

UNIVERSITE DE KISANGANI

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET DE GESTION  
DES RESSOURCES VÉGÉTALES



B.P. 2012 KISANGANI

Estimation du stockage de carbone dans les plantations de  
l'I.N.E.R.A.-Yangambi à Yangambi (R.D.Congo) :

Cas d'*Autranella congolensis* (De Wild). A. Chev., de  
*Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild) J. Léonard et « *Drypetes likwa*  
(J. Léonard. nomen) »



PAR

Ir. EBUY ALI PADE Jérôme

**Mémoire**

Présenté et défendu en vue de l'obtention de Diplôme  
d'Etudes Approfondies en Gestion de la Biodiversité et  
Aménagement Forestier Durable

Promoteur : **Prof. Dr. Ir. LOKOMBE D (ISEA)**

Co-promoteurs : **Prof. Dr. Ir. QUENTIN P (UCL)**

**Dr. SONWA D (CIFOR)**

**Dr. Ir. PICARD N (CIRAD)**

ANNEE ACADEMIQUE 2008-2009

## **DEDICACE**

A Jéhovah mon Dieu

Pour la vie

A mes parents :

Père : Alphonse EBUY ;

Mère : Anne Marie NANVA ;

Pour leurs affections.

Je dédie ce travail.

“Eh bien, voyez : sur la rive du torrent

Il y avait des arbres très nombreux,

De ce côté-ci et de ce côté-là”.

Ezékiel 47 :7



## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous voulons bien remercier d'abord tous ceux qui nous ont aidés à son élaboration. Nos remerciements vont particulièrement au Professeur Dr. Ir. LOKOMBE DIMANDJA qui a bien voulu accepter la direction malgré ses multiples occupations.

Nous remercions également le Professeur Dr. Ir. Quentin PONETTE pour l'initiative et conseils pratiques et sa contribution en tant que Co-promoteur du présent travail.

Nous ne pouvons pas nous permettre d'oublier le Dr. PICARD et le Dr. SONWA respectivement co-promoteurs pour les conseils et le suivi envi de l'aboutissement du présent travail.

Je remercie très sincèrement les autorités REAFOR composante forestière basés à Kisangani, ses excellences : Professeur NDJELE et Professeur MATE respectivement coordonateurs pour la lourde responsabilité qu'ils ont portée pour notre formation. Je garde des bons souvenirs au Professeur MATE pour des conseils au quotidien ; il a pesé de tout son poids la bonne tenue de notre formation.

Nous témoignons notre reconnaissance aux initiateurs du projet REAFOR, notamment l'Union Européenne par le biais de CIFOR : le Dr. NASI et le Professeur LEJOLY pour avoir pensés à la République Démocratique du Congo et, nous espérons qu'ils ne cesseront de conjuguer leurs efforts pour soutenir les enseignements en R.D.Congo.

Qu'il nous soit permis d'exprimer nos reconnaissances à nos collègues : ASSUMANI ANGBONDA Dieu Merci pour son attachement et à tout les autres : Thierry KAHINDO, Faustin MBAYU, Papi MBANDANO, Cyril TSHIMPANGA, Janvier LISINGO, Roger KATUSI, Delphin KUPUPULA, Ernest TAMBWE, Florent KANGWEDJA, Benoît MUKENDI, Alphonse SOMUE, Jean Paul SHAUMBA, Alphonse BIYE, Henri BADJOKO, Jule MITASHI ; Alide KIDIMBU ; Freddy MASHEKA ; MASYALA ; YENGA ; OLONGA ; Jack KAYISU ; TALINABUPATO ; NDJAKI ; MAHAMBA ; Samuel II BEGAA ; Victor KANGELA ; LORIS LUKENS... pour la synergie, l'esprit d'équipe et de collaboration durant toute la période de notre formation.

Nous ne pouvons pas terminer sans pour autant nos parents Alphonse EBUY et Anne Marie NANVA ainsi que tout mes frère : Fulbert ADIPATENGE, Bienvenu MANGOLA, Emmanuel MIMOLOKWAE, Mattieu MANZO et mes deux Sœurs Mamy NAKWALE et Antoinette ENKA-EBUY. Nos remerciements vont par-dessus tout à Jéhovah notre Dieu et à son Fils Jésus christ notre seigneur.

## RESUME

Les forêts tropicales, qui couvrent près de 2 milliards d'ha de la surface du globe (dont 20 % se situent dans le bassin du Congo), offrent potentiellement d'extraordinaires possibilités de contribuer à l'atténuation des changements climatiques et à la mise en place de mesures d'adaptation. Grâce à la photosynthèse, les arbres absorbent le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère pour en détacher le carbone et le fixer dans sa matière organique dont il est le constituant de base. Ils libèrent ensuite dans l'atmosphère l'oxygène restant. Le stock de carbone dans les plantations ne serait-il pas différent selon les espèces étudiées, la densité des plantations, leur âge, les modes de plantation, et selon qu'elles sont été gérées ou non ? Le choix des espèces a porté essentiellement sur le fait qu'elles n'ont jamais fait l'objet d'une étude dans le cadre des estimations du stockage de carbone dans notre pays. Notre étude a été réalisée dans la région de Yangambi, un territoire situé à 100 km à l'ouest de la ville de Kisangani dans le centre de recherche de l'I.N.E.R.A (Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques. ce travail a été rendu possible grâce à une équipe composée de vingt personnes. Nous avons utilisé la méthode directe qui donne des résultats précis et fiable (méthode destructive). Douze arbres modèles ont été abattus au moins un arbre par parcelle permanente, compartimentant la biomasse aérienne par catégories : fruit, feuille, rameau, branche (houppier) ; tronc (fût), et écorce (différentes parties concernées) ; et prélevés les échantillons destinés au laboratoire (peser en état vert et sécher, puis repesé). L'échantillon du bois était séché à la température de 105°C et l'échantillon de feuille était séché avec plus d'attention à 70°C. Nous avons obtenu les résultats ci-après : cas d'*Autranella congolensis* 373,9 tonnes à l'hectare carbone (70 ans) ; *Gilbertiodendron dewevrei* 229,3 tonnes carbone à l'hectare (70ans) et *Drypetes likwa* 113,3 tonnes carbone à l'hectare. Les densités moyennes des espèces (densité du bois) : 0,71 pour *Autranella congolensis* ; 0,63 pour *Gilbertiodendron dewevrei* et pour *Drypetes likwa* 0,41. Le modèle de Chave 2005 (modèle 2) correspond à notre à notre modèle ajusté, ce qui nous a permis de valider ou d'infirmer nos hypothèses du départ selon lesquelles : l'âge de plantations ; la densité de plantations ; les modes de gestion ont influencés différemment les stockages de carbone dans les plantations. Donc, le stockage de carbone est fonction d'espèces ; de leurs densités et surtout de leurs âges.

## ABSTRACT

The tropical forests, that covers close to 2 billion with hectare (ha) of the surface of the globe (of which 20 % are located in the basin of Congo) (Greenpeace, 2008), offer extraordinary possibilities potentially to contribute to the attenuation of the climatic changes and the setting ref of adaptation measures. Thanks to the photosynthesis the trees arbores the CO<sub>2</sub> of the atmosphere to detach the carbon of it and to fix it in its organic matter of which it is the constituent of basic. They free follows in the atmosphere the remaining oxygen. Would not the stock of carbon in the plantations be it not different according to the studied species, the density of the plantations, their age, the fashions g plantation, and depending on whether they are been managed or no? The choice of the species essentially carried on made it that they were never the subject of a survey in the setting of the evaluations of the carbon storage in the region of Yangambi, a territory situated to 100 km in the west of the city of Kisangani in the center of research of the I.N.E.R.A (National Institute for the survey and Research Agronomic). This work has been made possible thanks to a team composed of twenty people or persons. We used the direct method that give some results precise and reliable (destructive method). Twelve tree models were directed at least a tree by permanent parcel, to compartmentalize the aerial biomass by categories. Fruit, leaf, branch, (happier); trunk (stock) , and peel (concerned different parts); and appropriated the samples destined to the laboratory (to weigh in Oren state and to dry, then weigh once again). The simple of wood was dried to the temperature of 105°C and the sample of leaf was dried with more of attention to 70°C. We got the results below: case of *Autranella congolensis* 373, 9 tons to the hectare carbon (70 years), *Gilbertiodendron dewevrei* 229,3 frons carbon to the hectare (70 years) and *Drypetes likwa* 113,3 tons carbon to the hectare . The overage density of species: 0, 71 for *Autranella congolensis*, 0, 63 for *Gilbertiodendron dewevrei* and *Drypetes likwa*: 0, 41. The model of Chave 2005 (model to) corresponds to our adjusted model, what permitted us of validated or of invalidated our hypothesis of the departure according to which: the age of plantations; the density of plantations; the fashions of management influenced the storages of carbon differently in the plantations. Therefore, the storages of the carbon are function of species; of their densities and especially of theirs ages.

## ACRONYME.

BA	: Biomasse aérienne ;
C	: Carbone ;
CATIE	: Centre de Recherche et d'Enseignement en Agronomie Tropicale ( <i>Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza</i> ) ;
CCNUCC	: Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (ou UNFCCC pour <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> ) ;
CGCM	: Modèle de circulation général canadien ( <i>Canadian General Circulation Model</i> ) ;
CH <sub>4</sub>	: Méthane ;
CO <sub>2</sub>	: Dioxyde de carbone ;
Ct	: Tonne carbone ;
CGT	: Carbone giga tonne ;
CONE	: Morceau du tronc d'arbre abattu (une partie du fût) ;
DHP	: Diamètre à hauteur de poitrine (130 cm) ;
GES	: Gaz à effet de serre (soit CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFC, PFC et SF <sub>6</sub> ) ;
GIEC	: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (ou IPCC pour <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> ) ;
HA	: Hectare ;
KG	: Kilogramme,
MDP	: Mécanisme pour un développement propre (ou CDM pour <i>Clean Development Mechanism</i> ) ;
MRV	: Mesure, Rapportage et vérification, (dans le cadre de la participation au processus REDD destiné aux pays forestiers) ;
N/SUPER	: Densité (effectif d'arbres par surface considérée des plantations) ;
N <sub>2</sub> O	: Oxyde nitreux ;
PA	: Parcelle abandonnée ;
PED	: Pays en développement ;
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement (ou UNEP pour <i>United Nations Environment Program</i> ) ;
PPE	: Parcelle permanente d'échantillonnage ;
REDD	: Réduction des émissions liées à la Déforestation et à la Dégradation des forêts ;
SAF	: Système agro forestier ;
URCE	: Unité de réduction certifiée des émissions (générée par l'intermédiaire du MDP) (ou CER pour <i>Certified Emission Reductions</i> ) ;

---

## TABLE DES MATIERES

DEDICACE	
REMERCIEMENTS	
RESUME	
ABSTRACT	
ACRONYME	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>1. PROBLEMATIQUE</b> .....	<b>1</b>
<b>0.2. HYPOTHESES DU TRAVAIL</b> .....	<b>7</b>
<b>0.3. OBJECTIFS ET INTERET DU TRAVAIL</b> .....	<b>7</b>
0.3.1. OBJECTIF GENERAL .....	7
0.3.2. OBJECTIFS SPECIFIQUES.....	7
0.3.3. INTERET DU TRAVAIL .....	7
<b>CHAPITRE PREMIER : GENERALITES</b> .....	<b>9</b>
<b>I.1.CARACTERISATION DU MILIEU</b> .....	<b>9</b>
I.1.1. GENERALITES SUR LES FORETS DE LA RDC .....	9
I.1.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE .....	9
I.1.3. ZONES CLIMATIQUES ET VEGETATIONS APPARENTEES .....	10
I.1.3. PRINCIPAUX TYPES DE SOLS.....	13
I.1.3.1. Sols ferralitiques .....	13
I.1.3.2. Sols récents .....	15
<b>I.2. STRUCTURE DU CENTRE-YANGAMBI</b> .....	<b>16</b>
I.2.1. SITUATION GENERALE, HISTORIQUE ET CONCESSIONS DE L'INERA .....	16
I.2.2. CLIMAT ET VEGETATION .....	19
I.2.2.1. Températures .....	19
I.2.2.2. Précipitations .....	20
I.2.2.3. Humidité relative de l'air (%).....	21
<b>I.3. REVUE DE LA LITTERATURE</b> .....	<b>22</b>

I.3.1. GENERALITES SUR LES PLANTATIONS .....	22
I.3.2. LES PLANTATIONS FORESTIERES TROPICALES, OBJETS DE FORTES CONTROVERSES UN DEBAT ANCIEN, RELANCE PAR L'INCLUSION DES PLANTATIONS TROPICALES DANS LE MDP.....	22
I.3.3. QUELLES SONT LES CRITIQUES DES PLANTATIONS ?.....	23
I.3.4. SUPERFICIES ACTUELLES DE PLANTATIONS .....	24
I.3.5. PRODUCTION .....	25
I.3.6. LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES .....	28
I.3.7. LE PROTOCOLE DE KYOTO .....	31
I.3.8. FONCTIONNEMENT DU MECANISME POUR UN DEVELOPPEMENT PROPRE ET COMMERCE DU CARBONE .....	32
I.3.9. SYSTEMES FORESTIERS.....	35
I.3.10. LA DYNAMIQUE DU CARBONE DANS LES SYSTEMES AGROFORESTIERS TROPICAUX .....	37
<b>I.4. DESCRIPTION DES ESPECES ETUDIEES.....</b>	<b>39</b>
I.4.1. <i>Aufranella congolensis</i> .....	39
I.4.2. <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> .....	40
I.4.3. <i>Drypetes likwa</i> J. Léonard. Nomen. ....	42
<b>CHAPITRE DEUXIEME : MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>43</b>
<b>II.1. MATEREIL.....</b>	<b>43</b>
II.1.1. MATERIEL BIOLOGIQUE.....	43
II.1.2. MATERIEL NON BIOLOGIQUE.....	43
<b>II.2. METHODE DE TRAVAIL.....</b>	<b>45</b>
II.2.1. METHODES DE PLANTATIONS .....	45
II .2.1.1. Plantation d'enrichissement .....	45
II.2.1.2. La méthode des layons .....	46
II.2.1.4. La Méthode de Blanc étoc.....	47
II.2.1.5. Méthode de plateau dense.....	48
II.2.2. Méthode de travail sur le terrain .....	48
II.2.2.1. Méthode directe.....	49
II.2.2.1.1. Mesure de carbone.....	49
<b>II.2.2.1.2 Dispositif expérimental .....</b>	<b>50</b>
II.2.2.1.3 Sondage de reconnaissance .....	50
II.2.2.1.4. Délimitation des parcelles, mesure des paramètres, et équipe .....	50

<b>II.2.2.1.5. Equipe de travail</b> .....	52
II.2.3. PARAMETRES D'ETUDE .....	56
II.2.3.1. Paramètres non mesurés .....	56
II.2.3.2. Paramètres mesurés .....	56
II.2.3.3. Détermination de l'arbre moyen .....	58
II.2.3.4. Abattage des arbres sélectionnés .....	60
II.2.3.5. Quantification de la biomasse fraîche des arbres abattus .....	61
II.2.3.6. Séchage de matériel (Laboratoire) .....	63
II.2.4. COMPILATION DES DONNEES .....	64
II.2.5. ANALYSE STATISTIQUE .....	65
<b>II.3. DEFINITION DES CONCEPTS</b> .....	<b>66</b>
II.3.1. AFFORESTATION .....	66
II.3.2. ATTENUATION .....	66
II.3.3. BOISEMENT .....	66
II.3.4. CHLOROFLUOROCARBURES (CFC) .....	66
II.3.5. DIOXYDE DE CARBONE .....	67
II.3.6. DEFORESTATION .....	67
II.3.7. LES CYCLES DU CARBONE ET DE L'OXYGENE .....	67
II.3.8. MARCHE CARBONE .....	68
II.3.9. CAPTURE ET STOCKAGE DE CARBONE .....	68
II.3.10. CREDIT CARBONE .....	68
II.3.11. BILAN CARBONE .....	69
II.3.12. PHOTOSYNTHESE .....	69
<b>CHAPITRE TROISIEME : RESULTATS</b> .....	<b>70</b>
<b>III.1. STRUCTURES DIAMETRIQUES DES PLANTATIONS ETUDIEES</b> .....	<b>70</b>
<b>A/ LES STRUCTURES DES PLANTATIONS DE : <i>Autranella congolensis</i> et <i>Drypetes</i></b> <b>    <i>likwa</i></b> .....	<b>70</b>
<b>B/ LES STRUCTURES DES PLANTATIONS DE : <i>Gilbertiodendron dewevrei</i></b> .....	<b>71</b>
III.1.1. LES ARBRES MODELES ET LEURS CARACTERISTIQUES DENDROMETRIQUES .....	72
III.1.2. LES VALEURS MOYENNES DES ACCROISSEMENTS (AGES MOYENS : DHP, H.T). .....	73
III.1.3. ESTIMATION DE LA DENSITE DU BOIS PRELEVEE A DIFFERENTS NIVEAUX DU TRONC (FUT) DES ARBRES MODELES. ....	74



<b>III.2. BIOMASSES SECHES ESTIMEES DANS LES PLANTATIONS DE P'INERA/YANGAMBI. ....</b>	<b>77</b>
<b>III.3. ESTIMATION DU STOCKAGE DE CARBONE DANS LES PLANTATIONS ETUDIEES. ....</b>	<b>78</b>
III.3.1. ESTIMATION DU STOCKAGE DE CARBONE DANS LES PLANTATIONS CAS DE : ( <i>Austranella congolensis</i> ). ....	78
III.3.1.1. Arbres modèles (carbone exprimé en kg). ....	78
III.3.1.3. Extrapolation : Stockage de carbone (tonne à l'hectare). ....	80
III.3.1.4. Estimation du stockage de carbone dans les plantations de mêmes âges. ....	81
III.3.1.4.1. Deux plantations de mêmes âges et mêmes conditions de gestion. ....	81
III.3.1.4.2. Arbres moyens (60 ans). ....	81
<b>III.3.1.4.3. Extrapolation à l'hectare du stockage de carbone dans les plantations de même âge (Ct/ha).....</b>	<b>81</b>
<b>III.3.1.4.3. Deux plantations de même âge (68 ans), de différentes modes de gestion .....</b>	<b>82</b>
III.3.2. ESTIMATION DU STOCKAGE DE CARBONE DANS LES PLANTATIONS CAS DE <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> . ....	83
III.3.2.1. Arbres modèles (carbone exprimé en kg). ....	83
III.3.2.2. Superficies des plantations : densités actuelles.....	84
III.3.2.3. Extrapolation : Carbone tonne à l'hectare. ....	84
III.3.2.3. Estimation du stockage de carbone dans les plantations de même âge. ....	85
III.3.2.3.1. Deux plantations de même âge et même condition de gestion. ....	85
<b>III.4. ESTIMATION DU STOCKAGE DE CARBONE CAS DE : (<i>Drypetes likwa</i>). ....</b>	<b>87</b>
III.4.1. ARBRES MODELES (carbone exprimé ne kg).....	87
III.4.2. SUPERFICIES : DENSITES ACTUELLES DE LA PLANTATION.....	87
III.4.3. EXTRAPOLATION : CARBONE TONNE A L'HECTARE.....	88
<b>III.5. COMPARAISON DU STOCKAGE DE CARBONE ENTRE LES DIFFERENTES ESPECES ETUDIEES .....</b>	<b>89</b>
III.5.1. COMPARAISON DES ESTIMATIONS CAS DE : <i>Austranella congolensis</i> et <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> .....	89
III.5.1.1. ESTIMATION DU STOCKAGE (carbone exprimé en kg).....	89
III.5.2. <i>Austranella congolensis</i> , <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> et <i>Drypetes likwa</i> .....	90
III.5.2.1. Arbres modèles (Ages rapprochés « kg »).....	90
III.5.2.2. Extrapolation : Carbone giga gramme à l'hectare. ....	90

<b>III.7. ANALYSES STATISTIQUES.....</b>	<b>91</b>
<b>III.8. LE TARIF DE LA BIOMASSE .....</b>	<b>93</b>
<b>CHAPITRE QUATRE : DISCUSSION DES RESULTATS .....</b>	<b>94</b>
<b>IV.1. DISCUSSION DES RESULTATS .....</b>	<b>94</b>
IV.1.1. ESTIMATION DU STOCKAGE DE CARBONE DANS LES PLANTATIONS .	94
IV.1.2. COMPARAISON DU STOCKAGE DE CARBONE AVEC D'AUTRES TYPES DE.....	97
<b>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>102</b>
<b>A.CONCLUSIONS.....</b>	<b>102</b>
<b>B. RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>103</b>
<b>PERSPECTIVE D'AVENIR.....</b>	<b>105</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>106</b>
<b>LES ANNEXES</b>	
<b>TABLE DES MATIERES</b>	

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Carbone séquestré.....	37
Tableau 2 : Les propriétés physiques d' <i>Autranella congolensis</i> .....	39
Tableau 3 : Les propriétés physiques de <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> .....	41
Tableau 4 : Liste de matériaux standards pour la prise des mesures sur le terrain.....	44
Tableau 5 : Description de différentes plantations délimitées et étudiées.....	51
Tableau 6 : Les caractéristiques dendrométriques des arbres modèles. ....	72
Tableau 7 : Valeurs moyennes des accroissements annuel moyens (hauteur, diamètre). ....	73
Tableau 8 : Densités du bois (rondelles) .....	74
Tableau 9 : Les valeurs moyennes des densités en fonction des espèces étudiées à Yangambi .....	75
Tableau 10 : Les valeurs moyenne de poids exprimées g perdus (humidité) après séchage (espèces : plantations) par 1kg d'échantillon.....	75
Tableau 11 : Le pourcentage en perte après séchage .....	76
Tableau 12 : Donne les résultats des biomasses de différentes plantations étudiées (AAM/ha) .....	77
Tableau 13 : Comparaison des plantations de <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> de même âge.....	94
Tableau 14 : Comparaison des plantations d' <i>Autanella congolensis</i> de même âge .....	95
Tableau 15 : Comparaison des trois espèces étudiées (plantations étudiées).....	96
Tableau 16 : Comparaison de plantions et autres types des forêts .....	98
Tableau 17 : Comparaison des résultats avec d'autres systèmes étudiés .....	98
Tableau 18 : Résultats des analyses statistiques (régression) modèles ajustés .....	99
Tableau 19 : Comparaison des biomasses avec d'autres forêts avec la présente étude (biomasse aérienne tonne/ha).....	100
Tableau 20 : Comparaison des résultats avec ceux d'autres systèmes.....	101

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : La RDC et ses pays limitrophes. Source: Raemaekers, 2001.....	10
Figure 2 : Yangambi et les limites approximatives des zones climatiques de la RDC selon les critères de Koppen. Source: Bultot, 1977. ....	11
Figure 3 : Yangambi et les couvertures végétales de la RDC. Source: Fahem, 1978 in Kombele, 2005.....	13
Figure 4. Yangambi et les sols récents et ferrallitiques de la RDC. Source: Fahem, 1978, in Kombele, 2005.....	16
Figure 5 : Localisation du site d'étude.....	18
Figure 6 : Températures (°C) de 2000-2008 à Yangambi.....	19
Figure 7 et 8 : De gauche à droite montrant les Précipitations (mm) et les jours de pluies à Yangambi de 2000-2008.....	20
Figure 9 : Moyennes mensuelles à 6, 15 et 18 heures et globales de l'humidité relative de l'air (%) de 2000-2008 à Yangambi. ....	21
Figure 10 : Le projet de reboisement au Congo Brazzaville financé par l'Etat.....	26
Figure 11 : La déforestation modifie le cycle naturel du carbone (pression anthropique).....	28
Figure 12 : Courbes des températures des deux derniers millénaires, selon diverses études. .	29
Figure 13 : Contribution relative des émissions canadiennes des gaz à effet de serre de 2001 au réchauffement planétaire.....	31
Figure 14 : L'absence d'étude des estimations du stockage de carbone impliquant la méthode directe. ....	36
Figure 15 : Plantation d' <i>Autranella congolensis</i> / Yangambi.....	40
Figure 16, 17, 18, 19 : Plantation de <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> (Yangambi).....	41
Figure 20 : Mesure carbone sur le terrain et le satellite (paysage).....	49
Figure 21 : Dispositif expérimental.....	54
Figure 22 : 3 Points de mesure(DHP).....	57
Figure 23 : Illustration (Effet de bordure).....	58
Figure 24 : Biomasse aérienne d'un arbre modèle.....	60
Figure 25 : Les rondelles prélevées à différents niveaux du tronc d'arbre modèle (fût). ....	61
Figure 26 : Arbre couché divisé en cônes <i>Autranella congolensis</i> INERA/Yangambi.....	62
Figure 27 : Séchage des échantillons au laboratoire/ YANGAMBI.....	63
Figure 28 : Présente les valeurs moyennes de DHP observées dans les plantations étudiées (Yangambi). ....	70

Figure 29 : Structures diamétriques des plantations de <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> à Yangambi .....	71
Figure 30 : Estimation du stockage de carbone dans les six plantations d' <i>Austranella congolensis</i> (Arbres modèles/ Ages : kg). .....	78
Figure 31 : Estimation du stockage de carbone dans différentes plantations (Superficies : Ct/Ages) .....	79
Figure 32 : Estimation du stockage de carbone dans les six plantations d' <i>Austranella congolensis</i> (extrapolation). .....	80
Figure 33 : Estimation du stockage de carbone(kg) arbres modèles.....	81
Figure 34 : Deux plantations du même âge et de même mode de gestion de gestion (Ct/HA : Age : 60 ans) .....	82
Figure 35 : Deux plantations du même âge, mais différentes de par leur mode de gestion. ....	82
Figure 36 : Estimation du stockage de carbone dans les cinq plantations de <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> (Arbres modèles/ Ages). .....	83
Figure 37 : Estimation du stockage de carbone dans différentes plantations (Superficies : Ct/Ages). .....	84
Figure 38 : Estimation du stockage de carbone dans les cinq plantations de <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> (extrapolation à l'hectare). .....	85
Figure 39 : Deux plantations du même âge et de même mode de gestion (Ct/HA : Age) .....	85
Figure 40 : Deux plantations du même âge mais différentes par leurs densités .....	86
Figure 41 : Estimation du stockage de carbone dans la plantation de <i>Drypetes likwa</i> (Arbres modèles/ Ages : kg). .....	87
Figure 42 : Estimation du stockage de carbone dans la Plantation à <i>Drypetes likwa</i> (Superficies : Ct/Ages). .....	87
Figure 43 : Estimation du stockage de carbone dans la plantation à <i>Drypetes likwa</i> (extrapolation). .....	88
Figure 44 : Comparaison entre deux espèces <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> et <i>Austranella congolensis</i> (même âge : 70 ans). .....	89
Figure 45 : Comparaison des estimations du stockage de carbone dans les plantations de trois espèces étudiées (Ages rapprochés). .....	90
Figure 46 : Comparaison inter-espèces du stockage de carbone (âges rapprochés) .....	91
Figure 47 : Les trois modèles d'ajustement (Chave et al., 2005). .....	92

# INTRODUCTION

## 1. PROBLEMATIQUE

Les forêts tropicales, qui couvrent près de 2 milliards d'hectares de la surface du globe (dont 20 % se situent dans le bassin du Congo), offrent potentiellement d'extraordinaires possibilités de contribuer à l'atténuation des changements climatiques et à la mise en place de mesures d'adaptation.

L'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère est maintenant reconnu pour être la principale cause des changements climatiques qui, selon plusieurs études, se traduiront par une augmentation de la température terrestre et de la fréquence d'événements météorologiques extrêmes, ainsi que par une élévation du niveau des Océans (Boer et al, 2000).

Afin de diminuer les coûts des engagements des pays industrialisés, le protocole de Kyoto s'est doté d'un mécanisme de flexibilité appelé mécanisme de développement propre (MDP), permettant d'instaurer un marché mondial du carbone (CCNUCC, 2005).

Cette réalité entraîne un intérêt grandissant pour les projets de séquestration du carbone basée sur des espèces ligneuses qui emmagasinent dans leur biomasse, via la photosynthèse, une quantité considérable de cet élément (Montagnini et Nair, 2004). Bien que les émissions dues à la combustion de combustibles fossiles soient les principales causes du réchauffement climatique, la déforestation tropicale est responsable de 20 à 25 pour cent des émissions annuelles mondiales de dioxyde de carbone (GIEC, 2000).

Mais, selon Denman, (2007) ; cette tendance a diminué lorsqu'il a démontré que la déforestation et la dégradation des forêts causent actuellement des émissions annuelles mondiales de gaz à effet de serre de l'ordre de 17,3 %. Pourtant, le protocole de Kyoto n'a pas adopté de mécanisme pour faire de la conservation des forêts tropicales ou de la prévention de la déforestation une arme dans la lutte contre le changement climatique.

L'accord de Kyoto a établi un objectif contraignant pour les pays industrialisés (annexe1), qui sont tenus de réduire les gaz à effet de serre de 5 pour cent par rapport au niveau de 1990, au cours de la première période d'engagement (2008-2012).

Cet objectif est conforme au principe de responsabilité commune mais différenciée, en vertu duquel les pollueurs historiques de l'atmosphère devraient être les premiers à réduire leurs émissions. Bien que les pays en développement (non annexe 1) aient pris l'engagement général de réduire leurs émissions durant la première période d'engagement, leur obligation n'a pas été quantifiée (Moutinho, et al, 2005). Pour compléter ces engagements, le Protocole de Kyoto a établi des mécanismes de marchés flexibles (UNFCCC, 1997) dont le Mécanisme de Développement Propre (MDP).

La mise en œuvre du « mécanisme de développement propre » issu des négociations relatives à la convention cadre sur le changement climatique adoptée à Kyoto permet à des pays ou entreprises du Nord de bénéficier de « crédits d'émission de CO<sub>2</sub> » en investissant dans des actions de plantations forestières ou dans les filières de transformation (sciage, énergie...) de pays et d'entreprises du Sud, si cela permet de séquestrer du carbone dans les forêts ou de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans les filières.

Ces enjeux liés au carbone vont devoir être analysés de près dans les années à venir, afin que les pays et entreprises du bassin du Congo puissent bénéficier de ces opportunités et se montrer compétitifs par rapport à d'autres régions du monde. Il sera particulièrement important de faire en sorte que les projets qui sont proposés et qui peuvent être éligibles apportent une véritable valeur ajoutée sociale, économique et environnementale aux pays et populations concernés (Marien et al. 1992)

Les puits de carbone terrestres sont éligibles en temps que MDP. Les pays en développement peuvent néanmoins contribuer à la stabilisation du climat en participant au mécanisme pour un développement propre (MDP) à la fois comme partenaire et comme hôtes. Au titre de ce mécanisme, les pays de l'annexe 1 peuvent obtenir des crédits d'émission en finançant, dans les pays en développement, des projets de développement durable qui réduisent les émissions ou fixent le carbone dans les forêts.

Cependant, bien que le MDP autorise les projets basés sur l'énergie renouvelable (par exemple, les projets qui remplacent les combustibles fossiles par des sources d'énergie renouvelable, telles que la dendroénergie), les activités autorisées dans le secteur de l'utilisation des terres pour fixer le carbone atmosphérique sont les reboisements (plantation de forêt dans des zones qui ne portaient pas de forêt avant 1990) et les boisements (plantation de forêts dans des zones dépourvues de végétation forestière depuis au moins 50 ans).



Bien que cette question fasse l'objet d'un débat international, les projets de conservation de forêts sont exclus du MDP pour cette raison essentielle : « éviter d'affaiblir les objectifs de réduction par tous les puits » c'est ainsi que tout les partenaires (ONG, les gouvernements et les scientifiques s'y étaient opposés, et leur motivation étaient que : les mesures de conservation des forêts seraient sans effets positifs pour l'atmosphère (Fearnside, 2001).

La permanence du carbone dans les forêts qui certes, reste relativement incertaine étant donné que les forêts peuvent être coupées, brûlées et exploitées et le risque de fuite est élevé (possibilité de conserver la forêt dans une zone, tout en encourageant la déforestation dans une autre zone). Cette opposition à inclure de la prévention de la déforestation ou de la conservation des forêts dans le MDP était en partie alimentée par le manque d'attention pour la fonction effective et potentielle des forêts tropicales existantes, comme sources d'émissions de carbone et de gaz à l'état de traces, en cas de déforestation et de changement d'affectation des terres.

Le dialogue politique était plutôt centré sur les plantations de forêts comme « puits » propres à absorber le carbone de l'atmosphère pour compenser les émissions excessives, alors que le rôle des forêts naturelles tropicales existantes dans la stabilisation du système climatique mondial était ignoré. Par contre, dans son article pourquoi ignorer la déforestation tropicale ? Moutinho (op cit) a avancé un argument de taille, démontrant que les pays tropicaux qui ont des vastes étendues des forêts constituent une « matrice d'énergie propre » (c'est-à-dire des nombreuses sources d'énergie renouvelable et une faible utilisation des combustibles fossiles).

Pour cette dernière raison ajoutons que le Protocole de Kyoto doit mettre au point d'autres mécanismes plus appropriés que le MDP pour tenir compte des profils d'émission des pays tropicaux en développement confrontés à une déforestation massive. Dans ce contexte, on estime que d'ici 2050, la déforestation en République Démocratique du Congo (R.D.C) pourrait libérer jusqu'à 34,4 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit à peu près l'équivalent des émissions de CO<sub>2</sub> du Royaume-Uni au cours de soixante dernières années.

La R.D.C risque de perdre plus de 40% de ses forêts, les infrastructures de transport comme les pistes d'exploitation forestière représentant des facteurs déterminants. L'aménagement de ces pistes produit des émissions supplémentaires de CO<sub>2</sub> qui accentuent l'instabilité du climat.

On a parlé du réchauffement climatique comme de la plus grave menace pesant sur l'humanité. Ce qui inquiète les chercheurs, c'est de penser que nous avons déclenché une succession lente mais inexorable de changements. Beaucoup pensent que le réchauffement de la planète est essentiellement dû à l'activité humaine, et qu'il pourrait avoir des conséquences catastrophiques sur le climat et l'environnement. Ainsi, la fonte massive de calottes glacières et la dilatation des océans sous l'effet du réchauffement de l'eau pourraient provoquer une montée phénoménale du niveau des mers.

Les îles de basse altitude telles que celles de Tuvalu seraient rayées de la carte, tout comme des portions entières des Pays-Bas et de la Floride pour ne citer que ces deux autres cas. Des millions de personnes seraient délogées de territoires comme Shanghai, Calcutta et différents endroits du monde du Bangladesh. Parallèlement l'élévation des températures pourrait amplifier les tempêtes, les inondations et les sécheresses.

La disparition des glaciers himalayens, qui alimentent sept réseaux fluviaux, pourrait entraîner une pénurie d'eau douce pour 40 % de la population mondiale. Sont également en dangers des milliers d'espèces animales, comme les Ours polaires, dont le principal terrain de chasse c'est la glace. L'élévation des températures pourrait favoriser également la propagation de maladies en permettant aux moustiques, aux tiques et à d'autres organismes vecteurs, comme des champignons, d'atteindre de nouvelles régions.

En Afrique, comme partout ailleurs, le changement climatique affecte déjà le rythme saisonnier, occasionne les chablis dans la plupart d'écosystèmes forestiers et favoriserait les déplacements des populations du nord vers le centre (phénomène Mbororo en R.D.C) à la recherche de pâturage et de l'eau.

La forêt, et par elle le climat, ou tout simplement la nature a des lois que l'homme doit respecter, parce qu'elles le dépassent. Tout déséquilibre sera payé tôt ou tard par les générations actuelles ou futures. Un développement responsable, mais pas durable, s'impose de lui-même dans le 21<sup>ème</sup> siècle. L'environnemental, le social et l'économique doivent se conjuguer ensemble et en harmonie, principe que les Nations Unies prônent depuis une décennie, afin de sauver la planète ! Ce mécanisme vertueux, qui veut que l'on réponde aux besoins du présent sans compromettre l'héritage des générations futures, est la définition que BRUNTLAND a donnée au développement durable en 1987.

La forêt et le changement climatique occupent une part très importante dans ce mécanisme de développement soutenable. Comme pour tous les malheurs ou presque, l'Afrique est une fois encore le continent le plus vulnérable et le moins préparé. «*L'Afrique sera la plus durement frappée*», avertit le Dr Anthony Nyong du programme *Climat Change adaptation Afrique*. Pour le Dr Nyong, les effets du mauvais climat vont se greffer à la liste des maux qui sévissent, déjà, sur le continent (guerre, famine, maladie).

Le changement climatique modifiera l'écoulement et le partage des ressources de base d'un grand nombre de personnes, le plus vulnérable, et perturbera également les activités économiques régionales.

Avec les changements climatiques annoncés, les pays africains devront faire face aux inondations plus fréquentes. Pour les scientifiques, le cas de l'Afrique est d'autant plus inquiétant que son écosystème est vital pour la survie de ses populations. Plus de 70% des Africains comptent sur leur milieu naturel pour se nourrir ou se soigner. L'économie du continent est également menacée car elle est essentiellement basée sur une production primaire sans valeur ajoutée significative, comme les mines et l'agriculture. C'est cet équilibre que va briser le changement climatique. Selon les mêmes prévisions, les villes africaines telles que Dakar ou d'autres, encore plus importantes, situées sur les côtes, risquent de se transformer en marécages avec la montée du niveau de la mer. Des *réfugiés climatiques* feront leur apparition sur le continent. Selon les estimations d'une ONG *Tearfund*, la Terre compte déjà 25 millions de personnes forcées par les caprices du climat à quitter leur habitat. Les dangers que représente le changement climatique sont presque aussi terrifiants que ceux que représentent les armes nucléaires.

