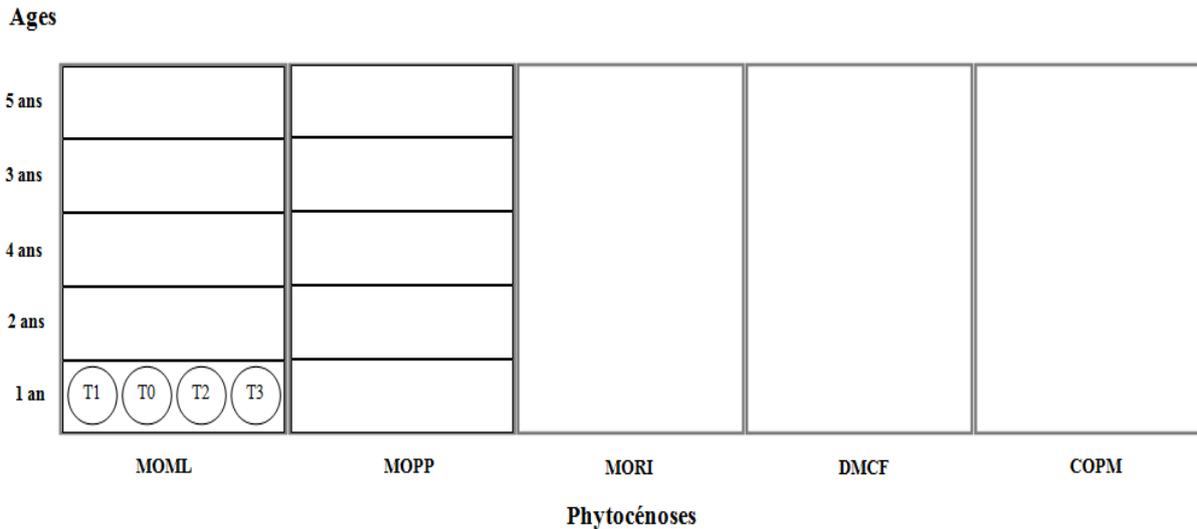
La superficie des plantations privées de teck du département de l'Atlantique est estimée à environ 2697 ha (Yêvidé *et al.*, 2011a). Les plus vieilles plantations sont mises en place depuis les années 1950. Les premières coupes s'effectuent généralement avant que les plantations n'aient dix ans. Par la suite, les coupes successives conduisent à des souches de hauteur comprises entre 20 et 50 cm (Ganglo & Yéssoufou, 2003). Des études préalables ont permis d'identifier et de décrire les communautés végétales/phytocénoses de sous-bois des plantations privées en utilisant l'approche synusiale intégrée de Gillet *et al.* (1991). Ces études ont abouti à la description de 18 phytocénoses dont les plus répandues dans le département sont les phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* (*Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata* ; à *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla* ; à *Mallotus oppositifolius* - *Reissantia indica*) et les phytocénoses à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum* et à *Chromolaena odorata* - *Imperata cylindrica*. De nombreuses études ont révélé que les biotopes des phytocénoses non pionnières de sous-bois sont caractérisés par une homogénéité remarquable des conditions stationnelles, des caractéristiques structurales et de la productivité ; ceci a permis de les considérer comme des stations forestières (Ganglo, 2005 ; Noumon & Ganglo, 2005 ; Aoudji & Ganglo, 2006 ; Aoudji *et al.*, 2006 ; Ganglo *et al.*, 2006 ; Ganglo & De Foucault, 2006 ; Noumon *et al.*, 2006 ; Tohngodo *et al.*, 2006a, 2006b ; Awokou *et al.*, 2009).



**Figure V. 1 : Situation et localisation géographique du département de l'Atlantique.**

### **V. 3.2. Echantillonnage et dispositif expérimental**

La présente étude a été conduite sur un échantillon représentatif de 10 plantations réparties dans le département de l'Atlantique. Le choix des plantations a été fait de façon participative sur la base du consentement des paysans. Ceci justifie le fait que ces plantations soient réparties sur cinq différentes phytocénoses : 3 sur la phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata* (MOPP), 3 sur la phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla* (MOML), 2 sur celle à *Mallotus oppositifolius* - *Reissantia indica* (MORI), 1 sur la phytocénose à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum* (COPM) et 1 sur la phytocénose à *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea* (DMCF). Un essai factoriel à trois facteurs, à savoir la phytocénose avec cinq niveaux (MOML, MOPP, MORI, COPM et DMCF), l'âge des rejets avec cinq niveaux (1 an, 2 ans, 3 ans, 4 ans et 5 ans) et le nombre de rejets maintenus par souche avec quatre modalités (T0, T1, T2 et T3) a été mis en place avec 3 à 9 répétitions suivant les phytocénoses. Les modalités du facteur nombre de rejets maintenus par souches comprennent le témoin (T0) correspondant au traitement fait par le paysan propriétaire de la plantation considérée ; le traitement de 2 rejets par souche (T1) ; le traitement de 3 rejets par souche (T2) et le traitement de 4 rejets par souche (T3). Dans la mise en œuvre de ces traitements, les rejets les plus gros ont été sélectionnés. Les unités d'observations sont des placettes circulaires de rayon  $r = 5,64$  m, soit une superficie de 1 are. Cette superficie a permis de compter un minimum de dix à douze arbres par placette (Duplat & Perotte, 1991). La figure V. 2 présente le schéma du dispositif expérimental.



**Figure V. 2 : Schéma du dispositif expérimental.**

### V. 3.3. Collecte des données et calculs des paramètres

Au sein de chaque placette, le nombre de souches ( $N_c$ ) et le nombre de rejets ( $N_t$ ) ont été dénombrés. Ils ont servi au calcul de la densité initiale de la plantation ( $D_p$ ) avec  $D_p = 100 \times N_c$  et de la densité de rejets ( $D_r$ ) avec  $D_r = 100 \times N_t$ . La circonférence à 1,30 m de hauteur ( $C_i$ ) de tous les rejets a été mesurée avec le ruban mètre ainsi que la hauteur ( $H_i$ ) des rejets des dix premières souches avec le clinomètre suunto. Les données ainsi collectées ont permis le calcul des paramètres suivants :

- diamètre moyen quadratique  $D_g$  (cm) :  $D_g = \sqrt{\sum (C_i/\pi)^2 / n}$  avec  $n$  le nombre total de rejets de la placette ;
- hauteur moyenne  $H_g$  (m) :  $H_g = \sum H_i / n'$  avec  $n'$  le nombre total de rejets pris en compte dans la mesure de hauteur ;
- surface terrière  $G$  ( $m^2/ha$ ) :  $G = \sum \left[ \frac{(C_i/100)^2}{4\pi} \right]$  avec  $C_i$  en cm ;
- accroissement annuel en diamètre  $Im D_g$  (cm/an) :  $Im D_g = D_g / \text{âge}$  ;
- accroissement annuel en hauteur  $Im H_g$  (m/an) :  $Im H_g = H_g / \text{âge}$  ;
- accroissement annuel en surface terrière  $Im G$  ( $m^2/ha/an$ ) :  $Im G = G / \text{âge}$ .

### V. 3.4. Traitement et analyse des données

Les données collectées ont été saisies et organisées dans un tableur Excel et les analyses ont été effectuées avec le logiciel SAS version 9.2.

L'expérimentation ayant été effectuée sur des plantations qui existaient déjà dans le milieu d'étude et de façon participative avec les paysans, le dispositif expérimental a été incomplet. Ainsi, le Modèle Linéaire Généralisé (MLG) a été utilisé pour faire l'analyse de variance des effets des différents facteurs (phytocénoses, âges des rejets et nombre de rejets

maintenus par souche) sur les accroissements moyens annuels en grosseur et en hauteur des plantations privées de teck. Par la suite, le test de Student Newmann-Keuls (SNK) a été réalisé pour comparer l'influence des modalités des différents facteurs sur les accroissements en grosseur et en hauteur.

## **V. 4. Résultats**

### **V. 4.1. Caractéristiques dendrométriques des plantations en fonction des nombres de rejets par souche et des âges**

Le tableau V. 1 résume les caractéristiques dendrométriques des plantations en fonction des nombres de rejets par souche et de l'âge des rejets. D'après ce tableau, les plantations sont mises en place à des densités initiales variant de 2150 à 2744 arbres/ha. Les peuplements de teck, âgés de 1 à 5 ans ont des diamètres quadratiques moyens qui varient de 2,80 à 7,02 cm avec des hauteurs totales moyennes allant de 3,07 à 8,99 m et des surfaces terrières comprises entre 4,14 et 18,01 m<sup>2</sup>/ha.

Quel que soit l'âge des rejets, les diamètres quadratiques moyens les plus élevés sont obtenus sur le traitement conservant deux rejets par souche alors que les valeurs les plus faibles sont obtenues sur les traitements conservant trois et plus de trois rejets par souche. Les hauteurs moyennes sont généralement les plus élevées pour le traitement de deux rejets par souche ou pour le traitement des paysans (témoin T0) quel que soit l'âge. Indépendamment de l'âge, les surfaces terrières des plantations au niveau des traitements conservant deux rejets par souche sont plus faibles que celles des plantations des autres traitements.

Au seuil de probabilité de 5%, une différence significative a été observée entre le diamètre quadratique moyen des traitements à 4 ans d'âge. A cet âge, le diamètre quadratique moyen du traitement T1 (deux rejets par souche) est significativement supérieur aux diamètres quadratiques moyens des autres traitements. Pour les autres âges et pour les autres paramètres, aucune différence significative n'a été observée au seuil de probabilité de 5% entre les traitements. Globalement, le traitement T1 et dans une moindre mesure le traitement T2, induisent une meilleure croissance du teck conduit en régime de taillis.

### **V. 4.2. Effet des nombres de rejets par souche et des phytocénoses sur la vigueur des plantations de teck suivant les âges**

Le tableau V. 2a présente les résultats des tests d'analyse de la variance sur les accroissements moyens annuels en diamètre, en hauteur et en surface terrière en fonction des nombres de rejets par souche et des phytocénoses. Il permet d'apprécier aussi les effets de l'interaction entre les phytocénoses et les nombres de rejets par souche.

On peut retenir que des différences significatives existent au seuil de probabilité de 5% entre les accroissements en diamètre des plantations en fonction des phytocénoses quel que soit l'âge des rejets. Cependant, les accroissements en hauteur et en surface terrière des plantations en fonction des phytocénoses ne sont significativement différentes que pour certains âges. Aucune différence significative n'apparaît entre les accroissements en diamètre

des plantations, quel que soit le nombre de rejets par souche sauf pour l'âge de 4 ans. Par ailleurs aucune différence significative ne s'observe entre les accroissements en hauteur et en surface terrière des plantations quel que soit le nombre de rejets par souche. Il en est de même pour l'interaction entre les phytocénoses et les nombres de rejets par souche.

Le tableau V. 2b présente les résultats du test de comparaison des moyennes des accroissements des plantations en fonction des nombres de rejets par souche et des âges. Il ressort de ce tableau que les accroissements moyens annuels en grosseur et en hauteur diminuent globalement avec l'âge. Mais, quel que soit l'âge, le traitement de deux rejets par souche (T1) enregistre les meilleurs accroissements moyens en diamètre et généralement les meilleurs accroissements moyens annuels en hauteur.

### **V. 4.3. Influence des âges sur les accroissements**

Les accroissements en grosseur et en hauteur varient en fonction des âges des peuplements. En effet, ils diminuent au fur et à mesure que le peuplement prend de l'âge. Ainsi les valeurs les plus élevées des accroissements en diamètre et en hauteur sont observées à 1 an d'âge pour tous les traitements et les plus faibles valeurs à 5 ans d'âge (Figure V. 3A, 3B). Les différences enregistrées sont hautement significative d'un âge à un autre jusqu'à 4 ans ( $p < 0,0001$ ). Au-delà de 4 ans les accroissements en diamètre et en hauteur observés sont statistiquement les mêmes. La tendance de l'accroissement en surface terrière est cependant différente. En effet, il existe une différence significative entre les accroissements en surface terrière des peuplements en fonction des âges mais à partir de 4 ans cette différence n'est généralement plus significative (Figure V. 3C). Les meilleurs accroissements en surface terrière se rapportent à l'âge de 2 ans et les plus faible à l'âge de 5 ans. Il apparait tout de même que de 3 à 5 ans les accroissements en surface terrière diminuent.

### **V. 4.4. Effet des phytocénoses sur les accroissements**

Les accroissements en grosseur et en hauteur sont en général significativement différents d'une phytocénose à l'autre. L'inexistence d'interaction significative entre les phytocénoses et les nombres de rejets par souche (tableau V. 2a) permet de retenir ici que, seules les phytocénoses influencent les accroissements des plantations. Ainsi, le tableau V. 2c montre que :

- à un an d'âge, les accroissements des plantations de teck dans les phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata*, à *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla*, à *Mallotus oppositifolius* - *Reissantia indica* et à *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea* sont les mêmes alors que ceux enregistrés dans les teckeraies de la phytocénose à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum* sont nettement supérieurs (3,97 cm/an, 4,69 m/an et 7,55 m<sup>2</sup>/ha/an respectivement pour les accroissements moyens annuels en diamètre, en hauteur et en surface terrière) ;
- à deux ans d'âge, les teckeraies des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla* et à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum* ont les plus fortes valeurs d'accroissement en diamètre et en surface terrière (2,67 et 2,41 cm/an ; 6,91 et 5,52 m<sup>2</sup>/ha/an respectivement pour les accroissements moyens annuels en diamètre, et en surface terrière);

- à trois et quatre ans, les teckeraies de la phytocénose à *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea*, est la plus productive alors que les plantations des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata* et à *Mallotus oppositifolius* - *Reissantia indica* ont les plus faibles accroissements;
- enfin, à cinq ans, les plantations de la phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla* ont un meilleur accroissement que celles de la phytocénose à *Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata*.

Les plantations de teck des phytocénoses à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum*, à *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea* et à *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla* ont généralement les meilleurs accroissements alors que les teckeraies des phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Reissantia indica* et à *Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata* ont de plus faibles accroissements. Ces dernières phytocénoses indiquent donc les stations les moins appropriées pour la production du teck.

**Tableau V. 1 : Caractéristiques dendrométriques des plantations privées de teck en fonction des âges et des nombres de rejets par souche.**

**Légende :** NRS = Nombre de rejets par souche ; T0 = Témoin (traitement appliqué par les paysans) ; T1 = Deux rejets par souche ; T2 = Trois rejets par souche ; T3 = Quatre rejets par souche ; P = Probabilité liée aux analyses de variance ; DA = Densité d'arbre par hectare ; DT = Densité de rejets par hectare ; Dg = Diamètre moyen quadratique (cm) ; Hg = Hauteur totale moyenne (m) ; G = Surface terrière (m<sup>2</sup>/ha) ; NR/Sc = Nombre moyen de rejets par souche.

Ages	NRS	Nombre d'observations	DA	DT	Dg	Hg	G	NR/Sc
			P	0,2621	<b>0,0008</b>	0,2848	0,6998	0,1342
1 an	T0	15	2290	8620 a	3,17	3,62	5,09	4
	T1	15	2432	4775 c	3,31	3,60	4,14	2
	T2	15	2302	6565 b	3,05	3,46	4,84	3
	T3	12	2250	8467 a	2,80	3,07	4,99	4
			P	0,7235	<b>0,0147</b>	0,3246	0,7262	0,0624
2 ans	T0	9	2633	7678 a	4,63	5,85	12,96	3
	T1	9	2744	5211 b	4,90	5,67	9,80	2
	T2	3	2233	6200 ab	4,87	5,00	11,30	3
	T3	-	-	-	-	-	-	-
			P	0,2863	<b>0,0206</b>	0,1107	0,8581	0,1193
3 ans	T0	12	2642	6617 a	5,39	6,78	14,69	3
	T1	12	2717	5175 b	5,70	6,73	13,23	2
	T2	-	-	-	-	-	-	-
	T3	-	-	-	-	-	-	-
			P	0,1186	0,0567	<b>0,0420</b>	0,0984	0,2672
4 ans	T0	12	2464	5693	5,91 b	7,07	15,18	2
	T1	11	2376	4489	6,32 a	7,66	13,87	2
	T2	3	2150	6083	5,67 b	6,90	15,21	3
	T3	-	-	-	-	-	-	-
			P	0,5291	0,0900	0,4111	0,2702	0,1481
5 ans	T0	6	2458	5683	6,63	8,44	18,01	2
	T1	6	2350	4325	7,02	8,99	16,74	2
	T2	3	2367	6767	5,90	8,29	18,00	3
	T3	-	-	-	-	-	-	-

Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. Les moyennes qui ne sont suivies d'aucunes lettres ne sont pas statistiquement différentes les unes des autres.

**Tableau V. 2a : Effet des nombres de rejets par souche et des phytocénoses sur la vigueur des plantations en fonction de l'âge.**

		Accroissements moyens annuels en :											
		Diamètre				Hauteur				Surface terrière			
Age	Source de variation	DDL	CM	F	P	DDL	CM	F	P	DDL	CM	F	P
1 an	Nombre de rejets par souche	3	0,26	1,60	0,2848	3	0,20	0,49	0,6998	3	5,49	2,76	0,1342
	Phytocénoses	4	1,81	14,74	<b>0,0009</b>	4	3,92	13,17	<b>0,0014</b>	4	27,42	12,29	<b>0,0017</b>
	Interaction	11	0,08	1,48	0,2071	11	0,10	0,31	0,9751	11	1,79	1,50	0,2017
2 ans	Nombre de rejets par souche	2	0,04	1,84	0,2719	2	0,17	0,36	0,7179	2	5,66	6,05	0,0617
	Phytocénoses	2	0,58	12,67	<b>0,0186</b>	2	0,84	5,14	0,0786	2	7,56	7,81	<b>0,0416</b>
	Interaction	2	0,02	0,32	0,7400	2	0,16	0,30	0,7584	2	0,53	0,21	0,8223
3 ans	Nombre de rejets par souche	1	0,06	12,00	0,0742	1	0,002	0,04	0,8568	1	1,42	7,02	0,1178
	Phytocénoses	3	0,46	27,50	<b>0,0007</b>	3	0,56	7,14	<b>0,0209</b>	3	6,24	22,97	<b>0,0011</b>
	Interaction	3	0,01	1,20	0,3869	3	0,02	0,34	0,7949	3	0,51	0,38	0,7737
4 ans	Nombre de rejets par souche	2	0,02	5,43	<b>0,0424</b>	2	0,05	4,13	0,1065	2	0,48	1,88	0,2655
	Phytocénoses	3	0,11	9,44	<b>0,0109</b>	3	0,30	8,13	<b>0,0155</b>	3	1,55	4,05	0,0684
	Interaction	3	0,002	0,39	0,7644	3	0,01	0,51	0,6952	3	0,11	0,34	0,7988
5 ans	Nombre de rejets par souche	2	0,02	1,69	0,2934	2	0,06	1,79	0,2788	2	0,24	3,25	0,1452
	Phytocénoses	1	0,40	25,47	<b>0,0371</b>	1	1,01	8,12	0,1042	1	0,76	0,70	0,4920
	Interaction	1	0,01	2,29	0,2697	1	0,004	0,26	0,6598	1	0,17	4,59	0,1654

**Tableau V. 2a : Comparaison de l'accroissement moyen annuel en diamètre, en hauteur et en surface terrière des plantations en fonction des nombres de rejets par souche et des âges.**

**Légende :** T0 = Traitement témoin ; T1 = Deux rejets par souche ; T2 = Trois rejets par souche ; T3 = Quatre rejets par souche ; ImDg = Accroissement moyen annuel en diamètre (cm/an) ; ImHg = Accroissement moyen annuel en hauteur (m/an) ; ImG = Accroissement moyen annuel en surface terrière (m<sup>2</sup>/ha/an).

