

UNIVERSITE DE KISANGANI
FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES EAUX ET FORETS



B.P. 2012
KISANGANI

Séquestration du carbone dans deux peuplements équiennes : cas de *Pericopsis elata* (Hams) Van Meeuwen en plantation forestière de l'I.N.E.R.A-Yangambi à Yangambi (Province Orientale, R.D.Congo)



Par

TULONDE ALIMASI Jean-Luc



Mémoire de Fin d'Etude

Présenté et défendu en vue de l'obtention de
diplôme d'Ingénieur Agronome.

Département : Eaux et Forêts

Directeur : Prof MOANGO MANGA Adrien

Encadreur : CT EBUY ALI PADE Jérôme

ANNEE ACADEMIQUE : 2012 – 2013

DEDICACE

Ce travail est dédié au Seigneur Dieu et à mes parents.

REMERCIEMENTS

S'il est impossible d'identifier toutes les personnes ayant participé à la réalisation de ce travail, nous aimerions citer quelques noms dont les contributions ont été déterminantes.

En premier lieu, nous reconnaissons les concours visible et invisible de Celui qui s'appelle "Je suis", Eternel Dieu à qui je crois.

Nous remercions le généreux souci de nos parents, celui de lutter pour notre bien être et meilleur avenir, notamment : Pasteur Luc ALIMASI MWIMBILWA et Madame Ornelata MAZAMBI YALALA.

Nous saluons également le Directeur et l'Encadreur de ce travail, nous avons cité Messieurs le Professeur Adrien MOANGO MANGA et le Chef de travaux Jérôme Ebuy ALIPADE, dont l'expérience dans ce domaine s'est révélée très précieuse pour franchir les divers obstacles liés à notre limite.

Cette œuvre n'aurait pas été un succès sans l'infatigable travail de nos camarades étudiants, notamment Chris benoit AMILI BAOMBEI et Philémon KAKULE MAVOKO, avec qui nous avons passé ensemble les moments difficiles.

Tous les chapitres de cet ouvrage ont été bénévolement révisés par au moins deux relecteurs experts dans leurs domaines respectifs. Alors que nous ne pouvons les nommer du fait du processus de « révision à l'aveugle », nous aimerions exprimer toute notre gratitude pour les efforts réalisés en vue d'améliorer la qualité et l'exactitude de cette œuvre.

Nous saluons également les importantes contributions techniques d'Ingénieur Papy LIMBEYA de l'INERA-YANGAMBI, Département de pédologie, aux premiers stades de récolte des échantillons pédologiques, et, au Laboratoire de pédologie de la Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, nous sommes reconnaissants envers Ingénieur Léon KASAKA pour leurs efforts continus et leurs orientations compétentes. Sans toutefois oublier la contribution matérielle de Jean-Paul LISELE et Rabelais MULONDANI.

Enfin, nous aimerions faire part de notre gratitude à tous nos aînés scientifiques et camarades étudiants, avec qui nous avons passés un long moment de la vie ensemble. Et, que tous ceux qui nous ont soutenu de près ou de loin, d'une manière d'une autre, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Jean-Luc TULONDE ALIMASI

RESUME

Les écosystèmes forestiers jouent un rôle important dans l'atténuation de la concentration du gaz carbonique en raison des fortes quantités de carbone séquestré dans leur végétation et le sol. Cette capacité peut être toutefois affectée par différents facteurs, comme le type de forêt, le type d'espèces végétales, l'âge et le mode de gestion. Aussi, la caractérisation de cette fonction de stockage de carbone de ces écosystèmes forestiers est-elle primordiale. Dans ce contexte, la quantification du carbone dans les compartiments végétaux (biomasse vivante et litière) et du sol de deux peuplements équiennes de *Pericopsis elata* (0,36 ha de superficie chacun) a fait l'objet de cette étude effectuée dans la plantation forestière de l'I.N.E.R.A.-Yangambi (concession d'environ 6 297 km², correspondant à une étendue comprise entre 24°16'95" et 25°08'48" longitude Est, 0°38'77" et 1° 10'20" latitude Nord) localisée dans la région de Yangambi située à 95 km vers l'ouest de la ville de Kisangani. La quantité de carbone séquestré dans la biomasse vivante était déterminé à partir des mesures de dhp (Diamètre à Hauteur de la Poitrine) des arbres calculées par l'équation de la biomasse vivante ; quant aux débris, la quantité de carbone séquestré était estimé à partir des échantillons collectés dans des cadres de 40 cm x 40 cm puis extrapolé à l'hectare ; ensuite, quatre strates d'une profondeur de 1 m nous ont servi pour les analyses du sol, cependant, en dépit de plusieurs contraintes, la quantification du carbone était faite dans les deux premières strates (0 – 10 et 10 – 25 cm). Le résultat de l'ensemble de deux peuplements présente un total de 435,2 tC.ha⁻¹ dont 85,3 % séquestrés dans la biomasse vivante ; 1,8 % dans les débris et 12,9 % dans les 25 premiers centimètres du sol. Le premier peuplement présente une quantité de carbone estimée à 180,6 tC.ha⁻¹ dont 83,8 % séquestré dans la biomasse vivante ; 2,0 % dans les débris et 14,2 % dans les 25 premiers centimètres du sol. Le deuxième peuplement présente un total de 254,6 tC.ha⁻¹ dont 86,3 % dans la biomasse vivante ; 1,6 % dans les débris et 12,1 % dans les 25 premiers centimètres du sol. Les résultats obtenus issus des paramètres estimés (stock de carbone, densité et surface terrière de peuplement, densité apparente, granulométrie et pH du sol) nous ont permis de valider nos hypothèses à savoir :