Citons d'abord le grand problème du changement global des climats. Les forêts, après l'océan, sont vraisemblablement les principaux puits de dioxyde de carbone. Or, nous l'avions noté, le gaz produit par l'utilisation des combustibles fossiles est l'une des causes du réchauffement de notre planète (avec d'autres gaz, tels que le méthane).

Le carbone est présent dans notre environnement sous diverses formes et à de nombreux endroits qui constituent autant des stocks de carbone (océans, biomasse, atmosphère, roches) ; l'augmentation annuelle nette de carbone dans l'atmosphère est de l'ordre de +3300 millions de tonne de carbone. Cette augmentation est essentiellement due au recours systématique aux combustibles fossiles (DFAYS E., 2000) (de l'ordre de 80 %) mais également à la destruction des forêts tropicales et subtropicales.

Grâce à la photosynthèse, les arbres absorbent le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère pour en détacher le carbone et le fixer dans leur matière organique dont il est le constituant de base. Ils libèrent ensuite dans l'atmosphère l'oxygène restant.

Si elle n'est pas gérée, une forêt accumule le carbone jusqu'à un état d'équilibre aux environs de 165 tC/ha, la croissance annulant les pertes naturelles (Dewar et Cannell., 1992 in Schoene et al., 2005). Lorsque la forêt est gérée, le bois est récolté puis utilisé pour créer des produits bois à valeur ajoutée qui retiennent le carbone stocké. Il est permis de considérer pour dire les choses simplement, que des arbres sont plantés pour remplacer ceux récoltés, ce qui permet à la forêt de conserver son rôle de puits de carbone.

Les produits bois sont des stocks de carbone plutôt que des puits de carbone. Ils retiennent le carbone tout au long de leur cycle de vie : utilisation, réemploi et recyclage. Le carbone constitue environ 49% de la masse du bois (Defays ., op cit)

Le stock de carbone contenu dans les produits bois en Europe est estimé à quelques 60 millions de tonnes. Cette immobilisation du carbone dans les produits bois joue un rôle important dans l'atténuation des changements climatiques... (Frühwald., 2002)

En revanche, une augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique a aussi comme effet de stimuler les réactions photosynthétiques. Ce couplage rend la prédiction du climat futur de la terre fortement dépendant d'une modélisation détaillée des taux de fixation de CO<sub>2</sub> dans les forêts.

Bref, notre problématique s'articule autour des questions ci-après : quelle est la quantité de biomasse que peut fixer un hectare d'*Austranella congolensis* et *Gilbertiodendron dewevrei* à un âge donné ? Quelle est l'influence de l'âge sur l'accumulation de la biomasse dans ces plantations ? Y a-t-il une différence entre la quantité du carbone stockée par *Gilbertiodendron dewevrei* et *Austranella congolensis* à une même densité de plantation ? Quelles influences les interventions sylvicoles peuvent-elles avoir sur le stockage de carbone dans ces arbres ? Parmi les méthodes de plantation, laquelle a démontré son efficacité sur le stockage du carbone dans ces plantations ?

## 0.2. HYPOTHESES DU TRAVAIL

- Le stock du carbone serait fonction de l'espèce (*Autranella congolensis* ; *Gilbertiodendron dewevrei* et *Drypetes likwa*) et de l'âge des plantations ;
- Le stock du carbone serait différent selon que les plantations ont été gérées ou non (interventions sylvicoles) ;
- Le stockage du carbone de ces plantations (*Autanella congolensis* ; *Gilbertiodendron dewevrei* et *Drypetes likwa* serait fonction de leur densité ;
- Le stockage du carbone dans les plantations serait supérieur à celui des autres écosystèmes terrestres (forêt naturelle, système agro forestière).
- Le stock du carbone varie selon les méthodes de plantations (INERA/YANGAMBI) ;

## 0.3. OBJECTIFS ET INTERET DU TRAVAIL

### 0.3.1. OBJECTIF GENERAL.

Estimer la quantité de carbone stockée dans ces plantations d'âges différents (Yangambi).

### 0.3.2. OBJECTIFS SPECIFIQUES

- Estimer la biomasse fixée par ces différentes plantations ;
- Calculer la quantité totale du carbone stockée dans ces plantations selon leurs densités ;
- Connaître la quantité du carbone stockée par chaque essence étudiée en tenant compte de la superficie ;
- Comparer les fixations de carbone de ces essences différentes selon l'âge et les modes de gestions (interventions sylvicoles).

### 0.3.3. INTERET DU TRAVAIL

Les résultats escomptés pour ce mémoire pourront être utilisés pour inscrire les plantations de l'INERA /Yangambi dans le processus de REDD comme puits de carbone. Si possible, les revenus issus du marché carbone permettront d'offrir au pays et particulièrement à ce centre de recherche (INERA/ Yangambi) des incitations économiques. Ce travail ouvre la voie et constitue un fondement pour d'autres chercheurs qui, envisageront d'entreprendre des études ultérieures dans ce domaine.

#### 0.4. CHOIX DES ESPECES

Il existe sept réserves de carbone terrestre : les arbres au-dessus du sol, la végétation au-dessus du sol, les racines en sous-sol, les détritiques sur le plancher forestier, le bois mort, les sols, et les produits de bois à longue durée d'existence. Le choix des réserves à mesurer dépend de plusieurs facteurs, y compris des résultats attendus dans le taux de changement, son ampleur et sa direction, la disponibilité et la précision de méthodes pour quantifier le changement, et le coût de mesure.

Certainement, il est logique de mesurer et estimer les réserves de carbone des arbres vivants et de leurs racines pour tous les types d'activités : *les arbres sont faciles à mesurer et contiennent des quantités substantielles de carbone*. Au-dessus du sol, le couvert non ligneux mérite d'être mesuré s'il est une composante significative, comme dans l'absence d'arbres ou leur présence en faible densité. Les détritiques sur plancher des forêts et le bois mort ne sont pris en compte que pour les projets forestiers et n'ont d'importance réelle que dans les forêts matures. Le bois mort est composé d'arbres morts encore debout et d'arbres morts couchés.

Pour les projets où il s'agit des modifications de la gestion du bois, il faut donc estimer ces réserves car souvent elles diminuent au cours du temps. Par exemple, passer d'une récolte plus intensive à une récolte moins intensive va mener à une diminution de la réserve de bois mort (moins de bois est récolté et moins de résidu est laissé). Le carbone organique du sol est sujet à un lent rythme de changement et représente une réserve onéreuse à mesurer (Timothy et Brown., 2005). Dans le cas échéant, nous avons choisi les arbres comme notre réserve à mesurer. Les trois espèces étudiées ont été choisies sur base de leurs caractéristiques anatomiques et biologiques (bois non flottables, à biomasse considérable, croissance annuelle « moyen ») ; et aussi et surtout par ce que ces espèces étudiées n'ont jamais fait l'objet d'une étude dans le cadre des estimations du stockage de carbone en R.D.Congo.

## CHAPITRE PREMIER : GENERALITES

### I.1. CARACTERISATION DU MILIEU

#### I.1.1. GENERALITES SUR LES FORETS DE LA RDC

La République Démocratique du Congo compte plus de 135 millions d'hectares de forêts denses et humides réparties dans les Provinces du Bas Congo, du Bandundu, de l'Equateur, du Katanga, dans les deux Kasai et la Province Orientale. Les forêts de R.D.Congo présentent la diversité de formations végétales liées aux différentes zones climatiques qui traversent le pays (De Maret, 2000). Face à ces immenses potentialités, nous avons jugé utile de présenter les caractéristiques essentielles du milieu d'étude.

#### I.1.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La République Démocratique du Congo (RDC) est située de part et d'autre de l'Equateur, entre 5°20' de latitude Nord et 13°27' de latitude Sud et elle s'étend entre 4°12' et 31°00' de longitude Est. Sa superficie est de 2 345 000 km<sup>2</sup>, occupant ainsi la onzième place au monde et la troisième en termes de surface en Afrique, après l'Algérie et le Soudan. La fraction du territoire national utilisée par l'homme n'est que de 4,5%, soit 105 525 km<sup>2</sup> et avec plus de 11000 espèces végétales recensées, dont un tiers serait endémique, elle constitue un véritable phénomène du genre, sans compter la grande diversité de mammifères, primates et oiseaux (Nshimba, 2008).

La présente étude a été menée dans la province orientale qui constitue l'une des 11 Provinces que compte la RDC dans sa structure administrative actuelle. Cette Province est située en plein cœur de la cuvette centrale dans la région Guinéo-Congolaise et elle s'étend du deuxième parallèle Sud au cinquième parallèle Nord et 22° au 31° méridien Est de Greenwich.

Elle couvre 503 239 km<sup>2</sup>, soit le 1/5 de l'ensemble du territoire national (Saint Moulin et Kalombo, 2005).

Cette province est la deuxième en termes de superficie forestière après celle de l'Equateur, mais la plus vaste en termes de superficie totale. Elle est subdivisée en quatre districts : Tshopo, Ituri, Bas-Uélé et Haut-Uélé.



Elle est limitée au nord par la République Centrafricaine (R.C.A.) et le Soudan, à l'est par l'Ouganda, le Rwanda, le Burundi et la Tanzanie, au sud par la Zambie et l'Angola, à l'ouest par le Congo-Brazzaville et l'enclave angolaise de Cabinda (figure 1).



Figure 1 : La RDC et ses pays limitrophes. Source: Raemaekers, 2001.

### I.1.3. ZONES CLIMATIQUES ET VEGETATIONS APPARENTEES

Contrairement à ce qui se passe dans les régions éloignées de l'Equateur où les variations de température distinguent les saisons, c'est la pluviométrie qui crée la différenciation saisonnière dans la plus grande partie du territoire de la RDC. Suivant les critères de Koppen, Bultot (1971-a et 1971-b) cité par Kombele (2004) y distingue, en relation avec la végétation, une zone équatoriale, deux zones tropicales, une zone tempérée et deux zones de transition (figure2).

Notre Secteur d'étude se situe dans la zone équatoriale qui s'étend jusqu'à 2° N et S comme l'ont déjà signalé plusieurs auteurs (Aubreville, 1948, 1949 a et b; De Heinzelin, 1952; Vandenput, 1981). Elle correspond à la forêt dense, ombrophile et sempervirente où il pleut pratiquement tous les mois de l'année. Selon Pain (1978) et Vandenput (1981) cité par Kombele (2005), les fluctuations pluvio-thermométriques sont cependant importantes, entre 1 500-2 000 mm (moyenne de 1 750 mm) de pluies, 20 – 30° C (moyenne de 25° C). L'humidité atmosphérique est toujours voisine de la saturation et les orages très fréquents.

Selon Bultot (1977), cette zone climatique est du type  $A_f$  de Köppen et influence en RDC les régions de Basankusu, Bolomba, Bomongo, Bongandanga, Befale, Djolu, Bumba, Lisala, Basoko, Yahuma, Isangi, Yangambi, Kisangani, Bafwasende, Wanierukula au nord de l'Equateur et, au sud, celles de Mbandaka, Bikoro, Kiri, Ingende, Lomela, Monkoto, Boendé, Bokungu, Ikela, Opala, Ubundu, Lubutu, Punia... La figure qui suit présente les zones climatiques de Yangambi par rapport à l'équateur géographique (figure 2).

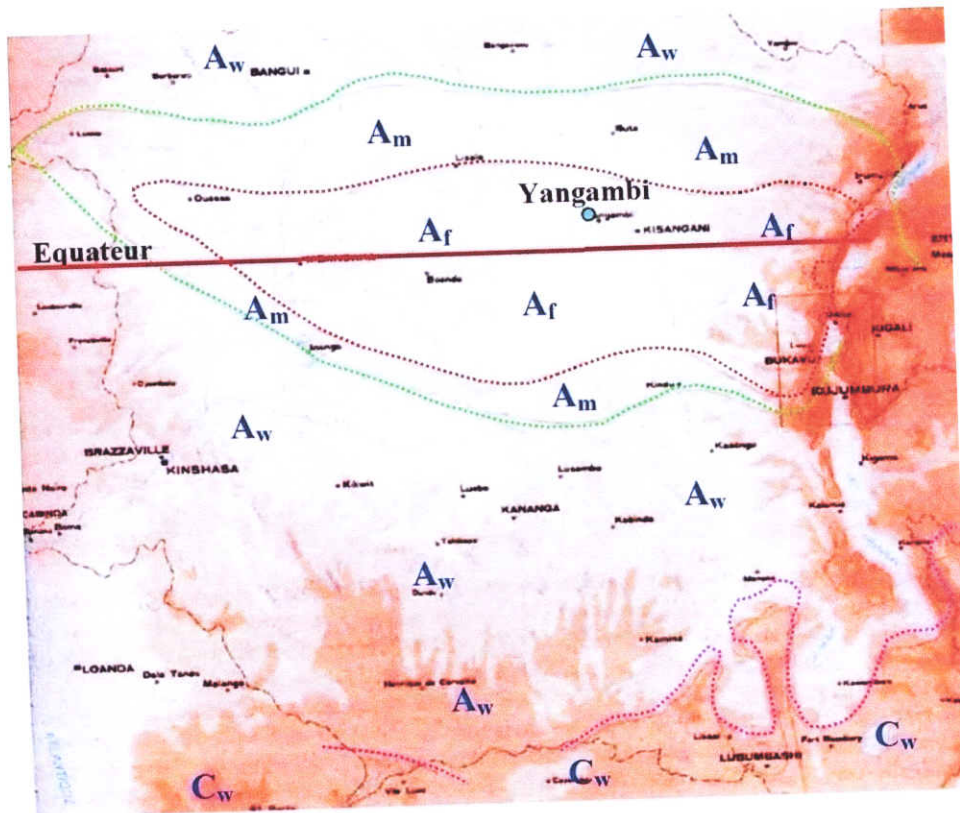


Figure 2 : Yangambi et les limites approximatives des zones climatiques de la RDC selon les critères de Köppen. Source: Bultot, 1977.



Les deux zones tropicales s'étendent, l'une au nord et l'autre au sud de la zone équatoriale, de 2° à 27° N et S. Elles sont caractérisées par deux saisons: une saison des pluies et une saison sèche (de 1-3 mois dans la partie nord et de 1-6 mois au sud). Selon Bultot (1977) et Vandenput (1981), ces deux zones correspondent au climat du type  $A_w$  de Köppen qui influence le nord les régions d'Uélé, d'Ituri et d'Oubangui et dans le sud, celles de Bas-Congo, des deux Kasai et du Haut Katanga. Leur végétation caractéristique est une forêt semi-décidue (Gilbert et Focan, 1947).

La zone tempérée est située dans l'extrême oriental de la RDC où, dans l'hémisphère nord, elle couvre une bande d'environ 1,5° et, dans l'hémisphère sud, une bande plus étendue d'environ 5°. D'une altitude allant de 500 à 4 500 m, les régions couvertes par la zone tempérée connaissent de grandes irrégularités dans leurs régimes pluvio-thermométriques.

La végétation caractéristique de cette zone climatique est constituée de formations herbeuses d'altitude (Fahem, 1978). Selon Bultot (1972 et 1977) et Vandenput (1981), elle correspond au type climatique  $C_w$  de Köppen. Dans l'extrême nord, elle couvre les régions d'Aru et de Mahagi, alors que dans l'extrême sud, celles de Lubumbashi et de Likasi où, en plus de formations végétales herbacées dominantes, on observe des forêts claires dites "forêts zambéziennes" (Lebrun, 1936; Pain, 1978) ou "Dembo" (Fahem, 1978).

Au nord comme au sud de l'Equateur, les zones tropicales sont séparées de la zone équatoriale par deux bandes climatiques de transition correspondant au type climatique  $A_m$  de Köppen (Bultot, 1972 et 1977; Vandenput, 1981).

La RDC compte 128 millions d'hectares de forêts soit 47% des forêts d'Afrique, dont la moitié en forêt dense humide et l'autre moitié en forêt claire et savane arborée (Malele Mbala, 2003). Les forêts se répartissent sur l'ensemble du territoire congolais. Elles englobent divers faciès écologiques : forêt dense humide sempervirente et semi décidue (surtout dans la cuvette centrale) ; forêts édaphiques; forêts de montagne (surtout dans l'Est), forêt claire et savanes arborées (surtout dans le Sud). Les forêts denses de terre ferme sont constituées de forêt dense sempervirente et de forêt semi décidues. Pour Vancustem & al. (2006) les forêts semi décidues existent en îlots épars mais occupent la majorité de la cuvette centrale, soit 32% de la surface du pays. La figure qui suit présente les différents types de forêts de la surface du pays (figure 3).



Figure 3 : Yangambi et les couvertures végétales de la RDC. Source: Fahem, 1978 in Kombele, 2005

### 1.1.3. PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

En RDC, il existe deux principaux types de sols: les sols ferralitiques et les sols récents.

#### 1.1.3.1. Sols ferralitiques

Le processus pédogénétique de mise en place des sols ferralitiques s'appelle "ferralitisation" et les sols zonaux qui en dérivent, selon Calembert (1995) cité par Kombele, 2005, sont des sols ferralitiques dans la classification française.



En effet, le climat chaud et pluvieux des tropiques humides possède un grand pouvoir d'altération vis-à-vis des diverses roches - mères géologiques (groupes du soubassement) au point de les réduire en une nouvelle roche - mère pédologique appelée altérite qui ne possède plus que trois principaux éléments constitutifs: la kaolinite, les sesquioxydes (de Fe et d'Al) et le quartz.

Au contact des eaux de pluies tropicales, chaudes et abondantes, les silicates complexes de la roche – mère géologique (acide: gneiss, granites, schistes; basique: basaltes, gabbros, etc.) subissent une hydrolyse totale, libérant la silice ( $\text{SiO}_2$ ) à l'état colloïdal et les sesquioxydes de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) et d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Les cations Ca, Mg, K et Na (des minéraux d'origine tels que feldspaths, micas, etc.) et une partie de la silice colloïdale sont entraînés par les eaux d'infiltration. Le profil s'acidifie, s'enrichit par différence en hydroxydes de fer et d'aluminium (goethite et gibbsite) et la silice restante se recombine avec l'aluminium pour donner la kaolinite, une argile de néoformation du type 1:1, à faible C.E.C.

Calembert (1995) donne une classification des sols zonaux et azonaux tropicaux (quelques classes et sous-classes de la classification française de 1964-1967 (Boulaine, 1967 in Kombele, 2005), groupes et sous-groupes de la classification de la F.A.O. et ordres et sous-ordres de la classification américaine publiée en 1989 par FAO, UNESCO et ISRIC, en 1998 par ISSS, ISRIC et FAO).

En RDC, les sols ferralitiques typiques moyennement et fortement désaturés, appauvris, remaniés ou non avec apports éoliens (Boulaine, 1967 in Kombele, 2004)) couvrent en général les plateaux. Ils sont caractérisés par une faible teneur en bases échangeables, inférieure à 3 méq/100 g de terre sèche (TS), un faible taux de saturation en bases ( $V < 40 \%$ ), un pH acide ( $\text{pH} < 6$ ), une couleur dominante rouge ou jaune.

Dans le nord et l'extrême nord-est de la RDC, ils couvrent les plateaux d'Oubangui et d'Uélé et y alternent avec des zones de sols bisialitiques, d'andosols ou de sols ferrugineux tropicaux (Ségalen, 1994 et 1995 cité par Kombele, op. cité). Dans l'est où la dénivellation relativement prononcée sépare la cuvette centrale des rifts, ils couvrent les plateaux et s'étendent jusqu'à leurs extrêmes limites orientales, laissant place dans les plaines environnantes aux sols ferrugineux tropicaux, aux vertisols et aux sols hydromorphes. Dans le sud, ils couvrent tous les plateaux jusque dans la haute vallée du Zambèze située à 1 000 m d'altitude. Dans l'ouest et chaque fois que les roches s'y prêtent, les sols ferralitiques jaunes ou rouges s'étendent jusqu'aux rivages.

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

### **I.1.3.2. Sols récents**

Les sols récents ou faiblement évolués couvrent de faibles superficies et apparaissent mal sur les cartes pédologiques à petite échelle de la RDC. Ce sont pourtant, selon Fahem (1978), les sols les plus fertiles.

Il s'agit principalement des sols hydromorphes (occupant la partie basse et mal drainée de la cuvette centrale correspondant aux vallées du fleuve Congo et de cours inférieurs de ses principaux affluents: Lindi, Lomami, Aruwimi, Itimbiri, Mongala, Lulonga, Ikelemba, Ruki, Oubangui, Giri, Moeko), des sols volcaniques au pied de monts Virunga, des terres noires sur alluvions bien drainées et riches en matières organiques dans le nord et le sud du lac Idi Amin, des sols hydromorphes sur les rives des lacs, etc. La figure ci-après présente les différents types de sols de la surface du pays (figure 4).



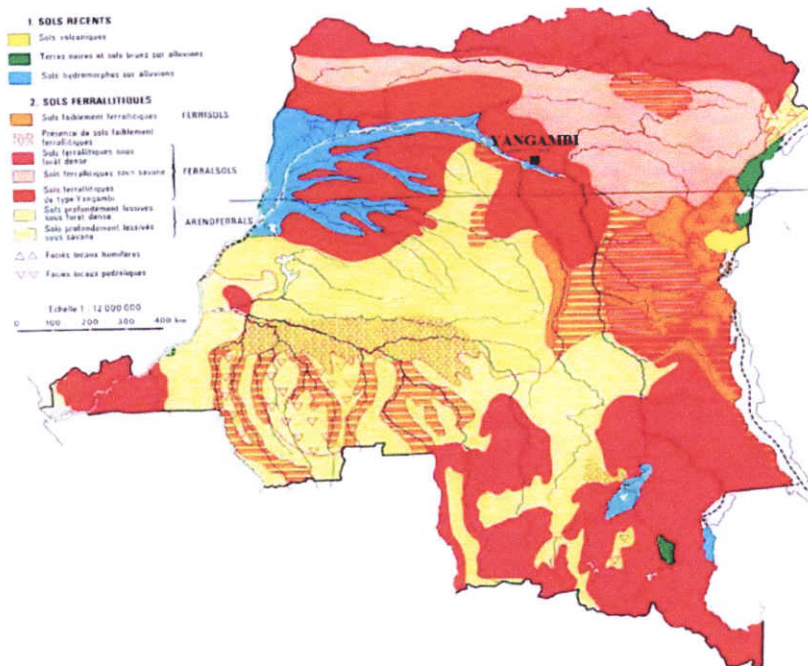


Figure 4. Yangambi et les sols récents et ferralitiques de la RDC. Source: Fahem, 1978, in Kombele, 2005.

## I.2. STRUCTURE DU CENTRE-YANGAMBI

### I.2.1. SITUATION GÉNÉRALE, HISTORIQUE ET CONCESSIONS DE L'INERA

La région de Yangambi est un territoire situé à 100 km à l'ouest de la ville de Kisangani, dans la Province Orientale en RDC (De Heinzelin, 1952). Dans ce territoire au temps de la colonie, l'INERA (Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques) a acquis en 1933, par arrêté royal belge de novembre 1933 portant sa création, une concession s'étendant sur environ sur 6 297 km<sup>2</sup> (Drachoussoff *et al*, 1991).

Selon Beguin (1962), cette concession, à cheval sur le fleuve Congo à Yangambi, s'étend jusqu'aux sources de l'affluent Lobilo au nord, à Yakusu à l'est, longe les affluents Romée et Lobayé au sud, l'affluent Lomami et va jusqu'au delà de la rivière Lifindo à l'ouest comme le montre la carte de la figure 5. Elle correspond à une étendue comprise entre: 24°16'95" et 25°08'48" longitude Est, 0°38'77" et 1° 10'20" latitude Nord (c'est-à-dire dans un quadrilatère formé par les méridiens passant à 2 671 440 m et 2 782 750 m longitude Est et les parallèles à 43 010 m et 110 940 m latitude Nord).

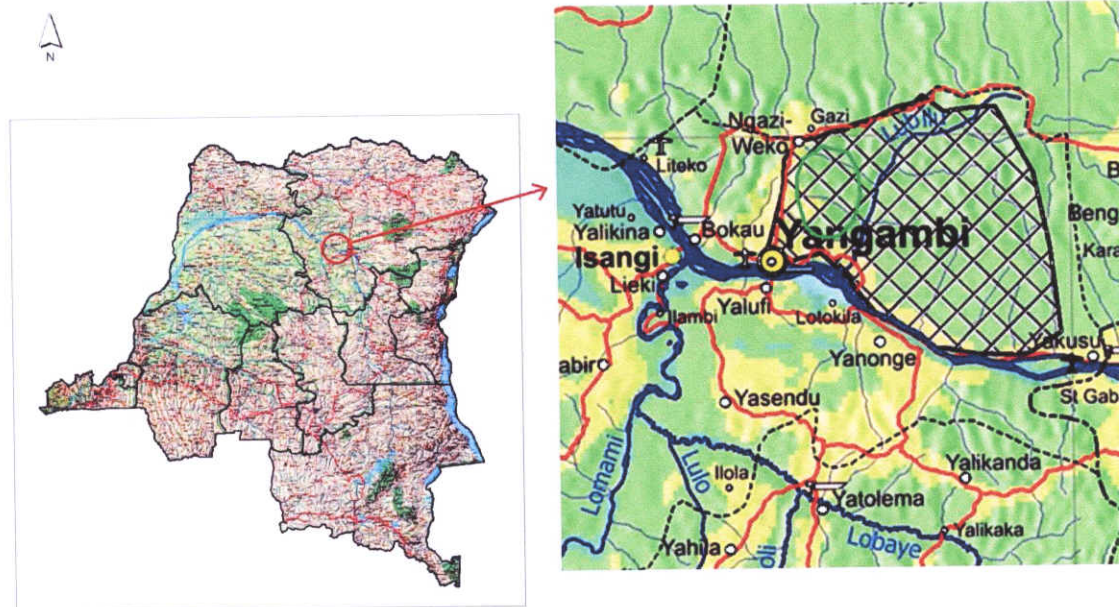


Notre zone d'intérêt, Yangambi-centre, se situe dans le carré formé par les méridiens à 2 718 610 m et 2 739 370 m de longitude Est et les parallèles 82 640 m et 103 390 m de latitude Nord. Les cadres des cartes des séries de sols de Yangambi-centre portent de repères avec les distances exprimées en mètres dans la suite.

Cette concession se subdivise en trois parties: Yangambi-centre (249 km<sup>2</sup>), la Localité de Yangambi (487 km<sup>2</sup>) et les forêts (5 561 km<sup>2</sup>).

Yangambi-centre comprend le construit (dont une partie concédée à l'Institut Facultaire d'Agronomie de Yangambi, IFA/Yangambi, en 1972), les plantations expérimentales, les forêts entretenues et le jardin botanique. La figure ci-dessous présente la structure du centre-Yangambi (figure 5).

REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO



Source : Tracé du SIC Cécile LUBWILU LOLO

Occupation du sol

-  Forêt dense humide
-  Forêt sur sols hydromorphes
-  Forêt claire ou savane boisée
-  Forêt secondaire et agriculture
-  Mosaïque agricole - savane
-  Prairie aquatique ou marécageuse
-  Réserve de biosphère
-  **Chef-lieu de district**
-  **Chef-lieu de territoire**
-  **Ville**
-  Localité importante
-  Fleuve et rivière
-  Route ou piste peu fréquentée
-  Voie ferrée
-  Localisation des recherches

Figure 5 : Localisation du site d'étude

## I.2.2. CLIMAT ET VEGETATION

En tenant compte du niveau de ses basses eaux en juillet-septembre, la cote du fleuve Congo à Yangambi est d'environ 400 m (De Heinzelin, 1952). Le point kilométrique 0 étant situé à environ 80 m de hauteur par rapport au niveau du fleuve, ses coordonnées géographiques (la latitude et la longitude étant respectivement mesurées à partir de l'Equateur et du méridien 0) sont: latitude de 91,30 km N, longitude de 2 719,76 km E, altitude de 480 m. Cette dernière peut être arrondie à 500 m au point culminant du plateau Isalowe situé à environ 100 m au-dessus du fleuve.

Yangambi-centre est donc situé dans la zone climatique équatoriale nord de la RDC, entre 0-2° N (De Heinzelin, 1952; Vandenput, 1981), zone influencée par le climat du type  $A_f$  de Köppen (Bultot, 1972 et 1977). Nous nous sommes intéressés aux données climatiques des travaux antérieurs (de nos prédécesseurs) qui avaient relevé les données de quelques paramètres à la Section d'Agroclimatologie de l'INERA au Km 5 entre 1986-1990.

### I.2.2.1. Températures

Les moyennes mensuelles de températures sur une période de neuf ans 2000-2008 sont données au tableau en annexe 12, 20, 21, et 22, à la figure 6 ci-dessous.

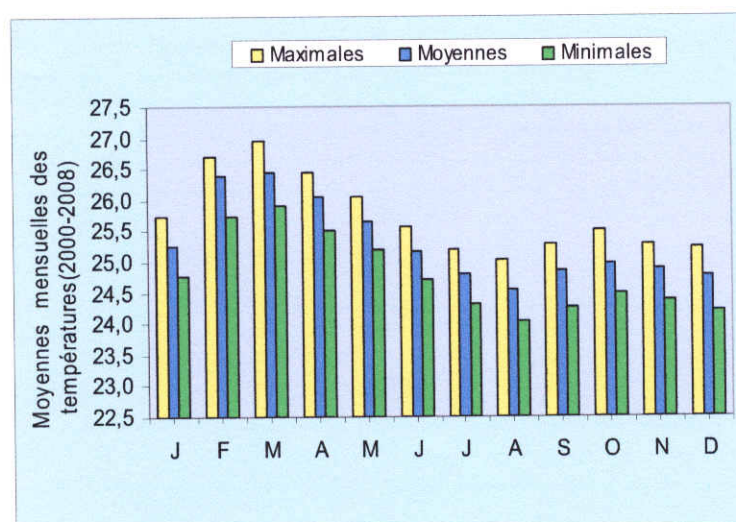


Figure 6 : Températures (°C) de 2000-2008 à Yangambi



La moyenne maximale annuelle des températures est de 30,3° C, la moyenne minimale annuelle est de 20°C et la valeur moyenne entre les deux extrêmes est de 25,2°; les trois gammes de températures restent presque constantes toute l'année, ne montrant que de très faibles amplitudes. Leur tendance générale est à la baisse pendant le second semestre de l'année, ce qui confirme que la grande saison sèche se manifeste en début d'année (janvier et février), alors que la petite est à peine esquissée au second semestre (juin et juillet).

### 1.2.2.2. Précipitations

Les données sur les précipitations et le nombre de jours de pluies sont consignées dans les tableaux en annexe XI en annexe et leurs variations sont représentées dans les figures 7 et 8 ci-dessous (annexes 13, 14 et 17).

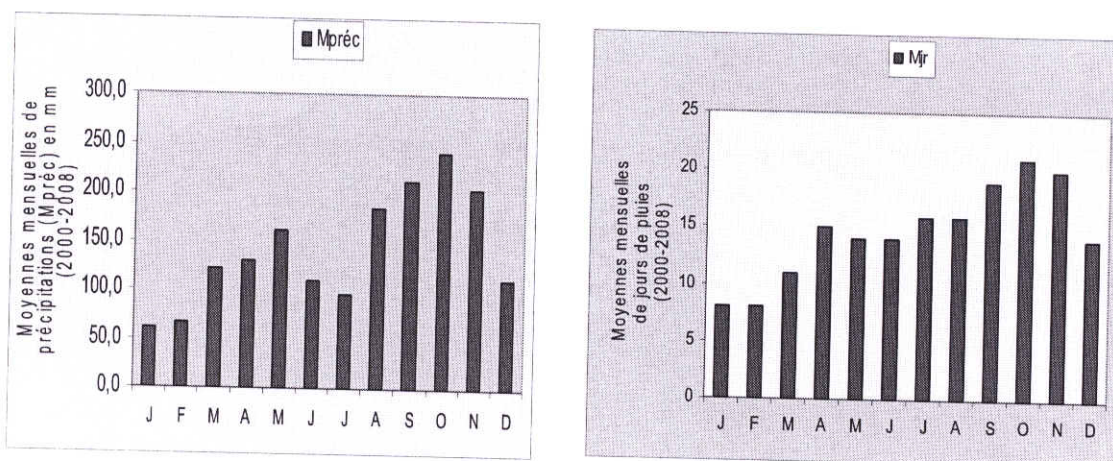


Figure 7 et 8 : De gauche à droite montrant les Précipitations (mm) et les jours de pluies à Yangambi de 2000-2008

Les totaux des moyennes mensuelles des précipitations et du nombre de jours de pluies sont respectivement de 1 837 mm et de 180 jours; globalement, il pleut en moyenne une fois tous les deux jours à Yangambi.

Ces deux moyennes augmentent pendant le deuxième semestre de l'année, ce qui indique que la petite saison des pluies se manifeste au premier semestre (mai à juin), la grande au deuxième (août à novembre). Cette répartition est confirmée par la tendance à la baisse des températures notées pendant le deuxième semestre de l'année. Les plus faibles pluies sont observées en janvier et juillet de chaque année, les plus abondantes en octobre.

Il en va presque de même en ce qui concerne le nombre de jours de pluies: il pleut pendant moins de jours en janvier et février et plus de jours en octobre et novembre. Cette manifestation des pluies en deux périodes de l'année influence profondément les activités agricoles et le développement des arbres à Yangambi.

### 1.2.2.3. Humidité relative de l'air (%).

Les données de l'humidité relative de l'air (%) sont relevées à trois moments de la journée: à 6, 15 et 18 heures. Les moyennes mensuelles relevées sont consignées au tableau en annexe 11, 12, 15,16 et 19 leurs variations sont présentées dans la figure 9.

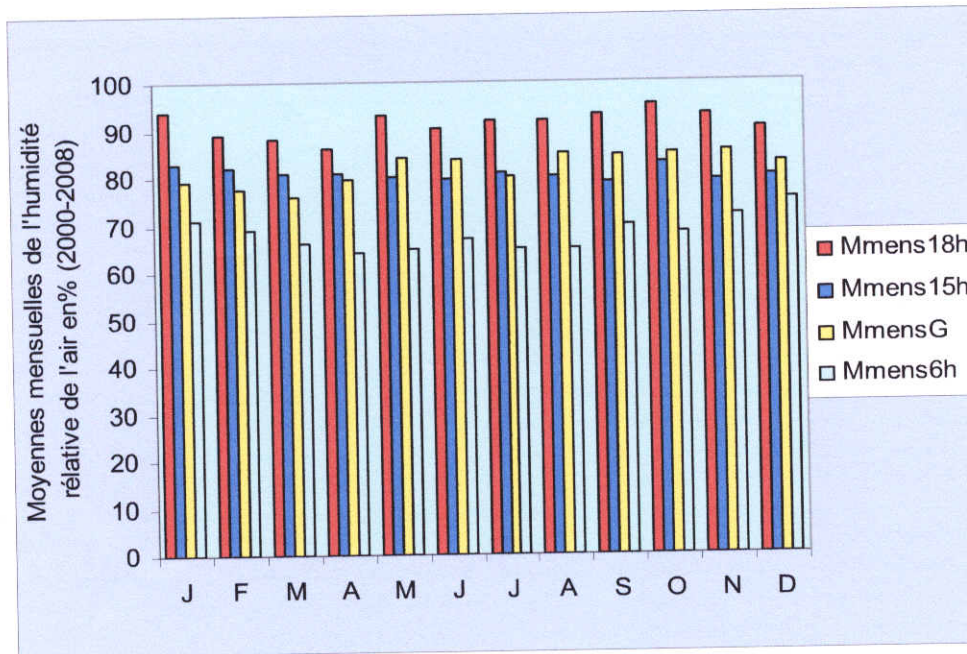


Figure 9 : Moyennes mensuelles à 6, 15 et 18 heures et globales de l'humidité relative de l'air (%) de 2000-2008 à Yangambi.

Les moyennes mensuelles globales (MmensG) de l'humidité relative de l'air (%) à Yangambi montrent les mêmes tendances que celles des précipitations.

### **I.3. REVUE DE LA LITTERATURE**

#### **I.3.1. GENERALITES SUR LES PLANTATIONS**

On peut s'attendre à moyen terme à ce que la récolte industrielle de bois dans les forêts tropicales naturelles poursuive un déclin, comme le prédisait déjà Leslie en 1999. L'industrie forestière tropicale est donc à la recherche de nouvelles sources d'approvisionnement en bois. Deux alternatives se présentent: les importations et les bois de plantations. Pour certains, les plantations de forêts dans les pays tropicaux assureront la sauvegarde des forêts naturelles parce qu'elles peuvent être extrêmement productives et rentables par rapport à leurs coûts et qu'elles offrent de bonnes possibilités de remplacer les forêts naturelles pour la production de bois. De plus, elles peuvent aider à stimuler le développement économique en fournissant à des industries en aval un approvisionnement fiable de matières premières.

Plusieurs pays tropicaux encouragent déjà de vastes programmes de plantations, et d'autres envisagent d'en faire autant. Mais un manque d'informations fiables sur les perspectives des plantations tropicales gêne ces initiatives et augmente le risque de prendre de mauvaises décisions stratégiques.

#### **I.3.2. LES PLANTATIONS FORESTIERES TROPICALES, OBJETS DE FORTES CONTROVERSES UN DEBAT ANCIEN, RELANCE PAR L'INCLUSION DES PLANTATIONS TROPICALES DANS LE MDP.**

Les débats sur les plantations tropicales sont particulièrement évidents pour les plantations d'Eucalyptus ou de teck (Keogh 2000). Entre 15 et 20 millions d'hectares d'Eucalyptus ont été plantés dans les pays tropicaux en dehors de leur aire d'origine principalement australienne. Le Brésil compte environ 3 millions d'hectares de grandes plantations pour la production de pâte ou de charbon de bois. En Inde, environ 8 millions d'hectares d'Eucalyptus sont utilisés tant par l'industrie que par les populations rurales. En Afrique, l'Eucalyptus est utilisé dans les petites plantations paysannes du Burundi et des plateaux bamiléés du Cameroun et dans les plantations clonales industrielles de la République du Congo.