Age (ans)	Proba- bilité	T0	T1	T2	T3	
1	Nombre d'observation	15	15	15	12	
	ImDg	0,2848	3,17	3,31	3,05	2,80
	ImHg	0,6998	3,62	3,60	3,46	3,07
	ImG	0,1342	5,09	4,14	4,84	4,99
2	Nombre d'observation	9	9	3	-	
	ImDg	0,2719	2,31	2,44	2,40	-
	ImHg	0,7179	2,92	2,84	2,50	-
	ImG	0,0617	6,48	4,90	5,65	-
3	Nombre d'observation	12	12	-	-	
	ImDg	0,0742	1,79	1,89	-	-
	ImHg	0,8568	2,26	2,24	-	-
	ImG	0,1178	4,90	4,41	-	-
4	Nombre d'observation	12	11	3	-	
	ImDg	<b>0,0424</b>	1,48 ab	1,57 a	1,40 b	-
	ImHg	0,1065	1,77	1,91	1,73	-
	ImG	0,2655	3,80	3,47	3,80	-
5	Nombre d'observation	6	6	3	-	
	ImDg	0,2934	1,32	1,42	1,20	-
	ImHg	0,2788	1,69	1,80	1,66	-
	ImG	0,1452	3,60	3,35	3,60	-

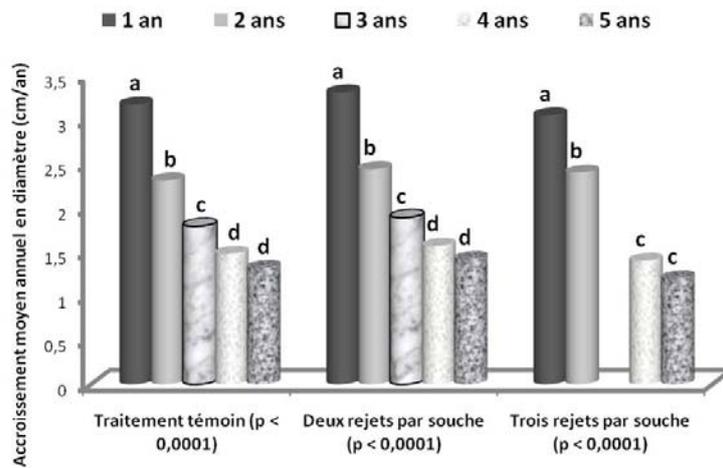
Sur une même ligne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

**Tableau V. 2c : Comparaison des accroissements moyens annuels en diamètre, en hauteur et en surface terrière des plantations en fonction des phytocénoses et des âges.**

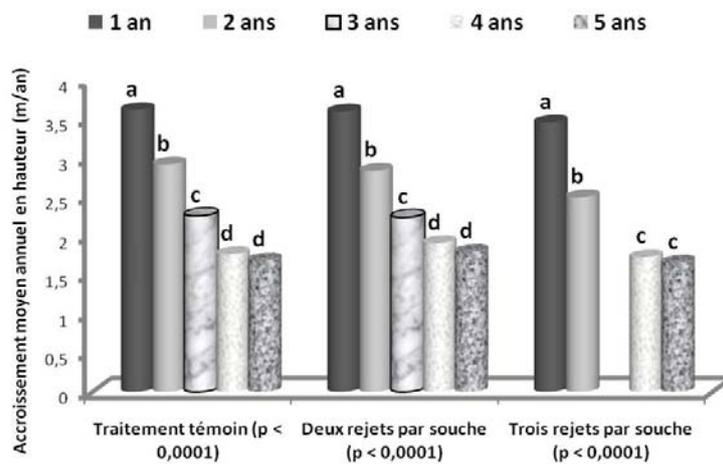
**Légende :** MOPP = *Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata* ; MOML = *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla* ; MORI = *Mallotus oppositifolius* - *Reissantia indica* ; DMCF = *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea* ; COPM = *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum* ; ImDg = Accroissement moyen annuel en diamètre (cm/an) ; ImHg = Accroissement moyen annuel en hauteur (m/an) ; ImG = Accroissement moyen annuel en surface terrière (m<sup>2</sup>/ha/an).

Age		Proba- bilité	MOPP	MOML	DMCF	MORI	COPM
1 an	Nombre d'observation		12	12	12	12	9
	ImDg	<b>0,0009</b>	2,93 b	2,84 b	3,03 b	2,93 b	3,97 a
	ImHg	<b>0,0014</b>	3,51 b	3,09 b	3,21 b	3,10 b	4,69 a
	ImG	<b>0,0017</b>	5,13 b	3,42 b	4,18 b	4,19 b	7,55 a
2 ans	Nombre d'observation		6	6	-	-	9
	ImDg	<b>0,0186</b>	2,05 b	2,67 a	-	-	2,41 a
	ImHg	0,0786	2,95	3,22	-	-	2,49
	ImG	<b>0,0416</b>	4,70 b	6,91 a	-	-	5,52 ab
3 ans	Nombre d'observation		6	6	6	6	-
	ImDg	<b>0,0007</b>	1,60 c	1,92 b	2,20 a	1,65 c	-
	ImHg	<b>0,0209</b>	2,17 b	2,14 b	2,70 a	2,00 b	-
	ImG	<b>0,0011</b>	4,32 b	5,32 a	5,61 a	3,37 c	-
4 ans	Nombre d'observation		9	6	6	5	-
	ImDg	<b>0,0109</b>	1,41 b	1,52 b	1,72 a	1,42 b	-
	ImHg	<b>0,0155</b>	1,73 b	1,79 b	2,16 a	1,63 b	-
	ImG	0,0684	3,68	3,30	4,32	3,25	-
5 ans	Nombre d'observation		9	6	-	-	-
	ImDg	<b>0,0371</b>	1,19 b	1,55 a	-	-	-
	ImHg	0,1042	1,52	2,03	-	-	-
	ImG	0,4920	3,35	3,73	-	-	-

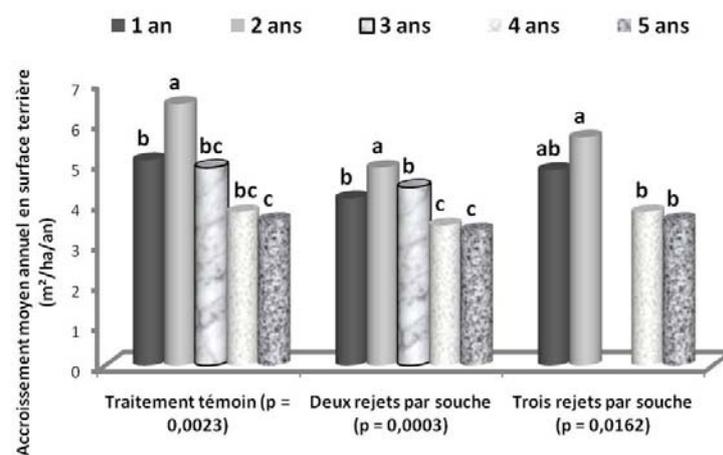
Sur une même ligne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.



(A)



(B)



(C)

**Figure V. 3 : Influence des âges sur les accroissements moyens annuels en diamètre (A), en hauteur (B) et en surface terrière (C) en fonction des nombres de rejets par souche. Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes ( $p < 0,05$ ).**

## V. 5. Discussions

### V.5.1. Densité des plantations privées de teck

Les plantations privées de teck ont de fortes densités qui dépassent les 2500 arbres/ha recommandés par l'Office National du Bois (ONAB, 2005). Contrairement aux plantations privées que nous avons étudiées, les plantations domaniales de teck au Bénin sont établies à des densités plus faibles. En effet, selon Trainer & Ganglo (1992), la densité d'arbres à l'hectare dans les secteurs forestiers de Massi et de Koto varie de 71 à 1600 arbres/ha pour les plantations de 1 à 7 ans. Une récente étude dans les secteurs forestiers de Koto et de Akpé a montré que, les densités des plantations de teck varient entre 184 et 387 arbres/ha selon la station forestière, l'âge et la provenance de teck utilisée (Sèwadé, 2010). En Côte d'Ivoire, sur les trois premières classes de fertilité, il est recommandé dans les plantations de teck, d'adopter une densité initiale de 1500 arbres/ha qui sera réduite à 750 arbres/ha au bout de cinq ans par des éclaircies (Dupuy *et al.*, 1999). En Tanzanie, bien qu'établie à une densité de 2500 arbres/ha, les plantations de teck sont réduites à 1250 arbres/ha à 3 ans puis à 625 arbres/ha au bout de 6 ans par des éclaircies (Bekker *et al.*, 2004). D'autres plantations, dans le même Etat ont des densités variant entre 200 et 300 arbres/ha (Rance & Monteuis, 2004). Toutes ces densités sont nettement inférieures à celles utilisées par les paysans du département de l'Atlantique. Cette situation témoigne d'un crucial manque d'encadrement des paysans planteurs.

En plus de la forte densité initiale, les paysans qui généralement conduisent leurs plantations en taillis sans aucune éclaircie, laissent un nombre élevé de rejets par souche. Dans une même plantation ce nombre varie beaucoup d'une souche à une autre et peut atteindre voire dépasser 8 par souche. Par contre, dans les plantations de teck de la Tanzanie réalisées avec des stumps et gérées en taillis, les nombreux rejets obtenus sont réduits au seul plus vigoureux et plus rectiligne de l'ensemble (Bekker *et al.*, 2004).

### V. 5.2. Accroissement des taillis de teck

Le nombre de rejets maintenus par souche influence beaucoup la croissance du teck et c'est ce qui justifie le fait que les meilleures valeurs du diamètre et de son accroissement ont été observées avec le traitement de deux rejets par souche. Pour la gestion des plantations de teck qui génèrent de multiples rejets au niveau de chaque souche, Bekker *et al.* (2004) ont noté qu'il est important de ne laisser que le plus vigoureux et ceci le plus rapidement que possible en arrachant manuellement tous les autres. Bien que le traitement de deux rejets par souche conduise aux meilleurs accroissements en diamètre et en hauteur, il entraîne cependant les plus faibles valeurs et les plus faibles accroissements en surface terrière. Ceci tient au fait que la surface terrière est proportionnelle à la grosseur des arbres et au nombre de rejets par hectare. Ainsi, les valeurs les plus élevées de la surface terrière et de son accroissement sont observées au niveau des traitements conservant le nombre le plus élevé de rejets par souche. Même dans les plantations conduites en futaie, la surface terrière et son accroissement varient en fonction de la densité. En effet, dans les plantations de la Côte d'Ivoire (Dupuy *et al.*, 1999), la surface terrière est comprise entre 12,6 et 13,9 m<sup>2</sup>/ha pour des plantations de 1450

arbres/ha et âgées de 3 à 5 ans alors qu'elle varie entre 7,7 et 13,2 m<sup>2</sup>/ha pour les mêmes plantations après réduction de la densité à 750 arbres/ha. Cependant, la réduction de la densité favorise la croissance en diamètre d'où l'augmentation de la surface terrière.

Les plantations de certaines phytocénoses (groupements végétaux) à savoir les phytocénoses à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum*, à *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea* et à *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla* présentent des accroissements supérieurs à ceux des autres phytocénoses. Ceci résulte du fait que ces phytocénoses indiquent des stations plus productives que les autres. En effet, elles assurent par leur biotopes, les meilleures conditions pour le développement du teck. La croissance du teck varie en fonction de la station et de l'âge (Bekker *et al.*, 2004). Selon ces auteurs, dans une plantation réalisée à une densité de 625 arbres/ha, le diamètre moyen a varié de 9,2 cm à 9 ans, soit un accroissement moyen de 1,02 cm/an dans la troisième classe de productivité, à 15 cm à 7 ans, soit un accroissement moyen de 2,14 cm/an dans la première classe de productivité. En ce qui concerne l'accroissement moyen en hauteur, il est d'environ 2 m/an sur les meilleures stations. Toutefois les mêmes auteurs ont rapporté que cet accroissement est faible par rapport aux plantations de Sabah en Malaisie de l'Est où il est de 4 m/an dans le jeune âge de la plantation (Krishnapillay, 2000). Ce dernier a toutefois montré que, bien que la croissance en hauteur du teck atteigne 4 m la première année en Malaisie, elle diminue progressivement pour devenir faible au delà de 15 ans. Cette diminution de la croissance du teck avec l'âge est conforme à nos résultats car les accroissements moyens en grosseur et en hauteur diminuent généralement lorsque le peuplement prend de l'âge.

Les résultats de nos travaux, en ce qui concerne la variation des accroissements des plantations en fonction des phytocénoses, sont en conformité avec ceux trouvés par d'autres chercheurs (Ganglo, 2005 ; Noumon & Ganglo, 2005 ; Aoudji & Ganglo, 2006 ; Aoudji *et al.*, 2006 ; Ganglo *et al.*, 2006 ; Ganglo & De Foucault, 2006 ; Noumon *et al.*, 2006). En effet, ces auteurs ont montré que la productivité des plantations de teck et d'Acacia gérées en régime de futaie, varie en fonction des groupements végétaux de sous-bois dans lesquels on les retrouve. L'indice de productivité utilisé par ces auteurs est la hauteur dominante à un âge de référence (25 ans pour le teck et 5 ans pour l'*Acacia auriculiformis*).

### **V. 5.3. Propositions pour la sylviculture du teck dans les plantations privées gérées en régime de taillis**

Au vu de nos résultats de recherche, nous pouvons faire des propositions pour un meilleur aménagement des plantations privées de teck gérées en régime de taillis dans le département de l'Atlantique. En effet il se dégage de cette étude que, pour obtenir les meilleurs accroissements en diamètre et en hauteur pour le teck conduit en taillis, il faudrait laisser par souche deux ou trois rejets. Ce nombre devra être le plus homogène que possible pour une croissance harmonieuse du teck car, les nombres variables de rejets d'une souche à l'autre n'induisent pas les meilleurs accroissements, même si le nombre moyen de rejets par souche est de l'ordre de deux ou trois (cas du traitement témoin (T0) appliqué par les paysans).

L'accroissement en diamètre et en hauteur des peuplements de teck diffèrent d'une phytocénose à une autre. Certaines phytocénoses se prêtent donc mieux à la production du teck car elles favorisent au mieux la croissance du teck. Ainsi, les phytocénoses à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum*, à *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea* et à *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla* apparaissent les plus appropriées pour la culture du teck dans le département de l'Atlantique. Par contre les phytocénoses à *Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata* et à *Mallotus oppositifolius* - *Reissantia indica* sont moins conseillées.

## V. 6. Conclusion

La production du teck dans le département de l'Atlantique doit, pour une bonne production, obéir à des règles dont un meilleur choix de la station et des pratiques sylvicoles adéquates pour une croissance rapide de l'arbre. En effet, les meilleurs accroissements en diamètre et en hauteur pour le teck conduit en taillis, sont observés sur les phytocénoses à *Chromolaena odorata* - *Panicum maximum*, à *Dichapetalum madagascariense* - *Cnestis ferruginea* et à *Mallotus oppositifolius* - *Macrosphyra longistyla*. De plus il faudrait laisser par souche deux ou trois rejets et ce nombre doit être le plus homogène possible pour une croissance harmonieuse du teck. Les nombres variables de rejets d'une souche à l'autre n'induisent pas les meilleurs accroissements même si le nombre moyen de rejets par souche est de l'ordre de deux ou trois. La présente étude apporte des éléments de réponse sur la sylviculture des peuplements de teck traités en taillis. Il convient toutefois de souligner la nécessité que d'autres recherches abordent l'étude de la dynamique et de la productivité des taillis de teck afin de proposer des tables de production pour ces plantations.

## V. 7. Remerciements

La présente étude a été réalisée sur financement de la Commission Universitaire belge pour le Développement (CUD) dans le cadre du projet interuniversitaire ciblé sur la filière teck au Bénin. Nous lui témoignons notre profonde gratitude.

## Chapitre VI.

# GROWTH MODELING IN COPPICE TEAK STANDS IN BENIN (WEST AFRICA)

---

Yêvidé ASI, Ganglo JC, Glèlè Kakaï RL, Fonton NH, De Cannière C. Growth modeling in coppice teak stands in Bénin (West Africa).

A soumettre à la revue *Annals of Forest Science*.

# Chapitre VI. GROWTH MODELING IN COPPICE TEAK STANDS IN BENIN (WEST AFRICA)

## VI. 1. Abstract

A primary growth models have been developed for predicting the mean quadratic diameter and the mean height for coppice teak stands in the Atlantic department. The study was based on 321 circular plots covering a wide range of shoots age, number of shoots per stump and different forest sites. Data were collected at a periodicity of six months on two years. Seven candidate models were fitted and their parameters were estimated with R software by using the Generalized Linear Models (GLM) for fitting linear models and the Nonlinear Least Squares (NLS) for fitting nonlinear models. Models' performances were compared; the best model has been chosen and validated on other observations. Results show that the quadratic mean of diameter could be predicted using nonlinear model based on the shoots age and the number of shoots per stump. This nonlinear model allows to predict with non significant mean residual and good coefficient of determination ( $R^2$ ), the quadratic mean of diameter ( $R^2 = 85 \%$ ) of coppice teak stands.

**Keywords:** Coppice teak stands, growth model, department of Atlantic, Benin.

## VI. 2. Introduction

Many studies have been undertaken on teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations, but studies based on coppice teak stands are scarce. Quenum (2002) studied dendrometric characteristics and traditional management of coppice teak stands (private teak plantations) in the township of Tori-Bossito in the southern Benin. He showed that the number of stumps per hectare varied with plantations between 734 and 6581 stumps/ha. The diameter, the top height and the basal area varied respectively from 2.2 cm to 21.2 cm, from 2.6 to 16.3 m and from 0.6 to 42.8 m<sup>2</sup>/ha.

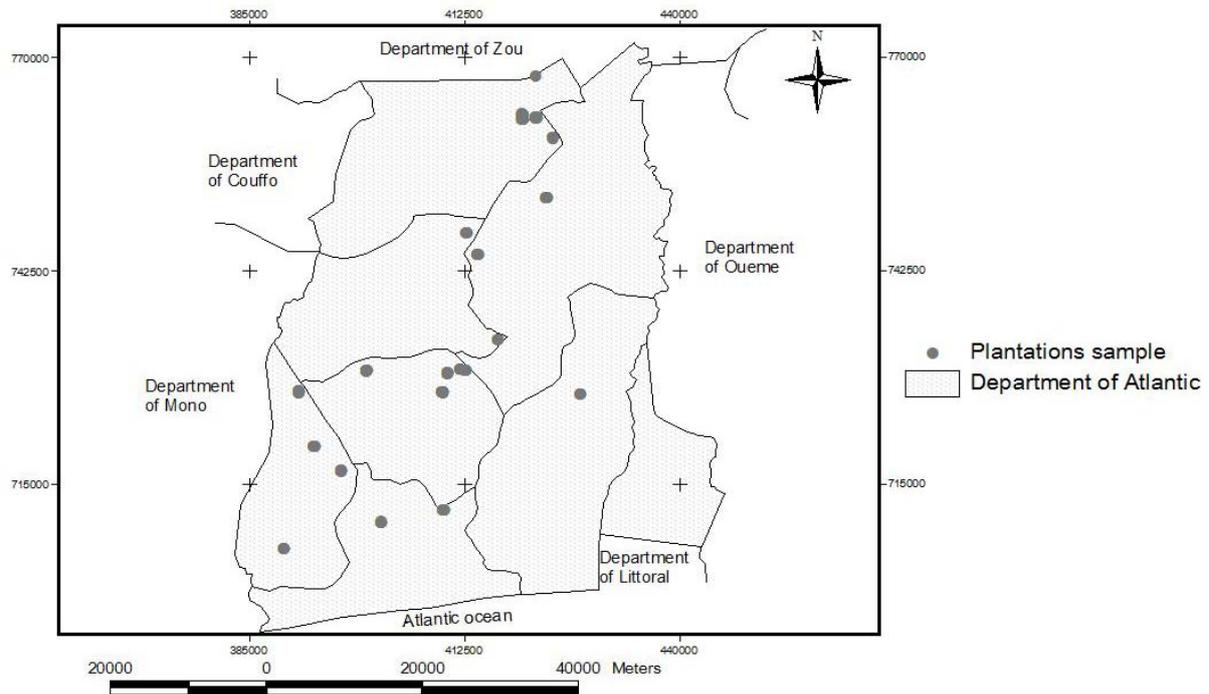
Ganglo & Yéssoufou (2003) realized a diagnostic study in the private teak plantations of the township of Toffo (South Benin). Their results revealed problems of over density of plantations (1750 to 10000 stumps/ha). According to the same authors, the number of shoots per stump was too high (2 to 8) without any effort to select the sturdiest shoots and the high height of stumps after logging was also too high (20 to 100 cm). The few researches undertaken in private teak plantations in Côte d'Ivoire, Thailand, Benin and India (Maldonado & Louppe, 1999; Enters, 2000; Mittelman, 2000; Quenum, 2002; Ganglo & Yéssoufou, 2003; Demenois *et al.*, 2005) concluded that technical assistance to farmers was essential. Chowdhury *et al.* (2008) in their study on the growth performance of teak coppice under different regimes of canopy opening, concluded on the potential of coppice management to restore the gaps in the prevailing plantations. They proposed that future research should be directed towards the dynamics of coppice in a wide range of diameter classes and under different climatic conditions. It is important to help farmers because, by converting agricultural area into forest, they contribute in reducing deforestation. Their production contributes to the supply of wood demands which increases permanently increase (Guinard, 2004). Giving technical assistance to farmers to help for sustainable management of their plantations will be helpful for the environment protection and the improvement of their economic situation.