- les stocks de carbone séquestrés dans les deux peuplements ne sont pas différents ;
- les stocks de carbone séquestré dans la biomasse vivante et la litière sont liés à la densité de peuplement et la surface terrière ;
- la fonction puits de carbone du sol est plus liée aux contributions considérables de la matière organique que des propriétés du sol.

Mots clés : Séquestration du carbone, peuplement, biomasse vivante, débris, sol, *Pericopsis elata*.

ABSTRACT

The forest ecosystems play an important part in the attenuation of the concentration of the carbon dioxide of the owing to important quantities of carbon sequestrated in their vegetation and soil. This capacity can be affected however by different factors, as the type of forest, the type of plant species, age and the management style. Also, the characterization of this function of carbon storage of these forest ecosystems is it primordial. In this context, the quantification of the carbon in the plant compartments (living biomass and litter) and of the soil of two populations of same age of *Pericopsis elata* (0,36 ha of surface each) made the object of this survey done in the forest plantation of the I.N.E.R.A.-Yangambi (concession of about 6 297 km², corresponding to an extent understood between 24°16'95" and 25°08'48" longitude is, 0°38'77" and 1° 10'20" North latitude) localized in the Yangambi region situated to 95 km westward of Kisangani city. The quantity of carbon sequestrated in the living biomass was determined from the measures of dbh of the trees calculated by the equation of the living biomass; as for the litter, the quantity of carbon sequestrated was estimated from the samples collected then in settings of 40 x cm 40 cm extrapolated to the hectare; then, four strata of a 1 m depth served us for the analyses of soil, however, in spite of several constraints, the quantification of the carbon was limited to the first two strata (0 - 10 and 10 - 25 cm). The result of the whole of this two populations presents a total of 435,2 tC.ha⁻¹, of which 85,3% of carbon are sequestrated in the living biomass; 1,8% in the litter and 12,9% in the 25 first centimeters of soil. The first population presents a quantity of valued carbon to 180,6 tC.ha⁻¹, of which 83,8% are sequestrated in the living biomass; 2,0% in the litter and 14,2% in the 25 first centimeters of soil. The second population presents a total of 254,6 tC.ha⁻¹, of which 86,3% are sequestrated in the living biomass; 1,6% in the litter and 12,1% in the 25first centimeters of soil. The results gotten descended of the valued parameters (stock of carbon, density of population, obvious density, granulometry and pH of soil) permitted us to validate our hypotheses to know:

- the quantity of carbon sequestrated in the two populations is the same,
- the quantity of carbon sequestrated in the biomass is bound to the density of population,
- the function well of soil Carbon is bound more to the considerable contributions of the organic matter than of the soil properties.