Les critiques portées, en particulier par des ONG, concernent principalement les aspects écologiques mais abordent également les aspects sociaux et économiques, et sont parfois sous-tendues par des approches plus idéologiques. Les controverses opposent souvent espèces exotiques et locales, plantations industrielles et paysannes, plantations privées et étatiques. Ces critiques visent parfois à remettre en question l'apport potentiel des plantations forestières tropicales au développement durable des pays du Sud, en comparaison avec les forêts naturelles parées de toutes les vertus.

Le mécanisme de développement propre (MDP) du Protocole de Kyoto, qui pourrait créer une incitation au développement de plantations forestières, a récemment relancé les polémiques anti-plantations en les associant désormais à celles contre les puits de carbone, ainsi que le prouvent les campagnes de grandes ONG internationales (WRM 1999).

### **I.3.3. QUELLES SONT LES CRITIQUES DES PLANTATIONS ?**

Les critiques ont d'abord principalement porté sur les impacts environnementaux de la création des plantations, en particulier la perte de biodiversité qui serait liée aux plantations exotiques monospécifiques ou clonales. La majorité des grandes plantations industrielles tropicales est réalisée avec des espèces utilisées hors de leurs aires d'origine (Eucalyptus en Amérique latine ou en Afrique, teck ou *Acacia mangium* en Indonésie, pins en Afrique du Sud). La création de plantation est également critiquée lorsqu'elle est réalisée sur des terrains préalablement couverts de forêt naturelle.

Les critiques des plantations portent également sur la surconsommation d'eau ou la contamination par les intrants, avec des effets induits sur l'approvisionnement en eau des populations, thème développé en particulier au Brésil ou en Afrique du Sud.

D'autres critiques portent sur la baisse de la fertilité voire la stérilisation de certains sols par la décomposition des litières des Eucalyptus et des pins, sur la sensibilité accrue des bassins versants de plantations aux crues et à l'érosion, en relation avec la gestion intensive, la pratique de coupes rases et la création de peuplements uniformes.

Les critiques se sont progressivement orientées vers les impacts sociaux et économiques des plantations. Elles concernent d'abord les enjeux fonciers et l'accès à la terre : la réalisation de plantations aurait parfois entraîné la privation pour les populations rurales de terres disponibles pour l'agriculture, voire l'évincement de populations locales pour libérer des terres, situations pouvant dégénérer en conflits (par exemple le cas Tupinikim et Guarani du Brésil, dans WRM 1999).

Elles concernent aussi les effets sur le mode de vie des populations, tout particulièrement dans les pays où des populations vivant à proximité des forêts passent du statut de petits agriculteurs ou de chasseurs-cueilleurs ou celui de salariés des entreprises de plantations, en particulier en Asie du Sud-est. Les critiques concernent enfin les effets liés à l'économie des plantations et aux risques associés. Dans certains projets, les petits planteurs sont amenés à s'endetter ou à utiliser leurs ressources prioritairement pour la réalisation de plantations forestières, sans garantie de pouvoir vendre à un prix rémunérateur leurs produits. Dans des projets de plantations à grande échelle, par exemple dans plusieurs pays africains, les Etats ont emprunté à des bailleurs de fonds et sont contraints de rembourser leurs dettes à partir d'autres ressources du fait de la rentabilité insuffisante des plantations. Aussi et avant même que soient effectivement développées des plantations MDP visant à séquestrer du carbone, de nombreuses critiques se font jour sur les dérives potentielles de ces projets aux niveaux écologiques, sociaux et économiques.

#### **I.3.4. SUPERFICIES ACTUELLES DE PLANTATIONS**

Tous pays confondus, il existe environ 67 millions d'hectares de plantations forestières tropicales, dont presque 80% dans la région Asie-Pacifique, 3% en Amérique latine et aux Caraïbes, et 7% à peine en Afrique. Sur 36 millions d'hectares considérés productifs, 68% se trouvent dans la région Asie-Pacifique.

*L'Eucalyptus* est l'essence la plus largement plantée dans les tropiques, à savoir sur 24% (8,6 millions d'hectares) de la superficie productive de plantations forestières. A 6,4 millions d'hectares, le pin est également important, de même que l'hévéa (aussi 6,4 millions d'hectares, bien qu'une partie ne soit sans doute pas disponible pour la récolte du bois). Le teck est une autre essence largement plantée.



### **I.3.5. PRODUCTION**

Toute la production industrielle de bois rond dans les tropiques se monte à environ 322 millions de m<sup>3</sup>, dont presque la moitié (47,5%) provient de plantations. En Amérique latine et dans les Caraïbes, les plantations contribuent dans des proportions non négligeables à la production industrielle de bois rond (63% en 2004), ce qui est dû en grande partie à l'industrie de la pâte qui dépend dans une large mesure de fibres issues de plantations. Les plantations fournissent plus de 80% du volume total.

Selon la FAO, (2000), la forêt représente environ 30% de la surface émergée dans le monde, l'Afrique représente 17% soit 65 10<sup>7</sup> ha.

La part de la forêt tropicale dans le monde s'évalue rien que pour l'Afrique à 24% dont la moitié se situe en RDC (Sands, 2005). Les plantations contribuent très peu à l'augmentation de la surface forestière en Afrique tropicale (14% de perte contre 1,9% de gain par les plantations). Évoquer les plantations forestières en Afrique centrale peut paraître paradoxal. En effet, le bassin du Congo, à cheval sur l'équateur, est considéré comme une des régions les plus boisées de la planète. La forêt naturelle couvre encore près de 60 % de la superficie totale des pays concernés (Cameroun, Gabon, République Démocratique du Congo, République du Congo, République centrafricaine, Guinée équatoriale).

Cette forêt est encore relativement peu fragmentée et les impacts des activités humaines telles que l'exploitation forestière ou les défrichements liés à l'agriculture itinérante et aux migrations de populations sont moins marqués que dans d'autres régions du monde, comme par exemple en Asie du Sud-est.

De nombreux types de plantations forestières ont été réalisés depuis plus de 50 ans dans le bassin du Congo, dont certains ont été développés à grande échelle. Les plantations forestières peuvent, par leur diversité et leur souplesse de mise en œuvre, contribuer efficacement à satisfaire les besoins nationaux en produits ligneux et agroforestiers et participer au développement économique des pays (Marien et al., op cit).

Elles peuvent également concourir au maintien et à la restauration de la diversité biologique et des fonctions productives des forêts naturelles d'Afrique centrale après perturbation anthropique. Après une assez longue période durant laquelle les plantations n'ont plus été considérées comme un enjeu majeur dans le bassin du Congo (à l'exception de cas particuliers comme les plantations d'eucalyptus du Sud- Congo), on observe un nouvel intérêt pour les plantations, en relation avec :

- L'évolution de la politique forestière de certains bailleurs de fonds (études récentes financées par la Banque mondiale sur les plantations au Cameroun, au Gabon) ;
- Les volontés de transfert de gestion de l'état vers des partenaires privés et les communautés, pouvant faire émerger de nouveaux acteurs, un exemple dans la figure qui suit (figure 10) ;



Figure 10 : Le projet de reboisement au Congo Brazzaville financé par l'Etat.

- Les fortes pressions environnementales sur les forêts naturelles et sur la filière bois issue de ces forêts naturelles, poussant à la mise en conservation de massifs de forêt de production et à une réorientation de la demande de certains marchés vers des bois tropicaux issus de plantations;
- L'apparition des concepts comme le « *forest landscape restoration* », donnant aux différentes modalités de plantations une place dans des approches plus « écologiques » ;

- Les décisions issues de la mise en œuvre de la Convention sur le changement climatique, indiquant que seuls les « boisements et reboisements » seraient éligibles lors de la première phase (2008-2012) de mise en œuvre du « mécanisme de développement propre » ;
- L'évolution de la demande des marchés et des outils de valorisation, permettant de valoriser des bois de plus petit diamètre, et l'arrivée de certaines plantations à un âge d'exploitabilité;
- L'apparition d'une forte demande sociale concernant le développement de l'emploi rural, la réintégration économique et sociale des anciens soldats et miliciens dans les pays en situation d'après-conflit (Marien, et al op cit).

En Afrique, l'Eucalyptus est utilisé dans les petites plantations. De nombreux types de plantations forestières ont été réalisés depuis plus de 50 ans dans le bassin du Congo, du Burundi et des plateaux bamilékés du Cameroun et dans les plantations clonales industrielles de la République du Congo.

La RDC dispose d'une bonne expérience en matière de reboisement au moins pour une espèce d'Acacia. En effet, dans les projets de KINZONO et surtout de MAMPU (Plateaux Batéké), on a créé 8.000 ha d'*Acacia auriculiformis*. Ils sont exploités actuellement pour la fabrication de charbon de bois (écoulé sur le marché de Kinshasa) et généralement suivi d'une année d'agriculture (maïs) pour profiter de l'enrichissement du sol en azote (agroforesterie), puis, régénérés naturellement sur les lignes de souches (et dépressés précocement au cours des cultures). Les espèces bien adaptées à la zone sont au nombre de 3 : *Acacia auriculiformis*, *Acacia mangium*, *Acacia crassicarpa* (Marien, et al op cit).

A l'Equateur dans le Parc National de la Salonga, une étude sur l'estimation de stockage de carbone a été menée dans différents types de forêts (forêt primaire et forêt secondaire) par Makana et al. (2008). Ils ont mené d'autres études dans la province orientale précisément dans le District de Kibali-Ituri, portant sur la mesure de carbone (forêt primaire mono dominante).

En outre, en province orientale, la forêt autour de Kisangani est presque totalement déboisée, dans un rayon d'environ 40 km de part et d'autre de la ville de Kisangani ; d'où la nécessité de créer de nouvelles plantations pour redonner à la ville son ancien paysage ainsi que son microclimat particulier de jadis.



A Yangambi un centre de recherche situé à environ 100 km de Kisangani, on trouve une réserve de la biosphère dont la grande partie est composée des essences forestières plantées à l'initiative des colons belges (époque coloniale) autour de la forêt aménagée de 270 hectares située elle aussi à proximité de la Réserve de LUWEO.

Malgré la pression anthropique exercée sur cette Réserve de la Biosphère durant ces dernières années de guerre, presque quatre vingt dix pour cent de cette dernière se trouvent aujourd'hui gérés de manière durable par l'INERA (Institut Nationale pour Etude et la Recherche Agronomique) le propriétaire du site. On y trouve environ 737 hectares de plantations forestières dont 600 hectares sont composées essentiellement de l'hévéaculture et 137 hectares composés des différentes espèces forestières importées de toutes les autres provinces du pays. Plusieurs méthodes de plantations ont été expérimentées (méthode de layon ; méthode de Marineau ; méthode d'enrichissement par Placeau dense et la méthode de blanc étoc). La plus vieille plantation date de 1937. La figure qui suit fait état d'une pression anthropique sur les forêts modifiant ainsi le cycle de carbone et contribue aux changements climatiques. (Figure 11).



Source : cycle de carbone-Wikipedia GIEC 2009

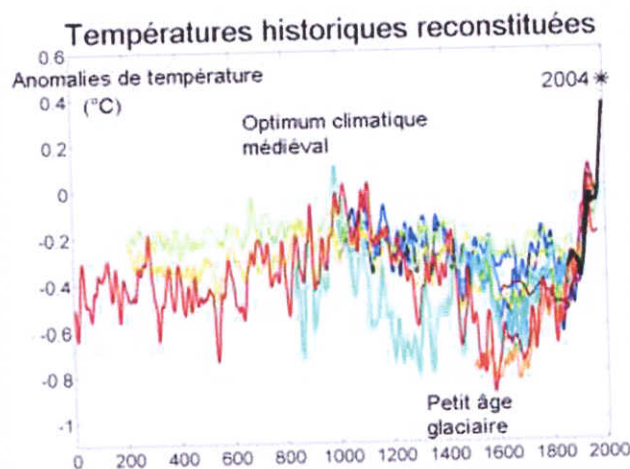
Figure 11 : La déforestation modifie le cycle naturel du carbone (pression anthropique).

### **1.3.6. LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

Une partie du rayonnement solaire qui atteint la Terre est réfléchi vers l'atmosphère sous forme de radiation infrarouge. Cette perte énergétique est contrée par un phénomène appelé l'effet de serre.

Divers gaz présents dans l'atmosphère ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ) permettent en effet d'intercepter et de conserver cette chaleur émise par la planète. Ce phénomène naturel est nécessaire à la régulation de la température à la surface du globe. Sans ce processus, on estime que la température moyenne de la Terre diminuerait de 33 degrés Celsius, passant de 15 à  $-18^\circ\text{C}$  (Ministère de l'environnement du Canada, 2005).

Cependant, l'équilibre naturel peut être perturbé par des activités anthropiques. C'est ce que les scientifiques ont remarqué depuis l'accroissement de l'industrialisation au cours des années 1900. En effet, les niveaux de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) dans l'atmosphère sont passés de 280 ppm dans la période préindustrielle à 367 ppm en 2000, soit une augmentation de 31 %. Cet accroissement des émissions de gaz à effet de serre (GES) par les activités de l'homme a eu comme effet d'augmenter très rapidement la température moyenne mondiale depuis 1860 (Figure 12) et d'amorcer ainsi des changements climatiques (Boer et al, 2000).



Source : Cycle de carbone-Wikipedia GIEC 2009

Figure 12 : Courbes des températures des deux derniers millénaires, selon diverses études.

Le réchauffement climatique, également appelé réchauffement planétaire, ou réchauffement global, est un phénomène d'augmentation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère, à l'échelle mondiale et sur plusieurs années. Dans son acception commune, ce terme est appliqué au changement climatique observé depuis environ 25 ans, c'est-à-dire depuis la fin du vingtième siècle.

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat(GIEC) est chargé d'établir un consensus scientifique sur cette question. Son dernier et quatrième rapport, auquel ont participé plus de 2 500 scientifiques de 130 pays, affirme que la probabilité que le réchauffement climatique depuis 1950 soit d'origine humaine est de plus de 90 %. Ces conclusions ont été approuvées par plus de 40 sociétés scientifiques et académies des sciences, y compris l'ensemble des académies nationales des sciences des grands pays industrialisés.

Or, les prévisions, si aucune action n'est prise, sont alarmantes : doublement de la concentration (550 ppm) à la fin du 21e siècle (GIEC, 2001). Selon le Modèle de circulation générale canadien (CGCM), une augmentation de 3,5°C à la surface de la planète serait à prévoir lors du doublement de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère vers 2100 (par rapport aux observations des années 1980) (Ministère des ressources naturelles du Canada, 2004).

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est relâché dans l'atmosphère lors de l'utilisation des combustibles fossiles, de la décomposition de la matière organique par les microorganismes (respiration) et de la déforestation. Les sources agricoles d'azote comme les engrais et les fumiers sont la principale cause d'émission d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O). Le méthane (CH<sub>4</sub>), pour sa part, provient en grande partie des ruminants et des surfaces inondées comme les rizières (Ministère de l'environnement du Canada, 2005).

Le méthane est vingt et une fois plus efficace que le gaz carbonique pour capter les radiations; quant à l'oxyde nitreux, il l'est trois cent dix fois plus (Alberta Environmentally Sustainable Agriculture Council, 2001). Cependant, les émissions de CO<sub>2</sub> sont beaucoup plus importantes en proportion que celles des autres gaz (Figure 13).



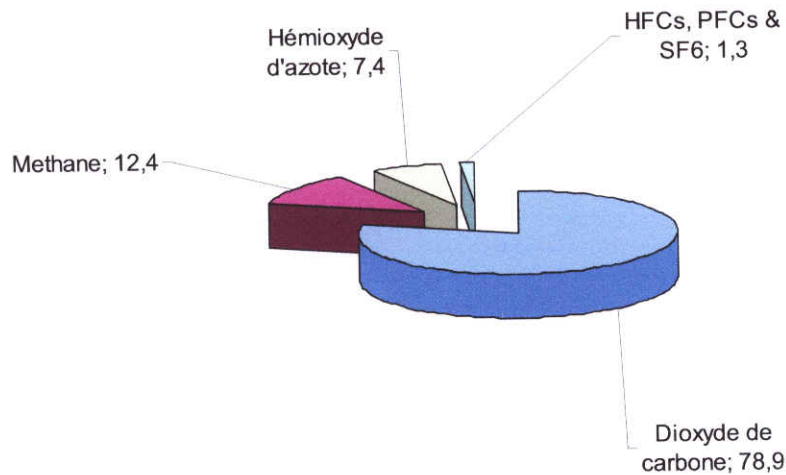


Figure 13 : Contribution relative des émissions canadiennes des gaz à effet de serre de 2001 au réchauffement planétaire

### I.3.7. LE PROTOCOLE DE KYOTO

Dans le contexte décrit précédemment, de nombreux pays ont décidé de poser des actions concrètes afin de contrer le processus de réchauffement planétaire enclenché. Cependant, lors de l'élaboration du Protocole de Kyoto en 1997, plusieurs pays industrialisés se croyaient incapables de rencontrer avant 2010-2012 l'objectif de réduction des émissions de GES, qui avait été fixé à 5,2 % en moyenne sous le niveau de 1990 (Miles, 2004).

Afin de diminuer les coûts des engagements des Parties visées à l'Annexe 1 et d'intégrer la participation des Parties non visées à l'Annexe 1, le Protocole s'est doté de trois mécanismes de flexibilité, à savoir l'application conjointe (*Joint Implementation*), l'échange de droits d'émission et le mécanisme pour un développement propre (*Clean Development Mechanism*) (voir l'Annexe dernier pour une carte du monde présentant les pays).

Ces mécanismes «visent à accroître le rapport coût efficacité des mesures d'atténuation des changements climatiques, en offrant aux Parties la possibilité de diminuer les émissions ou de renforcer les puits de carbone, en prenant ces mesures à l'étranger plutôt que sur leur propre territoire » (CCUNCC. , 2005)

Les pays assujettis à des objectifs de réduction interagissent avec différents États selon les mécanismes utilisés.

Ainsi, les projets d'application conjointe se déroulent surtout avec des pays en transition économique, tandis que l'échange de droits d'émission se fait avec des pays visés par l'Annexe I qui sont parvenus à atteindre leur cible de réduction fixée dans le Protocole et génèrent des «surplus». Finalement, le MDP se réalise avec des pays en développement (PED).

### **I.3.8. FONCTIONNEMENT DU MECANISME POUR UN DEVELOPPEMENT PROPRE ET COMMERCE DU CARBONE**

Le mécanisme pour un développement propre a donc pour objectif plus particulier d'aider les PED à parvenir à un développement durable tout en permettant aux pays industrialisés de remplir leurs engagements à moindres coûts. Il comprend aussi une composante importante de transfert technologique du Nord vers le Sud. Ainsi, un pays industrialisé obtiendra des unités de réduction certifiée des émissions (URCE, mieux connues sous leur acronyme anglais CERs) s'il finance un projet dans un pays en développement dans le cadre du MDP. Ceci lui fournira le temps nécessaire pour développer des systèmes permanents de réduction des émissions des GES sur son territoire (Ministère des ressources naturelles du Québec.,2003)

Les projets réalisés dans le cadre du MDP doivent générer des bénéfices réels, mesurables et à long terme, reliés à la mitigation des changements climatiques. De plus, ils doivent respecter une notion primordiale : l'«additionalité» (UNEP, 2004). Cela signifie que les activités effectuées doivent engendrer des effets additionnels qui n'auraient pas eu lieu sans le projet. Il devient ainsi nécessaire de bien décrire le scénario de référence qui permet de montrer cette additionalité. Le cycle d'un projet MDP se déroule généralement en 5 étapes (CCNUCC, 2005):

- 1) Élaboration des documents descriptifs du projet. La description du projet doit comprendre l'évaluation du niveau de référence, ou *baseline*, servant à mesurer l'impact du projet sur la réduction des émissions ou l'augmentation de l'absorption des GES. Elle doit aussi contenir les méthodologies de base, un plan de suivi et de surveillance (ou *monitoring*), une analyse des impacts environnementaux et la description des avantages nouveaux et/ou additionnels que devrait procurer le projet sur le plan écologique;
- 2) Validation par une Entité opérationnelle désignée (EOD);
- 3) Enregistrement officiel du projet par le conseil exécutif du MDP;



- 4) Vérification et suivi à intervalles réguliers par une autre EOD afin d'évaluer si le projet continue à rencontrer tous les critères;
- 5) Certification des réductions d'émission.

Cependant, autour de ces principes ; certaines questions sont soulevées par les décideurs permettant aux pays en voies de développement (PED) de se situer s'ils peuvent participer au MDP. Un pays fournissant des réponses qui rencontrent favorablement les questions ci-dessous peut sans ombre de crainte s'engager à participer au MDP :

1. Le boisement et le reboisement s'harmoniseront-ils avec les concepts et priorités relatifs aux forêts et au développement durable contenus, par exemple, dans les programmes forestiers nationaux ?
2. Existe-il des zones appropriées disponibles à des échelles adéquates comprenant des sols et des sites adaptés ?
3. Quelles expériences a-t-on acquises ou peut-on acquérir par l'évaluation à posteriori des activités ordinaires de boisement ? Existe-t-il des espèces et des types de forêts potentiels, et suffisamment de données sur les coûts et revenus, la croissance, les rendements et le piégeage du carbone ?
4. Existe-t-il des marchés ou des utilisateurs établis pour les produits tirés du boisement et du reboisement autres que le carbone ?
5. Quel est le niveau des coûts fixes et de transaction pour le boisement et le reboisement, et justifient-ils les coûts des institutions nationales et de la création de capacités ?
6. Qui devrait être le promoteur des projets de boisement et de reboisement ?
7. Peut-on concevoir des projets types pouvant être facilement transposables dans le pays ou la région ?
8. Existe-t-il un service de vulgarisation permettant de faciliter de tels projets ?

Les règles énoncées dans les *Accords de Marrakech* concernaient initialement uniquement les projets de réduction d'émissions de GES (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC et SF<sub>6</sub>).

Elles ont ensuite été complétées par l'ajout d'activités qui permettent le renforcement de l'absorption du CO<sub>2</sub>, telles que le boisement et le reboisement. En effet, les végétaux jouent un rôle majeur dans le cycle de cet élément. Ils captent le CO<sub>2</sub> atmosphérique via la photosynthèse, en réémettent une partie lors de la respiration et emmagasinent le reste dans leur tissus (formation des constituants cellulaires) (Montagnini et Nair, 2004). Les arbres accumulent donc une quantité considérable de carbone dans leur biomasse. Voici une liste non exhaustive des diverses activités de mitigation et de séquestration éligibles au MDP (UNEP, 2005) :

Technologies d'énergies renouvelables (ex. hydroélectricité); Amélioration de l'efficacité énergétique; Modification du type de combustible utilisé (ex. passage de l'utilisation du charbon au gaz naturel); Séquestration et destruction des émissions de méthane (ex. provenant de sites d'enfouissement des déchets ou de rizières); Réduction des émissions dues au secteur du transport; Réduction des émissions dues au secteur agricole; Boisement et reboisement.

Les URCE (Unités de Réduction Certifiée des Emissions) sont émises pour chaque tonne d'émissions réduite (exprimée en CO<sub>2</sub> équivalent). Dans le cas de projets de boisement et de reboisement, des unités temporaires ou à long terme (URCE-t ou URCE-lt) pourraient être délivrées pour chaque tonne de GES absorbée. Puisque cette séquestration du carbone n'est pas définitive (les arbres vont éventuellement mourir ou être récoltés), ces unités expirent après un certain délai. Elles doivent donc être remplacées par des unités plus permanentes (CCNUCC, 2005).

Les URCE engendrées par les projets de MDP peuvent donc être vendues sur le marché International de carbone et être achetées par des pays ou entreprises afin de leur permettre d'atteindre leur cible.

Il existe déjà en Europe un marché du carbone et les prix de vente variaient au mois de juillet 2006 autour de 16 € la tonne de CO<sub>2</sub> équivalent (Point Carbon, 2005a).

### **I.3.9. SYSTEMES FORESTIERS**

Les forêts jouent un rôle majeur dans le cycle global du carbone. La végétation et les sols forestiers emmagasinent environ 60 % du carbone terrestre total (Winjum et al., 1992). Il semble donc normal que le secteur de la foresterie ait retenu l'attention de nombreux chercheurs ces dernières années pour son potentiel dans l'atténuation des changements climatiques. Les stratégies d'intervention suivantes ont été retenues et étudiées (Schroeder et al, 1993; Mitchell Aide et al, 2000; Oelbermann et al, 2004) :

Diminuer les émissions de GES en luttant contre la déforestation;

Maintenir les puits actuels de carbone en protégeant les écosystèmes forestier existants;  
Augmenter les superficies forestières par des activités telles que le reboisement (ou la reforestation) et la réhabilitation de terres dégradées ou abandonnées.

Selon Schroeder et al. (1993) la régénération naturelle des forêts en milieu tropical permet d'accumuler, sur une longue période de temps (plus de 50 ans), une quantité de carbone supérieure à celle des plantations d'arbres (195 versus 65 tC /ha). De plus, la première approche présente l'avantage de ne pas demander des coûts d'investissements élevés (et l'endettement à long terme qui s'en suit) tout en permettant une récolte régulière et durable de produits ligneux. Cependant, les plantations d'espèces à croissance rapide offrent des rendements très élevés et des taux de fixation de carbone supérieurs sur de plus courtes périodes (Olschewski et Benitez, 2005).

De plus, Silver et al. (2000) ont observé que les forêts tropicales s'établissant sur des terres agricoles abandonnées présentaient une accumulation de biomasse plus rapide que celles établies sur d'anciens pâturages (en raison probable d'une compaction des sols). Certains auteurs proposent d'adopter des pratiques agroforesteries afin de diminuer les pertes de superficies forestières (Schroeder et al, 1993).

Mentionnons par exemple une récente discussion sur la quantité de dioxyde atmosphérique pouvant être absorbé par les forêts, l'un des paramètres cruciaux à prendre en compte dans l'étude de l'effet de serre. A l'aide de modèles il a été proposé que la forêt nord-américaine est le plus gros puits de CO<sub>2</sub> avec  $1,7 \pm 0,5 \times 10^{12}$  Kg /an (Fan et al, 1998).

D'autres équipes prévoient un puits importants en Amazonie sur la base d'inventaire de long terme (Lugo et Brown, 1992 ; Philips et al, 1998 in Chave 2000), et d'autres encore affirment que les forêts d'Amérique du nord ne peuvent absorber plus de  $0,5 \times 10^{12}$  kg /an de CO<sub>2</sub>. Cette controverse montre combien les estimations sur la période actuelle sont encore incertaines pour ce qui concerne le stockage de carbone dans les forêts.

Des modèles globaux d'estimation de biomasse basé sur de large échantillons ont également été élaborés (Brown et al. 1989, Brown 1997 ; Chave et al., 2005). Pour le moment, les meilleurs modèles globaux disponibles (Chave et al., op cit) sont basés sur 27 sites et 2 410 arbres (aucun ne provient des forêts Africaines) et utilisent le diamètre et la densité spécifique du bois (figure 14).



*Source : Chave 2005*

Figure 14 : L'absence d'étude des estimations du stockage de carbone impliquant la méthode directe.

Les forêts contiennent la moitié du stock de carbone terrestre, plus que n'importe quel autre écosystème. 8% de carbone terrestre stockés dans les forêts vivantes au niveau mondial se trouve dans les forêts de la R.D.Congo. C'est plus que n'importe quel autre pays d'Afrique et on estime que le pays possède la 4<sup>e</sup> plus grande réserve forestière du carbone au monde. La quantité de carbone stockée dans les forêts africaines varie selon les types de forêts (GREENPEACE, 2007).

Ainsi donc, les forêts naturelles ne sont pas, à ces jours, prises en compte par les mécanismes de marché qui rémunèrent le stockage du carbone pour atténuer les changements climatiques.

### I.3.10. LA DYNAMIQUE DU CARBONE DANS LES SYSTEMES AGROFORESTIERS TROPICAUX

La capacité de séquestration du carbone est donc beaucoup plus élevée dans les systèmes agroforestiers et forestiers qu'agricoles, puisque la biomasse aérienne présente y est plus importante (Dixon, 1995; Palm et al, 2000; Albrecht et Kandji, 2003).

Montagnini et Nair (2004) précisent que la *quantité de carbone séquestrée est fonction des espèces d'arbres, des régions géographiques (climat, sol), des densités de plantation et de la gestion du système*. Ils estiment que la captation de carbone dans une culture agroforesterie de région humide se situe autour de 50 tonnes C/ha en moyenne.

Quantité de carbone séquestrée dans la biomasse aérienne de différents systèmes d'utilisation de la terre.

Tableau 1 : Carbone séquestré

<b>Systèmes</b>	<b>(tonne/ha)</b>
Forêt primaire	300
Forêt exploitée	100-200
Jachère longue (rotation de 25 ans)	88
Agroforêt (rotation 25-30 ans)	40-60
Plantation d'arbres	11-61
Jachère courte (< 5 ans)	5
Pâturage et prairie	3

Adapté de Palm et al, 2000

Dixon (1995) ajoute que l'agroforesterie présente un double avantage : augmenter la captation du CO<sub>2</sub> tout en diminuant l'émission de GES associée à la déforestation et à l'agriculture migratoire qui s'en suit. Selon lui, un hectare agroforestier fournit des biens et services équivalant à 5-20 ha de terres déforestées (agriculture migratoire). Les réflexions de Montagnini et Nair (2004) abondent dans le même sens : les systèmes agroforestiers ont un effet indirect sur la captation de carbone en diminuant la pression sur les forêts naturelles.



Roshetko et al. (2002) ont démontré que le système agroforestier de jardin de case en Indonésie pourrait contribuer grandement à augmenter la séquestration du carbone dans une région, tout en améliorant le niveau de vie des agriculteurs. Ils proposent de favoriser les systèmes à haute densité d'arbres, à longues rotations, et à limiter les espèces présentant une biomasse faible (comme les cocotiers et les bananiers).

En ce qui a trait à la proportion de la répartition du carbone dans les différentes composantes du système agroforestier, Alvarado et al. (1999) ont démontré, dans une expérience menée au Guatemala, que le contenu en carbone des arbres d'ombrage, des caféiers et des plantes herbacées était respectivement de 15,82, 7,21 et 0,23 tonnes C/ha. On remarque donc l'importance de la composante ligneuse dans la biomasse aérienne.

Selon Montagnini et Nair (2004), plus de la moitié du carbone absorbé par les plantes est dirigée vers le sol via la croissance des racines et leur décomposition, les exsudats racinaires, et la décomposition de la litière. Les résultats de Palm et al. (2000) laissent entrevoir qu'un SAF (Système Agroforestier) conserve une proportion plus importante de carbone dans le sol qu'un sol dénudé d'arbres. Ils soulignent par contre que les efforts de captation de carbone en milieu tropical devraient se concentrer sur la biomasse aérienne et non sur les sols car, en 25 ans, les stocks de carbone dans la végétation peuvent augmenter de 501 C/ha, comparativement à seulement 5 à 151 C/ha dans les sols (le taux de décomposition de la matière organique du sol étant très rapide sous ces climats).

Outre ces systèmes précédents, à Kisangani plus précisément à Yangambi, le Centre de recherche de l'INERA / Yangambi, un grand centre de Recherche Agronomique du pays détient plus de 737 hectares de plantation d'arbres non reconnus jusqu'alors comme puits de carbone dont une centaine d'hectare, se compose d'essence forestières et le reste constitué essentiellement de l'hévéaculture (130 espèces différentes réparties en 24 familles). Ces plantations n'ont jamais été considérées du point de vue de la séquestration de carbone. Aucune étude scientifique n'a été réalisée pour estimer la quantité de carbone stockée dans ces plantations de Yangambi. Pourtant, les résultats d'une telle étude peuvent être utilisés pour inscrire ces plantations d'âges différents dans le processus de MDP comme puits de carbone.

C'est dans cette réserve de la biosphère que se situera notre étude qui consistera bien entendu à estimer le stock de carbone dans ces arbres dont l'âge est bien connu (archives INERA 1964).

## 1.4. DESCRIPTION DES ESPECES ETUDIEES.

### 1.4.1. *Autranella congolensis*

*Nom Pilote* : Mukulungu. *Famille* : Sapotaceae (latex à fil, (c(n) An+n). *Niveau* : trois (gamocarpellaire, dichlamydées, gamopétales superovariées); *Classe des Astérides* Archaiques *Ordre* : Ericales (fleurs penta cycliques isocarpellatées) *Distribution* : surtout au Cameroun : partout, disséminé, plus abondant à l'Est de Yaoundé et dans le Sud-est, rare dans l'Ouest. *Répartition en Afrique* : Nigeria, Cabinda et en République Démocratique du Congo. *Base* : cylindrique, épaisse chez les vieux arbres.

*Fût* : droit, cylindrique, L : 30 m ; diamètre : 3m. *Houppier* : cime très large aplatie à grosses branches horizontales ; feuilles groupées à l'extrémité des rameaux. *Ecorce* brune, (3cm), profondément crevassée longitudinalement ; Tranche dure, lie-de-vin, exsudat d'un latex blanc poisseux. *Aubier* : différencié, mince (2-3cm), brun très claire, pas nettement délimité avec le bois. *Bois* : rouge orangé fonçant à la lumière, contenant du cilice et du carbone (non flottable : bois très lourd). *Feuilles* : caduques, alternes, simples (10-14 X 4-5 cm), à pétiole grêle (3-4 cm). A limbe coriace glabre brillant en dessus, mat en dessous, à la nervure. Principale saillante en dessous déprimé en dessus, à 15 paires de nervures secondaires peu visibles. *Fruits* : baies ovoïdes (7 x 5cm), vert jaunâtre à la surface rugueuse, à pulpe Jaune. *Graines* : 1-3 par fruit, (4 – 5 x 3 – 4 cm), brun clair luisantes ovoïdes aplaties , tégument très épais et dur, à cicatrice rectangulaire n'occupant qu'une partie de la face ventrale. *Propriétés physiques* : les propriétés indiquées concernent les bois à maturité, ces propriétés peuvent varier de façon très notable selon la provenance et les conditions de croissances du bois (Vivien., et al) :

Tableau 2 : Les propriétés physiques d'*Autranella congolensis*

	Moyenne	écart-type
Densité*	0 ,94	0 ,03
Dureté monnin	7,7	2 ,00
Coefficient de retrait Volumique	0 ,66%	0 ,04
Retrait tangentiel total	8 ,4	0, 3
Retrait radial total	7, 4	1 ,00
Point de saturation de fibres	26,00	
Stabilité en service	peu stable	



La figure ci-dessous présente une partie de ces plantations d'*Autranella congolensis* (Figure 15).



Figure 15 : Plantation d'*Autranella congolensis* / Yangambi.

#### 1.4.2. *Gilbertiodendron dewevrei*

*Nom Pilote:* Limbali *Famille:* Fabaceae (gousse) *Niveau :* Zéro (dialycarpellaires ou à un seul carpelle) ; *Classe:* Caesalpinioideae (stipule) *Ordre :* Fabales ; *Distribution :* En peuplement pratiquement purs (parfois sur Plusieurs hectares voire dizaines d'hectares) ; avec Régénération abondante, dans les fond des vallées ni inondés ni marécageux, sur leur pente ou au voisinage. Essentiellement concentrés dans le bassin de Nyong moyen, du Dja, de Boumba, de la Ngoko et de la Sangha. Présence sporadique dans la zone forestière plus occidentale (mais ici confusions possible avec d'autres *Gilbertiodendron*).

*Répartition en Afrique :* du Nigeria et en République Démocratique du Congo. *Base :* cylindrique *Fût:* droit et cylindrique, bas branchu ; L : 20m de diamètre : 3 m. *Houppier :* peu développé, feuillage dense vert foncé pendant, à jeunes pousses et jeunes feuilles rouge vif. *Ecorce:* jaunâtre (1cm) s'exfoliant en grandes plaques minces Irrégulière laissant apparaitre de nombreuses petit lenticelles brunes ; tranche dure, fibreuse, brun rouge. *Aubier :* différencié, blanc à brun rosé clair (5-10 cm). *Bois :* brun rougeâtre. *Feuilles :* persistantes, alternes, composées pennées à 2-5 paire de grande folioles opposées (10-50 X 5-20 cm), garnies de quelque glandes noirâtres sur le bord de limbe à 15-20 paires de nervures latérales ; stipule lancéolées persistantes munies de deux oreillettes à la base.



*Fruits* : gousses plates, ligneuses (15- 30 X6-9 cm) brunâtre, ridées transversalement, avec un des bords marqué d'un côté, revêtue de poils denses très courts. *Graines*: 4-6 par fruit (diamètre : 4-5 cm), plates.

*Propriétés physiques* : les propriétés indiquées concernent les bois à maturités ces propriétés peuvent varier de façon très notable selon la provenance et les conditions de croissances du bois (Vivien., op cit ) :

Tableau 3 : Les propriétés physiques de *Gilbertiodendron dewevrei*

	Moyenne	écart type
Densité*	0.81	0.05
Dureté Monnin	5.1	1.1
Coeff. de rétrait volumique	0.62	0.05
Rétrait tangentiel total	9.1 %	0.8
Rétrait radial total	4.7 %	0.5
Point de saturation des fibres	28 %	
Stabilité en service	moyennement stable.	

Les quatre figures ci-dessous illustrent les plantations de *Gilbertiodendron dewevrei* et ses matériel biologiques (feuilles et fruits, figures : 16, 17, 18, 19).



Figure 16, 17, 18, 19 : Plantation de *Gilbertiodendron dewevrei* (Yangambi)

### II.2.2.1. Méthode directe

#### II.2.2.1.1. Mesure de carbone

Il existe actuellement deux composantes pour mesurer le stock de carbone dans le système MRV (Mesure, Rapportage et Vérification) ; dans le cadre de la participation au processus REDD destiné aux pays forestiers.