Research efforts were done in private teak plantations to characterize the potential and the traditional forestry methods used by farmers in the department of Atlantic. Private teak plantations cover 2697 ha in the department. The undergrowth plant communities of private teak plantations were identified and described as well as the relationship between biotic and abiotic factors of plant communities (Yêvidé *et al.*, 2011a). The phytosociological studies undertaken in the plantations showed that 444 plant species belonging to 95 families grow in the understory plant communities of teak plantations. The study of the relations between biotic and abiotic factors of plant communities revealed a positive correlation between soil silt content within the first thirty centimeters and the mean quadratic diameter, mean height and mean basal area. On the contrary, soil clay content is negatively correlated with teak increment. Predictive models on coppice teak dynamics are greatly lacking despite their importance in sustainable forest resource management. To fill this gap, the main objective of this study was to develop primary models to predict diameter growth in coppice teak plantations under different silvicultural practices as well as the elaboration of the relationship between the height and diameter of the plantations.

## VI. 3. Material and methods

### VI. 3.1. Sampling and data collection

This study was based on a representative sample of 21 private teak plantations spread in the department of Atlantic which is located between 6°18' and 6°58' of north latitude, 1°56' and 2°30' of East longitude (Figure VI. 1). Those plantations cover nine different phytocoenoses/plant communities (table VI. 1).



**Figure VI. 1: Distribution of studied plantations in the department of Atlantic.**

**Table VI. 1: Distribution of teak plantations across plant communities.**

Plant communities	Number of plantations recorded
<i>Mallotus oppositifolius</i> - <i>Paullinia pinnata</i>	5
<i>Mallotus oppositifolius</i> - <i>Macrosphyra longistyla</i>	5
<i>Mallotus oppositifolius</i> - <i>Reissantia indica</i>	3
<i>Mallotus oppositifolius</i> - <i>Combretum sordidum</i>	1
<i>Mallotus oppositifolius</i> - <i>Dichapetalum madagascariense</i>	1
<i>Chromolaena odorata</i> - <i>Imperata cylindrica</i>	3
<i>Chromolaena odorata</i> - <i>Panicum maximum</i>	1
<i>Dichapetalum madagascariense</i> - <i>Cnestis ferruginea</i>	1
<i>Reissantia indica</i> - <i>Combretum sordidum</i>	1

A total of 321 permanent plots (circular shape and 100 m<sup>2</sup> of surface) of different ages (0.5 to 10 years) and different number of shoots per stump (1 to 6) were set up in the

plantations. They were regularly assessed during two years on a periodicity of six months. This enable the collection of important data used in the model elaboration.

### VI. 3.2. Parameters calculation

In each of the 321 circular plots, shoots were numbered and the level of circumference measurement materialized. The number of stump ( $Nc$ ) and shoots ( $Nt$ ) were counted and used to calculate the initial density of plantation ( $Dp = 100 \times Nc$ ) and the density of shoots ( $Dr = 100 \times Nt$ ). The circumferences at breast height ( $Ci$ ) of all shoots were measured as well as the height ( $Hi$ ) of the shoots of the first ten stumps. The data collected allowed computing parameters as follow:

- mean quadratic diameter  $Dg = \sqrt{\sum (Ci/\pi)^2 / n}$  and

- mean height  $Hg = \sum Hi / n'$ . Where  $n$  is the number of shoots' circumference measured and  $n'$  the number of shoots' height measured.

After the two years of data collection, 1013 observations were recorded and used to develop diameter growth models and to implement a relation between height and diameter of the coppice teak stands.

### VI. 3.3. Growth models choice and data analyses

In the literature, no growth model was developed for coppice plantation of teak. The possible growth equations considered to represent height and/or diameter growth in many studies (Bermenjo *et al.*, 2004; Sánchez-González *et al.*, 2005; Adame *et al.*, 2006; Rugmini & Jayaraman, 2009) were those of Richards and Lundqvist-Korf taken from Amaro *et al.* (1998). But Richards' equation ( $Y = A(1 - e^{-kt})^{1/n}$ ) and Lundqvist-Korf's ( $Y = A(e^t)^{k/n}$ ) were not fitted with the growth of mean quadratic diameter and that of mean height. Thus, to predict the mean quadratic diameter of teak in coppice plantations, two different groups of models were chosen in this study. Firstly, a linear model ( $Y = \beta + \sum a_i \times X_i$ ) and secondly nonlinear models ( $Y = a_1 \times X_1^b + a_2 \times X_2 + \dots + a_n \times X_n$  and  $Y = a_1 \times \exp(b \times X_1) + a_2 \times X_2 + \dots + a_n \times X_n$ ), where  $Y$  is the dependent variable (mean quadratic diameter);  $\beta$ ,  $a_i$  and  $b$  are parameters which are estimated and  $X_i$  is the independent variables.

The age of the shoots, the number of shoots per stump and the initial density of the plantation were taken as potential independent variables for the development of the diameter growth model. Those independent variables were chosen due to their influence on trees' growth.

Six nonlinear models and one linear model were tested (Table VI. 2). The evaluation of all potential equations was based on some model performance evaluation criteria (Table VI. 3) (Amaro *et al.*, 1998; Adame *et al.*, 2006). Thus, the most appropriate model was chosen.

Potential equations parameters were estimated with R software by using the Generalized Linear Models (GLM) for fitting linear model and the Nonlinear Least Squares

(NLS) for fitting nonlinear models. All the collected data were used to the potential equations. The details of their characteristics are presented in table VI. 4.

**Table VI. 2: Type of models and potential equations for diameter modeling.**

Type of models	N°	Equations	Parameters to be estimated
Linear	(1)	$Y = \beta + a_1 \times T + a_2 \times NR + a_3 \times Dp$	$\beta, a_1, a_2$ and $a_3$
Nonlinear	(2)	$Y = a_1 \times T^b$	$a_1$ and $b$
	(3)	$Y = a_1 \times T^b + a_2 \times NR$	$a_1, a_2$ and $b$
	(4)	$Y = a_1 \times T^b + a_2 \times NR + a_3 \times Dp$	$a_1, a_2, a_3$ and $b$
	(5)	$Y = a_1 \times \exp(b \times T)$	$a_1$ and $b$
	(6)	$Y = a_1 \times \exp(b \times T) + a_2 \times NR$	$a_1, a_2$ and $b$
	(7)	$Y = a_1 \times \exp(b \times T) + a_2 \times NR + a_3 \times Dp$	$a_1, a_2, a_3$ and $b$

NB:  $Y$  is dependent variable;  $T$  is shoot age;  $NR$  is the number of shoots per stump;  $Dp$  is the initial density of the plantation.

**Table VI. 3: Parameters for model performance evaluation.**

Performance criterion	Symbol	Formula	Ideal value
Mean residual	Mres	$\sum_{i=1}^n \frac{est_i - obs_i}{n}$	0
Variance ratio	VR	$\frac{\sum_{i=1}^n (est_i - \overline{est})^2}{\sum_{i=1}^n (obs_i - \overline{obs})^2}$	1
Residual mean of squares	RMS	$\frac{\sum_{i=1}^n (est_i - obs_i)^2}{n - p}$	0
Absolute mean residual	Amres	$\sum_{i=1}^n \frac{ est_i - obs_i }{n}$	0
Coefficient of determination	$R^2$	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (est_i - obs_i)^2}{\sum_{i=1}^n (obs_i - \overline{obs})^2}$	1
Linear regression between observed values and estimated values	$\alpha, \beta$ and $R_{adj}$	$obs_i = \alpha + \beta \times est_i$	$\alpha = 0; \beta = 1;$ $R_{adj} = 1$

NB:  $est_i$ :  $i^{\text{th}}$  estimated value;  $obs_i$ :  $i^{\text{th}}$  observed value;  $n$ : number of observations;  $p$ : number of parameters of the model.

**Table VI. 4: Characteristics of mean quadratic diameter and mean height per shoots age classes for developing models.**

Age classes	Number of observations	Mean quadratic diameter (Dg)					Mean height (Hg)				
		Min	Max	Mean	SD	CV (%)	Min	Max	Mean	SD	CV (%)
]0 - 2]	663	1.49	6.5	3.24	0.99	30.6	0.96	8.51	3.54	1.31	37.0
]2 - 4]	135	3.98	7.67	5.59	0.81	14.6	3.7	10.03	6.71	1.19	17.8
]4 - 6]	158	4.61	8.96	6.33	0.91	14.4	4.65	11.66	7.68	1.47	19.1
]6 - 8]	36	5.47	9.32	7.33	1.03	14.1	4.53	11.15	7.77	1.67	21.5
]8 - 10]	21	6.53	9.71	7.77	0.74	9.6	5.88	9.72	8.47	0.85	10.0
<b>Total</b>	<b>1013</b>										

NB: Dg is mean quadratic diameter; Hg is mean height; SD is Standard deviation; CV is Coefficient variation.

### VI. 3.4. Diameter classes construction and height-diameter relation development

Most techniques for site index curves construction can be viewed as special cases of three general methods: the guide curve, the parameter prediction and the difference equation (Clutter *et al.*, 1983). The difference equation method has been the preferred form for developing site index curves (Sánchez-González *et al.*, 2005; Diéguez-Aranda *et al.*, 2005; Adame *et al.*, 2006). The most common indicator of site productivity is site index generally defined as top height at some fixed reference age. In the private teak plantations of the department of Atlantic, the irregular loggings which focused on the most developed shoots, prevented us from using top height as site index as usually recommended in the literature. We therefore relied on the elaboration of the diameter classes. The advantage of this is to help for rotation length definition according to the categories of poles produced by farmers and the site fertility. In this study, the mean quadratic diameter at 5 year-old is the reference and the guide curve method was used.

The development of height-diameter relation is based on the fitting of the following linear model:  $Hg = a \times Dg + c$ . The choice of this linear relation is due to the appearance of the cloud points of height and diameter.

## VI. 4. Results

### VI. 4.1. Estimation of the models parameters

Table VI. 5 shows the estimated parameters for the models. In general, all parameters were significant at the 0.1% probability level. However, it was noticed that the parameter  $a_3$ , which referred to the initial density of plantation, was significantly different from zero for model 1 at 1% probability level. For the overall models, the age of shoots, the numbers of

shoots per stump and the initial density of plantation influence significantly the mean quadratic diameter in coppice teak plantation.

It is also important to underline that the influence of shoots' age is positive but the effect of the number of shoots per stump and the effect of the initial density of the plantation are negative. This means that, the more the number of shoots per stump, the less the growth in diameter of the coppice teak stands. In addition, the higher the initial density of plantation, the less the growth in diameter.

**Table VI. 5: Potential models' parameters estimates and their degree of significance.**

Models	Fitted models' parameters				
	Mean quadratic diameter				
	$a1$	$a2$	$a3$	$B$	$\beta$
1	0.6689***	-0.3334***	-0.0001**		3.9260***
2	3.2223***			0.4242***	
3	4.0716***	-0.2761***		0.3371***	
4	4.9360***	-0.3228***	-0.0003***	0.2872***	
5	3.0527***			0.1271***	
6	4.3334***	-0.4477***		0.0940***	
7	4.8800***	-0.4735***	-0.0002***	0.0859***	

Signification codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

## VI. 4.2. Models comparison

The model performance evaluation criteria are shown in table VI. 6. This table reveals that the mean residual (Mres) of all the fitted models are around zero. The Mres are not significantly different from zero for models 3, 5, 6 and 7. The coefficient of determination ( $R^2$ ) associated with the diameter estimation, was generally over 50% but the highest value was obtained with the models 4 and 3. These were also among models which have the best performance according to the linear regression between the observed values and the estimated values. Model 3 allowed to estimate the mean quadratic diameter of coppice teak plantations with 0.5 cm of absolute mean residual (Amres). Despite the non normality of residues, among the seven models, model 3 is the most appropriate to predict the mean quadratic diameter in coppice plantation of teak because it recorded the best model performance criteria. Model 3 was performed using the shoots' age and the number of shoots per stumps.

Model 3 was used to compare the observed mean quadratic diameter to its predicted values (figure VI. 2). It is clear that, the predicted curve is easily superimposed with the observed curve. This means that the observed values and the predicted values through the use of model 3 are very close.

**Table VI. 6: Models' performances criteria for each equation.**

Models	Mean quadratic diameter					Linear regression			Normality of the residues
	Model performances criteria					Linear regression			
	Mres	R <sup>2</sup>	VR	RMS	Amres	<i>A</i>	$\beta$	Radj	
1	0.0821 <sup>2</sup>	0.7818	0.7837	0.6759	0.6471	-0.082	<b>1.000</b>	0.784	No
2	0.0091 <sup>2</sup>	<b>0.8292</b>	<b>0.8031</b>	<b>0.5281</b>	<b>0.5677</b>	<b>-0.078</b>	1.016	<b>0.829</b>	No
3	<b>0.0041</b> <sup>1</sup>	<b>0.8474</b>	<b>0.8354</b>	<b>0.4723</b>	<b>0.5279</b>	<b>-0.034</b>	<b>1.007</b>	<b>0.847</b>	No
4	0.0177 <sup>2</sup>	<b>0.8566</b>	<b>0.8475</b>	<b>0.4443</b>	<b>0.5139</b>	<b>-0.041</b>	<b>1.005</b>	<b>0.856</b>	No
5	<b>0.0270</b> <sup>1</sup>	0.6782	0.6006	0.9948	0.8018	-0.305	1.064	0.681	No
6	<b>0.0114</b> <sup>1</sup>	0.7331	0.6990	0.8260	0.7206	-0.116	1.024	0.733	<b>Yes</b>
7	<b>0.0265</b> <sup>1</sup>	0.7374	0.7098	0.8135	0.7113	-0.110	1.019	0.737	<b>Yes</b>

<sup>1</sup> Non significant with  $p > 0.05$ ; <sup>2</sup> Significant with  $p < 0.05$

**Table VI. 7: Deduced diameter growth models for teak coppice stands in the Atlantic department for 5 as reference age and 2 as number of shoots per stump.**

Diameter classes	Diameter references at 5 year-old	Equation of the mean quadratic diameter
First	8.5	$Dg = 5.2618 \times T^{0.3371} - 0.5522$
Second	7.5	$Dg = 4.6805 \times T^{0.3371} - 0.5522$
Third	6.5	$Dg = 4.0992 \times T^{0.3371} - 0.5522$
Fourth	5.5	$Dg = 3.5180 \times T^{0.3371} - 0.5522$
Fifth	4.5	$Dg = 2.9367 \times T^{0.3371} - 0.5522$

NB: *T* is the shoot age.

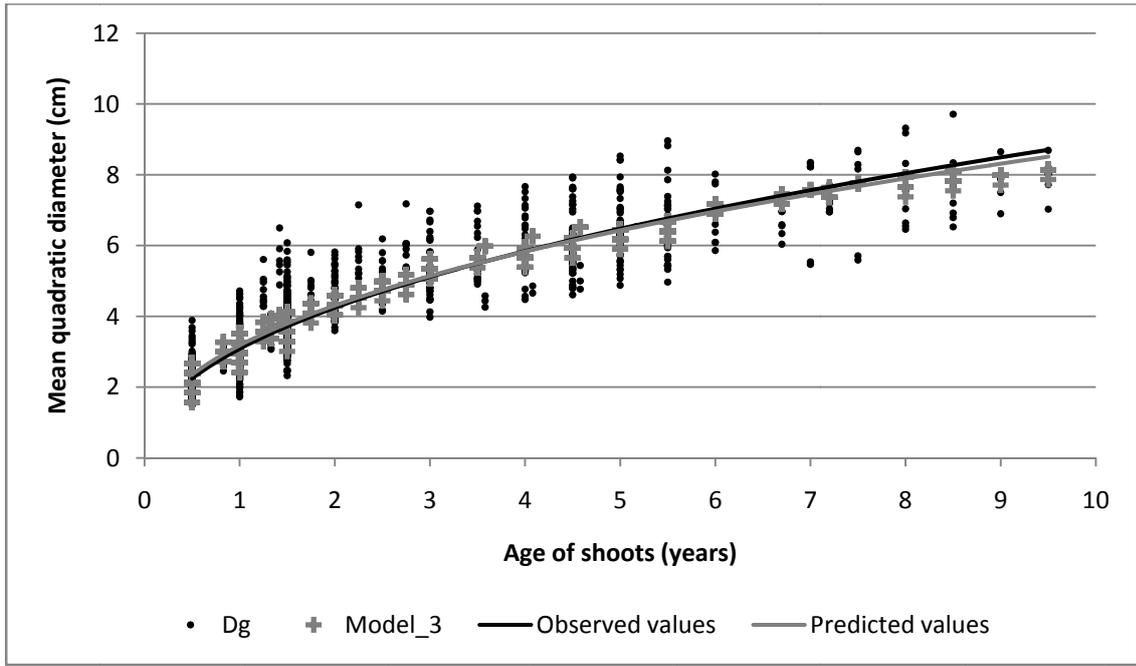


Figure VI. 2: Observed and predicted mean quadratic diameters and their curves.

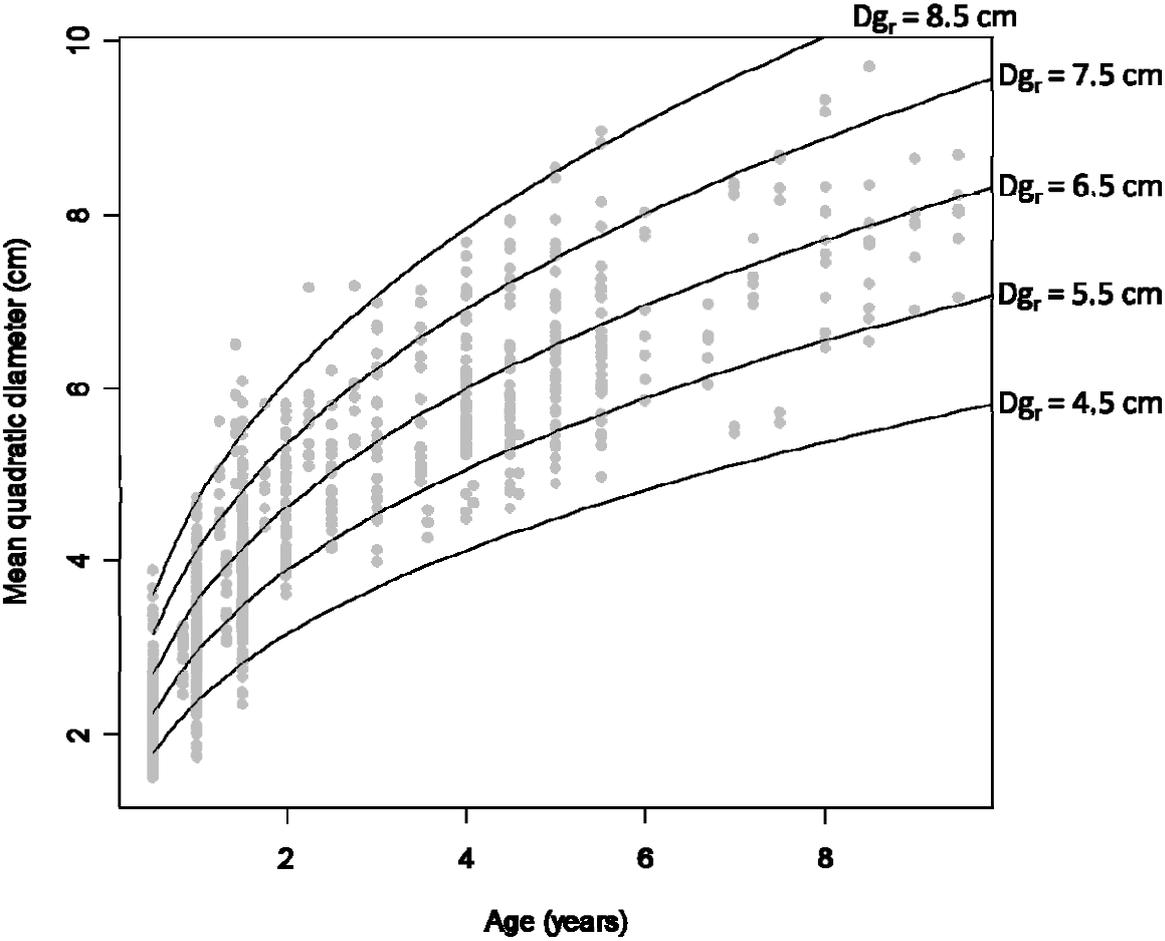


Figure VI. 3: Diameter classes curves of coppice teak stands for model 3.

### VI. 4.3. Diameter classes and height-diameter relation

The most appropriate model in predicting the mean quadratic diameter is  $Dg = a_1 \times T^b + a_2 \times NR \Rightarrow \ln(Dg - a_2 \times NR) = \ln(a_1) + b \times \ln(T)$ . The mean quadratic diameter ( $Dg_r$ ) at reference age ( $Tr$ ) is computed as  $Dg_r = a_1 \times Tr^b + a_2 \times NR \Rightarrow \ln(Dg_r - a_2 \times NR) = \ln(a_1) + b \times \ln(Tr)$  so  $\ln(a_1) = \ln(Dg_r - a_2 \times NR) - b \times \ln(Tr)$ . It can be deduced that:

$$\ln(Dg - a_2 \times NR) = [\ln(Dg_r - a_2 \times NR) - b \times \ln(Tr)] + b \times \ln(T) \quad \text{or} \quad \ln(Dg - a_2 \times NR) = A + b \times \ln(T) \text{ with}$$

$$A = \ln(Dg_r - a_2 \times NR) - b \ln(Tr). \text{ So } \ln(Dg - a_2 \times NR) = A + b \times \ln(T) = A + \ln(T^b) \text{ and}$$

$$\exp[\ln(Dg - a_2 \times NR)] = \exp(A) \times \exp[\ln(T^b)] \Leftrightarrow$$

$$Dg - a_2 \times NR = \exp(A) \times T^b$$

$$Dg = \exp(A) \times T^b + a_2 \times NR .$$

At age reference of 5 years and for 2 as number of shoots per stump, the estimated  $Dg_r$  is 6.5 cm. Amplitude of 1 cm is chosen to cover all diameter classes and allow identifying five diameter classes (table VI. 7). Figure VI. 3 shows the curves of diameter classes.

The cloud points of height and diameter represented by figure VI. 4 revealed that it has a linear relation between the mean height and the mean quadratic diameter. This relation can be written as follow:  $Hg = 1.223 \times Dg - 0.364$  with 90% as coefficient of determination. So through the developed height-diameter relation, the mean quadratic diameter of the stand will help estimate the mean height.

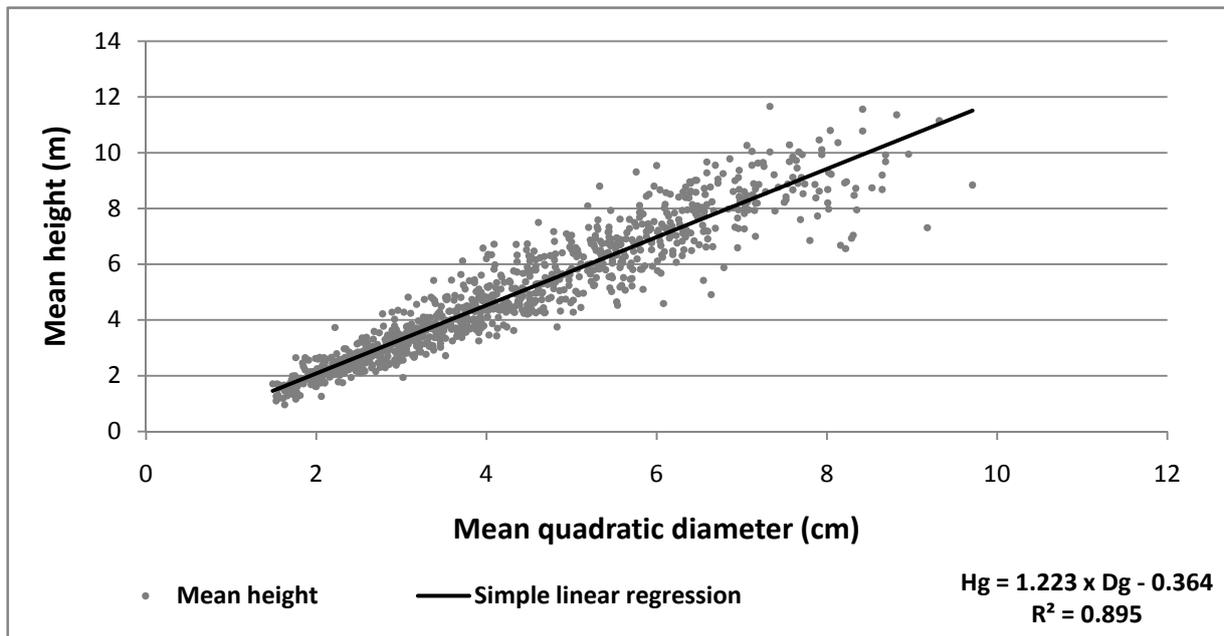


Figure VI. 4: Cloud points of height-diameter relation and its regression equation.

## VI. 5. Discussions

This study allowed developing a primary model to predict with minimum error the mean quadratic diameter and the mean height of coppice teak plantations through the height-diameter relation. The model equation retained to predict the mean quadratic diameter is  $Dg = 4.0716 \times T^{0.3371} - 0.2761 \times NR$ . It is clear that in many growth modeling studies, the stand age is the main explanatory variable (Ganglo *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 2007; Bravo-Oviedo *et al.*, 2008; Palahi *et al.*, 2008). However, the stump's age does not always correspond to the shoots' age in coppice plantations. After the first tree felling, the most appropriate parameter to explain the shoots' development is its age but, the stump's age could also influence teak growth. It will be therefore interesting in the future studies to include the stump's age in the explanatory variables of the models.

Many previous studies found out that the high densities observed in coppice plantations of teak grown by farmers are responsible of their weak growth (Ganglo & Yéssoufou, 2003, Demenois *et al.*, 2005). The results observed in this study support this conclusion. Indeed, the more the number of shoots per stump the less the mean quadratic diameter. Thus plantation with low number of shoots per stump will grow more quickly than stand with high number of shoots per stump. So it is suitable to limit the number of shoot per stump. We advise at most three shoots per stump in coppice plantation of teak but two shoots per stump is the optimal number (Yêvidé *et al.*, 2011b). In Tanzania, removal of the excess stems was proposed and applied when the shoots are young and soft, so that only the strongest and straightest stems are left (Bekker *et al.*, 2004).

With regards to the diameter curves, plantations on soils with intermediate fertility achieved 6.5 cm of diameter in five years (figure VI. 3). Therefore, before obtaining shoots with quadratic mean diameter of 10 cm, farmers would have to wait for more than 15 years. This explain why, farmers in the Atlantic department use so short rotation (3 to 6 years) in their coppice plantations of teak. It explained also why they produce more lumber which are generally used for home construction or firewood. This situation could be also explained by the site quality. Many of the farmers' plantations were established on *Mallotus oppositifolius* - *Paullinia pinnata*-community; *Mallotus oppositifolius* - *Reissantia indica*-community and *Chromolaena odorata* - *Imperata cylindrical*-community. Those plants communities are indicators of soils with weak fertility. Those soils are not adequate for producing timber for small joinery unless farmers wait for about fifteen years. However it is important to underline that some coppice teak stands are more productive and can achieve in five years a mean quadratic diameter of 8.5 cm.

The initial density influence teak growth and this explains why in seed origin plantations it is recommended to reduce the stand density to facilitate tree growth (Dupuy *et al.*, 1999; Ganglo, 1999; Ganglo *et al.*, 1999). Akhtar *et al.* (2008) made the same observations for *Eucalyptus camaldulensis* plantations. So the spacing or the reduction of stands' initial densities helped tree growth.

## **VI. 6. Conclusion**

Among tropical species, Teak is the most used in reforestation. It's due to its fast growth and its exceptional wood qualities. Farmers' interest for teak had conducted to the development of coppice stands which need more research efforts. This study permit to develop a primary model for predicting quadratic mean diameter in coppice teak stands. This is a nonlinear model with the shoots age and the number of shoots per stump as explanatory variables. All the estimated parameters were significant at 0.1 % of probability level and with the best performance criteria (non significant mean residual and good coefficient of determination). However it will be important to continue research efforts in coppice teak stands management because other factors such as the stand age, the initial density of plantation, the stump height after logging or its size and the number of rotation should in evidence affect the growth of coppice teak stands.

## **VI. 7. Acknowledgements**

We would like to express our gratitude to the Ministry of Foreign Affairs and the "Commission Universitaire pour le Développement" (CUD) of Belgium who funded this study. The authors wish also to thank farmers of Atlantic department who accepted to collaborate in the research program as well as those who helped in data collection.

## **Chapitre VII.**

# **DISCUSSION GENERALE, CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

---

# Chapitre VII. DISCUSSION GÉNÉRALE, CONCLUSION ET PERSPECTIVES

## VII.1. Discussion générale

### VII. 1.1. Superficie, objectifs de production et sylviculture traditionnelle du teck

Au Bénin, bien qu'on estime à environ 6000 ha la superficie totale des plantations privées de teck dont la majorité se retrouve dans le sud du pays (SIEC & BCG, 1997), aucune étude n'a vraiment été réalisée pour aboutir à une telle statistique. Les récentes recherches effectuées permettent d'estimer à 2697 ha la superficie couverte par les plantations privées de teck dans le département de l'Atlantique et cette superficie pourrait même atteindre 3850 ha (Yévidé *et al.*, 2011a, 2011b). Ceci représente plus de la moitié de la superficie des plantations privées estimée pour le pays. Considérant que les départements du Zou, des Collines, du Mono, du Couffo, de l'Ouémé et du Plateau disposent chacun de la moitié des plantations privées de teck du département de l'Atlantique (ce qui est une réelle sous estimation), la superficie des plantations privées de teck avoisinerait 11000 ha rien que pour ces départements. Il est alors possible que les plantations privées de teck au Bénin couvre environ 15000 ha. Ces estimations sont nettement supérieures aux 6000 ha (SIEC & BCG, 1997) et pourrait s'expliquer par la mise en place continue de nouvelles plantations privées de teck. Ainsi, il existe une progression remarquable des superficies des plantations privées de teck au Bénin. Les plantations domaniales de teck étaient estimées à environ 15000 ha (Ganglo *et al.*, 1999 ; Ganglo & de Foucault, 2006) mais, elles couvrent de nos jours environ 17000 ha. Le teck est l'espèce forestière la plus plantée au Bénin et de toute évidence l'une des espèces forestières les plus plantées dans le monde.

Du fait des raisons très variées de mise en place des plantations privées de teck, allant de la sécurisation du foncier à la production de bois pour la vente en passant par la production de bois pour la seule consommation du ménage (Yévidé, 2007 ; Yévidé, 2009 ; Akoha, 2008), les paysans allouent des superficies très variées aux plantations de teck. En effet, ces superficies vont de 0,02 ha à plus de 26 ha. Environ 81% des plantations ont moins d'un hectare de superficie. Indépendamment des raisons qui amènent les paysans à installer des plantations de teck, d'autres raisons justifient le grand nombre de plantations de superficie inférieure à 1 ha. En effet, les paysans immobilisent la grande majorité de leurs terres cultivables pour la production des cultures annuelles (maïs, manioc...), importantes pour leurs alimentations quotidiennes. En effet, le cycle court des cultures annuelles et de certaines cultures de rente comme l'ananas et l'arachide, leur procure des revenus plus immédiats et plus réguliers que ne procurent leurs plantations de teck (durée de rotation d'au moins 3 ans). Il faut aussi souligner le fait que la vente de certaines de leurs terres pour couvrir des dépenses subites au cours des événements comme les funérailles, les mariages et autres cérémonies de grande importance et, le fait que des paysans divisent leurs terres et lèguent des parcelles à

leurs fils mariés afin que ceux-ci s'en servent pour nourrir leur famille, sont autant de raisons qui justifient le faible pourcentage de plantations de plus d'un hectare (Yêvidé, 2009).

En Thaïlande, les teckeraies des paysans ont une superficie moyenne d'environ 0,05 ha (Mittelman, 2000) ; en Côte d'Ivoire, la superficie des teckeraies des paysans varie de 0,5 ha à 10 ha (Maldonado & Louppe, 1999) ; en Inde du Sud, les agriculteurs du Kerala et du Tamil Nadu disposent des plantations couvrant moins de 0,81 ha à plus de 4,05 ha (Demenois *et al.*, 2005). Nous en déduisons que dans le département de l'Atlantique, certains paysans allouent aux teckeraies, des superficies plus petites (0,02 ha) que celles des paysans de Nakhon Sawan en Thaïlande et ceux de Kerala et Tamil Nadu de l'Inde du Sud alors que d'autres emblavent des superficies qui font plus du double de la superficie maximale des teckeraies des paysans de la Côte d'Ivoire et plus de six fois la superficie maximale des teckeraies des paysans de l'Inde du Sud.

Les objectifs de production du teck sont multiples et peuvent être la production de bois énergie, de perches, de poteaux et de petites grumes. C'est la production de perche qui est l'objectif de production le plus courant. Il se justifie par le temps relativement court (3 à 6 ans) que requiert le teck pour donner des perches. En effet, les paysans choisissent en général la production de perche car ils ont la certitude de bénéficier des fruits de leurs efforts avant de mourir, contrairement à la production de grume qui requiert une durée de rotation trop longue (20 à 60 ans). Cependant, lorsque les paysans jugent que la plantation destinée à la production de perches est prête pour la vente, plusieurs catégories de produits sont obtenues après la coupe. Ces catégories de produits sont les petites perches (5 – 7 cm), les perches moyennes (7 – 12 cm) et les grosses perches (12 – 15 cm) (Aoudji *et al.*, 2011). L'hétérogénéité observée dans les produits résulte des pratiques sylvicoles utilisées par les paysans. Les plantations privées de teck sont réalisées à des densités généralement supérieures à 2500 arbres/ha contrairement à ce qui est recommandé par l'Office National du Bois (ONAB, 2005). Ces densités dépassent celles des secteurs forestiers de Massi et Koto (Trainer & Ganglo, 1992 ; Zossou, 1999 ; Sèwadé, 2010). D'autres auteurs avaient déjà fait le même constat dans les plantations privées de la commune de Toffo (Ganglo & Yéssoufou, 2003). Les paysans de Nakhon Sawan plantent en moyenne 50 à 100 arbres sur une superficie d'environ 0,05 ha soit 1000 à 2000 arbres par hectare (Mittelman, 2000) car ils mélangent des espèces arboricoles à usages multiples et à croissance rapide avec des cultures annuelles. Malgré la forte densité des plantations, les paysans du département de l'Atlantique associent les cultures annuelles (maïs et/ou manioc) avec le teck, généralement dans le jeune âge de la plantation (deux premières années) ou après la coupe rase (Photo 1.). Les écartements variables et réduits, le nombre de rejets élevé et variable d'une souche à l'autre, les coupes occasionnelles, sont autant de pratiques sylvicoles qui ne permettent pas d'obtenir des bois de grosseur homogène et de bonne qualité. En effet, les coupes occasionnelles conduisent à l'obtention de peuplements d'âges multiples (Yêvidé *et al.*, 2011a). Ekpè (2008) et de Atindogbé (2009) ont aussi remarqué que la structure en diamètre des plantations privées de teck ne s'ajustent pas aux distributions simples mais plutôt aux mélanges deux distributions.

En Inde du Sud, les principales modalités d'entretien des plantations et pratiques sylvicoles observées se limitent aux suivantes (Demenois *et al.*, 2005) :

- l'usage de l'irrigation, qui est assez répandu, cependant, on distingue les plantations directement et régulièrement irriguées (près de 30 % des exploitations agricoles) de celles qui bénéficient d'apports indirects ou irréguliers (la majorité) ; l'emploi de fertilisants (minéraux ou organiques) ;

- l'élagage couramment appliqué dès les premières années au tiers, voire à la moitié, du houppier ;

- les éclaircies encore très peu pratiquées, du fait du jeune âge des plantations, mais aussi par manque de connaissances sylvicoles des planteurs, qui constatent souvent une faible croissance de leurs arbres sans la relier à une densité trop élevée.

Les pratiques sylvicoles des paysans de l'Inde du Sud s'avèrent plus évoluées que celles des paysans de la Côte d'Ivoire, de la Thaïlande et du Bénin. Toutefois, il n'en demeure pas moins que Demenois *et al.* (2005) remarquent un manque de connaissances sylvicoles des planteurs de l'Inde du Sud.



**Photo VII. 1 : Plantation de teck semée de maïs après la coupe.**

## **VII. 1.2. Diversité biologique dans les plantations de teck du département de l'Atlantique**

L'investigation phytosociologique de la végétation spontanée des plantations privées de teck du département de l'Atlantique a conduit à l'identification de 444 espèces appartenant à 315 genres répartis dans 95 familles dont les plus diversifiées sont les Poaceae, Fabaceae et Rubiaceae. Elle a aussi permis l'identification de 99 synusies végétales intégrées en 18 phytocénoses différenciées par leur synusie unificatrice. Les synusies unificatrices des phytocénoses arbustives ont une richesse spécifique plus élevée que les synusies unificatrices des phytocénoses herbacées vivaces hautes dominées par *Chromolaena odorata*. La dispersion de types anémochore et zoochore (Gautier, 1994) des fruits très abondants du *Chromolaena odorata*, favorise le développement de cette espèce héliophile dans les plantations ouvertes. Grâce à son vigoureux développement, elle monopolise les ressources du milieu et réduit l'espace vital des autres espèces tant que la station jouit d'un bon éclaircissement. De ce fait, les autres espèces se raréfient dans le milieu et, ce faisant, la richesse spécifique diminue. Toutefois, Ganglo (2005a, b) a noté dans la forêt de la Lama, une richesse spécifique élevée sur terre de barre dans les phytocénoses à *Chromolaena odorata*. Ayant

conclu sur une bonne diversité des phytocénoses à *Chromolaena odorata* il a souligné la contradiction de ses résultats avec ceux des auteurs qui stipulent que les phytocénoses à *Chromolaena odorata* ne sont pas assez diversifiées spécifiquement.

L'appréciation de la biodiversité des plantations de teck est assez controversée en ce sens que, de nombreuses études soulèvent soit leur faible biodiversité ou leur faible richesse spécifique alors que d'autres recherches soulignent entièrement l'opposé en fonction des groupes animaux ou végétaux considérés. En effet, Pawar *et al.* (2004) ont noté un faible nombre de grenouilles et de lézards dans les plantations de teck relativement vieilles. La richesse spécifique en termites est plus élevée dans les forêts semi-décidues que dans les plantations de teck (Attignon *et al.*, 2005). Les cultures vivrières et les jeunes plantations de teck sont les formes d'utilisation des terres qui enregistrent les plus faibles richesses spécifiques de fourmis (Yeo *et al.*, 2011). De plus, dans les plantations de teck de Costa Rica, il apparaît que l'établissement et le développement des espèces forestières locales ont été bloqués contrairement aux pâturages abandonnés (Healey & Gara, 2003). Ainsi, les espèces forestières locales sont moins abondantes, moins diversifiées et limitées aux classes de faible hauteur dans les plantations de teck que dans les pâturages abandonnés. Ces auteurs ont tout de même souhaité que d'autres études soient faites pour appréhender les causes réelles de cette faible capacité de recrutement des espèces forestières locales dans les plantations de teck. Cependant, il a été montré en Inde que les espèces ligneuses indigènes peuvent croître et se régénérer sous les plantations de teck sans que le teck n'ait une quelconque négative influence sur elles (Saha, 2001). De même les plantations de teck peuvent faciliter le développement des espèces forestières locales sous la canopée (Kaewkrom *et al.*, 2005) et cette diversité spécifique pourrait être utilisée pour réhabiliter les forêts décidues mixtes dans le Nord de la Thaïlande (Koonkhunthod *et al.*, 2007). Au Bénin, Lachat *et al.* (2006) ont rapporté que les vieilles plantations de la Lama ont une forte diversité d'arthropodes. En outre, bien qu'en l'absence de différence significative dans la comparaison des formes d'utilisation des terres, les jachères à *Chromolaena odorata*, les plantations plurispécifiques et les plantations de teck de 4 ans ont enregistré les diversités spécifiques les plus élevées en ver de terre (Tondoh *et al.*, 2011). Les teckeraies privées du département de l'Atlantique abritent 15% de la flore du Bénin estimée à 3000 espèces. Ceci témoigne de l'importance des teckeraies privées dans la conservation de la diversité biologique au Bénin et dans le monde.