- a) La télédétection (imagerie satellite) ;
- b) La mesure des arbres sur le terrain (mesures dendrométriques).

La figure ci- après illustre les deux composantes pour mesurer le stockage de carbone dans le système MRV.

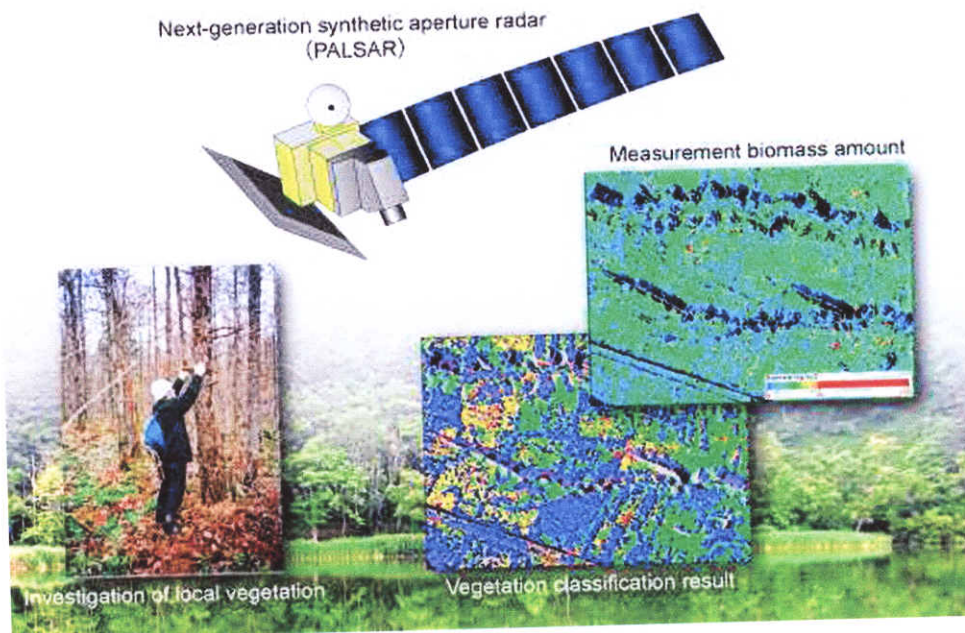


Figure 20 : Mesure carbone sur le terrain et le satellite (paysage).

Comme le montre la figure 20, pour ce travail nous avons procédé par les mesures sur le terrain et nous avons estimé la biomasse à l'aide de l'approche dite destructive ou méthode directe. Selon Macdiken, (1997) le choix pour cette méthode, dépendait d'un compromis entre le degré de fiabilité des résultats désirés, le temps disponible (4/mois de terrain) et surtout dans le cas d'espèce de budget alloué (CIFOR) à ce projet de recherche (Timothy., et al, 2005).

**I.4.3. *Drypetes likwa* J. Léonard. Nomen (Euphorbiaceae).**

Arbre d'environ 25 m de hauteur totale. Fût de 1,2 m de circonférence et de d'environ 15 m de haut, cylindrique dès la base et bien droit. Ecorce de 3-4 mm d'épaisseur, gris jaunâtre. Sale sur l'écorce sur la tranche à l'état frais, scléreuse stratifiée, parcourue de quelques stries blanches, peu adhérente au cambium par une surface qui noircit à l'air.

Rhytidome lisse, à lenticelles peu proéminentes et non ouvertes, verte de paris. Feuilles alternes, dentées. Fruits tomenteux, brun fauve, 2 lobés, de 18 mm de long, plus ou moins 15 mm de large et plus ou moins 10 mm d'épaisseur. Une graine penduleuse par loge à un spermoderme beige ; cannelée et ratatinée ; endosperme blanc à vague, odeur de navet.

Distribution générale : Congolaise

Distribution. Tshopo.YBI (Louis 3838, 8863) : Vérifié par Sabongo P. (2007).

Habitat : Forêt primaire.

N.V. Likwa li etoke.

Moyenne

Densité\* : 0,65

## CHAPITRE DEUXIEME : MATERIEL ET METHODES

### II.1. MATEREIL

Pour atteindre nos objectifs fixés à l'initial, nous nous sommes servis de deux sortes de matériels :

#### II.1.1. MATERIEL BIOLOGIQUE

Le matériel biologique utilisé dans la réalisation de ce travail est défini en termes d'espèces végétales. Dans les plantations de l'INERA/ YANGAMBI, le choix a été porté sur trois espèces à savoir : *Autranella congolensis*, *Gilbertiodendron dewevrei* et « *Drypetes likwa* ». Ces trois espèces ont été décrites dans le chapitre 1 et les raisons portant sur leur choix ont également été avancé à l'introduction. .

#### II.1.2. MATERIEL NON BIOLOGIQUE

Le matériel utilisé pour le travail sur le terrain doit être précis résistant et durable pour supporter les rigueurs d'utilisation sous conditions adverses. Le type d'équipement requis dépend du type de mesure à prendre et la liste qui suit contient la plupart du matériel généralement employé.



Tableau 4 : Liste de matériaux standards pour la prise des mesures sur le terrain

Objet	Fonction
Boussole	Pour mesurer l'emplacement
Ruban métrique à fibre d'acier 50 m	Pour mesurer les distances
GPS	Pour localiser les placettes
Clous en aluminium et étiquette numérotée	Pour marquer les arbres
Ruban diamétrique d'arbre (dhp)	Pour mesurer les arbres
Moteur (DIESEL) 17kva	Pour alimenter l'étuve
Essence	Pour le fonctionnement de la tronçonneuse
Mazout	Pour le fonctionnement du moteur
SAE 40	Pour le petit groupe électrogène
SAE 50+ Vidange	Pour le moteur diesel
Scie à main(Tronçonneuse)	Pour collecte d'échantillon (destructif) coupe d'échantillon
Balance à ressort, 100 kg et 200 kg	Pour la pesée d'échantillon destructif
Bâche en plastique	Pour la biomasse feuille et fruit
Sacs plastiques	Pour la pesée feuilles, écorces et fruits.
Machettes	Réhabilitation des plantations
Etuve	Pour le séchage d'échantillon
Appareil photo	Prise d'image
Peinture (couleur)	Marquage des arbres
Papier enveloppe	Pour sécher les feuilles et écorce

Outre ces matériels, il existe d'autres matériaux destinés à d'autres types de réservoirs (sol ...) qui ne nous intéressent guère dans cette première phase dudit projet de recherche ; par ce que ce travail se concentre uniquement sur un type de réservoir de carbone (arbre). Tous les matériaux ayant trait au sol ne seront pas pris en compte pour cette première phase de recherche mais peuvent être utiles en perspective.

## II.2. METHODE DE TRAVAIL

### II.2.1. METHODES DE PLANTATIONS

#### II .2.1.1. Plantation d'enrichissement

Contrairement à ce que pouvaient croire les premiers forestiers abordant la forêt tropicale au début de ce siècle, celle-ci ne contient pas un volume sur pied très important, Il est de l'ordre de 250 à 300 m<sup>3</sup>/ha. (FAO, 2000). Si l'on se réfère au volume purement commercialisable, les chiffres baissent très vite, Ils varient de 5 à 25 m<sup>3</sup>/ha en moyenne en fonction du degré d'exploitation de la forêt, de l'intérêt commercial de sa composition spécifique et du diamètre minimum d'exploitation retenu. Ce dernier a notablement varié au cours du temps. Il concernait un Nombre relativement limité d'espèces au début des actions des services forestiers, et pourtant, ceux-ci se sont rapidement préoccupés de la perte de valeur des peuplements et de la nécessité d'y remédier.

Le souci majeur a donc été de définir et de mettre au point des actions sylvicoles propres à augmenter ou au moins maintenir le potentiel bois d'œuvre d'un peuplement naturel. L'objectif était d'assurer, dans le cadre d'un aménagement forestier, une production soutenue et la plus homogène possible. L'enrichissement devenait l'action salvatrice de la forêt pour laquelle deux options fondamentales se dessinaient, répartissant comme nous l'avons vu les acteurs en partisans de la régénération naturelle d'une part et partisans de la régénération artificielle d'autre part.

Nous ferons allusion ici que les méthodes faisant appel aux plantations de plus ou moins grande envergure. Les plantations en forêt ou "enrichissement" doivent avoir pour effet d'introduire, par plantation dans un milieu forestier plus ou moins transformé, les essences de valeur qui constitueront, à terme, l'essentiel de la production. Un complément de production sera éventuellement apporté par les essences de valeur, préexistantes ou apparues par régénération naturelle. Les premières opérations ont été très prudentes pour ne concerner que les quelques essences (Sipo : *Entandrophragma utile*, Acajou : *Khaya* spp., Sapeli : *Entandrophragma cylindricum* Okoumé : *Aukoumea klaineana*, Iroko : *Milicia exelsa*) qui pouvaient en toute sécurité trouver des débouchés sur les marchés d'exportation, l'intention était "inciter et aider la nature, à hâter son œuvre".

L'intervention sur la forêt naturelle originelle s'est ensuite intensifiée pour des raisons commerciales (extension de la gamme d'essences régulièrement exportées) et des raisons sylvicoles (meilleure connaissance du tempérament et des réactions des espèces utilisées).

Les techniques d'enrichissement par plantation peuvent être classées suivant le degré d'intervention et de modification de l'écosystème initial de l'intervention minimale, dans des layons étroits à grand écartement, perturbant peu le milieu, l'évolution s'est faite vers une destruction progressive de la forêt naturelle préexistante. Le terme "enrichissement" d'origine prend à la fois un sens plus destructif et plus intensif dans la mesure où il est très difficile, sinon impossible, de transformer l'écosystème forestier en un système plus productif sans avoir recours à des méthodes qui aboutissent à un écosystème totalement nouveau. Il s'agit alors de véritables plantations de conversion. Nous décrirons succinctement ces méthodes dans l'ordre de transformation croissante de la forêt initiale ; et seules les méthodes pour lesquelles nos plantations ont été établies seront détaillées.

#### **II.2.1.2. La méthode des layons**

C'est une méthode extensive se traduisant par un enrichissement assez lâche aboutissant seulement à long terme, deux révolutions au moins, à l'homogénéisation des peuplements. Elle consiste à ouvrir dans la forêt des layons parallèles et équidistants et à y introduire, à intervalles réguliers des plants d'essences commerciales élevés en pépinière. Il s'agit de faire bénéficier ceux-ci d'un surcroît de lumière tout en les maintenant dans "l'ambiance" forestière:

- élimination de toute végétation sur une largeur de 2 m,
- mise en place des plants sur une seule ligne aux écartements de 2 m, 2,5 m ou 5 m sur la ligne,
- destruction plus ou moins intense du couvert latéral ;
- dégagement précoce pour assurer la survie des plants et éviter les entretiens trop étalés dans le temps.

La distance entre layons a évolué dans le temps pour atteindre 20 à 25 m avec des layons largement dégagés par le haut (8 à 10 m). Parallèlement tous les arbres à couvert épais et bas empêchant le bon éclairage du layon sont annelés. Cette méthode intéresse les parcelles 4A pour *Gilbertiodendron dewevrei*.

### II.2.1.3. La méthode Martineau

Il s'agit plus d'une plantation serrée sous forêt. C'est une introduction prudente d'essences nobles sous un couvert détruit progressivement. C'est une des premières méthodes de plantation en plein comme pour la forêt dense tropicale africaine, destinée à remplacer la forêt hétérogène par un peuplement équienne d'espèces commerciales. Le but de la méthode est de remplacer totalement le peuplement hétérogène par un peuplement régulier par plantation serrée sous le couvert. La technique consiste à introduire par hectare 2500 plants d'essence commerciale sous la forêt naturelle préalablement débarrassée du sous bois.

L'entretien des parcelles devrait être effectué normalement par dégagement des jeunes plants et le peuplement artificiel ainsi obtenu éclairé progressivement par passage tous les 5 ans à partir de la 6 à 10<sup>e</sup> année. La méthode assure une bonne reprise des plants, une grande régularité, un contrôle plus aisé du recrû mais la lente croissance dans le jeune âge et les frais d'installation élevés constituent ses majeurs handicaps. La procédure de la technique se résume de la manière suivante :

- détruire manuellement le sous-bois constitué des tiges jusqu'à 10 cm de diamètre ;
- mettre en place 2 500 plants/ha et assurer le dégagement des jeunes plants ;
- détruire progressivement par ceinturage le couvert principal un an, 2 ans et 5 ans après la plantation. Puis assurer l'éclaircissement complémentaire par passage tous les 5 ans à partir de la 10<sup>e</sup> année. Contrairement à la méthode précédente, Il s'agit d'une plantation dense sous couvert avec dégagement progressif après plantation. Elle intéresse les parcelles 13B ; 13C ; 13D pour *Autranella congolensis* & *Drypetes likwa* ; et la parcelle 20C pour *Gilbertiodendron dewevrei*.

### II.2.1.4. La Méthode de Blanc étoc

Le couvert forestier doit disparaître complètement en une seule opération pour donner immédiatement la pleine lumière aux essences à mettre en place. Cette méthode est une méthode intensive de modification radicale du peuplement hétérogène en peuplement pur.

Ce but est atteint par des plantations denses après élimination complète du peuplement hétérogène. La technique commence par une coupe rase de la forêt initiale et l'introduction des essences précieuses par plantation à petit écartement. La plantation installée nécessite plus loin de soins culturaux.



La méthode présente d'excellents résultats au point de vue croissance avec les essences robustes, de bonnes valeurs technologiques. Cette méthode est utilisée dans les parcelles 5C (*Autranella congolensis*); 10B, PA(1) et PA (2) « Parcelles Abandonnées » de *Gilbertiodendron dewevrei*.

#### II.2.1.5. Méthode de plateau dense

Le but de la méthode est d'enrichir la forêt dense en espèces économiquement précieuses sans perturber le milieu naturel écologique en détruisant le moins possible le sous bois de la forêt à enrichir. La méthode consiste à planter à de très faibles écartements, de petits bouquets de plants largement espacés les uns les autres. Chaque bouquet compte 9 à 50 plants suivant les espèces considérées et le milieu envisagé. Elle prétend concilier l'avantage de l'état serré et l'économie de larges équidistances.

Cette méthode utilise des plants éduqués en pépinières volantes créées en forêt et sous le couvert afin de produire des plants habitués à pousser à l'ombre. Les résultats obtenus sont excellents avec *Pericopsis elata*, *Terminalia superba* et *Cleistopholis grandifolia* ou *Cleistlpholis glauca* actuellement. (Parcelles 1F et 2F) tableau 4 du présent travail.

#### II.2.2. Méthode de travail sur le terrain

La décision d'évaluer les produits ligneux dépend du fait que les arbres vont être récoltés ou pas (méthode directe et indirecte). Le choix des réservoirs à mesurer dépend de plusieurs facteurs y compris des résultats attendus, et le coût à engager. Les arbres sont faciles à mesurer et contiennent des quantités substantielles de carbone. Il existe 2 types de méthodes pour estimer le stockage du carbone dans les arbres. Il s'agit des méthodes directe et indirecte.

Nous avons recouru à la première méthode grâce aux moyens financiers et matériels que CIFOR a mis à notre disposition, car très coûteuse et nécessite du temps et une main d'œuvre conséquente. La seconde est la moins coûteuse, mais donne des résultats peu fiables et imprécis. Nous avons utilisé la méthode directe qui donne des résultats précis et fiables.

#### II.2.2.1.2 Dispositif expérimental

D'après les objectifs prioritaires de REAFOR pour notre site d'étude, le projet REAFOR souhaitait à priori revaloriser les dispositifs préexistants notamment : la forêt aménagée (270 hectares) visant essentiellement les études portant sur la régénération (*Pericopsis elata*) et certaines plantations pour d'autres expériences relatives aux recherches (mémoires). Il était un peu difficile pour nous de mettre en place le dispositif pouvant nous aider par la suite à récolter nos données d'autant plus que nous n'avons pas retrouvé le plan cadastrale des dites plantations, raison pour laquelle nous avons procédé à priori à un sondage de reconnaissance.

#### II.2.2.1.3 Sondage de reconnaissance

Cette étape a consisté en une prospection sur le terrain. En effet, il s'agissait de localiser les zones qui pouvant nous servir de cadre d'étude (plantation à *Autranella congolensis* et *Gilbertiodendron dewevrei* « *Drypetes likwa* »).

#### II.2.2.1.4. Délimitation des parcelles, mesure des paramètres, et équipe

La présente étude porte sur un inventaire systématique de toutes les plantations des espèces ayant fait l'objet de notre étude. Bénéficiant de l'encadrement permanent d'un technicien de l'INERA durant toute la période couvrant notre stage, nous avons délimité les anciennes parcelles selon que les espèces pouvaient se retrouver dans le bloc d'enrichissement (méthode de layonnage) ou autres.

Onze parcelles ont été délimitées et remises à l'état (réhabilitée) par un défrichage complet reprenant les superficies de plantations à l'origine. Le tableau qui suit présente les parcelles avec leurs superficies correspondantes.

Tableau 5 : Description de différentes plantations délimitées et étudiées.

Espèces	N°Parcelle	Date de plantation	Ecartement (m)	Nbre de plants introduits	Méthode de plantation	Superficie (m2)
Autranella et Drypetes	13B	19 oct. 1939	4 X 2	163	Martineau	2500
		01 déc. 1938		148		
Autranella	13 C	20 Avr. 1937	2 X 2	572	Martineau	2500
Autranella	13 D	25 Mar. 1941	2 X 2	572	Martineau	2500
Autranella	5C	04 Avr.1941	3 X 2	600	Blanc étoc	3600
Autranella	1F	01 Oct. 1949	2 X 2	600 : (4)	Placeau den	2400
Autranella	2F	01 Oct. 1949	2 X 2	600 : (4)	Placeau den	2400
Gilbertiod.	20 C	10Sept. 1939	2 X 2	572	Martineau	2500
Gilbertiod.	10 B	10 Nov 1947	3 X 5	680	Blanc étoc	3600
Gilbertiod.	4A	26 sept. 1939	10X 2	1000/graines	Layon	10000
Gilbertiod.	PA(1)	28 sept. 1974	2 X 3	600	Blanc étoc	3600
Gilbertiod.	PA(2)	28 Sept 1974	2 X3	600	Blanc étoc	3600

NB :Dans la parcelle n° 13B, nous avons deux espèces en association : *Drypetes likwa* et *Autranella congolensis* ; la première a été plantée presque une année avant la seconde espèce. Tandis que, les parcelles 1F et 2F ayant le même âge de plantation installées par la méthode de Martineau comportait ont deux parcelles constituées de quatre bouquets de plantation avec une superficie de 2400 m<sup>2</sup> (annexe1).

La figure 21 ci-dessous considérée à titre illustratif explique de façon sommaire le tableau 2, et donne une idée sur la délimitation des différentes parcelles étudiées, dans le cadre des estimations du stockage de carbone.

La boussole, le GPS ainsi que le penta décimètre ont été utilisés comme instruments de base pour les travaux de délimitation de parcelles d'étude.

### II.2.2.1.5. Equipe de travail

#### *A / Travaux pré- inventaires*

Les premiers travaux de terrain ont consisté au défrichage et à la réhabilitation des plantations permettant par la suite la prise des mesures dendrométriques. Une équipe de cinq personnes a travaillé en deux sous équipes notamment : trois macheteurs, un guide (technicien INERA) et nous même pour la direction des travaux, la bonne réalisation et le suivi des opérations en vue de l'établissement de nos parcelles permanentes. A l'occasion, onze parcelles permanentes ont été réhabilitées et remise à l'état (valorisation des dispositifs existants jadis).

Malheureusement, parmi les trois espèces étudiées, il n'y a eu aucune répétition par rapport aux différentes méthodes des plantations expérimentées par les Belges à l'époque coloniale (méthode de layon, la méthode Martineau, de placeau dense, et la méthode de blanc étoc). La seconde phase de récolte des données a consisté à l'abattage des arbres moyens ; face à cette lourde tâche, la seconde équipe était composée de quatorze personnes dont 10 ouvriers, un abatteur et aide, un technicien de l'INERA (chef de la section forestière) et nous même. La troisième équipe s'est donc formée à la dernière phase de récolte des données s'agissant de séchage des échantillons au laboratoire. Deux autres personnes se sont ajoutées dans notre équipe : un laborantin, et un électricien. Au total, ce travail a été rendu possible grâce à une équipe composée de vingt personnes

#### *B / Mesure et marquage des arbres*

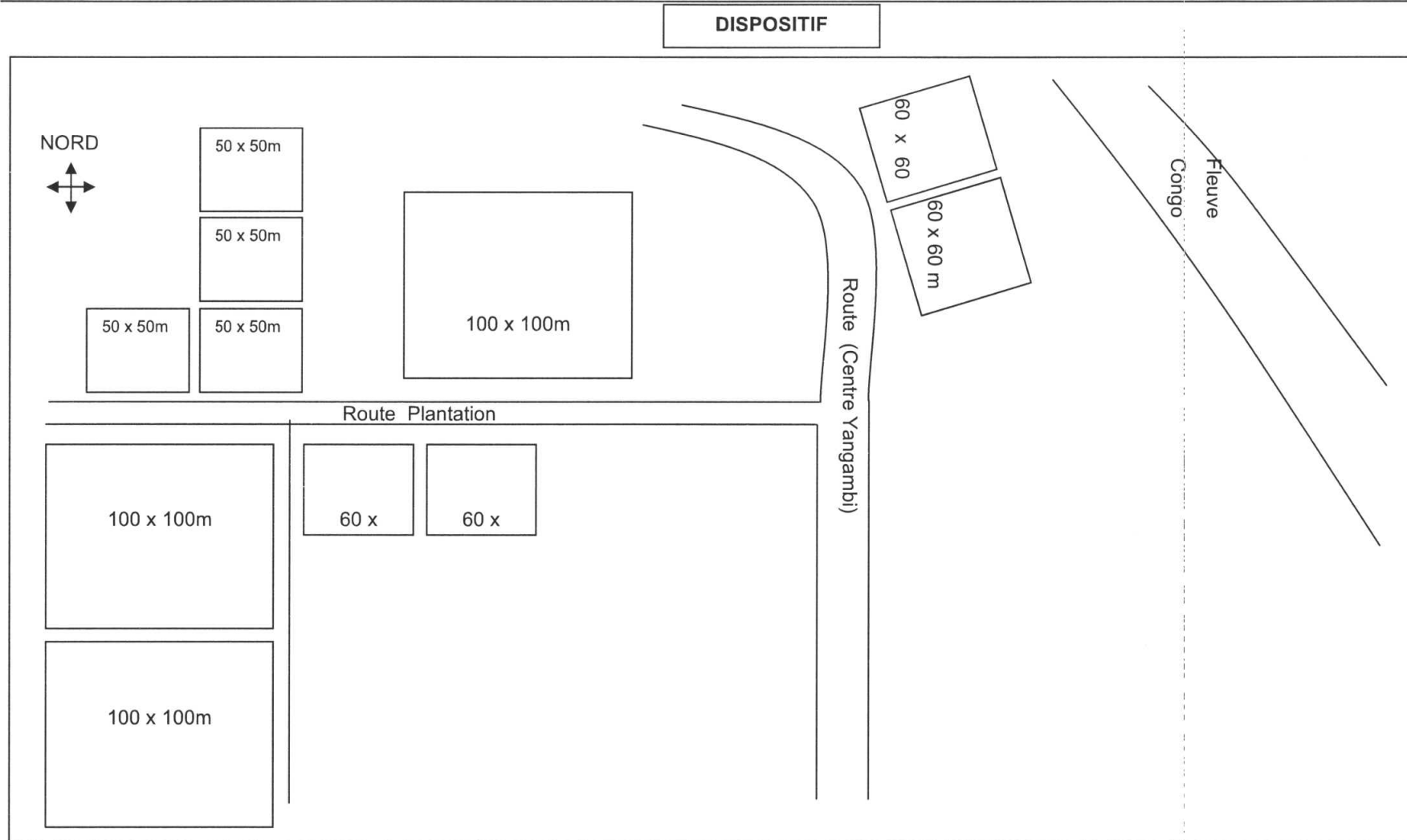
Pour ces travaux de précision, nous avons travaillé de concert avec notre collègue ASSUMANI qui travaillait dans les plantations voisines pour ses études portant sur le bilan des dites plantations en terme dendrométrique. Vingt et un jours ont été nécessaires pour la prise des mesures et le marquage des arbres. En ce qui concerne le marquage des arbres ; nous avons utilisé la peinture, les plaques à bois et en aluminium avec la perspective de mettre en place un dispositif afin de permettre d'autres études ultérieures.

La méthode directe dite destructive passe par l'identification d'un arbre moyen à partir de la surface terrière moyenne par ce que la surface terrière c'est un paramètre qui renseigne sur les estimations de la quantité de la matière ligneuse disponible dans un peuplement donné.

La formule qui permet de calculer ce paramètre nécessite la mesure sur le terrain d'un paramètre important à savoir le diamètre à la hauteur de la poitrine (dhp) à 1,30 m du sol.



Nous avons pris soin de mesurer les arbres en considérant uniquement ce paramètre dendrométrique (dhp). A l'aide du logiciel Excel, nous avons calculé la surface terrière de tous les arbres après la sélection et le rejet des arbres de bordure ayant subi fort bien les interférences d'autres facteurs par rapport aux autres arbres se trouvant à l'intérieur des plantations (proportion 20% de la superficie de la parcelle). Le logiciel R (2.5) nous a servi pour les analyses (statistiques).



Echelle : 1/100

Figure 21 : Dispositif expérimental

La figure 21 présente le dispositif qui a servi pour notre expérience à Yangambi et localise de façon illustrative différentes parcelles selon la description faite au tableau II relative à la délimitation des parcelles pour les plantations explorées.

En haut de gauche vers la droite, nous avons la parcelle 20C installée en 1939 avec la méthode de Martineau (*Gilbertiodendron dewevrei*), les autres (3 plantations d'*Austranella congolensis*) parcelles qui se suivent à côté sont respectivement les parcelles 13B, 13C, 13D (1939, 1937 et 1941). Ces quatre premières parcelles ont été installées aux écartements de 2X2 m par la méthode de Martineau ; mais seulement les parcelles 13B et 20C ont été gérées au minimum par des éclaircies dans les jeunes (premières années de plantation). La parcelle qui suit de 100 m ce côté, dans celle-ci, a été installée l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* en 1939 par la méthode de layon aux écartements de 10mx2m (parcelle 4A éclaircies dans les jeunes âges).

A droite entre la route du centre Yangambi et le fleuve Congo nous avons deux parcelles de 60mx60m de côté ; ce sont les deux plantations qui n'ont subi aucune intervention sylvicole mais, ont été installées en 1974 (plantations abandonnées) ; l'avantage apparent de ces deux plantations de *Gilbertiodendron dewevrei* est que les plantations ont évolué tout proche du fleuve et sur un terrain en pente conditions presque favorables pour la croissance de l'espèce. Malgré cet avantage, les arbres ont subi des malformations liées à l'auto-élagage présentant ainsi des bosses sur les troncs de presque tous les arbres.

En bas, de gauche vers la droite nous avons délimité deux parcelles (1F et 2F) de 100 m de côté après l'ouverture d'un layon de 200m. Quatre placeaux denses ont été inventoriés dans ces deux parcelles installées en 1949 et après inventaire deux arbres modèles ont été abattus.

La parcelle qui suit à droite, il s'agit d'une plantation de *Gilbertiodendron dewevrei* installée en 1947. L'histoire de cette plantation révèle que la première installation n'avait pas reçu (arbres morts) ; c'est ainsi qu'en 1974, on a procédé au regarnissage des vides (deux plants par emplacement). Étant donné que la plantation a été également abandonnée nous avons trouvé 130 arbres dans cette plantation, en raison de deux arbres par emplacement. Enfin, la parcelle 5C issue de la méthode de blanc étoc installée en 1941 dans laquelle les éclaircies ont été appliquées dans les jeunes âges (*Austranella congolensis*).

### II.2.3. PARAMETRES D'ETUDE

#### II.2.3.1. Paramètres non mesurés

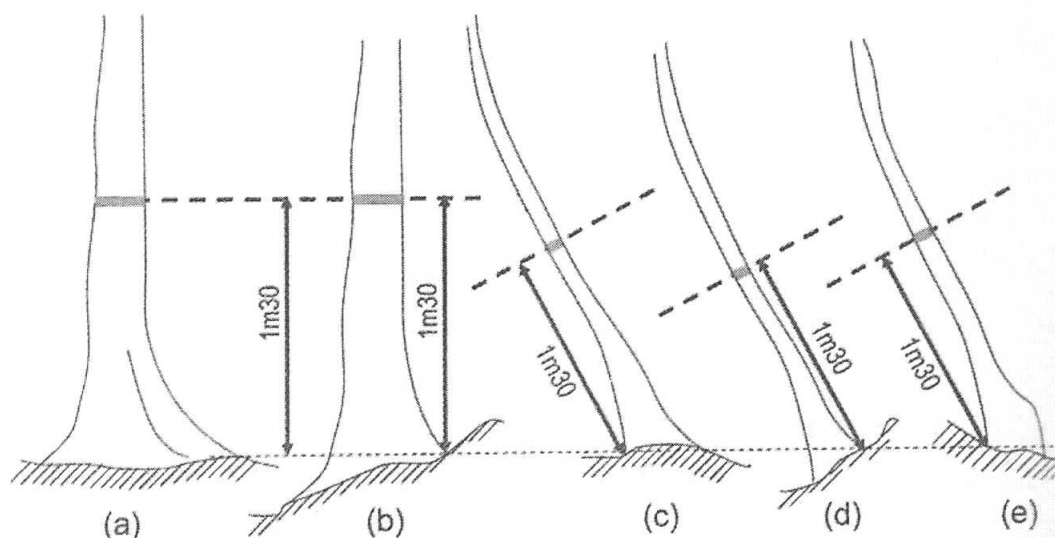
Les paramètres ci-dessous ont été considérés :

- Essence (espèce d'arbre) ;
- Ages et les densités de plantations ;
- Méthodes de plantations.

#### II.2.3.2. Paramètres mesurés

Estimation à partir des mesures dendrométriques :

- Diamètre (dhp) des arbres debout et arbres abattus;
- Hauteur des arbres abattus (arbre moyen) « fût et la hauteur totale » ;
- La longueur de chaque cône (partie du tronc d'un arbre abattu : 2 à 5 mètres de longueur) ;
- L'épaisseur de l'écorce ;
- Le poids de la biomasse fraîche (tous les compartiments) immédiatement après l'abattage.





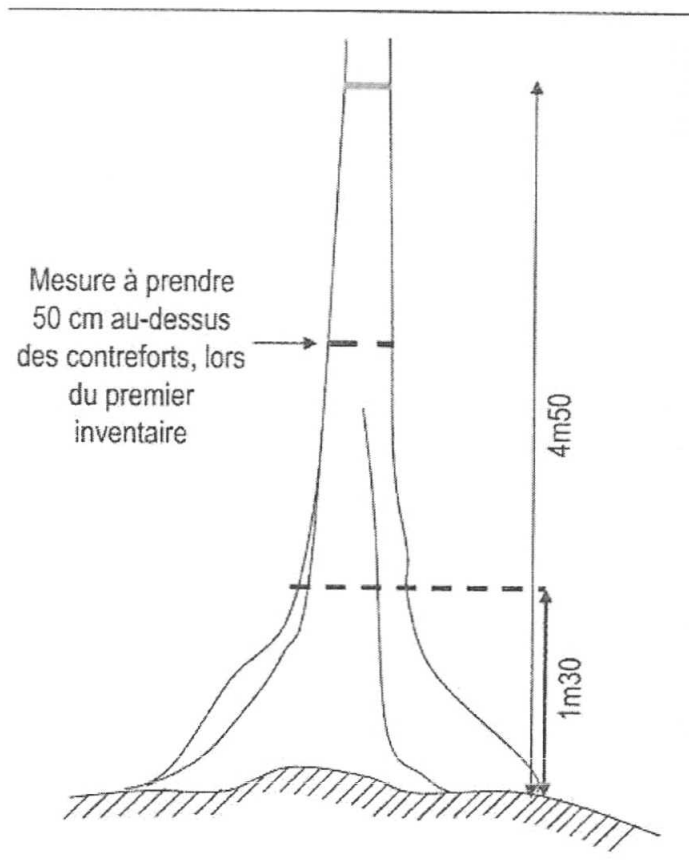
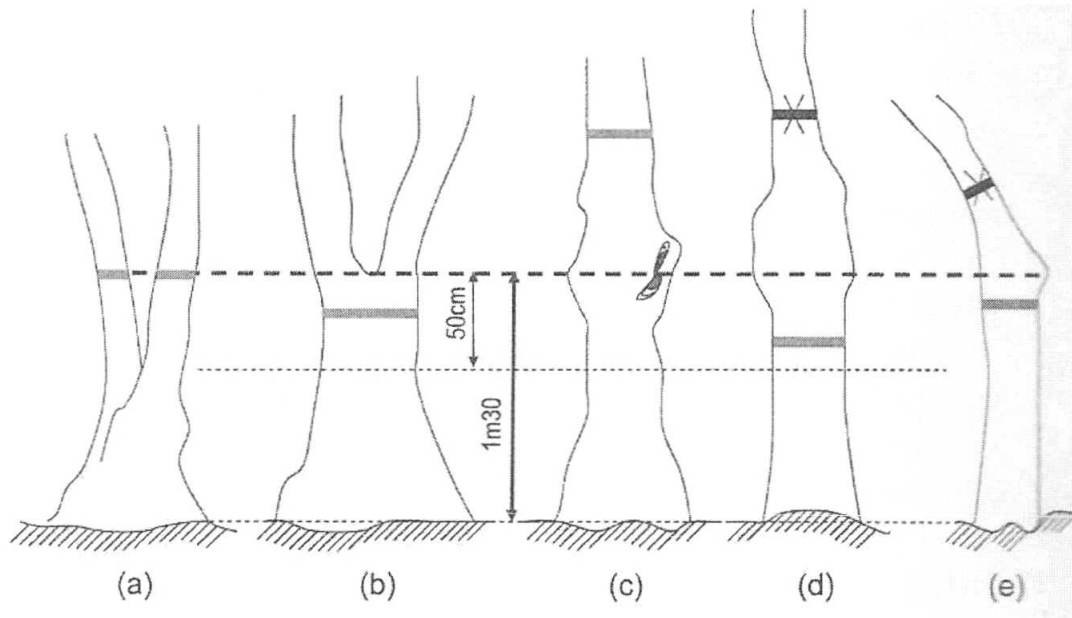


Figure 22 : 3 Points de mesure(DHP)

### II.2.3.3. Détermination de l'arbre moyen

Pour des raisons écologiques se rapportant au statut social de chaque arbre pris individuellement dans une parcelle d'expérimentation, certains arbres ont subi des interférences par ce que se retrouvant au niveau des bordures. Ces arbres tout au long de leur existence ont eu comme avantage de bénéficier des actions tonifiantes de certains facteurs écologiques (la lumière, l'eau, vent...).

Pour cette raison nous avons pris soin d'écartier tous ces arbres des bordures au moins 10 m de côté pour des parcelles d'un hectare par exemple ; seule la partie intérieure de la parcelle était concernée pour la sélection de l'arbre modèle (80mx80m). La sélection d'arbre modèle dans des petites parcelles de cinquante mètres de côté obéissait au même principe, en éliminant trois lignes d'arbre de part et d'autre ; seules des parcelles ayant au minimum trente et cinq arbres étaient exemptées de la rigueur dudit principe. La figure ci-dessous décrit à titre illustratif et montre comment ces arbres de bordures ont été isolés.

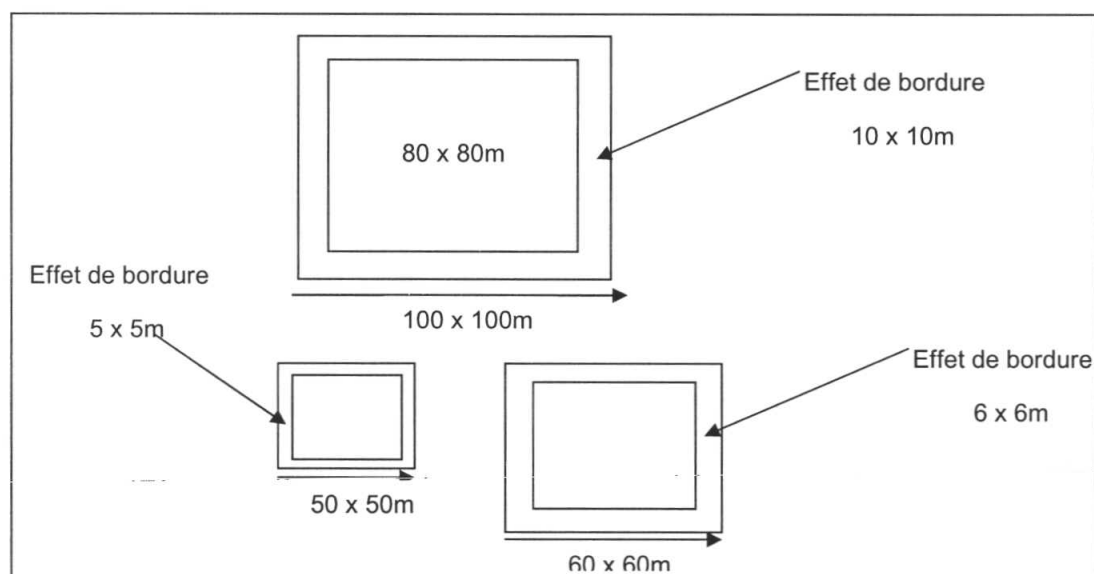


Figure 23 : Illustration (Effet de bordure).