Les plantations de teck sont aussi utilisées par la grande faune sauvage bien que cette occupation varie en fonction de l'âge de la plantation (Jenkins *et al.*, 2003 ; Bonnington *et al.*, 2007). En effet dans les vieilles plantations ayant de grands arbres et disposant d'une vaste étendue d'arbustes et d'un épais tapis de litière, les espèces prédominantes sont *Potamochoerus larvatus*, *Tragelaphus scriptus* et *Cephalophus harveyii*, *C. natalensis* ou *Sylvicapra grimmia* alors que dans les jeunes plantations ayant de moins gros arbres et une faible végétation de sous bois, les espèces prédominantes sont *Phacochoerus africanus* et *Kobus ellipsiprymnus* qui sont des espèces de milieu ouvert (Jenkins *et al.*, 2003). En Inde, les plantations mélangées de teck font parties des habitats préférés de la femelle du lion *Panthera leo persica* (Jhala *et al.*, 2009). Ainsi, les plantations de teck peuvent être utilisées comme des corridors pour le déplacement de la faune (Hinde *et al.*, 2001 ; Bonnington *et al.*, 2007).

### VII. 1.3. Déterminisme écologique des groupements végétaux et facteurs influençant la croissance du teck

Les caractéristiques physico-chimiques du sol dont notamment le pH déterminent la mise en place des phytocénoses du sous-bois des plantations privées de teck (Yévidé *et al.*, 2011a). Ainsi, il a été remarqué que, les phytocénoses à *Premna angolensis*, *Combretum sordidum* et *Cnestis ferruginea* indiquent les milieux les plus acides alors que celles à *Agelaea obliqua*, *Clerodendrum capitatum* indiquent les milieux les moins acides. Toutefois il importe de remarquer que, la lumière constitue le principal déterminisme des phytocénoses pionnières notamment les phytocénoses herbacées vivaces hautes à *Chromolaena odorata*.

Dans l'étude des gradients écologiques influençant la variation de la végétation dans les vergers en Nouvelle-Zélande, Ullmann *et al.* (1995) ont identifié comme facteurs principaux : la pluviométrie, l'altitude et les caractéristiques chimiques du sol (matière organique, pH et capacité d'échange cationique...). Au Bénin, Noumon *et al.* (2006) ont montré à l'issue d'une étude synécologique que les facteurs écologiques tels que la topographie et les caractéristiques physico-chimiques du sol déterminent au mieux la mise en place des phytocénoses et que la lumière est le principal déterminisme des synusies pionnières, notamment les synusies annuelles et herbacées vivaces hautes. Les résultats de la présente étude sont conformes aux conclusions de ces auteurs.

Les caractéristiques du sol agissent aussi sur la croissance du teck. En effet, il a été constaté que le taux de limon influence positivement la croissance du teck alors que le taux d'argile l'influence négativement. Ce constat est conforme à celui de Maldonado & Louppe (1999) qui ont rapporté que le bon développement du teck dépend des propriétés du sol notamment la profondeur et le bon drainage. Krishnapillay (2000) a rapporté aussi que le teck peut croître sur des sols divers mais que sa croissance dépend de la profondeur du sol, de sa structure, de sa porosité, de son drainage et de sa capacité de rétention en eau. Il a clairement souligné que le teck préfère les sols bien drainés, fertile et profond. Nos résultats sont aussi conformes à ceux de Pandey & Brown (2000) qui ont souligné que le teck se développe mal ou ne survit pas lorsqu'il est planté sur des sols argileux et mal drainés. Rajendrudu & Naidu (1997) et Rajendrudu *et al.* (1999) ont rapporté que les plus importantes causes environnementales qui affectent la croissance du teck sont le manque d'eau adéquate, la défiance minérale, la température non favorable et les polluants atmosphériques.

La croissance du teck est aussi influencée par l'âge, la station, les pratiques sylvicoles et les caractéristiques génétiques. En effet, la croissance en hauteur du teck est la plus élevée dans le jeune âge de la plantation (5 à 6 mois) après transplantation sur un sol jouissant d'une bonne humidité et peut atteindre 20 cm par semaine soit 1,04 m/an (Rajendrudu & Naidu, 1997). La diminution de la croissance du teck avec l'âge a été rapportée par plusieurs auteurs de même que l'influence de la station sur la croissance du teck (Krishnapillay, 2000 ; Jayaraman & Lappi, 2001 ; Kammesheidt *et al.*, 2001 ; Bekker *et al.*, 2004 ; Yévidé *et al.*, 2011b). Ce dernier facteur est à la base de la classification des stations en classe de productivité et de la génération des tables de production (Von Wulffing, 1932 ; Seth, 1959 ; Miller, 1969 ; Maître, 1983 ; Dupuy, 1990 ; Dupuy *et al.*, 1999 ; Nunifu & Murchison, 1999 ; Hashim, 2003 ; Bermejo *et al.*, 2004 ; Upadhyay *et al.*, 2005). Les éclaircies effectuées dans

les peuplements aboutissant à une réduction de la densité affectent non seulement la structure du peuplement mais aussi sa croissance (Kumaf *et al.*, 1995). Il a été montré que la provenance de teck de la Tanzanie est plus vigoureuse, plus productive et présente une hauteur fût significativement supérieure à celle de la provenance locale, lors d'une étude sur les performances des deux provenances de teck au Bénin (Azankpan *et al.*, 2009). L'induction florale ou la floraison, réduit la croissance végétative et donc affecte la croissance du teck car l'arbre utilise de l'énergie pour la production des fleurs (Mohd Rosli *et al.*, 2009). La croissance individuelle des plants ne dépend pas seulement des caractéristiques génétiques mais aussi de l'utilisation des ressources disponibles de l'environnement. En effet, les plantes individuelles dans une communauté végétale naturelle sont généralement en compétition avec des plantes de même espèce (compétition intraspécifique) et des plantes appartenant à d'autres espèces (compétition interspécifique) pour des ressources limitées. Cette compétition interspécifique peut limiter significativement les échanges gazeux et donc affecter la croissance (Dexiang *et al.*, 2008).

C'est en définitive les effets avérés de ces différents facteurs dont surtout l'âge, la densité, qui justifient leur utilisation dans la modélisation de la croissance du teck (Sunanda & Jayaraman, 2006).

## **VII. 1.4. Usages des produits du teck**

Le teck est une espèce ligneuse dont le bois, au regard de ses propriétés, se prête à des utilisations multiples. En effet, le bois de teck est utilisé dans la construction de même que dans l'ameublement (Upadhyay *et al.*, 2005 ; Adu-Bredu *et al.*, 2008 ; Akram & Aftab, 2009). Le bois de teck est aussi utilisé comme poteaux électriques ou téléphoniques (Nunifu & Murchison, 1999 ; Upadhyay *et al.*, 2005 ; Adu-Bredu *et al.*, 2008) de même que comme bois énergie (Khanduri *et al.*, 2008). Les différentes parties de l'arbre sont utilisées à des fins médicinales (Neamatallah *et al.*, 2005 ; Adu-Bredu *et al.*, 2008).

Les feuilles du teck sont particulièrement utilisées pour couvrir les aliments (Adegunloye *et al.*, 2006 ; Aiyeloja & Ajewole, 2006 ; Adu-Bredu *et al.*, 2008). Il a été proposé, du fait que les aliments couverts avec les feuilles de teck soient rapidement contaminés par les bactéries, de bien nettoyer les feuilles avant de les utiliser pour couvrir les aliments (Adegunloye *et al.*, 2006). La poudre de feuilles de teck est aussi utilisée pour éliminer les couleurs des solutions aqueuses à cause de sa grande capacité d'absorption (Ponnusami & Srivastava, 2009).

Les bois de teck issus des plantations privées servent généralement à la construction des baraques, hangars (ou "appâtâmes"), paillettes, charpentes, piquets pour le dallage, échafaudage, support d'antenne télévisuelle, transport d'électricité, clôture, séchoir, étagère (Aoudji *et al.* 2011). De même, suivant sa grosseur il est utilisé dans la petite menuiserie pour la fabrication de portes, fenêtres, tables, chaises et autres (Affoukou, 2010 ; Hounhinto, 2011).

## **VII. 1.5. Itinéraires techniques suggérés pour la production du bois de teck**

Dans le département de l'Atlantique, le principal objectif de la mise en place des plantations privées de teck est la production de bois de service dont notamment les perches. Différentes catégories de perches sont produites à savoir les petites perches (5 – 7 cm), les perches moyennes (7 – 12 cm) et les grosses perches (12 – 15 cm) (Aoudji *et al.*, 2011).

L'itinéraire technique pour la production des perches de teck peut se décomposer en ses différentes étapes :

### **VII. 1.5.1. Production des plants**

Elle consiste à produire les plants qui seront utilisés pour la mise en place des plantations. Elle peut cependant ne pas être réalisée par le paysan planteur, mais être une activité principale pour d'autres. Mais la production des plants doit se faire de façon judicieuse en utilisant des semences de bonne qualité. Ces semences peuvent être ramassées dans des peuplements ayant de beaux arbres de plus de 15 ans qui sont droits, bien haut et gros. Les semences doivent être ramassées entre janvier et février car au Bénin, les semences du teck tombent entre décembre et janvier. Il est important de ne ramasser que les semences de la dernière saison car les vieilles semences ont un plus faible taux de germination. Les semences de bonne qualité (teck de provenance tanzanienne) peuvent être aussi achetées et un kilogramme de semences de qualité reconnue peut produire 1200 graines germées. Pour ce faire, il faut traiter les semences en les trempant dans l'eau pendant une semaine puis les étaler au soleil sur une dalle en ciment ou une plateforme en pierre ou en terre battue pendant environ 15 jours (Photo 2). On les arrose deux fois par jour pendant au moins la première semaine. Ceci permet la levée de la dormance et l'apparition du germe : c'est la pré-germination de la semence. La germination qui correspond à l'allongement du germe et l'apparition des cotylédons doit se faire dans une atmosphère humide et ombragée en couvrant les semences pré-germées de sacs de jute légèrement et régulièrement arrosés. On passe ensuite au repiquage des graines germées dans des pots préalablement remplis de substrat qu'on place ensuite sous ombrière. La production des plants en pots peut durer deux à trois mois.

Pour la production des stumps, les semences pré-germées sont semées sur des planches, couvertes de feuilles de palme et arrosées fréquemment. Après germination, les planches sont maintenues sous ombrage avec des feuilles de palme disposées en hauteur au-dessus des plantules. Les stumps sont obtenus au bout de six mois à un an après aoûtage des plants en pépinière.



**Photo VII. 2 : Semences de teck étalées au soleil pour la pré-germination.**

### **VII. 1.5.2. Préparation du terrain**

Elle consiste à débarrasser le terrain des mauvaises herbes, à faire le piquetage suivi de la trouaison.

Le terrain peut être une jeune ou une vieille jachère. Dans les deux cas, il est impérieux de le défricher et d'andainer les débris végétaux afin que le terrain soit apte au piquetage et à la trouaison. Le piquetage doit se faire façon judicieuse en respectant les écartements. Il est préférable de faire des plantations moins denses en utilisant des écartements moins serrés comme 2 m x 2 m (2500 arbres/ha) ou 2,5 m x 2,5 m (1600 arbres/ha) ou 3 m x 3 m (1111 arbres/ha). Les trous de plantations diffèrent selon le type de plant à utiliser. Ainsi, pour planter le teck en pot, le trou doit avoir environ 20 cm de diamètre et 40 cm de profondeur alors que pour le stump, il est de 10 cm de diamètre et de 20 cm de profondeur. La trouaison peut avoir lieu bien avant la mise en terre des plants de même qu'il peut se faire peu de temps avant. L'important est de s'assurer d'une bonne humidité au fond du trou.

### **VII. 1.5.3. Mise en place des plants**

La mise en place des plants doit se faire pendant la saison pluvieuse afin de disposer d'une humidité suffisante pour préserver les plants contre le flétrissement. Il convient aussi d'habiller les plants en pot afin d'éviter leur forte déshydratation pouvant entraîner leur mort. Pour les stumps qui sont d'avance aoûtés, les risques de flétrissement sont moindres. Il faut tout de même que les trous soient humides pour ne pas confronter les plants à un quelconque stress hydrique. Les plants sont délicatement placés dans les trous ouverts à cet effet de manière à éviter des dommages aux racines et à la partie aérienne. Pour les plants à racine nues, on referme le trou autour des plants puis on tasse à la main ou au pied. Les pots des plants en conteneurs sont d'abord coupés à la base avec une lame ou une machette tranchante ; les fonds des conteneurs sont enlevés puis, les plants sont placés dans les trous. On coupe ensuite latéralement les pots (conteneurs). On met la terre dans le trou autour du plant, d'abord sans tasser puis, on enlève par des secousses progressives le conteneur. Cela

fait, on referme le trou autour du plant puis on tasse tout autour de manière à éviter toutes poches d'air dans le trou.

#### **VII. 1.5.4. Soins cultureux aux plantations**

Il est fréquent après la mise en terre des plants de constater des pertes. Dans ce cas il faut faire un regarnissage en remplaçant les plants morts par de nouveaux plants vigoureux. Le terrain doit être maintenu propre exempt des mauvaises herbes qui peuvent induire la compétition avec le teck et compromettre son bon développement. Le désherbage doit se faire dès que le degré d'enherbement paraît compromettant pour le développement du teck. Les plants de teck ne doivent jamais être dominés par les mauvaises herbes. Le nombre de désherbage varie donc en fonction du stade de développement du teck et de la fertilité des stations. Dans le jeune âge il est plus fréquent (3 à 6 fois l'an) à cause de la fragilité des plantules et lorsque la plantation arrive à l'état de massif, le désherbage peut être moins fréquent (au plus 2 fois par an). Il est fréquent de constater dans le département de l'Atlantique, l'association du teck avec d'autres cultures annuelles comme le maïs et le manioc. Dans ce cas, le désherbage effectué profite tant au teck qu'aux cultures annuelles. Il y a ainsi donc une meilleure rentabilisation des interventions et un meilleur suivi des tecks à cause de la présence des cultures annuelles. Pour avoir des bois droits et de bonne qualité, il faut aussi élaguer. Le teck est une espèce qui s'élague naturellement. On peut toutefois enlever les basses branches persistantes; il importe alors de ne pas mettre les fûts des arbres en lumière pour éviter le développement des branches épicorniques susceptibles de déprécier la qualité du bois.

Lorsque la plantation est réalisée et bien entretenue, à l'âge d'exploitabilité en fonction des objectifs de production, il faut procéder à une coupe rase. Environ six mois après la coupe, il faut faire le déjumelage en réduisant le nombre de rejets à deux ou trois par souche pour assurer un meilleur développement du teck (Yévidé *et al.*, 2011b). Ceci permet de faire une meilleure sélection des rejets les plus vigoureux et les plus droits qui, à six mois ou plus, sont assez solides pour résister aux intempéries. La durée de rotation utilisée par les paysans varie de 3 à 6 ans et dépend de la fertilité des stations. En effet, sur les stations de fertilité moyenne, 3 à 6 ans permettent d'obtenir de petites à moyennes perches. C'est ce qui justifie l'utilisation de cette durée de rotation par les paysans. Cependant, il est possible au bout de quatre ans, d'avoir de petites à moyennes perches sur les stations les plus fertiles. Il est préférable sur les stations les moins fertile de ne produire que de petites perches avec une durée de rotation de 4 à 10 ans. Il importe aussi de choisir judicieusement les stations avant de mettre en place les plantations. Il serait bénéfique de mettre en place les plantations sur les stations caractérisées par la présence des communautés végétales à *Chromolaena odorata* et *Panicum maximum* ; à *Dichapetalum madagascariense* et *Cnestis ferruginea* et à *Mallotus oppositifolius* et *Macrosphyra longistyla*.

## VII. 2. Conclusion et perspectives

Au terme de nos recherches sur les teckeraies privées gérées en régime de taillis dans le département de l'Atlantique au sud du Bénin, les principaux points suivants ont retenu notre attention :

Les plantations privées de teck du département de l'Atlantique couvrent environ 3000 ha. La sylviculture mise en œuvre par les paysans planteurs dans les teckeraies est caractérisée par une surdensité au regard de la norme préconisée par l'Office National du Bois (2500 pieds/ha). Le nombre de rejets élevé par souche (au moins 3) et la faible performance sylvicole des plantations mises en place sur des terrains généralement lessivés et pauvres, témoignent d'un manque d'assistance technique aux paysans planteurs. Les coupes de type jardinatoire pratiquées à l'occasion des ventes occasionnelles des produits ont induit une structure en diamètre qui montre la coexistence de peuplements d'âges multiples. Ceci favorise la basse branchaison et la formation des nœuds malsains et limite du coup la production de bois de qualité et de grande valeur marchande. Compte tenu de la diversité des sources d'approvisionnement en semences, il n'y a pas de garantie sur la qualité du matériel végétal utilisé en plantation.

Il importe donc de renforcer l'assistance technique des paysans planteurs afin de les aider dans le choix des stations les plus appropriées à la production du teck, dans le respect des normes de sylviculture (densité de plantation 2500 pieds/ha au maximum et 2 rejets/souche après la coupe sinon, au maximum 3 rejets). Les coupes de type jardinatoire doivent être évitées par la mise en place d'une coopérative des paysans planteurs de teck qui pourrait disposer d'une caisse pour secourir financièrement ceux qui seraient dans un besoin urgent d'argent à l'occasion des cérémonies et rituels divers, en attendant la maturation des produits de plantation. Cette coopérative devra s'organiser et aider à l'écoulement des produits de ses membres en contrôlant les prix de vente. Elle pourrait ainsi prélever un certain pourcentage sur les prix de vente de ses membres et constituer sa caisse. Les aides financières apportées aux membres de la coopérative devront se baser sur les potentiels de production de leurs plantations et être restituées sans intérêt.

L'investigation phytosociologique de la végétation spontanée des plantations privées de teck du département de l'Atlantique a conduit à l'identification de 444 espèces appartenant à 315 genres répartis dans 95 familles dont les plus diversifiées sont les Poaceae, Fabaceae et Rubiaceae. Ces espèces sont réparties dans 99 synusies végétales regroupées en 18 phytocénoses. Les plantations privées du département de l'Atlantique abritent donc 15% de la flore du Bénin estimée à 3000 espèces. Les teckeraies privées jouent donc un rôle important dans la conservation de la biodiversité et doivent faire l'objet d'une attention particulière. La plupart des phytocénoses se développent sur des sols ayant moins de 30% d'argile dans les trente premiers centimètres de profondeur du sol. Le gradient d'acidité et, dans une moindre mesure, le taux de matière organique sont les paramètres écologiques qui expliquent au mieux la mise en place des phytocénoses. Nous pouvons aussi retenir que les peuplements de teck ayant les surfaces terrières les plus élevées se retrouvent globalement sur les sols les plus acides. En outre, il existe une corrélation positive entre la teneur en limon dans les 30

premiers cm du sol et le diamètre moyen quadratique, la hauteur moyenne et la surface terrière moyenne. Par ailleurs, les sols argileux sont défavorables au teck.

Il en ressort que les stations les plus favorables à conseiller aux paysans planteurs de teck sont les sols limoneux, relativement acides (pH 5 à 6) et profonds. Ces stations sont pour la plupart représentées par les phytocénoses à *Chromolaena odorata* et *Panicum maximum* ; à *Dichapetalum madagascariense* et *Cnestis ferruginea* et à *Mallotus oppositifolius* et *Macrosphyra longistyla*.

Nous pouvons retenir que quel que soit l'âge des rejets de souche, les diamètres quadratiques moyens les plus élevés sont obtenus sur le traitement conservant deux rejets par souche. Les hauteurs moyennes sont aussi généralement les plus élevées pour le traitement de deux rejets par souche. Les accroissements en grosseur et en hauteur varient en fonction des âges des peuplements. En effet, ils diminuent au fur et à mesure que le peuplement prend de l'âge. Ainsi les valeurs les plus élevées des accroissements en diamètre et en hauteur sont observées à 1 an d'âge pour tous les traitements et les plus faibles valeurs à 5 ans d'âge. Nous avons noté qu'au-delà de 4 ans les accroissements en diamètre et en hauteur observés sont statistiquement les mêmes. D'après les courbes de fertilité élaborées à partir de nos résultats de recherche, à 5 ans d'âge, le diamètre quadratique moyen des teckeraies varie entre 4,5 et 8,5 cm en fonction de la fertilité des stations. Les accroissements les plus élevés étant réalisés dans ces plantations déjà à 4 ans, nous recommandons une rotation moyenne de 5 ans pour la production de petites et de moyennes perches. Il est aussi possible de produire de grosses perches valorisables comme support des lignes électriques ou téléphoniques. Dans cette optique, il faut utiliser les stations les plus productives et adopter une rotation de plus de 15 ans.

Il est important de s'assurer de la qualité du matériel végétal. A cet effet, les plantations de teck réalisées à partir des semences de provenances tanzaniennes sont les mieux indiquées au Bénin. Les pépiniéristes et les paysans planteurs qui le peuvent pourront se procurer les semences auprès de l'Office National du Bois. L'accès peut être limité mais alors à l'avenir, des programmes de recherche et de vulgarisation devront veiller à la mise en place des parcs à graines dans les communes et les arrondissements à partir des arbres plus des plantations de teck de Tanzanie. Les paysans planteurs doivent aussi être formés aux techniques de production de plants en conteneurs ou à racines nues, voire des stumps. Les techniques de levée de dormance les plus appropriées que nous recommandons sont le trempage et le séchage alternatif des fruits de teck ou leur trempage dans un cours d'eau ou une réserve d'eau pendant une à deux semaines, suivi de séchage au soleil. Des campagnes d'information et de formation des paysans planteurs sur les techniques d'abattage, les hauteurs de coupes (10 à 20 cm maximum), la nécessité de procéder à des coupes rases à l'âge d'exploitabilité au lieu des coupes de type jardinatoire... doivent être organisées. Nous préconisons en outre la mise en place d'un réseau de planteurs privés de teck, dont certaines tâches importantes seront d'informer les paysans sur le cours du marché, d'œuvrer pour la mise en place de micro crédit aux planteurs, de créer la solidarité entre les planteurs pour une

meilleure valorisation des fruits de leurs efforts vu les conditions de bradage souvent déplorables des produits de plantation...

Notons que, les objectifs de production doivent être adaptés aux potentialités des stations. Afin d'éviter des rotations trop longues, il faut que les sols les plus pauvres soient affectés à la production de petites perches alors que les stations les plus fertiles seront consacrées à la production de grosses perches. Les soins culturaux tels que le désherbage fréquent, couplé à l'élagage des basses branches, le déjumelage après les coupes pour limiter le nombre de rejets à deux par souche doivent être observés. Il est aussi recommandable, sur les sols pauvres, de faire des plantations intercalaires de *Leucaena leucocephala* qui par la fixation de l'azote atmosphérique peut fertiliser le sol au profit du teck.

Bien que les études conduites dans le département de l'Atlantique aient permis de capitaliser beaucoup d'informations utiles pour la contribution à la gestion durable des plantations privées de teck à travers la mise en œuvre d'une sylviculture plus appropriée à la production des taillis de teck, il est important de poursuivre les études sur les plantations privées de teck de manière à :

- Disposer d'une banque de données sur une plus longue durée de vie des plantations de teck gérées en régime de taillis. Ceci permettra à terme, l'élaboration d'une table de production du teck géré en régime de taillis en courte rotation ;
- Etudier la qualité des bois de taillis de teck sur un échantillon de grande taille et diversifié, intégrant différentes stations, différents âges allant jusqu'à dix ans et jouissant de différentes pratiques sylvicoles ;
- Approfondir l'étude de la dynamique des plantations privées de teck en améliorant le modèle primaire établie tout en précisant l'influence de la densité initiale de la plantation sur la croissance du teck ;
- Concevoir et expérimenter une production du teck dans un régime de taillis sous futaie de façon à cumuler efficacement la production de bois de service avec celle de bois de petit sciage ;

Nous insistons par ailleurs sur la nécessité de former les paysans planteurs aux critères de choix de matériel végétal adéquat de plantation, aux techniques de production des plants, de choix des stations appropriées au teck, aux pratiques sylvicoles de déjumelage, d'élagage, de coupe et, leur mise en réseau. Ceci peut être le fruit d'une collaboration réussie avec les agents de la Direction Générale des Forêts et des Ressources Naturelles.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adame P, Canellas I, Roig S, Del Rio M. 2006. Modelling dominant height growth and site index curves for rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Annals of Forest Science*, **63**: 929-940.
- Adegunloye DV, Agarry OO, Adebolu TT, Adetuyi FC. 2006. Effect of leaf-packaging on the microbiological assessment of some food items. *African Journal of Biotechnology*, **5**(5): 445-447.
- Adjonou K, Kokutse AD, Kokou K, Ganglo JC, de Foucault B. 2010. Environmental and wood biophysical variabilities in teak plantations in Togo (West Africa). *Acta Botanica Gallica*, **157**(3): 387-399.
- Adu-Bredu S, Bi AFT, Bouillet JP, Mé MK, Kyei SY, Saint-André L. 2008. An explicit stem profile model for forked and un-forked teak (*Tectona grandis*) trees in West Africa. *Forest Ecology and Management*, **255**: 2189-2203.
- Affoukou KT. 2010. *Détermination des niveaux d'exigence requis pour la qualité du bois de teck auprès des transformateurs et utilisateurs du teck des Communes d'Allada, d'Abomey-Calavi et de Kpomassè (Département de l'Atlantique)*. Thèse d'Ingénieur Agronome, FA/UP, Bénin, 103 p.
- Aiyelaja AA, Ajewole OI. 2006. Non-timber forest products' marketing in Nigeria. A case study of Osun state. *Educational Research and Reviews*, **1**(2): 52-58.
- Akanni I., 2001. *Contribution à la simulation d'une table de production des peuplements de Teck (Tectona grandis L. f) au Sud-Bénin*. Thèse d'ingénieur agronome. FSA/UAC. République du Bénin. 58 p.
- Akhtar J, Saqib ZA, Qureshi RH, Haq MA, Iqbal MS, Marcar NE. 2008. The effect of spacing on the growth of *Eucalyptus camaldulensis* on salt-affected soil of the Punjab, Pakistan. *Canadian Journal of Forest Research*, **38**: 2434-2444.
- Akoégninou A. 1984. *Contribution à l'étude botanique des îlots de forêts denses humides semi-décidues en République Populaire du Bénin*. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Bordeaux 3, 250 p.
- Akoégninou A. 2004. *Recherches botaniques et écologiques sur les forêts actuelles du Bénin*. Thèse d'Etat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, p. 326.
- Akoha S. 2008. *Evaluation des recettes générées par les plantations privées de teck (Tectona grandis L.f.): cas des plantations de la commune de Tori-Bossito (Sud-Bénin)*. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, 81p.
- Akossou AYJ. 1998. *Contribution à la modélisation de la production des peuplements de teck au Sud-Bénin*. Thèse d'ingénieur agronome. FSA/UAC. République du Bénin. 87 p.

- Akram M, Aftab F. 2007. In vitro micropropagation and rhizogenesis of teak (*Tectona grandis* L.). *Pakistan Journal of Biochemistry & Molecular Biology*, **40**: 125-128.
- Akram M, Aftab F. 2008. High frequency multiple shoot formation from nodal explants of teak (*Tectona grandis* L.) induced by thidiazuron. *Propag Ornament Plant*, **8**: 72-75.
- Akram M, Aftab F. 2009. An efficient method for clonal propagation and in vitro establishment of softwood shoots from epicormic buds of teak (*Tectona grandis* L.). *For. Stud. China.*, **11**(2): 105-110.
- Aliyu, Mashood O. 2005. Application of tissue culture to cashew (*Anacardium occidentale* L.) breeding: An appraisal. *African Journal of Biotechnology*, **4**: 1485-1489.
- Amaro A, Reed D, Tomé M, Themido I. 1998. Modelling dominant height growth: *Eucalyptus* plantations in Portugal. *Forest Science*, **44**: 37-46.
- Aoudji AKN, Ganglo CJ, Adjakidjè V, de Foucault B, Azontondé AH. 2006. Phytocénose à *Barteria nigritana* Hook.f. et *Rauvolfia vomitoria* Afzel. dans le sous-bois des plantations de bois de feu de la forêt classée de Pahou, Sud-Bénin. *Journal de Botanique de la Société Botanique de France*, **34**: 81-88.
- Aoudji AKN, Ganglo CJ. 2006. Phytosociologie appliquée à l'aménagement des forêts : cas du périmètre forestier de Pahou (Département de l'Atlantique, Sud-Bénin). *Journal de Botanique de la Société Botanique de France*, **34**: 89-92.
- Aoudji AKN, Adégbidi A, Ganglo JC, Agbo V, Yévidé ASI, De Cannière C, Lebailly P. 2011. Satisfaction across urban consumers of smallholder-produced teak (*Tectona grandis* L.f.) poles in South Benin. *Forest Policy and Economics*, **13**: 642-651.
- Atindogbé G. 2009. *Mise en place d'outils de gestion et de collecte de données en vue de la caractérisation et de l'évaluation de la ressource en teck (Tectona grandis L.f) au Sud Bénin*. Mémoire de DEA, FSA-UAC, 89 p.
- Attignon SE, Lachat T, Sinsin B, Nagel P, Peveling R. 2005. Termite assemblages in a West-African semi-deciduous forest and teak plantations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **110**: 318-326.
- Aubréville A. 1937. Les forêts du Dahomey et du Togo. *Bulletin du comité d'études historiques et scientifiques de l'Afrique occidentale française*, **20**(1-2): 1-112.
- Awokou KS, Ganglo CJ, Azontondé HA, Adjakidjè V, De Foucault B. 2009. Caractéristiques structurales et écologiques des phytocénoses forestières de la forêt classée d'Itchède (Département du Plateau, Sud-est Bénin). *Science & Nature*, **6**(2): 125-138.
- Azankpan JD, Ganglo JC, Zohoun S. 2009. Performances de deux provenances de teck (*Tectona grandis* L. F.) au Bénin. *Annales des sciences Agronomiques du Bénin*, **12**(1): 55-65.

- Bailey JD, Harjanto NA. 2005. Teak (*Tectona grandis* L.) tree growth, stem quality and health in coppiced plantations in Java, Indonesia. *New Forests*, **30**: 55-65.
- Baize D. 2000. *Guide des analyses en pédologie*. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), France, 254 p.
- Baksha MW, Crawley MJ. 1998. Population dynamics of teak defoliator, *Hyblaea puera* Cram. (Lep., Hyblaeidae) in teak plantations of Bangladesh. *Journal of Applied Entomology*, **122**: 79-83.
- Bandyopadhyay T, Gangopadhyay G, Poddar R, Mukherjee KK. 2004. Trichomes: their diversity, distribution and density in acclimatization of teak (*Tectona grandis* L.) plants grown in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, **78**: 113-121.
- Behaghel I. 1999. Etat des plantations de teck (*Tectona grandis* L. F.) dans le monde. *Bois et Forêts des Tropiques*, **262**(4): 6-19.
- Bekker C, Rance W, Monteuis O. 2004. Teak in Tanzania II. The Kilombero Valley Teak Company. *Bois et Forêts des Tropiques*, **279**(1): 11-21.
- Belem B, Smith Olsen C, Theilade I, Bellefontaine R, Guinko S, Lykke AM, Diallo A, Boussim JI. 2008. Identification des arbres hors forêt préférés des populations du Sanmatenga (Burkina Faso). *Bois et Forêts des Tropiques*, **298**(4): 53-64.
- Bermejo I, Canellas I, San Miguel A. 2004. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, **189**: 97-110.
- Bhat KM, Priya PB, Rugmini P. 2001. Characterisation of juvenile wood in teak. *Wood Science and Technology*, **34**: 517-532.
- Bhat KM, Priya PB. 2004. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the western ghat region in India. *IAWA Journal*, **25**(3): 273-282.
- Bhat KM, Thulasidas PK, Maria Florence EJ, Jayaraman K. 2005. Wood durability at home-garden teak against brown-rot and white-rot fungi. *Trees*, **19**: 654-660.
- Bhat KM. 2000. Timber quality of teak from managed tropical plantations with special reference to Indian plantations. *Bois et Forêts des Tropiques*, **263**(1): 5-16.
- Bhattacharyya A, Shah SK. 2009. Tree-ring studies in India past appraisal, present status and future prospects. *IAWA Journal*, **30**(4): 361-370.
- Bijalwan A, Swamy SL, Sharma CM, Sharma NK, Tiwari AK. 2010. Land-use, biomass and carbon estimation in dry tropical forest of Chhattisgarh region in India using satellite remote sensing and GIS. *Journal of Forestry Research*, **21**(2): 161-170.
- Blanc-Pamard C. 2002. La forêt et l'arbre en pays masakoro (Madagascar) : un paradoxe environnemental ? *Bois et Forêts des Tropiques*, **271**(1): 5-22.

- Bonnington C, Weaver D, Fanning E. 2007. The use of teak (*Tectona grandis*) plantations by large mammals in the Kilombero Valley, southern Tanzania. *African Journal of Ecology*, **47**: 138-145.
- Borgaonkar HP, Sikder AB, Ram S, Pant GB. 2010. El Niño and related monsoon drought signals in 523-year-long ring width records of teak (*Tectona grandis* L. f.) trees from south India. *Palaeo-Geogra. Climato. Eoeco*, **285**:74-84.
- Bravo-Oviedo A, Tomé M, Bravo F, Montero G, Del-Rio M. 2008. Dominant height growth equations including site attributes in the generalized algebraic difference approach. *Canadian Journal of Forest Research*, **38**: 2348-2358.
- Buckley BM, Palakit K, Duangsathaporn K, Sanguantham P, Prasomsin P. 2007. Decadal scale droughts over northwestern Thailand over the past 448 years: links to the tropical Pacific and Indian Ocean sectors. *Climate Dynamics*, **29**: 63-71.
- Catinot R. 1970. *Les déformations des fûts du teck au Dahomey – Hypothèse générale d'explication des bosses et déformations des fûts du Teck*. CTFT, 26 p.
- Chandrasekhar N, Sajeev TV, Sudheendrakumar VV, Banerjee M. 2005. Population dynamics of the Teak defoliator (*Hyblaea puera* Cramer) in Nilambur teak plantations using Randomly Amplified Gene Encoding Primers (RAGEP). *BMC Ecology*, **5**(1): 1-11.
- Chowdhury MDQ, Rashid AZMM, Afrad MDM. 2008. Growth performance of Teak (*Tectona grandis* Linn. F.) coppice under different regimes of canopy opening. *Tropical Ecology*. **49**(2): 245-250.
- Clutter JL, Fortson JC, Pienaar LV, Brister GH, Bailey RL. 1992. *Timber management: a quantitative approach*, Krieger Publishing Company, New York, 1983, Reprint ed. 1992.
- CTFT. 1969. *Compte rendu d'un déplacement effectué au Dahomey du 19 au 27 décembre 1968*. CTFT, 15 p.
- CTFT. 1971. *Compte rendu d'un déplacement effectué au Dahomey du 20 au 22 Février 1971*. CTFT, Division d'entomologie et de pathologie forestières, 5 p.
- Cuny P, Sorg JP. 2003. Forêt et coton au sud du Mali : cas de la commune rurale de Sorobasso. *Bois et Forêts des Tropiques*, **276**(2): 17-31.
- Da Silva Vieira R, Lima JT, Moreira Da Silva JR, Gherardi Hein P R, Boutahar N. 2008. Valorisation de résidus d'*Eucalyptus* utilisés pour la fabrication de coffrets éducatifs. *Bois et Forêts des Tropiques*, **298**(4): 49-51.
- Daly AM, Shivas RG, Pegg GS, Mackie AE. 2006. First record of teak leaf rust (*Olivea tectonae*) in Australia. *Australasian Plant Disease Notes*, **1**: 25-26.

- Deepak MS, Sinha SK, Rao RV. 2010. Tree-ring analysis of teak (*Tectona grandis* L. f.) from Western Ghats of India as a tool to determine drought years. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, **22**(5): 388-397.
- Demenois J, Heurtaux A, Depommier D, Patil S. 2005. Filière et développement du teck en Inde du Sud : quel avenir pour les plantations privées ? *Bois et Forêts des Tropiques*, **286**(4): 41-53.
- Derwisch S, Schwendenmann L, Olschewski R, Hölscher D. 2009. Estimation and economic evaluation of aboveground carbon storage of *Tectona grandis* plantations in Western Panama. *New Forests*, **37**: 227-240.
- Dexiang C, Xiaoquan B, Yide L, Wenfa X, Tushou L, Mingxian L, Han X. 2008. Response of gas exchange to neighborhood interference in leaves of teak (*Tectona grandis* L. f.) in a tropical plantation forest. *Acta Ecologica Sinica*, **28**(9): 4059-4069.
- Diéguez-Aranda U, Alvarez Gonzalez JG, Barrio Anta M, Rojo Alboreca A. 2005. Site quality equations for *Pinus sylvestris* L. plantations in Galicia (northwestern Spain). *Annals of Forest Science*, **65**: 143-152.
- Divakara BN, Kumar BM, Balachandran PV, Kamalam NV. 2001. Bamboo hedgerow systems in Kerala, India: Root distribution and competition with trees for phosphorus. *Agroforestry Systems*, **51**: 189-200.
- Dossa OSNL, Ganglo CJ, Adjakidjè V, Agbossou E, de Foucault B. 2005. Identification et caractérisation des stations forestières pour un aménagement durable de la forêt classée de Toffo (Département du plateau ; sud-est du Bénin). *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, **48**, 48-59.
- Dossa OSNL, Ganglo CJ. 2006. Phytosociologie appliquée à l'aménagement des forêts : cas de la forêt classée de Toffo (Département du plateau, sud-est du Bénin). *Journal de Botanique de la Société Botanique de France*, **36**: 81-84.
- Duplat P, Perrote G. 1981. *Inventaire et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers*. ONF, Paris, 432 p.
- Dupuy B, Maître HF, N'Guessan Kanga A. 1999. Table de production du teck (*Tectona grandis*) : l'exemple de la Côte d'Ivoire. *Bois et Forêts des Tropiques*, **261**(3): 5-16.
- Dupuy B, Verhaegen D. 1993. Le teck de plantation *Tectona grandis* en Côte d'Ivoire. *Bois et Forêts des Tropiques*, **235**(1): 9-24.
- Dupuy B. 1990. *Etude sur la croissance et la productivité du Teck (Tectona grandis) en Côte-d'Ivoire - Table de production*. CTFT, 19 p.
- Dupuy B. 2001. L'Arbre ou la forêt ? *Bois et Forêts des Tropiques*, **267**(1): 3.