Dans cette figure, nous avons pris trois parcelles de superficies différentes comme exemple pour illustrer la méthode selon laquelle les arbres de bordure ont été écartés de la sélection des arbres modèles. En haut, nous avons une parcelle de un hectare (100mx100m), dans les parcelles de cette dimension, seule la portion intérieure de 80mx80m était concernée pour la sélection des arbres modèles.

Or, en bas, de gauche vers la droite, la première parcelle représente les parcelles ayant 50m de côté et à côté une autre parcelle qui représente les parcelles à 60m de côté. Dans ces types de parcelles, trois lignes de bordure étaient éliminées de la sélection, sauf les parcelles où il y avait un nombre des arbres relativement faible (35 arbres seulement).

Il n'était pas possible de mesurer la phytomasse de ces plantations en coupant tout les arbres qui les composent ; par contre il a fallu donc sélectionner un arbre représentatif (arbre moyen ou arbre modèle). La surface terrière (ST) étant une valeur pratique qui donne des indications sur la quantité de matière ligneuse réellement disponible dans un peuplement (Boudru. 1989) a été prise en compte pour déterminer l'arbre modèle.

On peut alors calculer un diamètre moyen (dm) qui correspond à la moyenne arithmétique des diamètres, mais on utilise assez souvent (et même principalement dans le monde de la recherche forestière) le diamètre de l'arbre moyen noté dg (cas des forêts naturelles). On l'obtient de la manière suivante :

\* On peut mesurer ou calculer pour un peuplement donné la valeur de la surface terrière G et celle de la densité N. Le rapport entre ces deux grandeurs donne la valeur gm : surface terrière moyenne du peuplement (GAUDIN S – BTSA Gestion forestière -1996).

$gm = \pi dg^2/4$  donc  $dg = (4gm)^{1/2}$  ; cette expression trouve son efficacité en forêt naturelle.

Il a fallu extrapoler en principe les sommes des arbres à la section (1,30 m) pour chaque parcelle afin de trouver leurs surfaces terrières avant de calculer la surface de la section d'un arbre modèle représentant les peuplements, ce qui n'a pas été le cas ; nous pourrions corriger cette erreur la prochaine fois. Le diamètre moyen correspond donc à la surface de la section de chaque arbre modèle a été pris en compte pour tout le peuplement le cas échéant.

gm = Surface terrière moyenne du peuplement (diamètre moyen) ; dg = diamètre moyen quadratique (surface de la section (1,30 m) d'un arbre modèle. La figure ci-après présente un arbre modèle biomasse aérienne (figure 24).



Figure 24 : Biomasse aérienne d'un arbre modèle

Il ressort de cette figure que nous avons compartimenté la biomasse par catégorie : biomasse fût ; biomasse branche ; biomasse rameau ; biomasse feuille et la biomasse fruit. Généralement, la partie houppier qui comprend les branches, les rameaux, les feuilles et les fruits était séparée du fût tout simplement par ce qu'on avait la possibilité de la pesée.

#### II.2.3.4. Abattage des arbres sélectionnés.

Douze arbres modèles ont été abattus au moins un arbre par parcelle permanente ; une exception a été faite sur une parcelle où nous avons récolté par effets collatéraux deux arbres dont le second ne faisait pas partie des espèces poursuivies au départ pour notre étude (*Drypetes likwa*) ; en fonction des méthodes de plantations (blanc étoc, Martineau, Layon et placeau dense) et selon que les plantations ont été suivies ou non (mode de gestion), ainsi que l'âge des dites plantations. Avant l'abattage d'un arbre, on prenait soin de mesurer le diamètre au pied de l'arbre, ce qui pouvait éventuellement aider aux calculs de volume pour la détermination de la biomasse fût. Le volume fût ainsi trouvé était multiplié par la densité trouvée dans la littérature (densité à 12 % d'humidité) pour des raisons de commodité.



### II.2.3.5. Quantification de la biomasse fraîche des arbres abattus.

#### *Compartimentation et mesure de la biomasse aérienne*

Une fois l'arbre moyen était abattu couché au sol, toute l'équipe était mobilisée pour compartimenter la biomasse aérienne par catégories : fruit, feuille, rameau, branche (houppier); tronc (fût), et écorce (différentes parties concernées). L'opération (compartimentation) était faite immédiatement après l'abattage pour éviter que les échantillons perdent vite leur humidité et pesés. On divisait virtuellement la tige en 3, 4, 5, 6 cônes et on mesure le diamètre de chaque cône (dgb, dfb). Le volume pour chaque cône (billon) a été obtenu en utilisant la formule de Smalian ; et le volume total pour chaque fût a été obtenu par addition du nombre des pièces (cônes) que nous avons considéré comme cylindres. Pour ce qui concerne la biomasse, on a pu prendre trois rondelles minimum par arbre s'agissant d'une essence à fût moins élancé (25 %, 50% et 100% de la longueur de la tige), s'agissant d'un arbre modèle à un fût très élancé, plus au moins cinq rondelles ont été prélevées (0%, 25%, 50%, 75%, 100%). Cfr annexe 7.

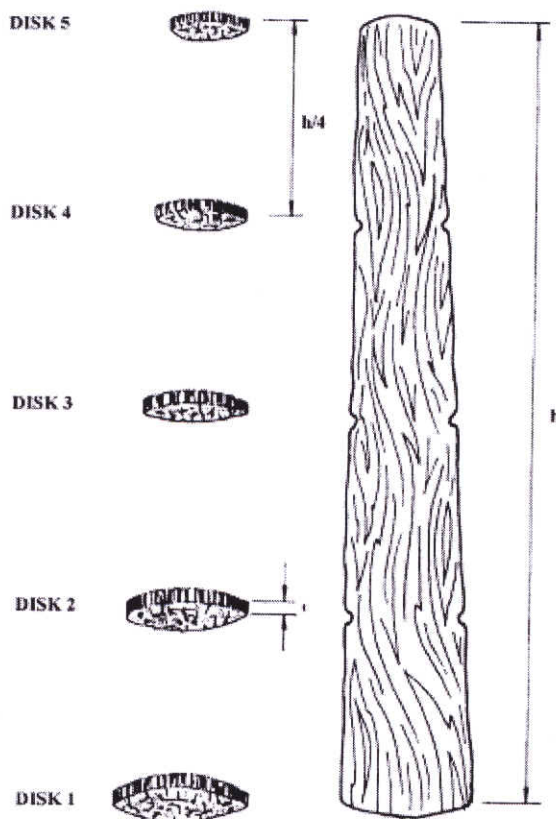


Figure 25 : Les rondelles prélevées à différents niveaux du tronc d'arbre modèle (fût).

Dans cette figure les disks représentent les rondelles numérotées de la base vers le sommet ; h : hauteur. Au maximum cinq rondelles étaient prélevées pour les arbres ayant un fût très élancé, mais les arbres ayant un tronc moins élancé (10 m au plus) par exemple les arbres abattus dans les parcelles 4A et 20C pour l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* , nous avons prélevé trois rondelles seulement à la différence des autres arbres abattus dans d'autres parcelles.

Les grosses branches étaient découpées en billons et leurs diamètres mesurés aux deux bouts et les échantillons prélevés. Quant aux autres compartiments (petites branches, rameaux, feuille et fruit), nous avons pris soins de peser toute sa biomasse pour chaque arbre modèle et prélever les échantillons destinés au laboratoire (peser en état vert et sécher, puis repesé). Il était bien de noter l'épaisseur de l'écorce à chaque niveau et de déterminer sa biomasse séparément et le rapport volume sur écorce/ volume sous écorce nous a permis de trouver le volume écorce de façon séparée des autres compartiments. La figure 25 présente un arbre abattu divisé en cônes.



Figure 26 : Arbre couché divisé en cônes *Autranella congolensis* INERA/Yangambi



Il nous a semblé crucial d'ajouter un maximum de matériel (rondelles) à des collections de références, pour constituer un matériel didactique en rapport avec le cours d'Anatomie du bois au niveau de la Faculté des Sciences à l'Université de Kisangani. Pour cette fin, au moins une rondelle a été prélevée (séchée au soleil) pour chacun de douze arbres modèles abattus. Les rondelles d'un arbre moyen abattu était numérotées depuis la base du tronc jusqu'au sommet du fût (figure 24). Les autres échantillons ont été gérés en toute quiétude dans des sachets, et séchés dans des grosses enveloppes marquées pour éviter toute confusion. Les travaux d'abattage ont duré 12 jours en raison d'un arbre par jour (12 arbres abattus).

#### **II.2.3.6. Séchage de matériel (Laboratoire)**

La troisième étape pour la récolte des données consistait au séchage de matériel au laboratoire. Nos échantillons ont été séchés dans le laboratoire de l'INERA et de l'IFA / Yangambi. Nous avons utilisé un groupe électrogène (17 kVa) et les deux étuves que nous avons utilisées appartenaient respectivement aux institutions précitées. Etant donné que la biomasse était importante et les échantillons à séché étaient abondantes, il a fallu dix huit jours au total pour parachever la dite opération. L'échantillon du bois était séché à la température de 105°C et l'échantillon de feuille était séché avec plus d'attention à 70°C. Dans tous le cas, on pesait régulièrement les échantillons jusqu'au poids constant. Les poids individuels de ces échantillons sont repris en annexe (annexe...)

Les figures ci-dessous illustrent la méthodologie pour le séchage de matériel au laboratoire.



Figure 27 : Séchage des échantillons au laboratoire/ YANGAMBI

Il ressort de cette figure que les échantillons de bois étaient séchés et suivis avec prudence et que les autres compartiments tels que les feuilles et l'écorce étaient soigneusement dans des sacs à papier réservés à cet effet.

#### II.2.4. COMPILATION DES DONNEES

Les transformations des mesures brutes ont été rendues possibles grâce aux logiciels :

Excel et le logiciel R nous a aidés pour les tests statistiques.

1. Pour la surface terrière : la relation utilisée est donnée par :

$$ST = \frac{\pi}{4} (\text{DHP})^2$$

2 .Pour la surface terrière moyenne

$$Gm = \frac{\pi}{4} dg^2 \text{ où } dg = 4(\text{gm})^{1/2}$$

3 .Pour les volumes : Smalian

$$\frac{\pi}{4} \left( \frac{dgb^2 + dfb^2}{2} \right) L$$

a) volume sous écorce :

Volume sur écorce – 2(épaisseur de l'écorce)

b) volume écorce :

Volume sur écorce – volume sous écorce

1. Facteur d'Expansion Biomasse :

BEF = biomasse totale / biomasse fût

Biomasse : Biomasse = volume x densités x BEF (pour certains cas : méthode non destructive)

Biomasse sèche totale = Biomasse sèche fût + Biomasse sèche houppier (branches, rameaux, feuilles et fruits).

Biomasse fût = le volume fût x densités (12 % d'humidité) ;



Biomasse houppier = pour chaque compartiment (la règle de trois simple) à partir des échantillons après séchage

A partir de la biomasse sèche totale, nous avons calculé le Facteur Expansion à la biomasse.

2. CARBONE : Biomasse /2.

3. DENSITE DU BOIS :  $\rho = \frac{\text{biomasse sèche}}{\text{volume frais}}$

### II.2.5. ANALYSE STATISTIQUE

\* MODELE DE REGRESSION (modèle d'ajustement prédite de Chave, 2005)

Ce modèle a permis de tester la corrélation qui existe entre les observations sur le terrain et les valeurs prédites (Biomasse totale sèche).

Les variables mesures telles que la hauteur totale (ht), le diamètre correspondant à la surface de la section (1,30 m) de l'arbre modèle y compris la densité qu'on a trouvée dans la littérature ; ont été ajustés, en parallèle à l'ajustement prédit par CHAVE en 2005.

Voici donc les trois modèles :

1° Modèle : 1.

$$B = \alpha D^{\beta} H^{\gamma} P^{\delta}$$

$$\ln B = \ln \alpha + \beta \ln D + \gamma \ln H + \delta \ln P$$

Où : D : diamètre

H : hauteur

P : nombre de paramètre du modèle

2° Modèle 2 :

$$B = \alpha (D^2 HP)^{\beta}$$

$$\ln \beta = \ln \alpha + \beta \ln (D^2 HP)$$

3° Modèle 3 :

$$B = \alpha P^\beta \exp [\gamma \ln D + \delta (\ln D)^2 + \varepsilon (\ln D)^3]$$

$$\ln B = \ln \alpha + \beta \ln P + \gamma \ln D + \delta (\ln D)^2 + \varepsilon (\ln D)^3$$

AIC : AKAIKE Information Criterion

$$= -2 \ln L + 2p$$

Où : L : logarithme de vraisemblance du modèle. Plus L est grand, meilleur est le modèle ;

P : nombre de paramètre du modèle. Plus P est grand, moins bon est le modèle ;

NB : Plus AIC est petit, meilleur est le modèle.

## II.3. DEFINITION DES CONCEPTS

### II.3.1. AFFORESTATION

C'est la plantation des nouvelles forêts (plantations).

La récente afforestation et reforestation induite par les activités humaines n'a pas encore d'impacts importants sur le puits de carbone terrestre global. Mais des puits régionaux ont été créés, comme en Chine, ou les projets d'afforestation mis en place depuis les années 70 ont déjà séquestré 0,45 Gt C (Fang et al., 2001, in Deanman et al., 2007). Les effets de l'afforestation ne sont pas immédiats mais peuvent être considérés comme un héritage pour les générations futures.

### II.3.2. ATTENUATION

Intervention humaine pour réduire les sources ou augmenter les puits de gaz à effet de serre.

### II.3.3. BOISEMENT

Plantation des nouvelles forêts sur des terres qui, d'un point de vue historique, n'en ont jamais été couvertes.

### II.3.4. CHLOROFLUOROCARBURES (CFC)

Gaz à effet de serre réglementés par le Protocole de Montréal (1987) utilisés pour la réfrigération, la climatisation, l'emballage, l'isolation, les solvants et les propulseurs d'aérosols.

### **II.3.5. DIOXYDE DE CARBONE**

Le dioxyde de carbone (appelé parfois, de façon impropre : « gaz carbonique ») est un composé chimique constitué d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène et dont la formule brute est :  $\text{CO}_2$ . Cette molécule linéaire a pour formule développée de Lewis :  $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ . Dans les conditions normales de température et de pression, le dioxyde de carbone est un gaz incolore, inodore et à la saveur piquante communément appelée gaz carbonique ou encore anhydride carbonique. Il est présent dans l'atmosphère dans une proportion approximativement égale à 0,0375 % en volume, dans cette décennie (années 2000), soit 375 ppm (parties par million en volume).

Il est produit notamment lors de la fermentation aérobie ou de la combustion des composés organiques, et lors de la respiration des êtres vivants et des végétaux. Pour ces derniers, la photosynthèse piège beaucoup plus de  $\text{CO}_2$  que sa respiration n'en produit.

### **II.3.6. DEFORESTATION**

Le nettoyage des forêts, principalement sous les tropiques contribue à un tiers des émissions de  $\text{CO}_2$  d'origine anthropique. L'évolution future de ce poste dans le « budget  $\text{CO}_2$  » est donc cruciale. La déforestation en Afrique, en Asie et sous les tropiques américains va sans doute diminuer d'ici à la fin du 21<sup>ième</sup> siècle pour atteindre une faible fraction de son niveau des années 90 (Prentice et al., 2001).

### **II.3.7. LES CYCLES DU CARBONE ET DE L'OXYGENE**

Ces derniers impliquent deux processus principaux : la photosynthèse et la respiration. La photosynthèse utilise la lumière du soleil, du dioxyde de carbone et de l'eau pour produire des hydrates de carbone et de l'oxygène. La respiration, tant humaine qu'animale, combine les hydrates de carbone et de l'oxygène pour produire de l'énergie, du dioxyde de carbone et de l'eau.

Ainsi la fin d'un cycle est le début de l'autre, et tout cela se déroule proprement, efficacement et discrètement. Dans l'écosystème forestier, le carbone est stocké dans les plantes (parties aériennes, souterraines) dans et sur le sol (matière organique du sol, débris végétaux, litière). Le  $\text{CO}_2$  atmosphérique est absorbé par les plantes grâce à la photosynthèse. La majeure partie du  $\text{CO}_2$  absorbé est aussitôt rejeté par la respiration. Mais une partie est assimilée grâce à la croissance (végétaux). Le bois contient 50% de carbone.

### II.3.8. MARCHE CARBONE

Les directives européennes (2003/87/EC dite « quotas » et 2004/101/EC dite « projets ») ont défini un marché européen du carbone, effectif depuis le 1er janvier 2005. Ce marché, appelé EU ETS (*European Union Emission Trading System*), est une mesure communautaire pour réduire les émissions et atteindre les objectifs de Kyoto. Il concerne environ 12.000 sites industriels émetteurs de gaz à effet de serre en Europe. Les entreprises se voient attribuer des quotas d'émission au travers des Plans Nationaux d'Attribution des Quotas (PNAQ) et peuvent échanger des quotas. Une entreprise qui ne respectera pas ses engagements se verra attribuée une pénalité de 40 € par tonne de CO<sub>2</sub> émise en plus de son quota. Cette taxe devrait passer à 100 € en 2008.

### II.3.9. CAPTURE ET STOCKAGE DE CARBONE

La capture et le stockage de carbone est un procédé technique qui sépare le dioxyde de carbone des gaz produits par les grandes centrales thermiques à l'arrêt, comprime le CO<sub>2</sub>, puis le transporte dans un endroit où il peut être conservé dans des formations géologiques ou dans l'océan mais aussi dans la biomasse.

### II.3.10. CREDIT CARBONE

Un crédit de carbone équivaut à l'émission d'une tonne de dioxyde de carbone. Il permet à son détenteur d'émettre davantage de gaz à effet de serres (par rapport au taux en vigueur fixé par le protocole de Kyoto). Ils sont attribués aux Etats ou aux entreprises qui participent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Cette mise en place des crédits de carbone est censée aider les pays signataires à respecter leurs engagements vis à vis du protocole de Kyoto. L'attribution de ces crédits s'articule autour de plusieurs mécanismes. L'un d'entre eux s'intéresse plus particulièrement à la collaboration entre les pays industrialisés et les pays en voie de développement ; il s'agit du Mécanisme de développement propre (MDP), qui conditionne l'obtention de « crédits carbone » au financement d'un projet de réduction dans les pays en développement. Un tel système permet aujourd'hui aux pays industrialisés de se rapprocher de leurs propres objectifs nationaux fixés à Kyoto. A moyen terme, pour qu'un tel marché fonctionne, les pays industrialisés devront devenir eux-mêmes émetteurs de « crédits carbone » et seront donc contraints de réduire leurs émissions sur le sol national.



### **II.3.11. BILAN CARBONE**

Est une méthode de comptabilisation des Gaz à Effet de Serre (GES) proposée par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie). Cette méthode permet de mesurer l'impact global d'une activité sur l'environnement, en utilisant une nouvelle unité de mesure : l'équivalent CO<sub>2</sub>. Le Bilan Carbone a été créé à l'issue de la ratification du protocole de Kyoto en 2004, afin de mesurer et de réduire l'impact de l'activité humaine sur l'enrichissement de l'atmosphère terrestre en Gaz à Effet de Serre, et d'évaluer notre responsabilité vis-à-vis des bouleversements climatiques à venir.

La méthode Bilan Carbone permet de passer en revue tous les flux physiques qui concernent l'activité d'une société ou d'une administration (flux de personne, de marchandise, d'énergie, etc.) et d'évaluer les émissions de Gaz à Effet de Serre qu'ils engendrent.

### **II.3.12. PHOTOSYNTHESE**

La **photosynthèse** est le processus bioénergétique qui permet aux plantes de synthétiser leur matière organique en exploitant l'énergie solaire. C'est la fabrication de la matière carbonée organique à partir d'eau et de carbone minéral (CO<sub>2</sub>) en présence de lumière. Les besoins nutritifs de la plante sont le dioxyde de carbone de l'air, l'eau et les minéraux du sol. Les végétaux sont dits autotrophes pour le carbone. Une conséquence importante est la libération de molécules de dioxygène. La nuit, la photosynthèse est suspendue, mais la plante respire de manière continue le jour et la nuit. Sur 24h, la production de dioxyde de carbone issue de la respiration est moins importante que celle en dioxygène issue de la photosynthèse, durant la journée.

C'est ainsi que l'on peut dire que la plante produit du dioxygène. C'est normal, car tel est le bilan durant toute sa croissance, produisant sa propre substance en rejetant de l'oxygène. À échelle planétaire, ce sont les algues et le phytoplancton marin qui produisent le plus d'oxygène, suivi des forêts. On a longtemps cru que les mers froides et tempérées étaient les seules à avoir un bilan positif en termes d'oxygène, mais une étude récente montre que les océans subtropicaux oligotrophes sont également producteurs d'oxygène, bien qu'avec une production saisonnière irrégulière. Ces océans jouent donc un rôle en termes de puits de carbone.

## CHAPITRE TROISIEME : RESULTATS

### III.1. STRUCTURES DIAMETRIQUES DES PLANTATIONS ETUDIEES.

#### A/ LES STRUCTURES DES PLANTATIONS DE : *Autranella congolensis* et *Drypetes likwa*

La figure ci-dessous présente les structures de plantations cas de : *Gilbertiodendron dewevrei* et de *Drypetes likwa*.

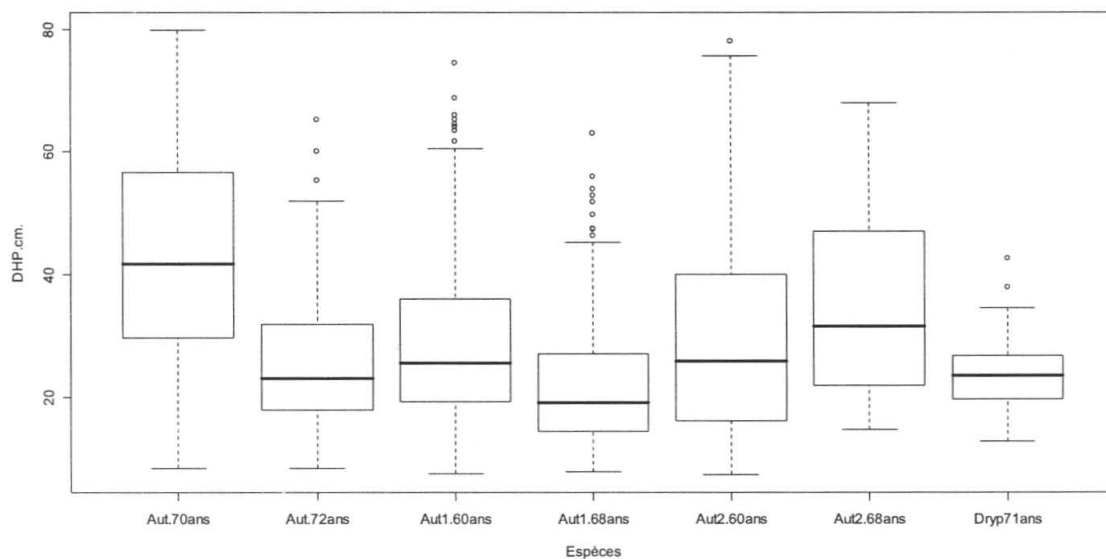


Figure 28 : Présente les valeurs moyennes de DHP observées dans les plantations étudiées (Yangambi).

Il ressort de cette figure que, les valeurs moyennes pour les classes de diamètres des plantations étudiées sont différentes les unes des autres. A 70 ans, la valeur moyenne pour des classes de diamètre se situe dans la classe 4 (40cm-50cm), la situation est différente dans les plantations de la même espèce, mais âgée de 68 ans et de 60 ans où les valeurs moyennes groupées respectivement dans les mêmes intervalles des 2, 3 (20 cm- 30cm ; 30 cm- 40cm). A 72 ans, la plantation d'*Autranella congolensis* un diamètre moyen qui se situe dans la classe 2, dans l'amplitude compris entre la classe 2 et 3 (20cm-30cm). Ceci signifie que la croissance des arbres après plus de 70 ans est inférieure à la moyenne (0,6cm/an).

La gestion est donc considérée comme le facteur qui explique ce phénomène (abandon des plantations). *Drypetes likwa* sa valeur moyenne occupe la classe 2 dans l'amplitude (20 cm-30 cm). Le comportement de chaque plantation, leurs densités, les sites ainsi que l'âge de plantations expliquent les différences structurales entre toutes les plantations étudiées.

La figure suivante présente les structures de plantations de *Gilbertiodendron dewevrei*.

B/ LES STRUCTURES DES PLANTATIONS DE : *Gilbertiodendron dewevrei*

La figure ci-dessous présente les structures de différentes plantations de *Gilbertiodendron dewevrei*.

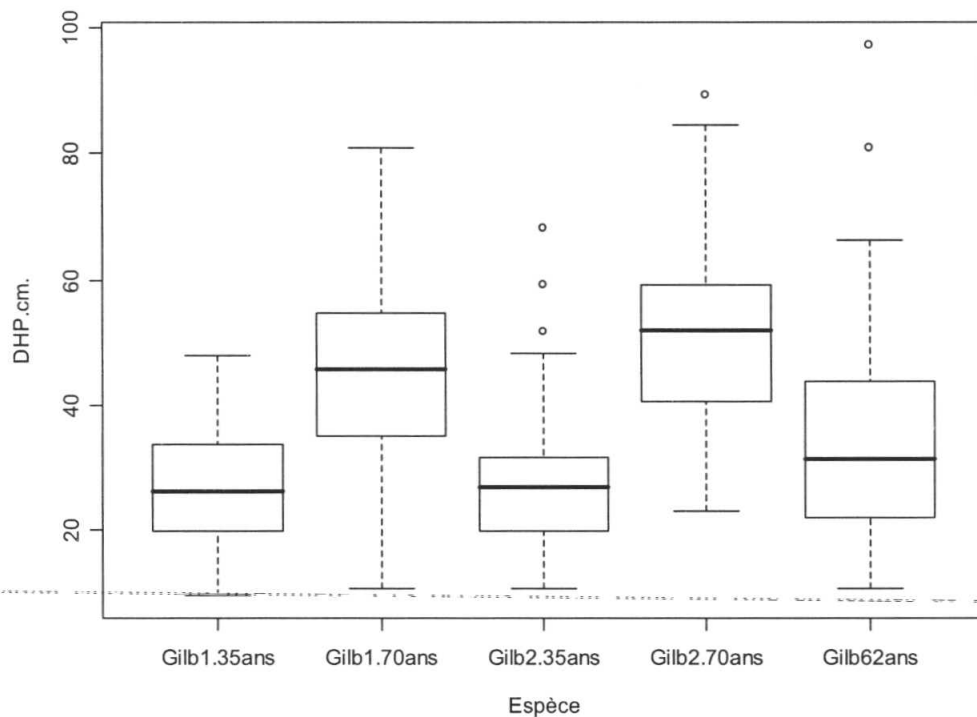


Figure 29 : Structures diamétriques des plantations de *Gilbertiodendron dewevrei* à Yangambi.

Les classes de valeurs moyennes pour l'espèce *Gilbrtiodendron dewevrei* se situent dans l'intervalle de classes de 2 (20 cm-30 cm) pour les plantations de 35 ans, et la plantation de 62 ans occupe l'intervalle de classe se situant au niveau 3 (30 cm- 40 cm). La plus grande valeur pour l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* se situe dans la cinquième classe de diamètre (50 cm-60 cm).

L'âge des plantations ainsi que le mode de gestion sont des facteurs qui les différences structurales entre les plantations. Le tableau qui suis présent les caractéristiques dendrométriques des arbres modèles.

### III.1.1. LES ARBRES MODELES ET LEURS CARACTERISTIQUES DENDROMETRIQUES

Tableau 6 : Les caractéristiques dendrométriques des arbres modèles.

Espèces	Ages	Dhp(cm)	AAM.dhp	Ht(m)	AAM.ht	Gm
<i>Autranella congolensis</i>	60	26,2	0,4	23,7	0,3	0,053
<i>Autranella congolensis</i>	60	34,0	0,5	28,8	0,4	0,090
<i>Autranella congolensis</i>	68	28,1	0,4	29,3	0,4	0,062
<i>Autranella congolensis</i>	68	36,5	0,5	22,4	0,3	0,104
<i>Autranella congolensis</i>	70	44,0	0,6	39,2	0,6	0,152
<i>Autranella congolensis</i>	72	32,4	0,4	25,9	0,3	0,082
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	35	28,0	0,8	26,1	0,7	0,063
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	35	28,8	0,8	26,9	0,7	0,064
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	62	36,5	0,5	24,0	0,3	0,105
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	70	47,0	0,6	25,1	0,3	0,172
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	70	52,2	0,7	32,1	0,4	0,214
<i>Drypetes likwa</i>	71	24,0	0,3	26,0	0,3	0,046

Légende : Dhp : diamètre à la hauteur poitrine ; AAM : accroissement annuel moyen ; Ht : hauteur totale ; Gm : surface terrière moyenne individuelle.(annexe 10).

Il ressort de ce tableau que l'arbre modèle de *Gilbertiodendron dewevrei* issu d'une plantation âgé de 70 ans a 52,2 cm de diamètre et un accroissement annuel moyen de 0,7 cm/an, ensuite *Autranella congolensis* à un âge équivalent a grossi jusqu'à atteindre 44 cm/an avec 0,6 cm par an ; tandis que *Drypetes likwa* vient en troisième position avec 24,0 de diamètre et un accroissement annuel moyen de 0,3 cm/an. Notons qu'à 35 ans, deux arbres modèles de *Gilbertiodendron dewevrei* ont atteint respectivement 28,0 et 28,8 cm de diamètre.

Ces deux derniers arbres comparés à l'arbre modèle de *Drypetes likwa*, nous remarquons que l'âge n'explique pas forcément ces différences.

Le fait que ces deux plantations de *Gilbertiodendron dewevrei* (35 ans) ont été installées sur un terrain en pente et tout près du fleuve Congo (200 m environ), constitue les facteurs qui expliquent ces accroissements en diamètre. Pour les plantations de 70 ans, notons que, elles ont été installées par différentes méthodes de plantations et, ont été gérées des mêmes façons (éclaircies sur vigueurs). La méthode de plantation par layon a favorisée une croissance qui dépasse légèrement la moyenne normale acceptable pour l'espèce (0,6 cm/an). Il va de soi, pour la plantation de même âge (70 ans) issue de la méthode de Martineau 47 cm (diamètre moyen) mais avec une différence 5cm entre ces arbres modèles. Le tableau ci-dessous présente les résultats estimés des accroissements annuels moyens (diamètres à la hauteur de poitrine et les hauteurs totales).

### III.1.2. LES VALEURS MOYENNES DES ACCROISSEMENTS (AGES MOYENS : DHP, H.T).

Tableau 7 : Valeurs moyennes des accroissements annuel moyens (hauteur, diamètre).

Espèces	Agés	AAM.dhp	AAM.ht
<i>Autranella congolensis</i>	49	0,4	0,3
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	54	0,6	0,4
<i>Drypetes likwa</i>	71	0,3	0,3

Légende : AAM.dhp : accroissement annuel moyen (diamètre à la hauteur de la poitrine) ;  
AAM.ht : accroissement annuel moyen (hauteur totale).

Le tableau 7 présente les accroissements annuels moyens en diamètre et en hauteur par rapport aux moyennes d'âge de toutes les plantations de trois espèces étudiées. Il en résulte que, l'espèce *Autranella congolensis* à un âge moyen de 49 ans peut augmenter en diamètre en une proportion de 0,4 cm/an. *Gilbertiodendron dewevrei* croit plus en diamètre (0,6 cm/an) que les autres espèces ; sa croissance vaut deux fois plus que celui de *Drypetes likwa* (0,3 cm/an).

Quant à la croissance en hauteur, elle est équivalente chez *Drypetes likwa* que chez *Autranella congolensis* (0,3 m). Dans tout état des causes, l'accroissement en hauteur en sylviculture est favorisé en intensité et en durée par un éclaircissement, une chaleur, une humidité ni trop fortes, ni trop faible ; par la profondeur, la fraîcheur, l'aptitude à l'échauffement, la richesse et la neutralité du sol.



La taille d'un arbre d'âge moyen dépend de sa rapidité de croissance et de la durée de sa période de grande activité. Est présenté dans le tableau suivant les résultats des densités du bois prélevées à différents niveau du tronc de chaque arbre modèles (fût).

### III.1.3. ESTIMATION DE LA DENSITE DU BOIS PRELEVEE A DIFFERENTS NIVEAUX DU TRONC (FUT) DES ARBRES MODELES.

Le tableau ci-dessous présente les densités du bois (rondelles) prélevées à différent niveau du tronc des arbres modèles (à 0 % d'humidité).

Tableau 8 : Densités du bois (rondelles)

Espèces	Agés	R (0%)	R (25%)	R (50%)	R (75%)	R (100%)	Moyenne
<i>Gilbetiodendron dewevrei</i>	35	0,69	0,60	0,66	0,55	0,54	0,61
<i>Gilbetiodendron dewevrei</i>	35	0,63	0,66	0,65	0,61	0,56	0,62
<i>Gilbetiodendron dewevrei</i>	62	0,64	0,63	0,63	0,56	0,53	0,60
<i>Gilbetiodendron dewevrei</i>	70	0,70	-	0,63	-	0,60	0,64
<i>Gilbetiodendron dewevrei</i>	70	0,67	-	0,68	-	0,60	0,65
<i>Autranella congolensis</i>	60	0,74	0,77	0,76	0,63	0,61	0,70
<i>Autranella congolensis</i>	60	0,86	0,71	0,77	-	0,73	0,76
<i>Autranella congolensis</i>	68	0,72	0,73	0,70	0,71	0,66	0,70
<i>Autranella congolensis</i>	68	0,80	0,78	0,76	0,68	0,60	0,72
<i>Autranella congolensis</i>	70	0,75	0,72	0,72	0,68	0,66	0,71
<i>Autranella congolensis</i>	72	0,72	0,70	0,65	0,65	0,61	0,66
<i>Drypetes likwa</i>	71	0,53	0,52	0,44	0,33	0,27	0,41

Légende : Ages : années de plantations ; R (%) : rondelles prélevée depuis la base du tronc jusqu'à la première branche de (0% à 100%) bas vers le haut ; Moyenne : valeur moyenne de la densité par arbre modèle (annexes 7 et 8).

Dans ce tableau, les densités de différentes espèces étudiées varient graduellement depuis la base (0%) jusqu'au dernier niveau de prélèvement (100%). Les valeurs moyennes de la densité pour l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* sont respectivement de : 0,61g/cm<sup>3</sup> (35 ans) ; 0,60g/cm<sup>3</sup> (62 ans) ; et de 0,64g/cm<sup>3</sup> (70 ans).

Ensuite, pour l'espèce *Autranella congolensis*, les valeurs moyennes de la densité varient en fonction des plantations indépendamment de leurs âges. Elles sont de l'ordre de 0,76g/cm<sup>3</sup> (60 ans) ; de 0,72g/cm<sup>3</sup> (68 ans) ; de 0,71g/cm<sup>3</sup> (70 ans) ; et de 0,66g/cm<sup>3</sup> (72 ans). Enfin, la valeur moyenne de la densité pour l'espèce *Drypetes likwa* est de 0,41g/cm<sup>3</sup>. Ces différences entre les plantations par rapport à leurs densités est respectivement fonction de l'espèce étudiée ; du site d'étude et du niveau de prélèvement de l'échantillon à différent niveau du tronc. Le tableau qui suit présente les valeurs moyennes des densités relatives aux espèces étudiées.

Tableau 9 : Les valeurs moyennes des densités en fonction des espèces étudiées à Yangambi

Espèces	Ages	Densités moyennes
<i>Autranella congolensis</i>	66	0,71
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	54	0,63
<i>Drypetes likwa</i>	71	0,41

Il ressort de ce tableau que, la valeur moyenne pour l'espèce *Autranella congolensis* est de  $0,71\text{g/cm}^3$ ; *Gilbertiodendron dewevrei* a une valeur moyenne supérieure à celle de l'espèce *Drypetes likwa* ( $0,63\text{ g/cm}^3$ ) et, cette dernière espèce, sa valeur moyenne vaut  $0,41\text{g/cm}^3$ . Ces différences de densités inter-espèces peuvent paraître minimes, mais d'un intérêt capital dans la pratique. Les facteurs qui expliquent ces différences ont déjà été évoqués dans le paragraphe précédent. Le tableau suivant donne les valeurs moyennes des poids perdus par l'échantillon après séchage.

Tableau 10 : Les valeurs moyenne de poids exprimées g perdus (humidité) après séchage (espèces : plantations) par 1kg d'échantillon.

Espèces	Ages	N°Parcelles	1kg (1000grs)	Poids perd/ Séch(g)
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	35	Pa1	1	392
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	35	Pa2	1	366
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	62	10 B	1	398
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	70	20 C	1	352
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	70	4 A	1	328
Moyenne			1	367
<i>Autranella congolensis</i>	60	1F	1	322
<i>Autranella congolensis</i>	60	2F	1	276
<i>Autranella congolensis</i>	68	5C	1	287
<i>Autranella congolensis</i>	68	13D	1	256
<i>Autranella congolensis</i>	70	13B	1	285
<i>Autranella congolensis</i>	72	13C	1	222
Moyenne			1	275
<i>Drypetes likwa</i>	71	13B	1	547

Légende : Espèces/Ages : espèces étudiées et l'âge correspondante de plantations ; N°Parcelles : numéros de parcelles correspondantes des plantations telles que décrite au tableau II du présent travail ; 1kg (1000g) : un kilogramme d'échantillon avant séchage ; Poids perd/Séch (g) : poids perdus par l'échantillon après séchage ; Moyenne : valeur moyenne pour une espèce.

Le tableau démontre que pour la parcelle abandonnée (PA1) à 35 ans, un échantillon de 1kg frais (1000g) perd 393 g de son poids ; à 62 ans, parcelle (10B) elle perd 398 g de son poids frais et à 70 ans, parcelle (20C) l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* perd 352 g de son poids ; et, en moyenne l'espèce perd 367 g par échantillon de kilogramme.

Ensuite, pour l'espèce *Austranella congolensis*, la plantation correspondante à la parcelle 1F, a perdues 285g de son poids (60ans) ; l'espèce a perdue 287 g à l'âge de 68 ans dans la parcelle (13D) et à 70 ans, elle a perdue 276g dans la parcelle (13B) ; la valeur moyenne perdue par un kg d'échantillon vaut 275g pour l'espèce.

Enfin, pour la parcelle 13B où *Drypetes likwa* se trouve en association avec *Austranella congolensis*, l'espèce a perdue plus de la moitié de son poids, soit 547g de son poids pour un échantillon de 1 kg à l'état frais. Ces différences peuvent renseigner ou prédire la biomasse pour laquelle on pourra estimer la quantité de carbone relative à chaque espèce. Le tableau ci-après estime ces pertes en poids des espèces exprimées en pourcentage après séchage.

Le tableau ci-dessous présente le pourcentage en perte après séchage pour différentes espèces.

Tableau 11 : Le pourcentage en perte après séchage

ESPECES	% Poids perdus (1kg)
<i>Austranella congolensis</i>	27,5
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	36,7
<i>Drypetes likwa</i>	54,7

Il ressort de ce tableau que l'espèce *Austranella congolensis* perd 27,5 % de son poids ; pendant que l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* a perdue 36,7 % de son poids après séchage ; Or, *Drypetes likwa* a perdu 54,7 % de son poids, plus de la moitié de son poids à l'état frais. Ces différences, résultent des caractéristiques intresects des espèces (anatomiques). Le tableau suivant présente les résultats estimés de la biomasse de différentes plantations étudiées.

### III.2. BIOMASSES SECHES ESTIMEES DANS LES PLANTATIONS DE L'INERA/YANGAMBI.

Tableau 12 : Donne les résultats des biomasses de différentes plantations étudiées (AAM/ha)

Espèces	Agés	Densité/ha	B.A.(a.m.kg)	B.A(t/ha)	AAM. (t/ha/an)
<i>Austranella congolensis</i>	60	579	705,6	408,5	6,8
<i>Austranella congolensis</i>	60	666	889,9	592,6	9,8
<i>Austranella congolensis</i>	68	480	1014,9	487,1	7,1
<i>Austranella congolensis</i>	68	308	1266	389,9	5,7
<i>Austranella congolensis</i>	70	264	2832,8	747,8	10,6
<i>Austranella congolensis</i>	72	540	741,6	400,4	5,5
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	35	277	1002,5	277,6	7,9
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	35	277	951,4	263,5	7,5
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	62	361	1251,3	451,7	7,2
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	70	300	1528,9	458,6	6,5
<i>Gilbertiodendron dewevre</i>	70	106	2284,8	242,1	3,4
<i>Drypetes likwa</i>	71	300	755,5	226,6	3,1

Légende : Densité/ha : nombre d'arbres par hectare ; B.A. (a.m.kg) : biomasse sèche aérienne des arbres Modèles en kilogramme ; B.A(t/ha) : biomasse sèche aérienne tonne par hectare ; AAM(t/an) : accumulations Annuelles moyennes tonne par an (annexes 1, 2, 3, 4, 5 et 6).

Dans ce tableau, la plantation d'*Austranella congolensis* à 60 ans a stocké 592,6 tonnes de biomasse ce qui correspond à une accumulation annuelle moyenne de 9,8 tonnes de biomasse ; à 68 ans, la plantation a stocké 487,1 de tonnes de biomasse ce qui équivaut à une accumulation annuelle de 5,7 tonnes de biomasse et à 70ans, la plantation a stocké 747,8 tonnes de biomasse ce qui correspond à 10,6 tonnes de biomasse par an. Ensuite, la plantation de *Gilbertiodendron dewevrei* à 70 ans, elle a stocké 458,6 tonnes, avec des accumulations annuelles de 6,5 tonnes ; à 62 ans elle a stocké 451,7 tonnes de biomasse et à 35 ans elle stocké 277,9 tonnes.

Les accumulations annuelles pour les deux dernières plantations équivalent respectivement à 7,2 et 7,9 tonnes de biomasse.

Enfin, pour la plantation à *Drypetes likwa*, a accumulée une quantité de biomasse inférieure que les deux premières plantations 226,6 tonnes de biomasse et 3,1 tonnes de biomasse par an. Les espèces elles mêmes, les différents sites où les arbres ont évolués, l'âge des plantations, les densités ainsi que d'autres facteurs écologiques sont des facteurs qui expliquent les différences d'accumulation en biomasse dans ces plantations.

Nous présentons dans la partie suivante les estimations du stockage de carbone dans les plantations de l'INERA / Yangambi.

### III.3. ESTIMATION DU STOCKAGE DE CARBONE DANS LES PLANTATIONS ETUDIEES.

#### III.3.1. ESTIMATION DU STOCKAGE DE CARBONE DANS LES PLANTATIONS CAS DE : (*Austranella congolensis*).

##### III.3.1.1. Arbres modèles (carbone exprimé en kg).

La figure ci-dessous présente les estimations du stockage de carbone dans les arbres moyens en tenant compte de leurs âges.

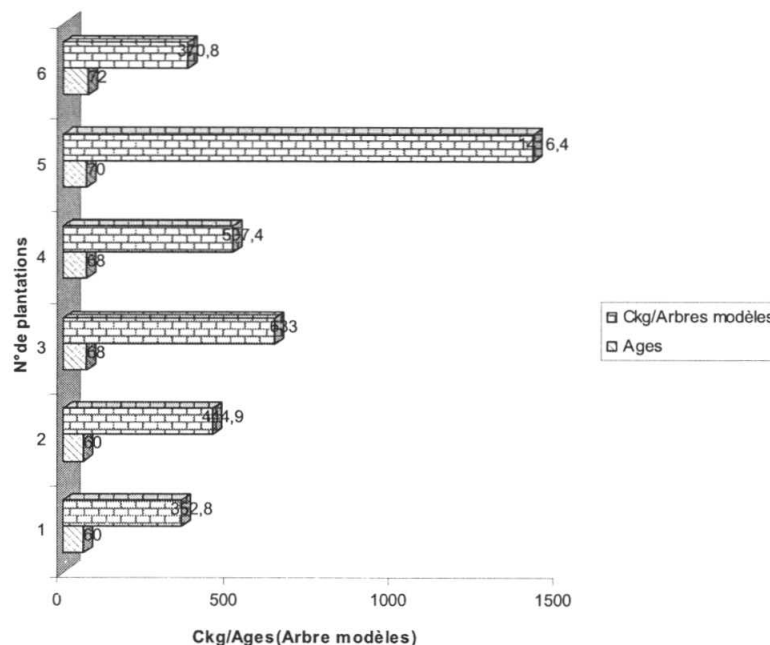


Figure 30 : Estimation du stockage de carbone dans les six plantations d'*Austranella congolensis* (Arbres modèles/ Ages : kg).



La figure 28 montre que le stockage du carbone n'est pas forcément important en fonction de l'âge des plantations ; car l'arbre moyen issu de la plantation sixième ayant 72 ans, n'a stocké que 370,8 kg de carbone par rapport à l'arbre cinquième et le troisième qui a stocké plus de carbone que l'arbre sixième respectivement : 1416,4 kg et 633 kg (plantation suivie).

### III.3.1.2. Superficies : densités actuelles de plantations.

La figure qui suit donne la situation actuelle des plantations sur les estimations du stockage de carbone en tenant compte des superficies de plantations et de leurs densités.

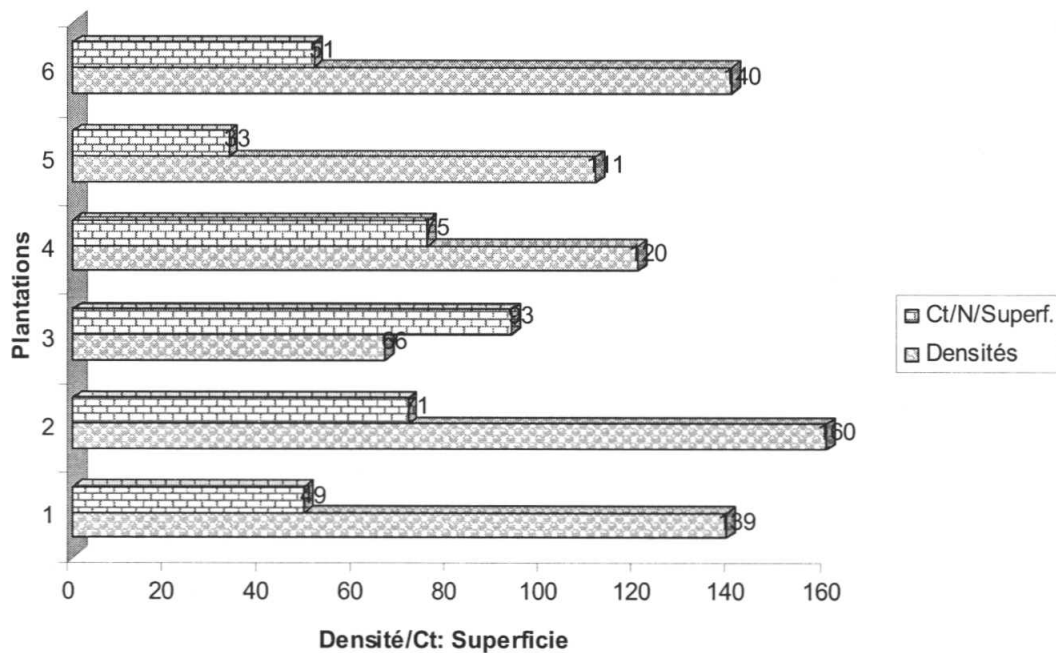


Figure 31 : Estimation du stockage de carbone dans différentes plantations (Superficies : Ct/Ages)

NB : Ct/N/Superf : tonne carbone par la densité des plantations ; Densités : nombre d'arbres à l'hectare

Dans la figure ci-dessus, on observe la même tendance que dans la figure 28 ; mais on constate plutôt, une petite influence due à la densité des plantations. La plantation deuxième a stocké 71 tonnes de carbone que la plantation sixième qui n'a stockées que 51 tonnes de carbone. Les deux plantations ont été abandonnées. Par contre la plantation 3 a stocké plus de carbone que toutes les autres plantations soit 93 tonnes de carbone. La gestion (éclaircies) a été bénéfique pour le stockage dans cette plantation.

### III.3.1.3. Extrapolation : Stockage de carbone (tonne à l'hectare).

La figure ci-dessous donne les estimations du stockage de carbone par rapport à la densité à l'hectare (figure 32).

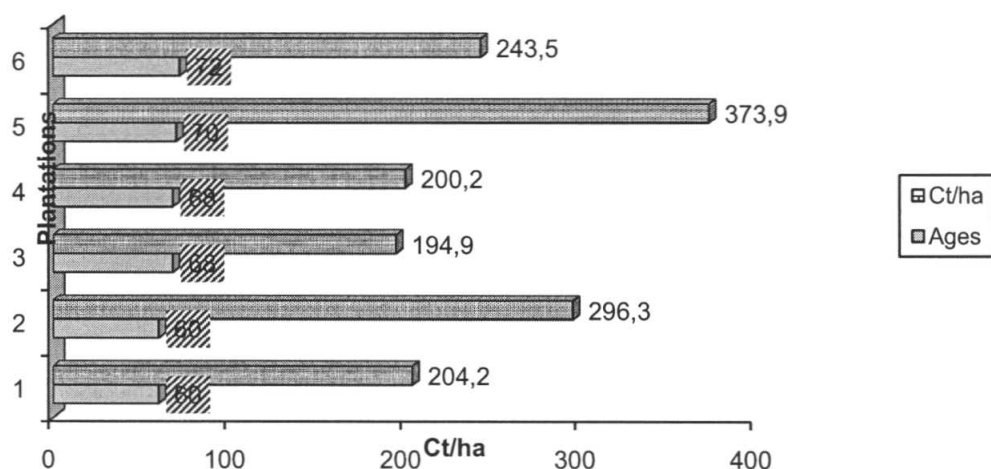


Figure 32 : Estimation du stockage de carbone dans les six plantations d'*Autranella congolensis* (extrapolation).

La figure ci-dessus montre qu'avec une densité de 264 arbres par hectare, une plantation d'*Autranella congolensis* a stocké 373,9 tonnes carbone à l'âge de soixante dix ans dans des conditions de gestion minimales (éclaircies). Tandis qu'à 72 ans, dans des conditions de gestion marginale (plantation non suivie) *Autranella congolensis* n'a stocké que 200,2 tonnes de carbone ; alors qu'à 60 ans, la plantation a stocké 296,3 tonnes de carbone ; et à 68 ans, la plantation a stocké 194,9 tonnes de carbone, avec une densité de 308 arbres par hectare. Dans certaines conditions de gestion de plantations, l'âge de plantations est un facteur primordial pour le stockage du carbone. Mais la densité est un facteur secondaire. Nous présentons par la suite les estimations dans les plantations de mêmes âges.

### III.3.1.4. Estimation du stockage de carbone dans les plantations de mêmes âges.

III.3.1.4.1. Deux plantations de mêmes âges et mêmes conditions de gestion.

III.3.1.4.2. Arbres moyens (60 ans).

La figure ci-dessous donne les résultats des estimations comparées de deux plantations de même âge.

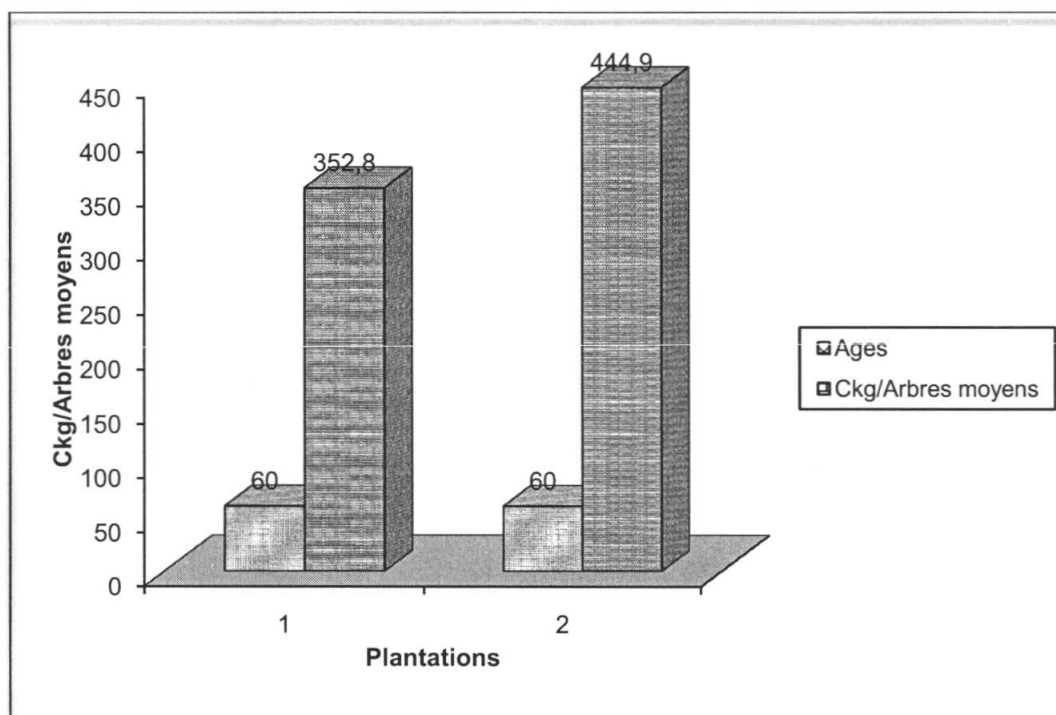


Figure 33 : Estimation du stockage de carbone(kg) arbres modèles.

Il ressort de cette figure que l'arbre moyen de la plantation 1 a stocké moins de carbone que la plantation 2 respectivement : 352,8 kg et 444,9 kg.

### III.3.1.4.3. Extrapolation à l'hectare du stockage de carbone dans les plantations de même âge (Ct/ha).

La figure qui suit présente une situation comparée de deux plantations de mêmes âges en se basant sur leurs âges (figure 33).

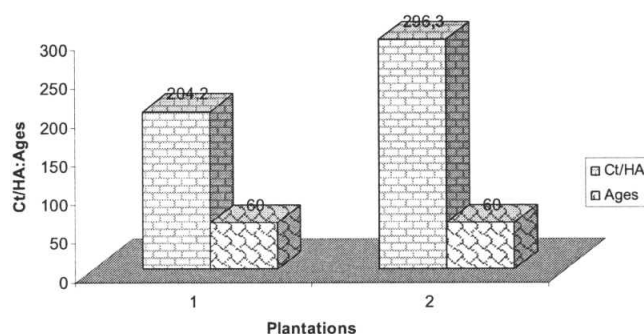


Figure 34 : Deux plantations du même âge et de même mode de gestion de gestion (Ct/HA : Age : 60 ans)

La figure ci-haut montre que l'âge n'est pas le seul facteur qui influence le stockage du carbone étant donné que les deux plantations ont évolué dans les mêmes conditions de gestion et ont le même âge. La première plantation a stocké 204,2 Ct/ha tandis que la seconde plantation a stockée plus du carbone : 298,3 Ct/ha. Les densités actuelles de ces plantations n'étant plus les mêmes comme à l'origine, apparaît comme le facteur qui les différencie.

### III.3.1.4.3. Deux plantations de même âge (68 ans), de différentes modes de gestion

Sont présentées dans la figure ci-dessous les estimations du stockage des plantations ayant le même âge.

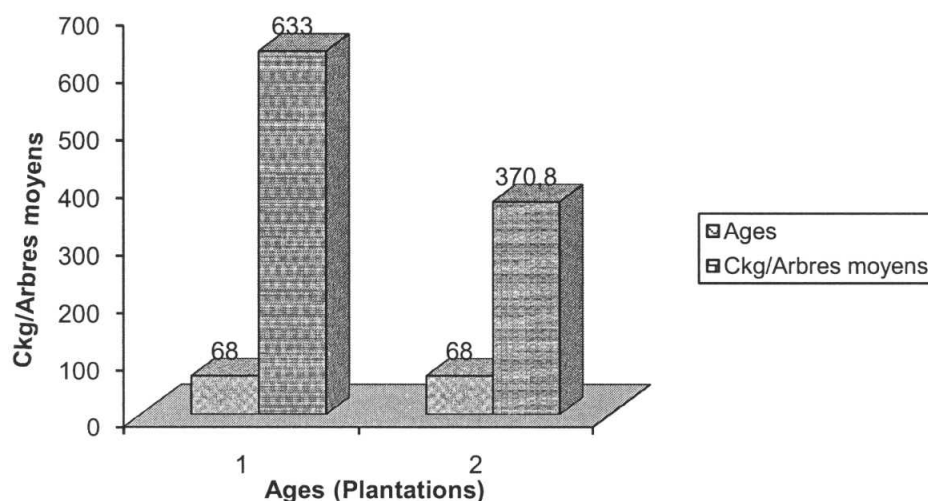


Figure 35 : Deux plantations du même âge, mais différentes de par leur mode de gestion.

Dans cette figure, remarquons que la première plantation, ayant le même âge que la seconde plantation, a stocké plus du carbone que la seconde respectivement : 633 kg du carbone contre 378,2 kg de carbone. La plantation a été gérée au minimum par des éclaircies ; pendant que la seconde plantation était complètement abandonnée. Il en résulte que la première plantation avait bénéficiée d'un minimum de gestion, des soins dans le jeune âge (entretien et éclaircies) ; tandis que la seconde plantation n'a pas fait l'objet d'un suivi de la part des gestionnaires (plantation abandonnée). A l'évidence, les soins dans les jeunes âges est un facteur qui explique cette différence. L'âge n'a pas influencé équitablement le stockage de carbone dans ces deux plantations.

### III.3.2. ESTIMATION DU STOCKAGE DE CARBONE DANS LES PLANTATIONS CAS DE *Gilbertiodendron dewevrei*.

#### III.3.2.1. Arbres modèles (carbone exprimé en kg).

La figure ci-dessous présente les estimations du stockage de carbone dans les arbres moyens en tenant compte de leurs âges.

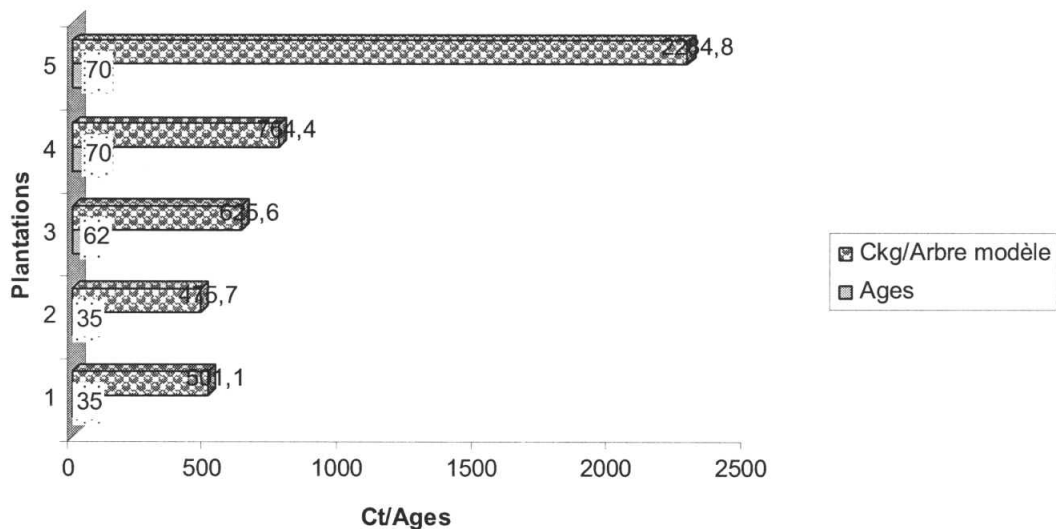


Figure 36 : Estimation du stockage de carbone dans les cinq plantations de *Gilbertiodendron dewevrei* (Arbres modèles/ Ages).

La figure ci-dessus montre que l'âge est un facteur important pour le stockage de carbone dans les plantations de *Gilbertiodendron dewevrei*.



A 70 ans, deux arbres modèles de plantations différentes (6 et 5) ont stocké respectivement : 2284,8 kg et 741,6 kg. Par contre 35 ans, l'arbre moyen de *Gilbertiodendron dewevrei* n'a stocké que 475,7 kg de carbone.

### III.3.2.2. Superficies des plantations : densités actuelles.

La figure ci-après donne des estimations en tenant compte des densités de plantations.

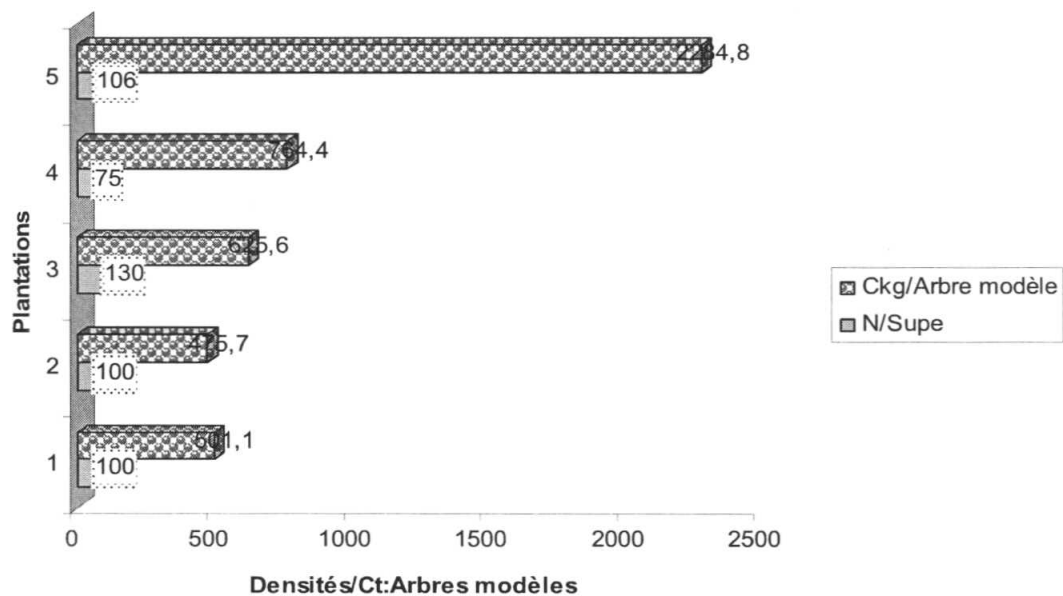


Figure 37 : Estimation du stockage de carbone dans différentes plantations (Superficies : Ct/Ages).

La figure démontre que le facteur âge prime sur la densité de plantations. L'arbre modèle de la troisième plantation avec une densité de 130 arbres sur une superficie de 0,36 hectare a stocké 625,6 kg (62 ans). Tandis qu'à une densité de 75 arbres dans la plantation 4, l'arbre modèle a stocké 764,4 kg (70 ans) pour une superficie de 0,25 hectare.

### III.3.2.3. Extrapolation : Carbone tonne à l'hectare.

La figure (37) estime les résultats à l'hectare.

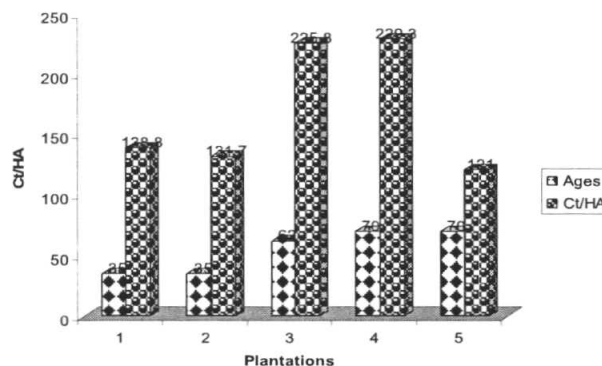


Figure 38 : Estimation du stockage de carbone dans les cinq plantations de *Gilbertiodendron dewevrei* (extrapolation à l'hectare).

La figure ci-dessus montre que la plantation 4 a stocké 229,3 Ct à l'hectare à 70 ans ; 225,8 Ct à l'hectare à 62 ans (plantation 3) et 131,7 Ct à l'hectare à 35 ans (plantation 2). Dans les plantations de *Gilbertiodendron dewevrei*, les différences du stockage entre les plantations sont fonction de l'âge des plantations.

### III.3.2.3. Estimation du stockage de carbone dans les plantations de même âge.

#### III.3.2.3.1. Deux plantations de même âge et même condition de gestion.

##### A. Extrapolation à l'hectare.

La figure 39 présente les estimations (stock de carbone) de deux plantations en tenant compte leur âge (35 ans).

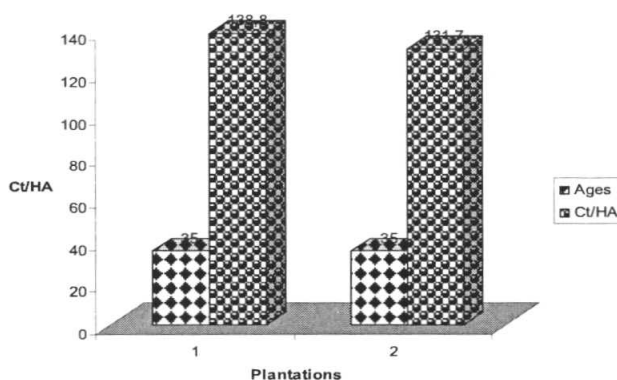


Figure 39 : Deux plantations du même âge et de même mode de gestion (Ct/HA : Age)

La figure ci-dessus présente deux plantations ayant bénéficié des conditions de croissance presque égales (plantations contigües). La première plantation a stocké 138,8 Ct/HA et la seconde plantation a stocké 131,7 Ct/HA. La différence entre les deux plantations est de 7,1 tonnes de carbone à l'hectare. La première plantation étant dans les mêmes contions que la seconde, on peut dire que certains facteurs écologiques ont plus influencé la première plantation que la seconde plantation, pour preuve l'arbre modèle issu de la plantation une portait des fruits (gousses) ; tandis que dans la plantation deuxième nous n'avions un aucun arbre portant des fruits.

B. Extrapolation à l'hectare.

La figure 40 fait état de deux plantations de même âge (70 ans).

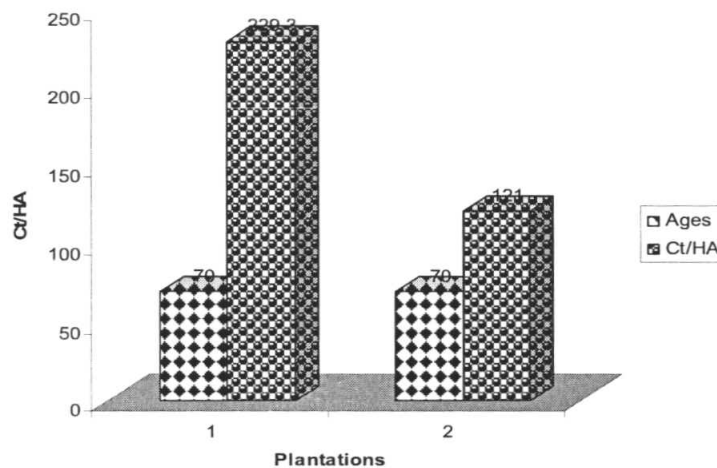


Figure 40 : Deux plantations du même âge mais différentes par leurs densités

Pour cette figure, deux plantions de même âge n'ont pas stocké la même quantité du carbone. La première plantation a stocké 229,3 Ct/ha, presque deux fois plus que la plantation 2 qui n'a stocké que 121 Ct/ha. Comme on peut le remarquer, la plantation (2) a une densité de 106 arbres à l'hectare et la plantation (1) a une densité de 300 arbres à l'hectare.

### III.4. ESTIMATION DU STOCKAGE DE CARBONE CAS DE : (*Drypetes likwa*).

#### III.4.1. ARBRES MODELES (carbone exprimé ne kg).

La figure 41 présente les estimations du stockage de carbone dans les arbres modèles.

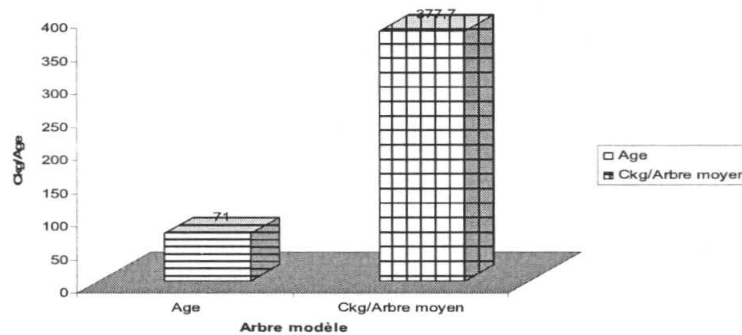


Figure 41 : Estimation du stockage de carbone dans la plantation de *Drypetes likwa* (Arbres modèles/ Ages : kg).

La figure montre qu'à 71 ans *Drypetes likwa* (arbre modèle) a stocké 377,7 kg de carbone. Cette plantation a stocké une quantité largement inférieure que la plantation d'*Austranella congolensis* installée une année après (1938 et 1939).

#### III.4.2. SUPERFICIES : DENSITES ACTUELLES DE LA PLANTATION.

La figure ci-dessous présente le résultat en tenant compte de la densité de la plantation.

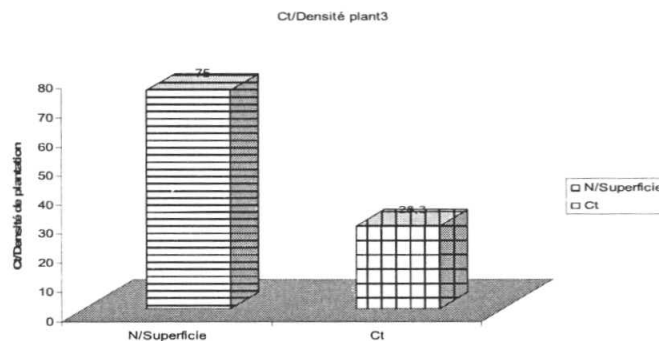


Figure 42 : Estimation du stockage de carbone dans la Plantation à *Drypetes likwa* (Superficies : Ct/Ages).

En observant la situation ci-dessus, la figure montre qu'à une densité de 75 arbres pour une superficie de 0,25 hectare, *Drypetes likwa* a stocké 28,3 tonnes de carbone. La même raison avancé dans la figure précédente justifie la différence du stockage de carbone entre deux plantations en association.

### III.4.3. EXTRAPOLATION : CARBONE TONNE A L'HECTARE.

La figure 43 présente le résultat à l'hectare.

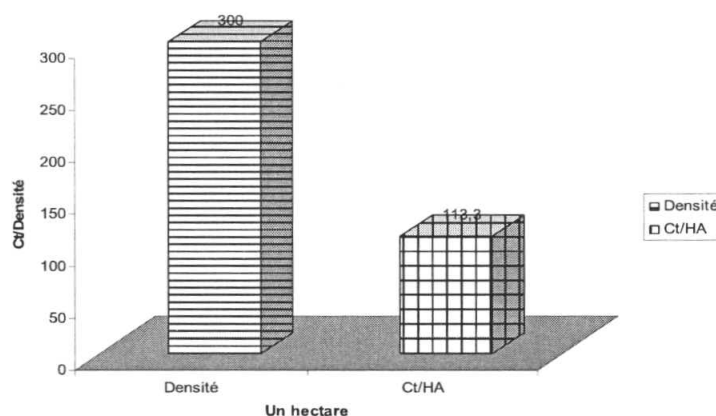


Figure 43 : Estimation du stockage de carbone dans la plantation à *Drypetes likwa* (extrapolation).

La figure indique qu'un hectare de *Drypetes likwa* à 71 ans d'âge a stocké 113,3 tonnes de carbone. Le mode plantation (association) n'a pas donné les mêmes résultats pour les deux espèces, *Austranella congolensis* a stocké deux fois plus de carbone que *Drypetes likwa*. La compétition est facteur écologique qui explique cette différence du stockage entre deux espèces.



### III.5. COMPARAISON DU STOCKAGE DE CARBONE ENTRE LES DIFFERENTES ESPECES ETUDIEES

(*Austranella congolensis* ; *Gilbertiodendron dewevrei* et *Drypetes likwa*)

#### III.5.1. COMPARAISON DES ESTIMATIONS CAS DE : *Austranella congolensis* et *Gilbertiodendron dewevrei*

##### III.5.1.1. ESTIMATION DU STOCKAGE (carbone exprimé en kg).

La figure ci-dessous compare les résultats de deux plantations de même âge (70 ans)

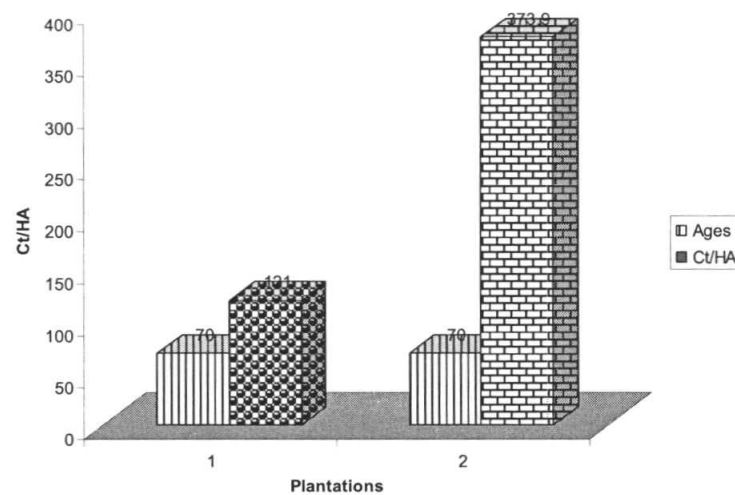


Figure 44 : Comparaison entre deux espèces *Gilbertiodendron dewevrei* et *Austranella congolensis* (même âge : 70 ans).

Dans cette figure remarquons que la plantation d'*Austranella congolensis* a stocké trois fois plus du carbone que la plantation de *Gilbertiodendron dewevrei*. Ce qui dénote la pertinence d'*Austranella congolensis* dans le stockage de carbone dans le milieu de Yangambi respectivement 373,9 tonnes carbone et 121 tonnes carbone.

III.5.2. *Autranella congolensis*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Drypetes likwa*

III.5.2.1. Arbres modèles (Ages rapprochés « kg »).

La figure 45 donne les résultats de trois plantations (âges rapprochés).

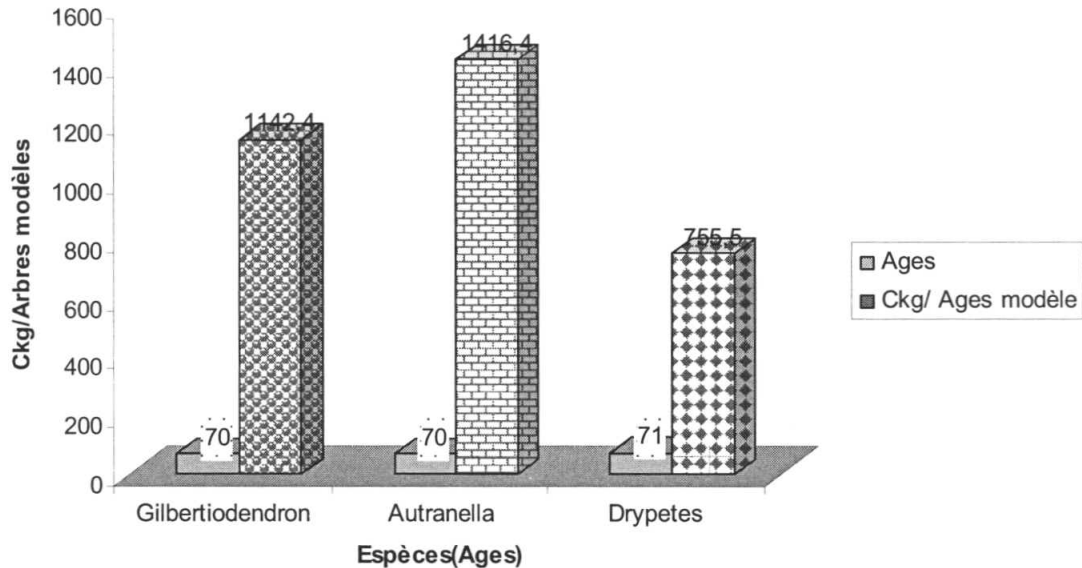


Figure 45 : Comparaison des estimations du stockage de carbone dans les plantations de trois espèces étudiées (Ages rapprochés).