- Ekpé RB. 2008. *Contribution à la caractérisation et à l'évaluation des plantations privées de teck (Tectona grandis L.f) dans la commune de Tori-Bossito (Département de l'Atlantique) au Sud-Bénin*. Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, 79 p.
- FAO. 2005. *Evaluation des ressources forestières mondiales 2005*. FAO Etude forêt, Rome, Italie. 143 p.
- FAO. 2007. *Situation des forêts du monde 2007*. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Italie. 320 p.
- FAO. 2009. *Situation des forêts du monde 2009*. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Italie. 152 p.
- FAO. 2010. *Global forest resources assessment 2010. Main report*. Food and Agriculture Organization (FAO): Italy.
- FAO. 2011. *Situation des forêts du monde 2011*. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Italie, 193 p.
- Fofana IJ, Ofori D, Poitel M, Verhaegen D. 2009. Diversity and genetic structure of teak (*Tectona grandis* L.f) in its natural range using DNA microsatellite markers. *New Forests*, **37**: 175-195.
- Fonton N., 1985. *Contribution méthodologique à la croissance du teck (Tectona grandis L. f) au Sud-Bénin*. Thèse d'ingénieur agronome. FSA/UAC. République du Bénin. 104 p plus annexes.
- Ganglo CJ. 1999. *Phytosociologie de la végétation naturelle de sous-bois, écologie et productivité des plantations de teck (Tectona grandis L.f.) du sud et du centre Bénin*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Belgique, p. 391.
- Ganglo JC, Lejoly J, Pipar T. 1999. Le teck (*Tectona grandis* L. f.) au Bénin, gestion et perspectives. *Bois et Forêts des Tropiques*, **261**(3): 17-27.
- Ganglo JC, Yéssoufou AW. 2003. *Etude diagnostique des plantations privées de teck dans la commune de Toffo (Département de l'Atlantique sud-Bénin)*. Rapport technique. FSA/INRAB, 32 p.
- Ganglo JC, de Foucault B. 2005a. Le groupement végétal à *Icacina trichantha* Oliv, dans le sous bois naturel des plantations de teck (*Tectona grandis* L.f) du sud et du centre Bénin : composition, valeurs indicatrices écologique et sylvicole. *Acta Botanica Gallica*, **152**(1), 398-402.
- Ganglo JC, de Foucault B. 2005b. The *Lecaniodiscus cupanioides* (Sapindaceae) Phytocoenose in the Forest Plantations of Toffo Forest Reserve (Atlantic Department, Southern Benin). *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, **47**: 46-58.
- Ganglo JC. 2005a. Groupements de sous-bois, identification et caractérisation des stations forestières : cas d'un bois au Bénin. *Bois et Forêts des Tropiques*, **285**(3): 35-46.

- Ganglo JC. 2005b. Les groupements végétaux à *Chromolaena odorata* dans les plantations forestières du sud-Bénin : Caractéristiques structurelles et valeurs indicatrices écologique et sylvicole. *Systematics and Geography of plants*, **75**: 179-194.
- Ganglo JC, de Foucault B, Lejoly J. 2006. The *Psychotria vogeliana*-community in the spontaneous under growth of teak (*Tectona grandis* L.f) plantation in south-Bénin: ecological and silvicultural indicator values. *Acta Botanica Gallica*, **153**(1): 125-135.
- Ganglo JC, de Foucault B. 2006. Plant communities, forest site identification in Toffo reserve, South-Benin. *Bois et Forêts des Tropiques*, **288**(2): 25-38.
- Gangopadhyay G, Gangopadhyay SB, Poddar R, Gupta S, Mukherjee KK. 2003. Micropopagation of *Tectona grandis*: assessment of genetic fidelity. *Biologia Plantarum*, **46**(3): 459-461.
- Gautier L. 1994. Emprise des brousses à *Chromolaena odorata* sur le fond du V-Baoulé (Côte d'Ivoire centrale). *Journ. Agric. Trad. Bota. Appl.*, nouvelle série, **XXXVI** (1): 75-86.
- Gillet F, de Foucault B, Julve Ph. 1991. Phytosociologie synusiale intégrée : objets et concepts. *Candollea*, **46**(2): 315-340.
- Gillet F. 2000. *La phytosociologie synusiale intégrée, guide méthodologique*. Document 1. Université de Neuchâtel, Institut de Botanique, Laboratoire d'écologie végétale et de phytosociologie, rue Emile-Argand 11, CH-2007 Neuchâtel. 68 p.
- Girard P, Pinta F, Van de Steene L. 2003. Valorisation énergétique des sous-produits de scieries. *Bois et Forêts des Tropiques*, **277**(3): 5-17.
- Goh DKS, Chaix G, Baillères H, Monteuis O. 2007. Mass production and quality control of teak clones for tropical plantations. *Bois et Forêts des Tropiques*, **293**(3): 65-77.
- Goh DKS, Monteuis O. 2005. Rationale for developing intensive teak clonal plantations, with special reference to Sabah. *Bois et Forêts des Tropiques*, **285**(3): 5-15.
- Goudégnon EAO. 2010. *Etude des caractéristiques technologiques du bois de teck (Tectona grandis L. f.) des teckeraies privées en fonction des âges et de la station forestière dans le département de l'Atlantique*. Mémoire d'Ingénieur de conception, EPAC/UAC, Bénin, 56 p.
- Gupta PK, Nadgir AL, Mascarenhas AF, Jagannathan V. 1980. Tissue culture of forest trees: clonal multiplication of *Tectona grandis* L. (teak) by tissue culture. *Plant Science Letters*, **17**: 259-268.
- Hashim, MN. 2003. Growth of teak (*Tectona grandis*) on lateritic soil at Mataaver forest reserve, Perlis. *Journal of Tropical Forest Science*, **15**(1): 190-198.
- Healey SP, Gara RI. 2003. The effect of a teak (*Tectona grandis*) plantation on the establishment of native species in an abandoned pasture in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, **176**: 497-507.

- Hinde RJ, Corti GR, Fanning E, Jenkins RKB. 2001. Large mammals in miombo woodland, evergreen forest and a young teak (*Tectona grandis*) plantation in the Kilombero Valley, Tanzania. *African Journal of Ecology*,
- Hounhinto AS. 2011. *Etude de la consommation de bois de teck des plantations privées : formes de consommation, attentes et perception des consommateurs dans les communes de Toffo, Tori-Bossito et zè (Département de l'Atlantique, Sud-Bénin)*. Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, Bénin, 89 p.
- Husen A, Pal M. 2003a. Clonal propagation of teak (*Tectona grandis* L.): Effect of IBA application and adventitious root regeneration on vertically split cuttings. *Silv Gen*, **52**: 173-176.
- Husen A, Pal P. 2003b. Effect of serial bud grafting and etiolation on rejuvenation and rooting cuttings of mature trees of *Tectona grandis* L. *Silv Gen*, **52**: 84-87.
- Iamtasna B, Piyasombatkul T, Prichanont S, Muangnapoh C. 2010. Use of hemicellulase in sequence with hydrogen peroxide and laccase for improvement of teak veneer surface color. *Journal of Wood Science*, **56**: 184-188.
- INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique), 2004. *Cahier des villages et quartiers de ville Département de l'ATLANTIQUE*. Cotonou, Bénin. 34 p.
- Jactel H, Nicoll BC, Branco M, Gonzales-Olabarria JR, Grodzki W, Langström B, Moreira F, Netherer S, Orazio Ch, Piou D, Santos H, Schelhaas MJ, Tojic K, Vodde F. 2009. The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks and damage. *Annals of Forest Science*, **66**(701): 1-18.
- Jayaraman K, Lappi J. 2001. Estimation of height-diameter curves through multilevel models with special reference to even-aged teak stands. *Forest Ecology and Management*, **142**: 155-162.
- Jenkins RKB, Roettcher K, Corti G. 2003. The influence of stand age on wildlife habitat use in exotic Teak tree *Tectona grandis* plantations. *Biodiversity and Conservation*, **12**: 975-990.
- Jhala YV, Mukherjee S, Shah N, Chauhan KS, Dave CV, Meena V, Banerjee K. 2009. Home range and habitat preference of female lions (*Panthera leo persica*) in Gir forests, India. *Biodiversity and Conservation*, **18**: 3383-3394.
- Kaewkrom P, Gajaseni J, Jordan CF, Gajaseni N. 2005. Floristic regeneration in five types of teak plantations in Thailand. *Forest Ecology and Management*, **210**: 351-361.
- Kammesheidt L, Lezama AT, Franco W, Plonczak M. 2001. History of logging and silvicultural treatments in the western Venezuelan plain forests and the prospect for sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, **148**: 1-20.

- Kaosa-ard A. 1981. Teak (*Tectona grandis* L.f.) - its natural distribution and related factors. *Natural History Bulletin of the Siam Society*, **19**: 55-74.
- Kaul M, Mohren GMJ, Dadhwal VK. 2010. Carbon storage and sequestration potential of selected tree species in India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **15**: 489-510.
- Khanduri VP, Lalnundanga, Vanlalremkimi J. 2008. Growing stock variation in different teak (*Tectona grandis*) forest stands of Mizoram, India. *Journal of Forestry Research*, **19**(3): 204-208.
- Khatri JH, Kukdia MU, Singh RR. 2001. Micropropagation of teak (*Tectona grandis* L.). *Ind J For.*, **24**: 368-371.
- Kokutse AD. 2002. *Analyse de la qualité du bois de teck (Tectona grandis L.f) en plantation au Togo : formation du bois de coeur, propriétés mécaniques et durabilité*. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1, 142 p.
- Kokutse AD, Baillères H, Stokes A, Kokou K. 2004. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak. *Forest Ecology and Management*, **189**: 37-48.
- Kokutse AD, Adjonou K, Kokou K, Gbeassor M. 2009a. Problématique de la performance du teck de provenance tanzanienne par rapport au teck local en plantation au Togo. *Bois et Forêts des Tropiques*, **302**(4) : 43-52.
- Kokutse AD, Adjonou K, Kokou K. 2009b. Relationship between ecological indicators and teak wood characteristics in Tchorogo plantation (Togo). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **3**(3): 483-491.
- Kokutse AD, Stokes A, Kokutse NK, Kokou K. 2010a. Which factors most influence heartwood distribution and radial growth in plantation teak? *Annals of Forest Science*, **67**(407): p1-p10.
- Kokutse AD, Brancheriau L, Chaix G. 2010b. Rapid prediction of shrinkage and fibre saturation point on teak (*Tectona grandis*) wood based on near-infrared spectroscopy. *Annals of Forest Science*, **67**(403): 1-10.
- Koonkhunthod N, Sakurai K, Tanaka S. 2007. Composition and diversity of woody regeneration in a 37-year-old teak (*Tectona grandis* L.) plantation in Northern Thailand. *Forest Ecology and Management*, **247**: 246-254.
- Koppad AG, Rao RV. 2005. Influence of *in-situ* moisture conservation methods and fertilizers on wood density in two years old teak. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, **18**(2): 542-546.
- Kouamé N'Dri MT, Gnahoua GM. 2008. Arbres et lianes spontanés alimentaires du département de Gagnoa (centre-ouest de la Côte d'Ivoire). *Bois et Forêts des Tropiques*, **298**(4): 65-75.

- Kraenzel M, Castillo A, Moore T, Potvin C. 2003. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. *Forest Ecology and Management*, **173**: 213-225.
- Kramer PJ, Koslowski TT. 1960. *Physiology of trees*. McGraw-Hill, New York, 670 p.
- Krishnapillay B. 2000. La sylviculture et la gestion des plantations de teck. *Unasylva*, **201**(51): 14-21.
- Kulkarni N, Paunikar S, Joshi KC, Rogers J. 2009. White grubs, *Holotrichia rustica* and *Holotrichia mucida* (Coleoptera: Scarabaeidae) as pests of teak (*Tectona grandis* L. f.) seedlings. *Insect Science*, **16**: 519-525.
- Kumaf BM, Longby JN, Kumaf P. 1995. A density management diagram for teak plantations of Kerala in peninsular India. *Forest Ecology and Management*, **74**: 125-131.
- Kumar BM, Kumar SS, Fisher RF. 1998. Intercropping teak with *Leucaena* increases tree growth and modifies soil characteristics. *Agroforestry Systems*, **42**: 81-89.
- Lachat T, Attignon S, Djego J, Goergen G, Nagel P, Sinsin B, Peveling R, 2006. Arthropod diversity in Lama forest reserve (South Benin), a mosaic of natural, degraded and plantation forests. *Biodiversity and Conservation*, **15**: 3-23.
- Langbour P, Vernay M. 2002. Une production particulière : les bois équarris. *Bois et Forêts des Tropiques*, **271**(1): 111-113.
- Lebrun JP, Stork AL. 1991-1997. *Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale*, 1, 2, 3. Conservatoire et Jardin botanique de la ville de Genève.
- Leciak E, Bah O. 2008. Les végétaux du quotidien : usages des ligneux dans les terroirs de Guinée maritime. *Bois et Forêts des Tropiques*. **298**(4): 77-88.
- Leroy C. 2006. *Rôle de l'architecture dans l'interception lumineuse des couronnes de Tectona grandis et Acacia mangium. Utilisation pour la simulation des bilans radiatifs dans les systèmes agroforestiers*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France, p. 318.
- Liu C, Zhang L, Davis CJ, Solomon DS, Grove JH. 2002. A finite mixture model for characterizing the diameter distribution of mixed-species forest stands. *Forest Science*, **48**(4): 653-661.
- Locatelli B, Graffin A, Boisseaux T. 2002. La biodiversité est tombée dans le puits. *Bois et Forêts des Tropiques*, **271**(1): 51-60.
- Locatelli B, Graffin A, Boisseaux T. 2002. La biodiversité est tombée dans le puits. *Bois et Forêts des Tropiques*, **271**(1): 51-60.
- Loganathan J, David PMM. 1999. Sticky weeds as an understorey vegetation in intensively managed teak plantation for defoliator management. *Crop Protection*, **18**: 577-580.

- Lukmandaru G, Ashitani T, Takahashi K. 2009. Color and chemical characterization of partially black-streaked heart-wood in teak (*Tectona grandis*). *Journal of Forestry Research*, **20**(4): 377-380.
- Lukmandaru G, Takahashi K. 2008. Variation in the natural termite resistance of teak (*Tectona grandis* Linn. fil.) wood as a function of tree age. *Annals of Forest Science*, **65**(708): 1-8.
- Lukmandaru G, Takahashi K. 2009. Radial distribution of quinones in plantation teak (*Tectona grandis* L.f.). *Annals of Forest Science*, **66**(605): 1-9.
- Maître HF. 1983. *Table de production provisoire du Teck (Tectona grandis) en Côte-d'Ivoire*. CTFT, 71 p.
- Maldonado G, Louppe D. 1999. Plantations villageoises de teck en Côte d'Ivoire. *Bois et Forêts des Tropiques*, **262**(4): 19-30.
- Managave SR, Sheshshayee MS, Borgaonkar HP, Ramesh R. 2010. Intra-annual oxygen isotope variations in central Indian teak cellulose: possibility of improved resolution for past monsoon reconstitution. *Current Science*, **98**(7): 930-937.
- Mendoza de Gyves E, Royani JI, Rugini E. 2007. Efficient method of micropropagation and in vitro rooting of teak (*Tectona grandis* L.) focusing on large-scale industrial plantations. *Annals of Forest Science*, **64**: 73-78.
- Michon G, Moizo B, Verdeaux F, De Foresta H, Aumeeruddy Y, Gely A, Smektala G. 2003. Vous avez dit déforestation ? *Bois et Forêts des Tropiques*, **278**(4): 3-12.
- Michon G. 2003. Ma forêt, ta forêt, leur forêt : perceptions et enjeux autour de l'espace forestier. *Bois et Forêts des Tropiques*, **278**(4): 15-24.
- Miller AD. 1969. *A provisional yield table for teak in Trinidad*. government printery, Trinidad, 21 p.
- Miranda I., Sousa V., Pereira H., 2011. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. *Journal of Wood Science*, 8p.
- Mittelman A. 2000. Plantations de teck pour les petits exploitants de Nakhon Sawan, Thaïlande. *Unasylva*, **201**(51): 62-65.
- Mohd Rosli H, Saleh NM, Mohd Noor MI, Norwati M, Norlia B, Norwati A. 2009. Analysis of expressed sequence tags derived from inflorescence shoot of *Tectona grandis* (teak). *African Journal of Biotechnology*, **8**(21): 5633-5640.
- Monteuuis O, Bon MC, Goh DKS. 1998a. Propagation du teck par culture *in vitro*. *Bois et Forêts des Topiques*, **255**(1): 19-29.
- Monteuuis O, Bon MC, Goh DKS. 1998b. Teak propagation by *in vitro* culture. *Bois et Forêts des Topiques*, **256**(2): 43-53.

- Monteuuis O, Goh D. 1999. About the use of clones in teak. *Bois et Forêts des Tropiques*, **261**: 28-38.
- Monteuuis O, Vallauri D, Poupard Ch, Hazard L, Yusof Y, Wahap Latip Abd, Garcia C, Chauvière M. 1995. Propagation clonale de tecks matures par bouturage horticole. *Bois et Forêts des Tropiques*, **243**(1): 25-39.
- Moya R, Berrocal A. 2010. Wood colour variation in sapwood and heartwood of young trees of *Tectona grandis* and its relationship with plantation characteristics, site, and decay resistance. *Annals of Forest Science*, **67**(109): 1-9.
- Murali TS, Suryanarayanan TS, Geeta R. 2006. Endophytic Phomopsis species: host range and implications for diversity estimates. *Canadian Journal of Microbiology*, **52**: 673-680.
- Narayanan C, Dubey S, Wali SA, Shukla N, Kumar R, Mandal AK, Ansari SA. 2006. Optimization of DNA extraction for ISSR studies in *Tectona grandis* L.f. - an important forest tree species. *African Journal of Biotechnology*, **5**(13): 1220-1223.
- Nathan SS, Sehoon K. 2006. Effects of *Melia azedarach* L. extract on the teak defoliator *Hyblaea puera* Cramer (Lepidoptera: Hyblaeidae). *Crop Protection*, **25**: 287-291.
- Neamatallah A, Yan L, Dewar SJ, Austin B, 2005. An extract from teak (*Tectona grandis*) bark inhibited *Listeria monocytogenes* and methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. *Letters in Applied Microbiology*, **41**: 94-96.
- Niamké FB, Amusant N, Charpentier JP, Chaix G, Baissac Y, Boutahar N, Adima AA, Kati-Coulibaly S, Jay-Allemand C. 2011. Relationships between biochemical attributes (non-structural carbohydrates and phenolics) and natural durability against fungi in dry teak wood (*Tectona grandis* L. f.). *Annals of Forest Science*, **68**: 201-211.
- Nor Aini AS, Goh BL, Ridzuan R. 2009. The effects of different indole-3-butyric acid (IBA) concentrations, two light regimes of in vitro rooting and acclimatization of in vitro teak (*Tectona grandis* L.f) plantlets. *African Journal of Biotechnology*, **8**(22): 6158-6161.
- Norlia B, Norwati M, Norwati A, Mohd Rosli H, Norihan MS. 2008. Isolation and characterization of LHY homolog gene expressed in flowering tissues of *Tectona grandis* (teak). *African Journal of Biotechnology*, **7**(9): 1302-1308.
- Noumon CJ, Ganglo CJ, Azontondé AH, de Foucault B, Adjakidjè V. 2006. Phytocénose à *Mallotus oppositifolius* (Geisl.) Müll. Arg et *Deinbollia pinnata* Schumach. & Thonn. dans le sous-bois des teckeraies du Centre-Bénin. *Journal de Botanique de la Société Botanique de France*, **36**: 35-61.
- Noumon CJ, Ganglo CJ, Azontondé HA, De Foucault B, Adjakidjè V. 2009. Ecological and silvicultural indicator value of plant-communities of Koto forest reserve (Centre-Benin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **3**(2): 367-377.