NB : Ckg/Ages modèle : carbone / Ages de plantation (arbres modèles)

Pour les trois espèces étudiées, la figure ci-haut démontre que les deux espèces : la plantation d'*Autranella congolensis* et la plantation à *Gilbertiodendron dewevrei* ont stocké respectivement 1416,4 kg ; 1142,4 kg par (arbres modèles), et la plantation à *Drypetes likwa* n'a stocké que 755,5 kg. Dans les conditions de Yangambi *Autranella congolensis* a démontré sa pertinence en matière de séquestration de carbone. Parmi les trois espèces étudiées, *Autranella congolensis* a des potentialités incomparables par rapport aux autres espèces : *Gilbertiodendron dewevrei* et *Drypetes likwa*

III.5.2.2. Extrapolation : Carbone giga gramme à l'hectare.

La figure ci-après présente les résultats à l'hectare (giga tonne carbone).

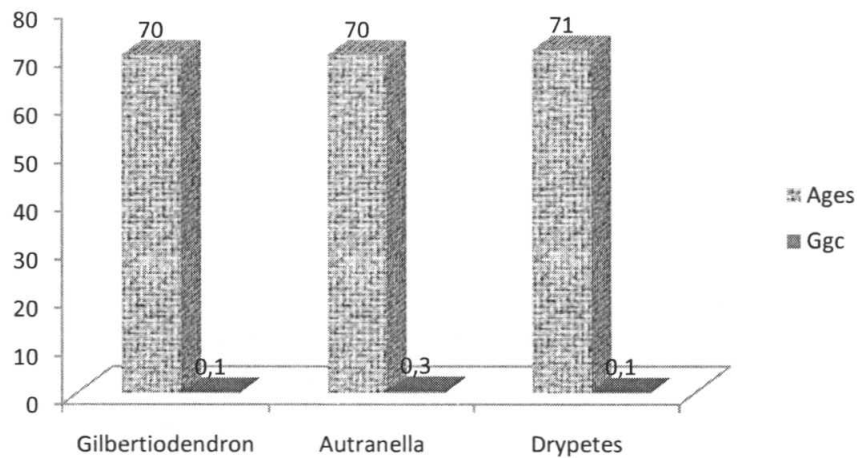


Figure 46 : Comparaison inter-espèces du stockage de carbone (âges rapprochés)

Nous noterons pour cette figure que la plantation d'*Autranella congolensis* a stocké trois fois plus de carbone que les deux autres plantations : à *Gilbertiodendron dewevrei* et à *Drypetes likwa* avec 0,3 giga tonne. *Drypetes likwa* s'est retrouvée en association avec *Autranella congolensis* et elle a été installée en plantation une année avant (1938). Nonobstant, le décalage d'une année, l'espèce *Autranella congolensis* a battu le record en séquestrant plus de giga gramme de carbone à l'hectare (0,3 CGg). La plantation à *Gilbertiodendron dewevrei* à 70 ans a stocké (0,1) giga gramme ; de même la plantation à *Drypetes likwa* (0,1 CGg). Les densités de plantations n'expliquent pas ces différences de stockage de carbone entre les trois espèces, mais, le stockage est ici fonction des espèces étudiées.

*NB : Autranella congolensis > Gilbertiodendron dewevrei = Drypetes likwa*

### III.7. ANALYSES STATISTIQUES

#### III.7.1. Modèle de régression (modèle de CHAVE 2005).

La figure ci-dessous présente les trois modèles ajustés.

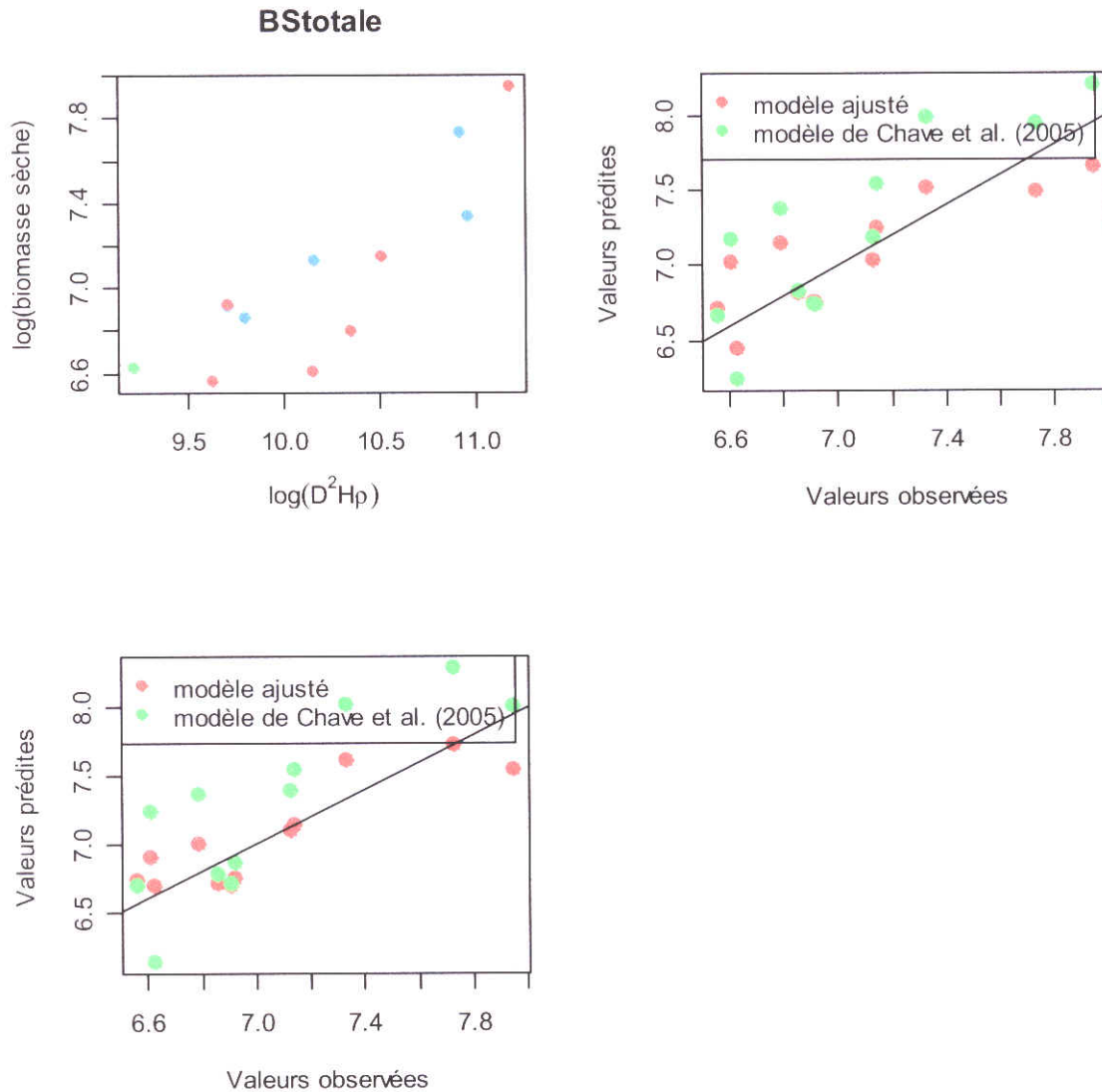


Figure 47 : Les trois modèles d'ajustement (Chave et al., 2005).

Selon les trois modèles prédits par Chave développés au point 2.2.5 dans ce travail ; le deuxième modèle correspond à notre ajustement. AIC (AKAÏKE Information Criterion), plus ce critère est petit, meilleur est le modèle. Le premier et le troisième modèle sont pénalisés à cause du nombre de leurs paramètres du modèle.

En extension, le premier modèle a quatre paramètres, et le troisième modèle en a 8 ; tandis que le deuxième modèle n'a que deux paramètres.

Les modèles (1) et (3) pouvaient se rattraper si leurs logarithmes de vraisemblance étaient plus grands ; dans ce cas, ils se rattraperaient en pénalisant le second modèle.

Donc, dans tous le cas, les trois modèles d'ajustement prédits par Chave (2005) dépendent à la fois du nombre de paramètre du modèle et de leurs logarithmes de vraisemblance.

Dans le cas échéant, le Critère d'Information d'AKAÏKE (AIC) a révélé ce qui suit :

Modèle 1 : AIC = 5,7087

Modèle 2 : AIC = **4,183497**

Modèle 3 : AIC = 8,131814

Le modèle deux apparait le meilleur, parce que son AIC est le plus petit par rapport aux deux autres modèles.

### **III.8. LE TARIF DE LA BIOMASSE**

L'échantillon minimum adéquat pour établir les équations de biomasse semble être de :

100-150 arbres couvrant un large éventail de diamètres. Cette logique n'empêche pas dans le cas échéant de pouvoir établir le tarif de biomasse. Etant donné que nous n'avons coupé que douze arbres modèles dans l'ensemble des plantations explorées, le tarif de biomasse paraît ici comme une tâche la plus difficile à faire.



## CHAPITRE QUATRE : DISCUSSION DES RESULTATS

### IV.1. DISCUSSION DES RESULTATS

Nous avons travaillé dans onze parcelles permanentes ; sur une superficie d'environ six hectares où nous avons procédé par un inventaire systématique.

Douze arbres ont été identifiés comme arbres modèles et abattus pour atteindre nos objectifs. Trois espèces ont fait l'objet de notre étude, à savoir :

*Austranella congolensis*, *Gilbertiodendron dewevrei* et « *Drypetes likwa* ».

De ces trois espèces, six arbres ont été coupés dans les plantations à *Austranella congolensis*, cinq arbres également abattus dans les plantations à *Gilbertiodendron dewevrei* et un arbre pris par effets collatéraux (en association avec *Drypetes likwa* et *Austranella congolensis*).

Les données issues dudit inventaire nous ont permis de calculer la surface terrière (individuelle) pour chaque parcelle permanentes afin d'identifier les arbres modèles (surface de la section 1,30 m) à partir de leurs diamètre correspondant (dhp).

Dans ce chapitre, il sera question d'abord ; d'une discussion basée sur nos propres résultats. Ensuite, nos résultats seront comparés avec ceux des autres écosystèmes étudiés, ayant comme point commun « estimation de stockage de carbone ou estimation de la biomasse ».

#### IV.1.1. ESTIMATION DU STOCKAGE DE CARBONE DANS LES PLANTATIONS

##### a) Cas de *Gilbertiodendron dewevrei*

Le tableau ci-dessous donne une comparaison entre les plantations de même âge.

Tableau 13 : Comparaison des plantations de *Gilbertiodendron dewevrei* de même âge

Ages	N°plantations	Ct/ha
35	1	138,8
35	2	131,7
70	1	229,9
70	2	121

Légende : Ct/ha : Tonne carbone à l'hectare ; N°plantation : numéros de plantations ; Ages : années des plantations.

Dans ce tableau nous avons quatre plantations de *Gilbertiodendron dewevrei*. Les deux premières plantations ont été installées en 1974 et n'ont pas subi des interventions sylvicoles (abandonnées). Elles ont évolué presque dans les mêmes conditions de croissance (plantations contiguës). La différence entre les deux plantations en termes du stockage de carbone ne peut être formellement imputée à une cause principale d'autant plus que ces deux plantations avaient aussi la même densité (100 arbres sur une superficie de 3600 m<sup>2</sup>).

La différence de 7,1 Ct/ha peut être considérée comme normale car, même les jumeaux qui grandissent dans les mêmes conditions manifestent souvent des différences dans les comportements. Certains facteurs écologiques peuvent être à l'origine de cette différence. Pour les deux dernières plantations, la première plantation a une densité de 75 arbres sur une superficie de 2500 m<sup>2</sup>, extrapolée à l'hectare sa densité est de 300 arbres (hectare) ; tandis que les dernières plantations la densité reste inchangée (106 arbres sur une superficie d'un hectare).

Les deux dernières plantations ont bénéficié de certaines interventions sylvicoles (éclaircies sur vigueurs). Donc, la densité influence de façon notable le stockage de carbone dans les plantations à *Gilbertiodendron dewevrei*. Sont comparés dans le tableau suivant les résultats de quatre plantations ayant en parallèle les mêmes âges.

*b) Autranella congolensis*

Tableau 14 : Comparaison des plantations d'*Autranella congolensis* de même âge

Ages	N°plantations	Ct/ha
60	1	204,2
60	2	296,3
68	1	303,8
68	2	194,9

Les deux premières plantations ont été installées en 1948 et, n'ont pas été suivies (pas d'interventions sylvicoles). Leurs densités à l'origine pouvaient être de 600 arbres par hectare. La différence notée au niveau de leurs densités est imputable à la mortalité des arbres.

La densité actuelle étant de 160 arbres pour la plantation (1) et de 139 arbres pour la seconde plantation (2). La différence de stockage de carbone entre les deux plantations est fonction de leurs densités.

Pour les deux dernières plantations, installées en 1941 ; la première plantation a stocké plus du carbone soit 200,2 Ct/ha et la seconde plantation n'a stocké que 194,9 Ct/ha.

Pour bien déceler la raison de cette différenciation, il va falloir considérer la situation réelle (arbre modèle). L'arbre moyen issu de la plantation (2) n'a stocké que 370,8 kg de carbone avec une densité de 140 arbres pour une superficie de 2500 m<sup>2</sup> tandis que l'arbre de la plantation (1) a stocké 633 kg avec une densité de 111 arbres sur une superficie de 3600 m<sup>2</sup>. Lorsque les résultats sont extrapolés à l'hectare, la tendance se renverse à cause de leurs densités qui augmentent sensiblement au niveau de la plantation (2) 540 arbres par hectare et 308 arbres pour la première plantation. La densité est le facteur qui explique cette différence quand bien même la première plantation a été au départ gérée au minimum par des éclaircies sur vigueurs.

c) *Austranella congolensis*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Drypetes likwa*

Le tableau ci-dessous compare les résultats entre les trois espèces étudiées

Tableau 15 : Comparaison des trois espèces étudiées (plantations étudiées).

Ages	Espèces	CGg/ha
70	<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	0,2
70	<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	0,1
70	<i>Austranella congolensis</i>	0,3
72	<i>Drypetes likwa</i>	0,1

Légende : CGt/ha : carbone giga grmme estimé à l'hectare ; Ages : années de plantations.

Dans ce tableau, il convient de noter que l'espèce *Austranella congolensis* a stocké plus de carbone que les deux autres espèces 0,3 CGg/ha. Elle est suivie de *Gilbertiodendron dewevrei* 0,2 CGg/ha, 0,1 CGg/ha dans certaines conditions. Toutefois, *Drypetes likwa* est l'équivalent de *Gilbertiodendron dewevrei*.

D'emblée, on peut penser que *Gilbertiodendron dewevrei* avec sa biomasse importante (branches, feuilles et fruits) peut stocker beaucoup plus du carbone qu'*Autranella congolensis* (cime moins importante). Cela paraît même surprenant que *Drypetes likwa* puisse stocker moins de carbone malgré son âge (71ans). Cette différence ne peut être imputable seulement qu'à la morphologie des espèces mais également à leurs structures anatomiques.

Au séchage, *Gilbertiodendron dewevrei* perdue plus de 40 % d'eau de sa composition jusqu'au poids constant pendant qu'*Autranella congolensis* n'en perdue que plus de 30 %. *Autranella congolensis* a reçu à dominer *Drypetes likwa* (compétition interspécifique) quand bien même que cette dernière a été installée une année avant. Du point de vu anatomique, il faut dire qu'*Autranella congolensis* dans sa structure anatomique, les vaisseaux et les cernes de croissance ne sont pas visibles, tandis qu'ils le sont visible à l'œil nu chez *Gilbertiodendron dewevrei*.

En outre, sur le plan morphologique, *Autranella congolensis* a un fût très élancé 30 m (Hauteur Fût) et moins des feuilles et branches. Pour cette raison, elle ne peut être pénalisé à cause de la cime importante développée par l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* qui, la hauteur fût n'est pas très élancé comme chez *Autranella congolensis*. On peut présumer que l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* pourrait stocker plus de carbone que l'espèce *Autranella congolensis* à cause de ses feuilles (biomasse houppier important), mais étant donné que le plus gros arbre modèle abattu chez *Gilbertiodendron dewevrei* n'avait qu'une hauteur fût relativement courte (environ 9 m seulement) et qu'*Autranella congolensis* avait un fût qui devrait atteindre 30 m et la hauteur totale (39 m) ; *Autranella congolensis* a stocké plus de carbone que *Gilbertiodendron dewevrei*.

#### IV.1.2. COMPARAISON DU STOCKAGE DE CARBONE AVEC D'AUTRES TYPES DES FORETS

Le tableau ci-dessous compare les résultats de certains types des forêts avec les nôtres.

Tableau 16 : Comparaison de plantations et autres types des forêts

Types de forêts	Ages	B.A	Ct/ha
Forêts dense humide basse altitude	-	125	192
Forêt dense altitude (900-1500)	-	68	122
Forêts denses décidue	-	42	92
Plantation à <i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	35	277,6	138,8
Plantation d' <i>Autranella congolensis</i>	70	748,8	373,9
Plantation à <i>Drypetes likwa</i>	71	226	113
Mosaïque de forêts cultivée	-	14	107

Source : NASI 2008 (autres types de forêts)

Légende : B.A : Biomasse aérienne ; Ct/ha : tonne carbone par hectare

Les plantations stockent plus de carbone que les autres types de forêts étudiés en Afrique ; la raison est que dans la forêt naturelle il existe des fortes compétitions interspécifiques que dans les plantations, ces dernières, connaissant bien leurs âges (vieilles plantations), sont donc des facteurs qui expliquent ces différences entre nos résultats et ceux des autres types de forêts. Le tableau ci-dessus compare nos résultats avec d'autres systèmes étudiés

Tableau 17 : Comparaison des résultats avec d'autres systèmes étudiés

Plantations et autres systèmes (étudiés)	Ct/HA	Références
Forêt primaire	300	Palm et al 2000
Forêt exploitée	100-200	Palm et al 2000
Agroforêt	40-60	Palm et al 2000
Jachère longue	88	Palm et al 2000
Plantation	11-61	Palm et al 2000
Plantation ( <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> )	229,3	Présente étude
Plantation ( <i>Autranella congolensis</i> )	373,9	Présente étude

Légende : Ct/HA : carbone exprimé en tonne par hectare.



Selon le tableau qui précède, dans certaines conditions la forêt primaire peut stocker jusqu'à 300 tonnes de carbone. Les plantations immatures peuvent stocker moins de carbone que les plantations matures. La forêt exploitée à cause de la réduction importante de la surface terrière d'un peuplement forestier tropical humide (p.ex. 30 m<sup>2</sup>/ha à moins de 20 m<sup>2</sup>/ha peut amener un changement profond dans la dynamique forestier et mettre en péril sa régénération tant en terme de diversité que de biomasse (NASI, 2008 in Dupuy, 1988 ; Zobi, 2002 ; Gourlet-Fleury et al, 2004). La plantation d'*Autranella congolensis* issue de la présente étude a séquestré jusqu'à 373,9 tonnes de carbone par hectare ; pendant que la plantation à *Gilbertiodendron dewevrei* a stocké moins de carbone que la forêt primaire jusqu'à 229,3 tonnes de carbone. Certaines plantations peuvent stocker entre 11 et 61 tonnes de carbone. Les jeunes plantations ne peuvent stocker plus de carbone que les vieilles plantations ; tout comme dans la forêt primaire l'inventaire ne se limite qu'en un certain seuil, les arbustes et arbrisseaux inférieurs à 10 cm de diamètre ne sont généralement pas concerné par l'inventaire.

En plus de ces facteurs, les plantations faisant l'objet de cette étude se distingue par le fait que leurs âges sont bien connus (1937-1974). C'est ce qui expliquerait les différences entre ces divers systèmes étudiés de la présente étude. Est comparé dans le tableau suivant les résultats relatifs aux modèles ajustés.

Tableau 18 : Résultats des analyses statistiques (régression) modèles ajustés

Modèles	Types forêts	r <sup>2</sup>	AIC	Références
$\ln \beta = \ln \alpha + \beta \ln (D^2 HP)$	Moist	0,996	1,883	Chave, 2005
	Mangrove	0,957	2,159	Chave, 2005
	Plantations	0,687	4,183	Présente étude

Le deuxième modèle de Chave 2005, correspond au nôtre, le Critère d'Information d'Akaike (AIC) est largement supérieur à celui trouvés dans les autres types des forêts. Cela va de soit, car nous n'avions pas tous trouvé les mêmes résultats (biomasse sèche). Le tableau suivant compare nos résultats avec ceux des autres forêts étudiées en R.D.Congo et ailleurs (monde).

Tableau 19 : Comparaison des biomasses avec d'autres forêts avec la présente étude (biomasse aérienne tonne/ha).

Sites (pays)	BA (tonne/ha)	Changement (BA) tc/ha/an
Forêt monodominante Ituri (R.D.C)	541,6	5,78
Forêt mixte (Ituri, R.D.C)	397,7	6,65
PN.Salonga (Equateur, R.D.C) : Primaire	304,2	-
PN.Salonga (Equateur, R.D.C)	229,2	-
PN.Salonga (Equateur, R.D.C)	158,0	-
Lambir (Malaysie)	497,2	7,13
Yasuni (Equateur)	282,4	6,76
Palanan (Philippines)	290,1	4,80
Pasoh (Malaysie)	339,8	6,96
Plantation (Yangambi, R.D.C) <i>Autranella congolensis</i>	747,8	10,5
Plantation (Yangambi, R.D.C) <i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	242,1	3,3
<i>Drypetes likwa</i> (Yangambi, R.D.C)	226,6	2,9
Moyenne	354,8	

Source : Makana (2007).

Légende : BA : biomasse (aérienne) ; R.D.C : République Démocratique du Congo. ; P.N. : Parc national.

Dans le tableau qui précède les plantations d'*Autranella congolensis* se trouve en tête avec 747,8 tonnes de biomasse à l'hectare ; suivi de la forêt mono dominantes de l'ITURI 541,6 tonnes de biomasse à l'hectare ; Lambir (Malaisie) 497,2 à l'hectare et enfin la plantation de *Drypetes likwa* 226,6 à l'hectare. Les autres études menées dans le pays ont donné des résultats qui ressortent des équations alléométriques (méthode indirecte non destructive). Etant donné que, nous avons utilisé la méthode directe (destructive), nos résultats ne peuvent en aucun cas être égaux à ceux qu'ont trouvés d'autres chercheurs. En plus, même si la méthode utilisé était la même, les sites d'étude ne sont pas les mêmes (écosystèmes différents).

Le tableau ci-dessous compare nos résultats avec ceux trouvés par Simiane Grégoire Valentini, 2007 en Costa Rica.

Tableau 20 : Comparaison des résultats avec ceux d'autres systèmes.

Systèmes	Âges	Pays	(Auteurs)	Année	C tonne/hectare
Plantation (Autranella)	60ans	R.D.C	Présent travail	2009	204,2
Plantation (Autranella)	68ans	R.D.C	Présent travail	2009	194,9
Plantation (Autranella)	70ans	R.D.C	Présent travail	2009	373,9
Plantation (Gilbertiod.)	35ans	R.D.C	Présent travail	2009	131,7
Plantation (Gilbertiod.)	62ans	R.D.C	Présent travail	2009	225,8
Plantation (Gilbertiod.)	70ans	R.D.C	Présent travail	2009	121,0
Jachère (jeune)	-	Costa Rica	Simiane G.V.	2007	79,14
Jachère (âgée)	-	Costa Rica	Simiane G.V.	2007	123,49
SAF (cacaoyer mono)	-	Costa Rica	Simiane G.V.	2007	147,75
SAF (cacaoyer mult)	-	Costa Rica	Simiane G.V.	2007	126,21
SAF (bananier)	-	Costa Rica	Simiane G.V.	2007	76,66

Source : Simiane 2007. Gilbertiodend : *Gilbertiodendron dewevrei* ; Autranella : *Autranella congolensis*.

Légende : SAF : Système Agro-Forestier.

Dans ce tableau 13, nous remarquons que certains systèmes agroforestiers donnent quand même des résultats qui dépassent la plantation de *Gilbertiodendron dewevrei* de 70 ans ; et toutes les autres plantations du présent travail donnent les résultats qui sont largement supérieurs à ceux d'autres systèmes agroforestiers. On ignore les âges de ces systèmes agroforestiers. Les plantations étant des arbres forestiers de tailles énormes, avec des biomasses importantes, elles ne peuvent que stocker plus de carbone que les aux systèmes agroforestiers.

## CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

### A. CONCLUSIONS

Face au défi posé par le changement climatique, l'idée de capturer, puis de stocker le carbone issu de l'utilisation des combustibles fossiles semble en première approche une voie rationnelle, s'ajoutant au menu des politiques disponibles pour stabiliser la concentration de gaz à effet de serre. De nombreux « puits de carbone » biologiques sont certes dépendants des (usages des sols, déforestation, boisements, etc.) mais leur quantification pose d'énormes problèmes méthodologiques peu compatibles avec leur prise en compte dans une comptabilité homogène à celle des émissions énergétiques et industrielles. Nous avons ici pris le parti de n'étudier que les potentiels de plantations forestières, pour lesquels les flux nets de carbone sont raisonnablement prévisibles et vérifiables.

Les estimations du stockage de carbone dans les plantations de l'INERA/YANGAMBI fait le but du présent travail. Les inventaires systématiques ont porté sur une superficie d'environ six hectares.

Nous avons travaillé avec une équipe de vingt personnes pour la réalisation du présent travail ; quatre mois durant. Nous avons atteint nos objectifs en calculant la quantité totale de biomasse stockée ; et nous avons également estimé la quantité totale de carbone dans ces différentes plantations en tenant compte de l'âge, de la densité et de leurs modes de gestion.

Après analyse, les résultats obtenus révèlent ce qui suit :

Les plantations de Yangambi sont très diversifiées en espèces forestières, l'étude à portée sur trois espèces forestières à savoir : *Austranella congolensis*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Drypetes likwa*. La particularité de ces plantations est que leurs âges sont connus et leurs superficies bien délimitées.

Les estimations du stockage de carbone sont différentes selon les espèces, l'âge, les densités et leurs modes de gestion. Seule l'hypothèse quatre relative aux méthodes de plantations n'a pas été validée par ce qu'il n'y avait pas de répétitions dans notre dispositif expérimental. Selon les espèces, *Austranella congolensis* a démontré sa pertinence pour ce qui est de stocker l'élément carbone (373,9 Ct/ha) suivie de *Gilbertiodendron dewevrei* (229,3Ct/ha et 121 Ct/ha) et en dernière position *Drypetes likwa* (113 Ct/ha).

Ces résultats confirment nos hypothèses selon lesquelles le stockage du carbone serait fonction des espèces étudiées et l'âge des plantations, serait fonction de la densité et serait également fonction du mode de gestion des dites plantations.

Les différences de potentialité du stockage de carbone dans ces plantations n'est pas seulement fonction de l'âge de plantations, de leurs densités et du mode des plantations ; mais aussi et surtout de leurs caractéristiques morphologiques (hauteurs des arbres) et intrinsèques des espèces (anatomiques).

En général, les modèles de régression (modèle prédit par Chave 2005) réalisés par le logiciel R version 2.5 a révélé que nos observations (diamètres correspondant (dbh), hauteur totale (ht), et la densité du bois) sont fortement corrélées (0,678)). Par rapport au critère d'information d'Akaike qui approuve notre deuxième modèle (4.1834) contre (5.7087 et 8.1318) respectivement pour le premier et le troisième modèle ; nous permet d'infirmer ou de confirmer les hypothèses du présent travail.

Globalement, nous avons atteint nos objectifs dans la mesure où nous avons estimé la quantité de la biomasse de différentes plantations de l'INERA/ Yangambi ; ce qui nous a permis d'estimer également les stocks du carbone dans ces différentes plantations.

En tout état de cause, l'espèce et l'âge des plantations sont donc considérés comme les premiers facteurs qui justifient le stockage de carbone dans les plantations (l'INERA/ Yangambi) suivi de leurs modes de gestion selon qu'il y avait des éclaircies ou non ; et la densité des plantations (nombre d'arbre à l'hectare).

## **B. RECOMMANDATIONS**

Il est certain que le pays a traversé des moments difficiles (guerres dites de libération), le centre de recherche de l'INERA/YANGAMBI se retrouve dépouillé de tous ses biens nécessaires pour la gestion des ressources. Avec des perspectives qui s'annoncent à l'horizon (processus REDD) pour soutenir la déforestation évitée dans le cadre des changements climatiques ; nous recommandons ce qui suit :

Que l'INERA puisse accorder une attention plus que soutenue à sa réserve de la biosphère, pour relancer les activités relatives à la bonne gestion des ressources forestières, la revalorisation de cette réserve qui est sous la gestion de ses compétences.



Qu'un intérêt particulier soit accordé aux plantations forestières, en vue de les réhabiliter et de la réévaluation (les superficies actuelles des dites plantations).

De soutenir les études ultérieures dans ses écosystèmes, en collaborant étroitement avec les Universités du pays en général et l'Université de Kisangani en particulier.

De maintenir le dispositif actuel (réhabilité) parcelles permanentes qui ont fait l'objet de notre étude. Que d'autres études du même genre soient menées dans le site, pour permettre au centre de recherche (INERA/YANGAMBI) de participer éventuellement dans le processus REDD dans notre pays.

Au gouvernement de la RDC, d'inclure dans son agenda prioritaire, pas comme un nouveau chantier, mais comme une annexe dans le chantier de la reconstruction ; pour revaloriser les ressources qui existent dans le centre de recherche de l'INERA/YANGAMBI.

En plus, de doter ce centre de recherche des moyens conséquents pouvant lui permettre de développer des activités météorologiques afin de limiter les pressions anthropiques qui pèsent sur les écosystèmes forestiers (Réserve de la biosphère).

Les gouvernements s'engagent à :

- Rassembler et partager les informations
- Lancer les stratégies nationales (adaptation et contrôle)
- Coopérer (principalement pour l'adaptation).

Aux chercheurs qui envisageraient mener des études dans le Centre de l'INERA/YANGAMBI de :

Bien coopérer avec l'autorité locale afin de la guider dans la réalisation de projets (monographie, mémoire, thèse).

## **PERSPECTIVE D'AVENIR**

Pour la présente étude, nous nous sommes intéressés essentiellement à la biomasse aérienne de trois espèces forestières dans les plantations. Eventuellement, nous proposons d'élargir notre champ d'action : Etendre ce réseau dans plusieurs types forestiers :

- Plantations (autres espèces) ;
- Forêts naturelles :
- Forêts marécageuses
- Forêts sèches
- Forêts secondaires
- Galeries forestières,
- Dans le sol via la décomposition de la litière etc.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alberta Environmentally Sustainable Agriculture Council. 2000.** *Greenhouse gas emissions, Alberta's Cropping Industry*. Alberta Government - Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton, Canada, no 5. 4 p.
- Alberta Environmentally Sustainable Agriculture Council. 2001.** *Greenhouse gas emissions, trading and agriculture - Risk and opportunities*. Alberta Government - Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton, Canada, no 7. 4 p.
- Albrecht, A. et Kandji, S.T. 2003.** Carbon séquestration in tropical agroforestry Systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 99: 15-27.
- Albrecht, A. et Kandji, S.T. 2003.** Carbon séquestration in tropical agroforestry Systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 99: 15-27.
- Alpizar, L., Fassbender, H.W., Heuvelop, J., Fôlster, H. et Enriquez, G. 1986.** Modelling agroforestry Systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. I. Inventory of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems*. 4: 175-189.
- Aubreville, A. (1948).** Ancienneté de la destruction de la couverture forestière primitive de l'Afrique tropicale. Goma: Bull. Agr. du Congo belge, vol. **XL**, n° 2, 1347-1352
- Aubreville, A. (1949-a).** *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Paris: Soc. d'Edit. Géogr. Marit. et Colon. d'O-M., **2**, 131p
- Aubreville, A. (1949-b).** Contribution à la paléohistoire des forêts de l'Afrique tropicale. Paris: Soc. d'Edit. Géogr. Marit. et Colon. d'O-M., mémoires, 145-158
- Azontonde, A., Feller, C., Ganry, F., et Remy, J.-C. [1998].** Le mucuna et la restauration des propriétés d'un sol ferrallitique au sud du Bénin. *Agriculture et développement*, **18**, 55-61.
- Locatelli, B., 1996 :** Forêts tropicales et cycle de carbone collection « Repère », CIRAD, Montpellier, 91p.

- Béer, J.,** Harvey, C, Ibrahim, M., Harmand, J.M., Somarriba, E. et Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforesteria en las Americas* 10(37-38) :80-87.
- Béer, J., Muschler, R. et Somarriba, E. 1998.** Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*. 38: 1139-1164.
- Béguin H. (1962).** A propos de la densité de la population dans la région de Yangambi. Bruxelles: Acad. Roy. des Sci. D'O-M; bull. des séances, nouvelle série, 928-94
- Boer, G.J., Flato, G. et Ramsden, D. 2000.** A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: Projected climate to the twenty-first century. *Climate Dynamics*. 16(6): 427-450.
- Boudru, B. 1989 :** Forêt et sylviculture. Traitement des forêts pressées Agronomiques de Gembloux, 356 p  
economic value of carbon Storage in tropical forests. In: Weiss, J (ed) the economics of project appraisal and the environment, 102-123. Edward Elgar, Cheltenham *climatique - Une perspective canadienne*. Toronto, Canada, 55 p.
- Boulaine, J. (1967).** *Classification des sols*. Paris: Commission de pédologie et de cartographie des sols, édition 1967, 96p.
- Bultot, F. (1971-a).** *Atlas climatique du bassin congolais. I<sup>e</sup> partie: les composantes du bilan de rayonnement*. Bruxelles: Publ. INEAC., hors sér. 104 cartes, 26 figures et 8 tableaux.
- Bultot, F. (1971-b).** *Atlas climatique du bassin congolais. II<sup>e</sup> partie: les composantes du bilan d'eau*. Bruxelles: Publ. INEAC., hors sér., 170 cartes, 19 figures et 19 tableaux.
- Bultot, F. (1972).** *Atlas climatique du bassin congolais. III<sup>e</sup> partie: température et humidité de l'air, rosée, température du sol*. Bruxelles: Publ. INEAC., hors sér., 278 cartes, 7 figures et 8 tableaux.
- Bultot, F. (1977).** *Atlas climatique du bassin zaïrois. IV<sup>e</sup>: pression atmosphérique, vent en surface et en altitude, température et humidité de l'air en altitude, nébulosité et visibilité, classification climatique, propriétés chimiques de l'air et des*

*précipitations*. Bruxelles: Publ. INEAC., hors sér., 344 cartes, 11 figures et 35 tableaux.

**Calembert, J. (1995)**. Gestion des sols en régions chaudes (contribution au cours de pédologie tropicale). Gembloux, Belgique, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, (inédit), 28p.

**CCNUCC (Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques) 2005**. *Préserver le climat*. Guide de la Convention sur les changements climatiques et du *Climate Dynamics*. 16(6): 427-450.

**Chave J., Candolo C., S. Bronw., Cairns M.A., J;Q Chambers., Enmus D., Foister H., Fromard F., Higuchi N., Vira T., Lescure J.P., Nelson W. B, Ogawa H., Piugu H., Riera B., Yamakura T.(2005)** Tree allometry and improved estimation of carbon stoks and balance in tropical forests p89, 90, 94.

**De Heinzelin J. (1952)**. *Sols, paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du bassin du Congo*. Bruxelles: Publ. INEAC., 168p.

**DEFAYS E. 2000**: Forêts / produits forestiers: un puits de carbone p 29

**Dixon, R.K. 1995**. Agroforestry Systems: sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems*. 31: 99-116.

**Drachoussoff V., Focan A. et Hecq J. [1991]**. *Le développement rural en Afrique centrale 1908 – 1960/1962. Synthèse et réflexions*. Bruxelles: Fondation Roi Baudouin, vol. I et II, 1203p.

**Fahem A. K. (1978)**. Géologie, sols et végétation en République du Zaïre. Atlas de la République du Zaïre. Paris: édit. j.a. (IGN), 12-13, 20-21 et 22-23

**Fahem A. K. et Fatma F. (1978.)** L'agriculture en République du Zaïre. Atlas de la République du Zaïre. Paris: édit. j.a. (IGN), 40-49.

**Fan s., Gloor M., Mahlman J., Pacala J., Sarmiento J., Takahashi T., Tans P., 1998**: A large terrestrial carbon sinks in Nord American implied by atmospheric and oceanic carbon dioxide data models p282, 442.



**FAO 2005.** *Situation des forêts du monde 2005*. FAO, Rome, Italie.

**FAO-Isric-Isss (1998).** *World reference base for soil resources*. Rome: FAO édit., 91p.

**FAO-unesco-Isric (1989).** *Carte mondiale des sols. Légende révisée*. Rome: FAO édit., 125p.

**Fearnside, P.M. 1997.** Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 90: 59-87.

**Gaudin S – BTSA Gestion Forestière – 1996:** Dendrométrie des peuplements p 10.

**GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2000.** *L'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie*. Résumé à l'intention des décideurs. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 30 p.

**GIEC. 2001.** *Bilan 2001 des changements climatiques: mesures d'atténuation*. Rapport du groupe de travail III du GIEC. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 93 p.

**Greenpeace. , 2005:** Le pillage des Forêts du Congo p 2 -67).

[Http// www.worldagroforestry centre.org/ sea/ Products/AFD base/ WD/](http://www.worldagroforestrycentre.org/sea/Products/AFDbase/WD/).

**Kombele F. B. M. , Mambani B. et Ngongo L. [1987].** Etude des corrélations entre différentes formes de termitières et les propriétés physico-chimiques des sols hôtes à Yangambi, Zaïre. Bengamisa: Ann. Inst. Sup. Etud. Agron., 1, 113-125.

**Kombele F. B. M. [1998].** Evaluation de l'état de fertilité de sols sous forêts primaires et différentes jachères dans la cuvette centrale congolaise: cas du secteur de Yangambi. Gembloux, Belgique, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques (travail de maîtrise), 83p.

**Kombele F. B. M. [2000].** Diagnostic de la fertilité des sols dans la Réserve de Biosphère de Yangambi: cartes et données de base. Gembloux, Belgique, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques (inédit), 48p.

- Kombele F. B. M. [2002].** Caractéristiques pédologiques comparées de termitières sous forêts primaires du plateau de Yangambi en cuvette centrale congolaise. Bruxelles: Tropicultura, 20, (2):76-82.
- Kombele F. B. M. Ngama B. [1995].** Utilisation des sols de termitières et de paille sèche d'arachide comme fertilisants en cultures maraîchères à Yangambi. Montrouge: Cahiers Agricultures, 4, 125-128.
- Kombele F. B. M., Mambani B., Litucha B. M., Endubu M. [1992].** Perspective d'utilisation des termitières dans l'amélioration de la fertilité des sols tropicaux: cas d'une expérimentation en pots de végétation à Yangambi. Bruxelles: Tropicultura, 10, (2):51-54.
- Lebrun J. (1936).** La forêt équatoriale congolaise. Bruxelles: Bull. Agr. Congo belge, XXVII, (2): 163-193.
- Leslie, A. 1999.** Pourquoi sonne le glas.
- Lugo E., S. Brown., 1992:** tropical forest as sinks of carbon, forest ecology and Management p 54, 239.
- Macdiken K.G., 1997:** A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforesterie projects. Forest carbon program Winrock international institutes for Agricultural Development, Arlington, USA, p 91.
- Makana J-R., Umunay P., Ewango C., Hall J. (2008).** Floristic Inventories and estimation of Forest Carbon stock in primary and secondary in Salonga National Park and Surrounding Areas. Preliminary Report.
- Miles, E.L. 2004.** *Beyond the Kyoto/Marrakech protocol: options and stratégies*, p.2335.
- Ministère de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Canada. 2003a.** *Le réchauffement du globe et l'agriculture - Crédits de carbone.* Conseil de conservation des sols, Canada. 2(1):1-2.
- Ministère de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Canada. 2003b.** *Le réchauffement du globe et l'agriculture - Les meilleures techniques de gestion.* Conseil de conservation des sols, Canada. 2(2): 1-2.

- Ministère de l'environnement du Canada. 2005.** *Une introduction au changement climatique - Une perspective canadienne.* Toronto, Canada, 55 p.
- Ministère des ressources naturelles du Canada. 2004.** *Un temps de changement : Le changement climatique au Québec.* Page consultée le 26 juin 2006.
- Montagnini, F. et Nair, P.K.R. 2004.** Carbon séquestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry Systems. *Agroforestry Systems.* 61: 281-295.
- Nasi Robert, Philippe Mayaux, Didier Devers, Nicolas Bayol, Richard Eba'a Atyi, Antoine Mugnier, Bernard Cassagne, Alain Billand, Denis Sonwa (2008).** Un aperçu des stocks de carbone dans les forêts du bassin du Congo. P 200, 203, 209.
- Oelbermann, M., Voroney, R.P. et Gordon, A.M. 2004.** Carbon séquestration in tropical and temperate agroforestry Systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 104: 359-377.
- Olschewski, R. et Benitez, P.C. 2005.** Secondary forests as temporary carbon sink? The économie impact of accounting methods on reforestation projects in the tropics. *Ecological Economies.* 55: 380-394.
- Pain M. (1978).** Relief, hydrographie et climat en République du Zaïre. Atlas de la République du Zaïre. Paris: édit. c.a. (IGN), 6-11 et 14-19.
- Philips et al, 1998:** Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long-term plots, quaternary research p 45, 202.
- Point Carbon. 2005a.** *Carbon price forecasts and analysis of greenhouse gas emissions trading markets.* Page consultée le 14 juillet 2006.
- Point Carbon. 2005b.** *Pays assujettis au Protocole de Kyoto.* Page consultée le 9 juin 2006. *Pollution.* 64: 213-227.
- Raemaekers R. (2001).** Congo-Kinshasa "in" *Agriculture en Afrique tropicale. Partie II. Monographie succincte des pays d'Afrique tropicale.* Bruxelles: DGCI, 1342-1348.

- Sabongo, P., (2007).** Taxonomie, phytogéographie et conservation des espèces de la famille des Euphorbiaceae dans les districts de Kisangani et de la Tshopo. Mémoire de DEA ; pp 48.
- Schroeder, P.E., Dixon, R.K. et Winjum, J.K. 1993.** Ordenación forestal y agrosilvicultura para reducir el dióxido de carbono atmosférico. *Unasylva*. 173(44): 52-60.
- Segalen P. (1994).** *Les sols ferrallitiques et leur répartition géographique. Introduction générale. Les sols ferrallitiques: leur répartition et environnement immédiat.* Paris: édit. ORSTOM., tome I, 198p.
- Segalen P. (1995).** *Les sols ferrallitiques et leur répartition géographique. Les sols ferrallitiques en Afrique et en Extrême-Orient, Australie et Océanie: conclusions générales.* Paris: édit. ORSTOM., tome III, 201p.
- Semiane G. V., 2007 :** Evaluation de la séquestration du carbone dans des plantations agroforestières, et des jachères issues d'une Agriculture migratoire dans les territoires autochtones, de KALAMANCA, AU COSTARICA p 28
- Shoene D et Netto M. ; 2005 :** Protocole de Kyoto : que signifie –t-il pour les forêts et la foresterie ? p 1
- Siegenthaler, U., et al., 2005:** Stable carbon cycle-climate relationship during the late Pleistocene. *Science*, 310(5752), 1313–1317.
- Timothy P. et Brown S. ; 2005** Guide de mesure et de suivi du carbone dans les forêts et prairies Herbeuses p 8-35
- Vandenput R. (1981).** *Les principales cultures en Afrique centrale.* Tournai: édit. Lesaffre, 458p.
- Vivien J. et Faure J.J(1985).** Arbres des forêts denses d'Afrique centrale (Agence de coopération culturelle et technique) p 112, 416.
- Winjum, J.K., Dixon, R.K. et Schroeder, P.E. 1992.** Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon. *Water, Air and Soil Pollution*. 64: 213-227.

**World Resources Institute.** Site Web <http://earthtrends.wri.org>

[www.pointcarbon.com/category364.html](http://www.pointcarbon.com/category364.html).

## LES ANNEXES

### ANNEXE 1 : DONNEES BRUTES DES PLANTATIONS.

Espèces	Ages	Méth.PI	Tech.sylvi	Superficie	N/Superf.	H.total (m)
Gilbert dw	62	Blac étoc	Régarnissage	3600	130	24
Gilbert dw	35	Blac étoc	Non suivi	3600	100	26,1
Gilbert dw	35	Blac étoc	Non suivi	3600	100	26,9
Gilbert dw	70	Layon	Eclaircie	10000	106	32,1
Gilbert dw	70	Martineau	Eclaircie	2500	75	25,1
Autranella.c	72	Martineau	Non suivi	2500	140	25,9
Autranella.c	70	Martineau	Eclaircie	2500	66	39,2
		(Association) Drypetes				
Autranella.c	68	Martineau	Non suivie	2500	120	29,3
Autranella.c	68	Blac étoc	Eclaircie	3600	111	22,4
		Dégagement				
		Placeau				
Autranella.c	60	dense	Non suivi	2400	139	28,8
Drypetes.m	71	Martineau	Eclaircie	2500	75	26,08
		(Association) avec Autranel				
Autranella.c	60	dense	Non suivi	2400	160	23,73
		(Association) avec Autranel				

Méth.PI. : méthode de plantations ; Tech.Sylvi. : Technique sylvicoles ; Superficies (m<sup>2</sup>) : superficies Correspondantes aux parcelles ; N/Superf : Densités (arbres) par parcelle ; H.total (m) : Hauteur totales correspondantes aux arbres modèles.

Gilbert.dew : *Gilbertiodendron dewevrei* ; Autranella c : *Autranella congolensis* ; Drypetes m : *Drypetes macrophylla* ; Martineau : une de méthode de plantation ; Blanc étoc : une autre méthode de plantation ; Placeau dense : aussi une autre méthode de plantation ; Non suivie : Plantation non gérée ;

N.B : Toutes ces méthodes de plantations ont été décrites dans le chapitre deuxième de cette étude. Eclaircie : technique sylvicole qui consiste à desserrer progressivement les arbres d'avenirs les plus prometteurs par l'abattage de certains de leurs voisins ; Dégagement : Technique sylvicole qui consiste à éliminer les végétaux secondaires (adventices) de



façon à en réduire la densité les années suivantes. Association : méthode de plantation qui consiste à planter sur une même superficie donnée deux ou plusieurs espèces différentes.

#### ANNEXE 2 : Estimation du facteur d'expansion à la biomasse (*Autranella congolensis*)

Ages	BS.Fût kg	BS.Tot.kg	Densité	BEF
60	536,4	705,6	0,94	1,31543622
60	773,4	889,9	0,94	1,15063356
68	889	1014,9	0,94	1,14161978
68	1033,6	1266	0,94	1,22484521
70	2329,3	2832,8	0,94	1,21615931
72	607,5	741,6	0,94	1,22074071

#### ANNEXE 3: RESULTATS DU STOCKAGE DE CARBONE A L'HECTARE

(*Autranella congolensis*)

Espèce	Ages	N/Sup	N/ha	BS.Tot.kg	Carbone kg	Ckg/N/Sup	Ckg/N/ha	Ct/ha	CGt/ha
Autranella	60	139	579	705,6	352,8	49039,2	204271,2	204,2712	0,2042712
Autranella	60	160	666	889,9	444,95	71192	296336,7	296,3367	0,2963367
Autranella	68	120	480	1014,9	507,45	60894	243576	243,576	0,243576
Autranella	68	111	308	1266	633	70263	194964	194,964	0,194964
Autranella	70	66	264	2832,8	1416,4	93482,4	373929,6	373,9296	0,3739296
Autranella	72	140	540	741,6	370,8	51912	200232	200,232	0,200232

#### ANNEXE 4 : Estimation du facteur d'expansion à la biomasse (*Gilbertiodendron dewevrei*)

Ages	BS.Fût kg	BS.Tot.kg	Densité	BEF
35	633,8	1002,5	0,81	1,582
35	638,3	951,4	0,81	1,491
62	990,3	1251,3	0,81	1,264
70	1040,8	1528,9	0,81	1,469
70	1269,4	2284,8	0,81	1,8

BS.Fût kg : biomasse sèche fût exprimé en kilogramme ; BS.Tot.kg : biomasse sèche totale (arbres modèles) ; Densité : densité du anhydre ; BEF : facteur d'expansion à la biomasse.

#### ANNEXE 5 : RESULTATS DU STOCKAGE DE CARBONE A L'HECTARE

(*Gilbertiodendron dewevrei*)

Espèces	Ages	N/Sup	N/HA	BS Tot. kg	Carbone kg	Ckg/Sup	Ckg/N/ha	Ct/ha	CGt/ha
Gilbertiod.	35	100	277	1002,5	501,25	50125	138846,25	138,84625	0,13884625
Gilbertiod.	35	100	277	951,4	475,7	47570	131768,9	131,7689	0,1317689
Gilbertiod.	62	130	361	1251,3	625,65	81334,5	225859,65	225,85965	0,22585965
Gilbertiod.	70	75	300	1528,9	764,45	57333,75	229335	229,335	0,229335
Gilbertiod.	70	106	106	2284,8	1142,4	121094,4	121094,4	121,0944	0,1210944

## ANNEXE 6 : RESULTATS DU STOCKAGE DE CARBONE A L'HECTARE

*(Drypetes likwa)*

Espèce Ages N/Sup N/ha BS.Tot.kg Carbone kg Ckg/N/Sup Ckg/N/ha Ct/ha CGt/ha  
 Drypetes 71 75 300 755,5 377,75 28331,25 113325 113,325 0,113325  
 N/Sup : densités de superficies de plantations ; N/ha : densités par hectare ; BS.Tot.kg :  
 biomasse sèche totale(arbres modèles) exprimée en kilogramme ; Carbone kg : Carbone  
 exprimée en kilogramme (arbres modèles) ; Ckg/N/Sup : Carbone exprimé en kilogramme  
 (densités : superficies de plantations) ; Ckg/N/ha : Carbone exprimé en kilogramme (densités  
 de plantations à l'hectare) ; Ct/ha : Carbone tonne estimé à l' hectare ; CGg/ha : Carbone giga  
 gramme estimé à l'hectare.

ANNEXE 7 : RELATIVE A LA DENSITE DES RONDELLES PRELEVEES A  
DIFFERENTS NIVEAUX DES TRONCS D'ARBRES

Ages. Plant	Cône n°	R.F kg	R.S	Vol. rond m3	Densité Kg/m3	Densité g/cm3
35	1	4,20	2,9	0,0042	690,47619	0,6905
	2	4,00	2,4	0,004	600	0,6
	3	2,10	1,4	0,0021	666,666667	0,6667
	4	1,80	1	0,0018	555,555556	0,5556
	5	5,52	3	0,00552	543,478261	0,5435
35	1	3,30	2,1	0,0033	636,363636	0,6364
	2	3,00	2	0,003	666,666667	0,6667
	3	2,30	1,5	0,0023	652,173913	0,6522
	4	1,80	1,1	0,0018	611,111111	0,6111
	5	1,60	0,9	0,0016	562,5	0,5625
62	1	5,30	3,40	0,0053	641,509434	0,6415
	2	6,50	4,10	0,0065	630,769231	0,6308
	3	4,90	3,10	0,0049	632,653061	0,6327
	4	3,90	2,20	0,0039	564,102564	0,5641
	5	6,00	3,20	0,006	533,333333	0,5333
70	1	10,00	7	0,01	700	0,7
	2	12,40	7,9	0,0124	637,096774	0,6371
	3	10,50	6,4	0,0105	609,52381	0,6095
70	1	6,50	4,4	0,0065	676,923077	0,6769
	2	6,60	4,5	0,0066	681,818182	0,6818
	3	5,80	3,8	0,0058	655,172414	0,6552
72	1	5,00	3,6	0,005	720	0,72
	2	3,00	2,1	0,003	700	0,7
	3	2,00	1,3	0,002	650	0,65
	4	4,00	2,6	0,004	650	0,65
	5	1,80	1,1	0,0018	611,111111	0,6111

70	1	8,60	6,5	0,0086	755,813953	0,7558
	2	5,50	4	0,0055	727,272727	0,7273
	3	4,00	2,9	0,004	725	0,725
	4	2,50	1,7	0,0025	680	0,68
	5	3,30	2,2	0,0033	666,666667	0,6667
68	1	2,50	1,8	0,0025	720	0,72
	2	1,50	1,1	0,0015	733,333333	0,7333
	3	1,00	0,7	0,001	700	0,7
	4	3,50	2,5	0,0035	714,285714	0,7143
	5	0,90	0,6	0,0009	666,666667	0,6667
68	1	2,50	2	0,0025	800	0,8
	2	2,30	1,8	0,0023	782,608696	0,7826
	3	8,50	6,5	0,0085	764,705882	0,7647
	4	3,50	2,4	0,0035	685,714286	0,6857
	5	1,50	0,9	0,0015	600	0,6
60	1	6,20	4,6	0,0062	741,935484	0,7419
	2	2,70	2,1	0,0027	777,777778	0,7778
	3	5,10	3,9	0,0051	764,705882	0,7647
	3	4,90	3,1	0,0049	632,653061	0,6327
	5	1,80	1,1	0,0018	611,111111	0,6111
60	1	5,20	4,5	0,0052	865,384615	0,8654
	2	4,50	3,2	0,0045	711,111111	0,7111
	3	3,50	2,7	0,0035	771,428571	0,7714
	4	2,50	1,8	0,0025	720	0,72
71	1	3,00	1,6	0,003	533,333333	0,5333
	2	2,50	1,3	0,0025	520	0,52
	3	2,50	1,1	0,0025	440	0,44
	4	1,50	0,5	0,0015	333,333333	0,3333
	5	1,10	0,3	0,0011	272,727273	0,2727

NB : Ages de plant : âges de plantations ; Cônes n° : numéros de rondelles depuis la base jusqu'au première branche (fût) ; R.F : Poids frais en kilogramme de rondelles frais ; R.S : rondelles secs en kilogramme ; Densité : le rapport entre le poids sec et le volume frais de rondelles.

**ANNEXE 8 : ESTIMATION DE POIDS PERDUS PAR KILOGRAMME  
ECHANTILLON**

Ages	$\sum RFkg$	$\sum RSKg$	$\sum Poids\ perd.\ kg$
35	17,62	10,70	6,92
35	12,00	7,60	4,40
62	26,60	16,00	10,60
70	32,90	21,30	11,60
70	18,90	12,70	6,20
72	15,80	10,70	5,10
70	23,90	17,30	6,60
68	9,40	6,70	2,70
68	18,30	13,60	4,70
60	20,70	14,80	5,90
60	15,70	12,20	3,50
71	10,60	4,80	5,80

Légende : Echant Frais.kg : Echantillon frais total de rondelles par arbre modèle en kilogramme ; Echant S.kg : Echantillon sec total de rondelles en kilogramme ; Poids perdu par le total de l'échantillon après séchage en kilogramme ; Poids perd/kg : Poids perdu par un kilogramme d'échantillon après séchage. Chaque ligne correspond à un arbre abattu, les cinq premières lignes concerne l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei*, ensuite, les six lignes suivantes s'agissant de l'espèces *Austranella congolensis* et afin, la dernière ligne équivaut à l'espèces *Drypetes likwa*. Les âges de ces arbres suit la logiques de l'annexe précédente.

## ANNEXE 9 : ESTIMATION DE LA BIOMASSE SECHE TOTALE (12 Arbres moyens).

Espèces	Diamètre	Surface à la section 1,30m	Ages	Fût sans écorce Kg	Ecorces Kg	Branches Kg	Rameaux Kg	Feuilles Kg	Fruits Kg	BS. totale Kg
Gilbertiodendron d.	28	0,063	35	633,8507223	91,20595612	122,138652	61,7236	93,67	00	1002,58893
Gilbertiodendron d.	28,8	0,064	35	638,3144274	110,8388286	125,125	13,5	54,276	9,35	951,404256
Gilbertiodendron d.	36,5	0,105	62	990,3718046	95,59928444	97,7	24,26	43,413	00	1251,344089
Gilbertiodendron d.	47	0,172	70	1040,890469	152,3947544	248,3	44,16	43,2	00	1528,945223
Gilbertiodendron d.	52,2	0,214	70	1269,449377	195,509111	514,019984	185,3645	120,4933	00	2284,836272
Autranella	26,2	0,053	60	536,4532002	144,519	19,2304119	3,6	1,803	00	705,6056121
Autranella	34	0,09	60	773,4526123	87,96004128	00	18	10,586	00	889,9986536
Autranella	44	0,152	70	2329,399031	329,1329165	111,48	41,391	21,413	00	2832,815948
Autranella	28,1	0,062	68	889,090707	122,228235	00	1,86	00	00	1013,178942
Autranella	36,5	0,104	68	1033,603094	195,509111	8,183154	18	10,73	00	1266,025359
Autranella	32,4	0,082	72	607,538985	65,88720905	43,336	14,34	10,586	00	741,6881941
<i>Drypetes likwa</i>	24,4	0,046	71	611,5191971	24,71282486	56,029333	31,85	31,413	00	755,524355

Gilbertiodendron d : *Gilbertiodendron dewevrei* ; Autranella : *Autranella congolensis* ; Diamètre du tronc d'arbre à 1,30 m du sol ; Fût : partie du tronc d'arbre depuis la base jusqu'à la première branche ; B.S totale Kg : Biomasse sèche totale exprimée en kilogramme.

## ANNEXE 10 : DONNEES RELATIVES AUX ARBRES MOYENS

Espèces	Diamètre	Surface terrière	Ages	Hauteurs	Densité du bois	Superf. m <sup>2</sup>	N/SURP	N/HA	Biomasse sèche arbres moyens
Gilbertiodendron dewevrei	28	0,063	35	26,1	0,81	3600	100	277	1002,5
Gilbertiodendron dewevrei	28,8	0,064	35	26,9	0,81	3600	100	277	951,4
Gilbertiodendron dewevrei	36,5	0,104	62	24	0,81	3600	130	361	1251,3
Gilbertiodendron dewevrei	47	0,172	70	32,1	0,81	2500	75	300	1528,9
Gilbertiodendron dewevrei	52,2	0,214	70	25,1	0,81	10000	106	106	2284,8
Autranella congolensis	26,2	0,053	60	23,75	0,94	2400	139	579	705,6
Autranella congolensis	34	0,09	60	28,8	0,94	2400	160	666	889,9
Autranella congolensis	44	0,152	70	39,2	0,94	2500	66	264	2832,8
Autranella congolensis	28,1	0,062	68	22,2	0,94	2500	120	480	1013,1
Autranella congolensis	36,5	0,104	68	29,3	0,94	3600	111	308	1266
Autranella congolensis	32,4	0,082	72	25,9	0,94	2500	140	540	741,6
Drypetes likwa	24,4	0,046	71	26,08	0,65	2500	75	300	755,5

Espèces : Espèces végétale étudiées, Diamètre : Diamètre des arbres à 1,30 m du sol ; Surface terrière : surface de la section d'un arbre à 1,30m du sol ; Ages : Ages de plantations ; Hauteurs totales des arbres modèles ; Densité du bois : Densité du bois anhydre ; Superf.m<sup>2</sup> : Superficie exprimées en mètre carré ; N/Sup : densités (superficies de plantations) ; N/HA : densités de plantations par hectare.



**ANNEXE 11 : DONNEES CLIMATIQUES****REGIME DE L'ELEMENT**

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	101	99,7	103,7	88,4	62,7	74,5	89,4	101,9	87,5	79,7	86,8	94
2001	108,2	100,4	101	87,8	98,3	108,6	93,9	75,7	83,5	88,8	64,8	96,3
2002	114,7	110,6	86	90,7	110,4	94,1	96,3	89	86,4	87,6	88,8	115
2003	110,8	108,4	99,6	79,2	105,7	85,4	86,2	89,2	84,5	97	93,1	95
2004	109,3	96,7	111	98,7	97,6	112	112,9	97,2	81,1	87,1	75,8	86,5
2005	118,5	94,6	94,2	97,1	85,1	87,4	102,6	88,9	98,1	84	86,2	112
2006	124,6	84,6	97	111,3	98,1	102,8	88,6	100,2	73,5	94,9	83,8	102
2007	115,2	100,9	96,7	103,1	69,5	86,3	88,3	78,4	82,5	87,6	73,5	95,9
2008	112,7	99,4	98,6	94,5	90,9	93,8	94,7	90,6	84,5	88,3	81,6	99,5

**ANNEXE 12 : ECART THERMIQUE JOURNALIER DE LA TEMPERATURE SANS ATRI (FM-Tm)**

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.
2000	10,9	11,5	13,2	11,5	10,5	9,4	9,1	100,3	10,3	9,8	9,9
2001	10,8	11,1	10,9	10,8	9,7	9,7	9,6	9,6	10,2	9,1	10,7
2002	10,9	11,7	10,9	10,4	11,2	10,4	10,2	9,3	9,8	9,5	10,1
2003	10,9	11,4	11,5	10	10,7	10	7,6	9,5	10,2	10,8	10,2
2004	10,3	12,5	11,3	10	9,8	9,1	9,7	10	10,3	10,2	9,8
2005	11,5	11,7	10,4	10,3	9,5	9,6	10,3	9,4	9,9	9,6	10,2
2006	10,6	10,4	10,5	10,5	9,4	10,4	9,2	9,5	9,8	10,1	10,2
2007	13,3	12,1	11,4	10,4	10,2	9,8	9,2	9,6	10	9,7	10,5
2008	11,5	11,5	11,2	10,4	10,1	9,8	9,3	20,9	10	9,8	10,2

**ANNEXE 13 : NOMBRE DE JOURS DE PRECIPITATIONS A LA STATION Km 5, YANGAMBI**

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	9	7	7	16	14	16	16	14	19	21	17	16
2001	9	7	16	17	19	12	17	12	15	21	21	12
2002	5	7	14	23	13	13	14	16	17	20	24	19
2003	12	7	14	16	15	16	17	18	19	17	23	16
2004	9	13	8	11	12	13	18	12	19	17	13	13
2005	5	4	14	9	13	12	12	13	14	23	15	10
2006	12	12	11	10	18	18	15	17	19	14	21	10
2007	3	5	9	16	14	16	17	21	23	28	20	17
2008	8	7,7	11	15	14	13	16	17	19	21	21	14

**ANNEXE 14 : COTE PLUVIOMETRIQUE MAXIMALE JOURNALIERE (EN 0,1 mm) A  
LA STATION Km 5, YANGAMBI**

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	18	34	33	27	26	42	27	50	30	45	28	50
2001	28	67	31	60	58	27	22	125	51	76	73	34
2002	15	17	30	51	40	19	35	46	45	53	48	79
2003	41	36	39	65	75	52	49	77	96	94	57	43
2004	22	34	45	50	86	45	23	62	93	45	48	33
2005	33	44	27	41	25	25	34	76	36	54	54	29
2006	34	22	72	19	89	24	47	21	82	27	36	58
2007	9	53	29	23	73	59	20	47	54	90	38	16
2008	18	31	34	62	70	54	39	70	90	54	37	25

**ANNEXE 15 : DEFICIT DE SATURATION A 15H**

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	3,1	15,9	22,2	17,3	15,8	11,1	11,1	11,2	12,3	11,8	11,9	12,7
2001	15,2	15,6	16	14,4	14,1	12	10,7	9,9	13,1	13,3	10,5	12,9
2002	16,2	19,6	18,5	11,6	16,9	13,5	12,4	10,2	12,8	11,3	11	13,4
2003	14,4	19,4	17,7	13,3	14,7	13	11,3	11,7	13,4	15,3	13,7	14,3
2004	15,2	18,9	20,2	15,1	15,2	11,7	13,1	12,1	12,8	11,7	10,5	11,2
2005	19,4	20,9	16	17,1	12,2	11,6	11,7	11,8	13,9	12,3	13,8	14,4
2006	15,1	17,7	15,9	15,6	12,4	12,8	11,5	9,3	11	13,9	10,2	13,9
2007	21	22	20,8	16,8	14,8	13	11,8	10,5	12	12,7	12,6	12,4
2008	18,5	19,8	18,3	16,2	13,6	12,9	11,6	9,9	11,5	13,3	11,4	13,3

**ANNEXE 16 : EVAPORATION TOTALE DE PICHE 24H A 24H**

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	3	3,2	4,5	3,6	3	2,3	2,1	2	2,5	2,3	2,4	2,5
2001	2,9	3,1	3,4	3,1	2,8	2,5	2,3	2	2,5	2,5	2,2	2,3
2002	3,3	4,4	3,5	2,6	3,1	2,6	2,3	2,1	2,5	2,2	2,1	2,4
2003	2,9	3,9	3,6	2,8	2,9	2,5	2,1	2,1	2,7	3,1	2,3	2,3
2004	2,7	4,1	4,7	3,7	3,2	2,4	2,8	3	2,9	2,6	2,5	2,1
2005	3,9	4,9	3,6	3,7	2,8	2,5	2,7	2,9	3,1	3,1	2,7	2,8
2006	3,2	3,6	3,5	3,7	2,7	2,7	2,4	2,3	2,8	3,5	2,5	3,2
2007	4,9	5	4,9	4,4	3,3	2,7	2,3	2,4	2,7	2,5	2,7	2,9
2008	3,1	4,3	4,9	4,3	2,9	2,4	2,5	2,6	2,9	2,9	2,5	2,4

**ANNEXE 17 : TABLEAU PLUVIOMETRIQUE MENSUELS (EN 0,1 mm) A LA STATION Km 5, YANGAMBI**

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	49	48	52	121	146	147	68	187	117	237	77	134
2001	53	106	136	148	186	60	49	253	174	237	268	37
2002	36	22	80	279	127	93	120	172	178	215	203	188
2003	113	48	189	161	153	133	162	200	478	258	248	120
2004	57	69	116	145	153	54	97	143	210	173	178	123
2005	43	76	123	113	120	104	84	307	109	353	213	108
2006	136	80	203	63	182	103	114	100	297	129	185	125
2007	15	79	80	71	216	189	83	151	168	334	244	59
2008	44,5	64	108	70	156,3	102	84,5	152	176	226	215	112

**ANNEXE 18 : RAYONNEMENT GLOBAL**

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	268	482	543	406	505	476	439	485	454	448	458	430
2001	462	481	501	499	512	480	437	453	468	493	375	480
2002	463	458	518	534	534	473	440	414	469	447	479	397
2003	445	509	508	507	547	405	423	393	442	498	493	491
2004	475	474	518	514	489	417	428	457	493	464	416	424
2005	469	489	488	527	445	446	412	483	469	449	456	479
2006	462	456	512	500	540	479	426	458	495	495	492	399
2007	445	508	489	512	532	412	441	399	445	463	480	425
2008	475	481	480	509	502	475	432	431	442	450	415	479

**ANNEXE 19 : DURÉE D'INSOLATION EN HEURE**

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	226	246	202	185	190	154	137	145	135	150	132	147
2001	203	183	176	167	169	106	120	140	173	165	143	176
2002	193	163	169	136	207	177	139	100	153	138	141	161
2003	184	179	189	147	182	163	138	139	146	150	146	208
2004	175	196	209	158	157	149	159	172	176	162	148	156
2005	213	191	177	186	183	158	153	153	167	153	168	203
2006	211	190	184	192	162	188	150	151	145	176	128	180
2007	254	169	187	161	182	165	143	148	147	139	132	137
2008	229	191	188	158	207	177	159	136	159	162	141	169

**ANNEXE 20 : MOYENNES MENSUELLES DE TEMPÉRATURE MAXIMA**

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	29	30,7	32,8	31,7	30,9	29,8	29,7	29,5	29,9	29,5	29,2	30,5
2001	30,2	30,4	31,1	31	30,5	29,5	29,5	29,4	29,9	29,3	29,3	30,6
2002	30,3	32,2	31,5	30,8	31,5	30,5	30	29,2	29,6	29,2	29,9	28,3
2003	30,4	32,1	32	30,6	31,2	30,3	29,3	29,1	29,8	30,9	30	30,2
2004	30,5	32	32,6	30,8	30,5	29,4	29,6	29,9	29,9	29,9	29,3	29,8
2005	30,8	33,1	31,3	31,5	30,1	29,8	29,3	29,2	30,4	29,5	30,1	30,3
2006	30,6	30,1	30,8	31,2	30,1	30,3	29,6	29,3	29,3	30,4	29,9	29,7
2007	31,7	32,5	32,1	31,5	30,8	30	29,2	29,8	29,7	29,5	29,7	29,5
2008	30,5	32,1	32,3	31,2	30,5	29,8	29,5	29,4	29,9	29,3	29,9	28,3

**ANNEXE 21 : MOYENNES MENSUELLES DE LA TEMPÉRATURE MINIMA**





Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	18,4	19,7	19,6	20,2	20,2	19,9	19,5	19,1	19,4	19,7	20	20,4
2001	19,4	20,2	20,2	20,2	20,8	19,8	19,9	19,8	19,7	20,2	20	20,4
2002	19,4	20,4	20,6	20,4	20,4	20,1	19,8	19,9	19,8	19,7	19,7	18,6
2003	19,5	20,7	20,5	20,6	20,5	20,1	19,7	19,6	19,6	20,1	19,9	20
2004	20,3	19,6	21,3	19,9	20,5	20,2	19,7	19,9	19,6	19,8	20	20
2005	19,3	21,3	20,9	21,2	20,6	20,2	20	19,1	20,5	19,9	20,1	20,1
2006	20,1	20,7	20,3	20,7	20,7	19,9	20,4	19,8	19,5	20,2	20,3	19,8
2007	18,4	20,4	20,7	21,1	20,6	20,2	20	19,7	19,7	19,8	20	19
2008	19,3	20,2	20,6	21,2	20,5	20,1	20	19,6	19,6	19,9	20,1	19,8

**ANNEXE 22 : MOYENNES MENSUELLES DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE JOURNALIÈRE**

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
2000	23,6	25,2	26,2	25,9	25,5	24,8	24,1	23,4	24,7	24,6	24,6	25,5
2001	24,8	25,7	25,6	25,6	25,7	24,8	24,7	24,6	24,8	24,7	24,7	25,5
2002	24,9	26,4	26,1	25,6	25,9	25,3	24,9	24,5	24,7	24,4	24,8	24,3
2003	25	26,4	26,3	25,6	25,8	25,1	24,5	24,3	24,7	25,5	24,1	25,1
2004	25,7	25,7	26,9	25,8	25,5	24,8	24,7	24,9	24,8	25,9	24,6	24,9
2005	25,1	27,2	26,7	26,3	25,4	25	24,6	24,5	25,4	24,7	25,1	25,2
2006	25,4	25,9	25,5	26	25,4	25,1	25,1	24,4	24,4	25,3	24,6	24,9
2007	25,1	26,4	26,4	26,3	25,7	25,1	24,6	24,6	24,7	24,6	24,9	24,2
2008	25,2	26	26,9	25,4	25,7	25,3	24,6	24,3	24,6	24,7	24,8	24,3

ANNEXE 23 : PAYS ASSUJETTIS AU PROTOCOLE DE TOKYO



-  Annexe 1 : Union européenne.  
Annexe 1: Pays en transition sur le plan économique. Pays potentiellement hôte de projets d'application conjointe.
-  Annexe 1: Pays n'ayant pas ratifié le Protocole de Kyoto.
-  Annexe 2: Pays de l'Annexe 1 à l'extérieur de l'Union européenne.
-  Non-Annexe 1: Pays en développement. Pays potentiellement hôte de projets MDP.

Adapté de Point Carbon, 2005b

## STATISTIQUE : EQUATION DE CHAVE

R version 2.5.0 (2007-04-23)

Copyright (C) 2007 The R Foundation for Statistical Computing

ISBN 3-900051-07-0

R est un logiciel libre livré sans AUCUNE GARANTIE.

Vous pouvez le redistribuer sous certaines conditions.

Tapez 'license()' ou 'licence()' pour plus de détails.

R est un projet collaboratif avec de nombreux contributeurs.

Tapez 'contributors()' pour plus d'information et  
'citation()' pour la façon de le citer dans les publications.

Tapez 'demo()' pour des démonstrations. 'help()' pour l'aide  
en ligne ou 'help.start()' pour obtenir l'aide au format HTML.

Tapez 'q()' pour quitter R.

[Sauvegarde de la session précédente restaurée]

```
> tarif()
```

```
Erreur dans file(file, "r") : impossible d'ouvrir la connexion
```

```
De plus : Warning message:
```

```
impossible d'ouvrir le fichier 'Donnees/biomasse.csv', à cause de 'No such file or directory'
```

```
> ls()
```

```
[1] "sav" "tarif"
```

```
> fix(tarif)
```

```
> rm(.First)
```

```
> save.image("C:\\Users\\Jérôme\\Documents\\ebuy.RData")
```

```
> tarif()
```

```
Call:
```

```
lm(formula = "lnB~lnD+lnH+lnI", data = x)
```

```
Residuals:
```

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.3221933	-0.0893603	0.0009845	0.1324317	0.3378228

```
Coefficients:
```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.1081	1.6812	0.064	0.95030
lnD	1.3636	0.3614	3.773	0.00544 **
lnH	0.6340	0.5707	1.111	0.29889



lnD	-0.2705	0.6643	-0.407	0.69459
---				
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 0.2478 on 8 degrees of freedom				
Multiple R-Squared: 0.7688, Adjusted R-squared: 0.6821				
F-statistic: 8.869 on 3 and 8 DF, p-value: 0.006344				
AIC: 5.7087				
Call:				
lm(formula = "lnB~lnD2Hd", data = x)				
Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.41143	-0.15737	0.07634	0.16995	0.30194
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.8241	1.2418	0.664	0.521946
lnD2Hd	0.6105	0.1216	5.020	0.000522 ***
---				
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 0.2457 on 10 degrees of freedom				
Multiple R-Squared: 0.7159, Adjusted R-squared: 0.6875				
F-statistic: 25.2 on 1 and 10 DF, p-value: 0.0005221				
AIC: 4.183497				
Call:				
lm(formula = "lnB~lnD+lnD2+lnD3+lnD", data = x)				
Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.2955	-0.1832	0.0063	0.1566	0.4080
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	282.5530	387.2822	0.730	0.489
lnD	-230.6000	325.1460	-0.709	0.501
lnD2	63.7592	90.8164	0.702	0.505

lnD3	-5.8202	8.4377	-0.690	0.513
lnD	0.3145	0.9624	0.327	0.753
Residual standard error: 0.2697 on 7 degrees of freedom				
Multiple R-Squared: 0.7605, Adjusted R-squared: 0.6237				
F-statistic: 5.558 on 4 and 7 DF, p-value: 0.02461				
AIC: 8.131814				
>				