- Noumon JC, Ganglo JC. 2005. Phytosociologie appliquée à l'aménagement des forêts : cas du périmètre forestier de Koto (Département du Zou, Centre Bénin). *Acta Botanica Gallica*, **152**(3): 421-426.
- Nunifu TK, Murchison HG. 1999. Provisional yield models of Teak (*Tectona grandis* Linn F.) plantations in northern Ghana. *Forest Ecology and Management*, **120**: 171-178.
- ONAB (Office National du Bois). 2005. *Aménagement participatif des plantations forestières d'Agrimey, Djigbé, Koto, Massi et Toffo : période 2004-2023*. ONAB: Bénin.
- Onibon A. F., 1986. *Etude des techniques de production et de plantation du Teck (Tectona grandis L. f) dans les vertisols de la forêt classée de Ko (ou Lama) en République Populaire du Bénin*. Thèse d'ingénieur agronome. FSA/UNB/UI.
- Onzo A., 1986. *Etude des effets de la concurrence sur la croissance du Teck (Tectona grandis L. f) au Sud-Bénin*. Thèse d'ingénieur agronome. FSA/UNB/UI.
- Palahi M, Pukkala T, Kasimiadis D, Poirazidis K, Papageorgiou AC. 2008. Modelling site quality and individual-tree growth in pure and mixed *Pinus brutia* stands in north-east Greece. *Annals of Forest Science*, **65**(501): 1-14.
- Palanisamy K, Subramanian K. 2001. Vegetative propagation of mature teak trees (*Tectona grandis* L.). *Silv Gen*, **50**: 188-191.
- Palla F, Louppe D, Dumenge C. 2002. *Azobé*. FORAFRI, Libreville, Gabon, CIRAD-Forêt, Montpellier, France. 4 p.
- Palupi ER, Owens JN, Sadjad S, Sudarsono, Solihin DD. 2010. The importance of fruit set, fruit abortion, and pollination success in fruit production of teak (*Tectona grandis*). *Canadian Journal of Forest Research*, **40**: 2204-2214.
- Pandey D, Brown C. 2000. Le teck dans le monde. *Unasylva*, **201**(51): 3-13.
- Pawar SS, Gopal S, Rawat GS, Choudhury BC. 2004. Recovery of frog and lizard communities following primary habitat alteration in Mizoram, Northeast India. *BMC Ecology*, **4**(10): 1-18.
- Pérez Cordero LD, Kanninen M. 2003. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. *Silva Fennica*, **37**(1): 45-54.
- Pérez D, Kanninen M. 2005. Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. *Silva Fennica*, **39**(2): 217-225.
- Pisces Conservation Ltd, 2001. *Community Analysis Package: A program to search for structure in ecological community data version 2.0*. England, 32 p.

- Ponnusami V, Srivastava SN. 2009. Studies on application of teak leaf powders for the removal of color from synthetic and industrial effluents. *Journal of Hazardous Materials*, **169**: 1159-1162.
- Potvin C, Whidden E, Moore T. 2004. A case study of carbon pool under three different land-uses in Panama. *Climatic Change*, **67**: 291-307.
- Priya PB, Bhat KM. 1998. False ring formation in teak (*Tectona grandis* L. f.) and the influence of environmental factors. *Forest Ecology and Management*, **108**: 215-222.
- Priya PB, Bhat KM. 1999. Influence of rainfall, irrigation and age on the growth, periodicity and wood structure in teak (*Tectona grandis*). *International Association of Wood Anatomists*, **20**: 181-192.
- Purnomo H, Guizol P, Muhtaman DR. 2009. Governing the teak furniture business: A global value chain system dynamic modelling approach. *Environmental Modelling & Software*, **24**: 1391-1401.
- Quenum IA. 2002. *Etude dendrométrique et contribution à la gestion des plantations privées de Tectona grandis L. f au Sud-Bénin : cas de la Commune de Tori-Bossito*. Thèse d'ingénieur agronome, FSA/UAC, Bénin, 80 p.
- R Development Core Team. 2007. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Rajendrudu G, Naidu CV, Mallikarjuna K. 1999. Effect of water stress on photosynthesis and growth in two teak phenotypes. *Photosynthetica*, **36**(4): 627-630.
- Rajendrudu G, Naidu CV. 1997. Effects of water stress on leaf growth and photosynthetic and transpiration rates of *Tectona grandis*. *Biologia Plantarum*, **40**(2): 229-234.
- Rance W, Monteuis O. 2004. Teak in Tanzania I. Overview of the context. *Bois et Forêts des Tropiques*, **279**(1): 5-10.
- Rao KS, Rajput KS. 1999. Seasonal behavior of vascular cambium in teak (*Tectona grandis*) growing in moist deciduous and dry deciduous forests. *IAWA Journal*, **20**(1): 85-93.
- Roda JM. 2002. Le point sur la place des bois tropicaux dans le monde. *Bois et Forêts des Tropiques*, **274**(4): 79-80.
- Rugmini P, Jayaraman K. 2009. Intrinsic units of growth for teak trees. *Trees*, **23**: 51-58.
- Saha S. 2001. Vegetation composition and structure of *Tectona grandis* (teak, Family Verbenaceae) plantations and dry deciduous forests in central India. *Forest Ecology and Management*, **148**: 159-167.
- Sales C. 2003. Innovation technologique et valorisation des sous-produits des filières bois. *Bois et Forêts des Tropiques*, **277**(3): 35-43.

- Sánchez-González M, Tomé M, Montero G. 2005. Modelling height and diameter growth of dominant cork oak trees in Spain. *Annals of Forest Science*, **62**: 633-643.
- Sarre A, Ma HO. 2004. Les perspectives pour le teck de plantation. *OIBT Actualités des Forêts Tropicales*, **12**(1): 1-2.
- Seth SK, Yadav JPS. 1959. Teak soils. *Indian Forester*, **85**(1): 2-16.
- Seth SK. 1959. Yield and stand tables for Teak plantations. *Indian Forest Records, For. Res. Inst.*, Dehra Dun.
- Sèwadé C. 2010. *Dynamique des plantations de teck (Tectona grandis L.f.) gérées en régime de futaie dans les plantations forestières de la Lama au Sud-Bénin*. Mémoire de DEA, FSA/UAC, Bénin, p. 103.
- Shah SK, Bhattacharyya A, Chaudhary V. 2007. Reconstruction of June–September precipitation based on tree-ring data of teak (*Tectona grandis* L.) from Hoshangabad, Madhya Pradesh, India. *Dendrochronologia*, **25**: 57-64.
- Shirin F, Sarkar AK. 2003. Removal of phenolic exudates from explants of *Tectona grandis* L. Teak, **30**: 4–6.
- Shirin F, Rana PK, Mandal AK. 2005. In vitro clonal propagation of mature *Tectona grandis* through axillary bud proliferation. *Journal of Forest Research*, **10**: 465-469.
- Shrestha M.K, Volkaert H, Van Der Straeten D. 2005. Assessment of genetic diversity in *Tectona grandis* using amplified fragment length polymorphism markers. *Canadian Journal of Forest Research*, **35**: 1017-1022.
- SIEC & BCG (Société Internationale d'Experts-Conseils & Benin Consulting Group), 1997. *Etude de la Filière Bois au Bénin*. Rapport final. MPREPE. 137 p.
- Sinha SK, Deepak MS, Rao RV, Borgaonkar HP. 2011. Dendroclimatic analysis of teak (*Tectona grandis* L. f.) annual rings from two locations of peninsular India. *Current Science*, **100**(1): 84-88.
- Soumya EA, Mohamed M, Fatimazahra B, Hassan L, Abdellah H, Fatima H, Saad IK. 2011. Study of Microbial Adhesion on Some Wood Species: Theoretical Prediction. *Microbiology*, **80**(1): 43-49.
- Sun Z, Du G, Huang L. 2009. Effect of microwave plasma treatment on surface wettability of common teak wood. *Front. For. China.*, **4**(2): 249-254.
- Sunanda C, Jayaraman K. 2006. Prediction of stand attributes of even-aged teak stands using multilevel models. *Forest Ecology and Management*, **236**: 1-11.
- Tangmitcharoen S, Takaso T, Siripatanadilox S, Tasen W, Owens JN. 2006a. Behavior of major insect pollinators of teak (*Tectona grandis* L. f.): A comparison of clonal seed orchard versus wild trees. *Forest Ecology and Management*, **222**: 67-74.

- Tangmitcharoen S, Takaso T, Siripatanadilox S, Tasen W, Owens JN. 2006b. Insect biodiversity in flowering teak (*Tectona grandis* L.f.) canopies: Comparison of wild and plantation stands. *Forest Ecology and Management*, **222**: 99-107.
- Thulasidas PK, Bhat KM. 2007. Chemical extractive compounds determining the brown-rot decay resistance of teak wood. *Holz Roh Werkst.*, **65**: 121-124.
- Tiwari SK, Tiwari KP, Siril EA. 2002. An improved micropropagation protocol for teak. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, **71**: 1-6.
- Tohngodo BC, Ganglo JC, Agbossou KE. 2006a. La phytosociologie comme outil d'identification et de caractérisation des stations forestières. *Acta Botanica Gallica*, **153**(1): 135-140.
- Tohngodo C, Ganglo CJ, Agbossou KE, de Foucault B, Adjakidjè V. 2006b. Caractéristiques structurales, identification et caractérisation des stations forestières de la forêt classée de Bonou (Sud-est Bénin). *Science & Nature*, **3**(1): 39-47.
- Tondoh JE, Guéi AM, Csuzdi C, Okoth P, 2011. Effect of land-use on the earthworm assemblages in semi-deciduous forests of Central-West Ivory Coast. *Biodiversity and Conservation*, **20**: 169-184.
- Trainer J, Ganglo JC. 1992. *Procès verbal d'aménagement des plantations forestières de Djigbé*. Rapport technique, ONAB, 418 p.
- Tutua SS, Xu ZH, Blumfield TJ, Bubb KA. 2008. Long-term impacts of harvest residue management on nutrition, growth and productivity of an exotic pine plantation of sub-tropical Australia. *Forest Ecology and Management*, **256**: 741-748.
- Ullmann I, Bannister P, Wilson JB. 1995. The vegetation of roadside verges with respect to environmental gradients in southern New Zealand. *Journal of Vegetation Science*, **6**: 131-142.
- Upadhyay A, Eid T, Sankhayan PL. 2005. Construction of site index equations for even aged stands of *Tectona grandis* (teak) from permanent plot data in India. *Forest Ecology and Management*, **212**: 14-22.
- Varghese M, Nicodemus A, Nagarajan B, Lindgren D. 2006. Impact of fertility variation on gene diversity and drift in two clonal seed orchards of teak (*Tectona grandis* Linn. f.). *New Forests*, **31**: 497-512.
- Verdeaux F. 2003. De la forêt en commune à la forêt domestique : deux cas contrastés de réappropriation forestière en Côte-d'Ivoire et Tanzanie. *Bois et Forêts des Tropiques*, **278**(4): 51-63.
- Verhaegen D, Ofori D, Fofana I, Poitel M, Vaillant A. 2005. Development and characterization of microsatellite markers in *Tectona grandis* (Linn. f.). *Molecular Ecology Notes*, **5**: 945-947.

- Vernay M. 2000. Le teck en France, pour quoi faire ? *Bois et Forêts des Tropiques*, **263**(1): 31-38.
- Volkoff B, Willaime P. 1976. *Notice explicative 66. Carte pédologique de reconnaissance de la République du Bénin à 1/200 000 : Feuille de Porto-Novo (1)*. ORSTOM, Paris, 39 p.
- Wagstaff SJ, Olmstead RG. 1997. Phylogeny of Labiatae and Verbenaceae inferred from rbcL sequences. *Syst. Bot.*, **22**: 165-179.
- Wang Y, LeMay VM, Baker TG. 2007. Modelling and prediction of dominant height and site index of *Eucalyptus globulus* plantations using a nonlinear mixed-effects model approach. *Canadian Journal of Forest Research*, **37**: 1390-1403.
- Widiyanto SN, Sukmawan A, Haro N, Rahmania H. 2009. Transient expression of  $\beta$ -glucuronidase reporter gene in *Agrobacterium*-inoculated shoots of various teak clones. *African Journal of Biotechnology*, **8**(10): 2143-2150.
- Wulfing (von) WHE. 1932. Het perkonderzoek van A.E.J. Bruinsma ; schattingstabellen vor djatiplantsoenen, *Tectona grandis* L.f. [Yield table for Java teak plantations] TECTONA, Part 25. *Indonesia Forest Research Institute*, Special Publication No. 30a.
- Yehouenou TJM. 1982. *Evaluation économique du projet de plantation de teck de Djigbé*. Thèse d'ingénieur agronome. FSA/UNB/UI.
- Yeo K, Konate S, Tiho S, Camara SK. 2011. Impacts of land use types on ant communities in a tropical forest margin (Oumé – Côte d'Ivoire). *African Journal of Agricultural Research*, **6**(2): 260-274.
- Yêvidé SIA. 2007. *Contribution à la gestion durable des plantations privées de teck dans la Commune de Tori-Bossito (Département de l'Atlantique, Sud-Bénin): caractéristiques structurales, écologiques et modes de gestion*. Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, 216 p.
- Yêvidé SIA. 2009. *Etude des caractéristiques structurales et écologiques des plantations privées de teck (Tectona grandis L.f) de la commune de Tori-Bossito : implications pour la gestion durable des teckeraies privées*. Mémoire de DEA, FSA-UAC, 62 p.
- Yêvidé ASI, Ganglo JC, Aoudji AK, Toyi MS, De Cannière C, De Foucault B, Devineau JL, Sinsin B. 2011a. Caractéristiques structurelles et écologiques des phytocénoses de sous-bois des plantations privées de teck du département de l'Atlantique (Sud-Bénin, Afrique de l'Ouest). *Acta Botanica Gallica*, **158**(2): 263-283.
- Yêvidé ASI, Ganglo JC, Glèlè-Kakaï RL, De Cannière C. 2011b. Effet de la densité, de l'âge et des groupements végétaux de sous-bois sur la vigueur des plantations privées de teck (*Tectona grandis* L.f.) gérées en régime de taillis au sud-Bénin (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **5**(3): 1215-1231.

Zhang LJ, Gove JH, Liu CM, Leak WB. 2001. A finite mixture of two Weibull distributions for modeling the diameter distributions of rotated-sigmoid, uneven-aged stands. *Canadian Journal of Forest Research*, **31**(9): 1654-1659.

Zossou HG. 1999. *Contribution à l'étude des peuplements Tectona grandis L.f dans le secteur forestier de la Lama, et l'évaluation de la rentabilité de sa production en bois d'œuvre au sud-Bénin*. Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, 111 p.

## Curriculum vitae

Né le 10 Janvier 1983 à Natitingou au Bénin, Sèdami Igor Armand YEVIDE a fait ses études secondaires au CEG Vèdoko à Cotonou. Il a obtenu son Baccalauréat série D avec la mention Assez-bien en 2002. Il est admis la même année sur concours, à la Faculté des Sciences Agronomiques où il obtient en 2007, son diplôme d'Ingénieur Agronome en Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles avec la mention Très-bien. Une année plus tard, il obtient son Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles. Il s'inscrit en thèse à l'Université d'Abomey-Calavi dès l'année académique 2008 – 2009.

## Liste des publications

- Yêvidé ASI**, Ganglo JC, Aoudji AK, Toyi MS, De Cannière C, De Foucault B, Devineau JL, Sinsin B. 2011. Caractéristiques structurales et écologiques des phytocénoses de sous-bois des plantations privées de teck du département de l'Atlantique (Sud-Bénin, Afrique de l'Ouest). *Acta Botanica Gallica*, **158**(2): 263-283.
- Yêvidé ASI**, Ganglo JC, Glèlè-Kakaï RL, De Cannière C. 2011. Effet de la densité, de l'âge et des groupements végétaux de sous-bois sur la vigueur des plantations privées de teck (*Tectona grandis* L.f.) gérées en régime de taillis au sud-Bénin (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **5**(3): 1215-1231.
- Houngpèvi A, **Yêvidé ASI**, Ganglo JC, Devineau JL, Azontondé AH, Adjakidjè V, Agbossou EK, De Foucault B. 2011. Structure et écologie de la forêt à *Diospiros mespiliformis* Hochst. Ex A.DC. et à *Dialum guineense* Willd. De la réserve de Massi (La Lama), Bénin. *Bois et Forêts des Tropiques*, **308**(2): 33-46.
- Aoudji AKN, **Yêvidé ASI**, Ganglo JC, Atindogbé G, Toyi MS, De Cannière C, Azontondé AH, Adjakidjè V, De Foucault B, Sinsin BA. 2011. Structural characteristics and forest sites identification in Pahou forest reserve, South-Benin. *Bois et Forêts des Tropiques*, **308**(2): 47-58.
- Aoudji AKN, Adégbidi A, Ganglo JC, Agbo V, **Yêvidé ASI**, De Cannière C, Lebailly P. 2011. Satisfaction across urban consumers of smallholder-produced teak (*Tectona grandis* L.f.) poles in South Benin. *Forest Policy and Economics*, **13**: 642-651.

## Liste des communications

- Yêvidé ASI**, Ganglo JC, De Cannière C. 2008. Contribution à la gestion durable des plantations privées de teck (*Tectona grandis L.f*) dans la Commune de Tori-Bossito (Département de l'Atlantique, Sud-Bénin): caractéristiques structurales, écologiques et modes de gestion. XIII<sup>ème</sup> édition des Journées Scientifiques Internationales de Lomé, UL, Togo, 20 – 24 Octobre 2008.
- Yêvidé ASI**, Ganglo JC, De Cannière C. 2009. Contribution à la gestion durable des plantations privées de teck (*Tectona grandis L.f*) dans la Commune de Tori-Bossito (Sud Bénin) : Identification et caractérisation des stations forestières. 2<sup>ème</sup> Colloque des Sciences, Cultures et Technologies, UAC, Bénin, 26 – 29 Mai 2009.
- Yêvidé ASI**, Ganglo JC, De Cannière C. 2009. Le groupement à *Mallotus oppositifolius* et *Paullinia pinnata* dans le sous bois naturel des plantations privées de teck (*Tectona grandis L.f.*) dans la Commune de Tori-Bossito. 2<sup>ème</sup> Colloque des Sciences, Cultures et Technologies, UAC, Bénin, 26 – 29 Mai 2009.
- Yêvidé ASI**, Ganglo JC, De Cannière C. 2009. Le groupement à *Mallotus oppositifolius* et *Macrosphyra longistyla* dans le sous bois naturel des plantations privées de teck (*Tectona grandis L.f.*) dans la Commune de Tori-Bossito. 2<sup>ème</sup> Colloque des Sciences, Cultures et Technologies, UAC, Bénin, 26 – 29 Mai 2009.
- Yêvidé ASI**, Ganglo JC, De Cannière C. 2010. Les teckeraies privées du département de l'Atlantique (Sud-Bénin). Journées Scientifiques Internationales de Lomé XIV<sup>ème</sup> édition, UL, Togo, 25 – 29 Octobre 2010.
- Yêvidé ASI**, Ganglo JC, De Cannière C. 2010. Les phytocénoses du sous bois des plantations privées de teck du département de l'Atlantique. Journées Scientifiques Internationales de Lomé XIV<sup>ème</sup> édition, UL, Togo, 25 – 29 Octobre 2010.
- Yêvidé ASI**, Ganglo JC, De Cannière C. 2010. Inventaire et caractérisation des teckeraies privées du département de l'Atlantique (sud-Bénin). 7<sup>ème</sup> édition de l'Atelier Scientifique National de la Recherche Agricole, INRAB, Bénin, 7 – 9 Décembre 2010.
- Tchéhouali F, Atcha F, Adandossossi A, **Yêvidé A**, Houanou J, Ganglo J, Foudjet EA. 2011. Influence du taux d'humidité sur les propriétés physiques et mécaniques de cinq essences de bois du Bénin. 3<sup>ème</sup> Colloque des Sciences, Cultures et Technologies, UAC, Bénin, 6 – 10 Juin 2011.
- Ahouandjinou P, **Yêvidé A**, Oumorou M, Ganglo J. 2011. Dynamique des plantations privées de teck (*Tectona grandis*) des communes d'Abomey-Calavi, de Zè et de Ouidah. 3<sup>ème</sup> Colloque des Sciences, Cultures et Technologies, UAC, Bénin, 6 – 10 Juin 2011.
- Dozounhékpon G, Ganglo CJ, **Yêvidé AS**. 2011. Mise au point de normes sylvicoles pour la production du bois de teck (*Tectona grandis L.f.*) au sud du Bénin. 3<sup>ème</sup> Colloque des Sciences, Cultures et Technologies, UAC, Bénin, 6 – 10 Juin 2011.

Goudégnon E, **Yêvidé A**, Oumorou M, Ganglo J. 2011. Etude des caractéristiques technologiques du bois de teck (*Tectona grandis* L.f.) des teckeraies privées en fonction des âges et de la station forestière dans le département de l'Atlantique. 3<sup>ème</sup> Colloque des Sciences, Cultures et Technologies, UAC, Bénin, 6 – 10 Juin 2011.

**Yêvidé ASI**, Ganglo JC, Glèlè Kakaï RL, De Cannière C. 2011. Influence de l'âge, de la densité et de la station forestière sur la croissance du teck dans les plantations privées du département de l'Atlantique (Sud-Bénin). 3<sup>ème</sup> Colloque des Sciences, Cultures et Technologies, UAC, Bénin, 6 – 10 Juin 2011.