Key words: Sequestration of the carbon, population, living biomass, litter, soil, *Pericopsiselata*.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Matériels non biologiques utilisés sur le terrain	17
Tableau 2. Matériels non biologiques utilisés au laboratoire	18
Tableau 3. Corrélation entre densité apparente et % sable, % limon et % argile.....	30
Tableau 4. Séquestration du carbone dans la biomasse vivante de deux peuplements	33
Tableau 5. Corrélation entre la fréquence relative, surface terrière et stock de carbone.....	35
Tableau 6. Séquestration du carbone dans les débris végétaux selon les peuplements.....	36
Tableau 7. Stock de carbone dans les 25 premiers centimètres du sol de ces deux peuplements	37
Tableau 8. Corrélation entre le stockage du carbone du sol, la texture, la densité apparente et le pH.....	38
Tableau 9. Séquestration du carbone dans les deux peuplements	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Site de Yangambi (Province Orientale).	6
Figure 2. Courbes de précipitation et de température pour le centre de Yangambi, moyennes mensuelles des années 2000 – 2008.....	7
Figure 3. Aire de répartition de <i>Pericopsis elata</i> en Afrique	9
Figure 4. Le cycle global du carbone	15
Figure 5. Dispositif expérimental	Erreur ! Signet non défini.
Figure 6. Densité des peuplements.....	24
Figure 7. Dispersion des valeurs de dhp par rapport à la moyenne.....	24
Figure 8. Dispersion des surfaces terrières.....	25
Figure 9. Surface terrière totale	25
Figure 10. Analyses granulométriques des sols.....	26
Figure 11. Analyses granulométriques de deux peuplements fusionnés	27
Figure 12. Analyses de la densité apparente des sols	28
Figure 13. Densité apparente des sols de deux peuplements fusionnées	29
Figure 14. Corrélation entre la densité apparente et le pourcentage de sable, limon et d'argile	30
Figure 15. Distribution du pH de l'eau et du sel selon les strates pour chaque peuplement	31
Figure 16. Stock de carbone dans la biomasse vivante	32
Figure 17. Répartition du stock de carbone total par classes de dhp.....	33
Figure 18. Répartition des fréquences, surfaces terrières totales et stocks de carbone par classes de dhp.....	34
Figure 19. Distribution des pourcentages carbone sec dans les parcelles selon les deux strates	37
Figure 20. Evolution du stock de carbone par rapport à la quantité de Sable, Limon et Argile	39
Figure 21. Evolution de la densité apparent vis-à-vis du % C et du stock de carbone du sol ..	40
Figure 22. Relation pH de l'eau, le pourcentage d'argile et le stockage du carbone dans le sol	40
Figure 23. Répartition des stocks de carbone dans les trois différents compartiments	42

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	
REMERCIEMENTS	
LISTE DES TABLEAUX	i
LISTE DES FIGURES	ii
TABLE DES MATIERES.....	iii
0. INTRODUCTION	1
0.1. Problématique.....	1
0.2. Hypothèses	3
0.3. Objectifs	4
0.4. Etudes antérieures.....	4
0.5. Subdivision du travail.....	5
CHAPITRE PREMIER : GENERALITES	6
1.1. Milieu d'étude	6
1.2. Définition et élargissement des concepts	8
1.2.1. <i>Pericopsis elata</i> (Hams) Van Meeuwen.....	8
1.2.1.1. Contexte général et problématique.....	8
1.2.1.2. Usages.....	10
1.2.1.3. Production et commerce international.....	10
1.2.1.4. Description	11
1.2.1.5. Croissance et développement	12
1.2.1.6. Ecologie, Multiplication et plantation	12
1.2.1.7. Gestion.....	12
1.2.1.8. Maladies et ravageurs	13
1.2.1.9. Récolte et exploitation.....	13
1.2.1.10. Situation actuelle de l'espèce	13
1.2.1.11. Perspectives	14
1.2.2. Végétation, sol et changement climatique.....	14
Chapitre deuxième : MATERIELS ET METHODES.....	17

2.1. Matériels	17
2.1.1. Matériel biologique.....	17
2.1.2. Matériels non biologiques	17
2.2. Méthodologies	19
2.2.1. Dispositif expérimental.....	19
2.2.2. Inventaire des arbres.....	21
2.2.3. Echantillonnage des sols.....	21
2.2.3.1. Débris (litière).....	21
2.2.3.2. Horizon minéral.....	21
2.2.4. Analyses des sols au laboratoire.....	21
2.2.4.1. Débris	21
2.2.4.2. Densité apparente	21
2.2.4.3. Granulométrie	22
2.2.4.4. pH à l'eau et au CaCl ₂	22
2.2.4.5. Détermination du pourcentage de carbone du sol	22
2.2.5. Analyse des données.....	22
2.2.5.1. Densité de peuplement.....	22
2.2.5.2. Conversion de la circonférence en diamètre.....	22
2.2.5.3. Surface terrière	23
2.2.5.4. Séquestration du carbone.....	23
2.2.5.5. Tests statistiques.....	23
Chapitre troisième : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS	24
3.1. Densité de peuplement, diamètre à hauteur de la poitrine (dhp) et surface terrière	24
3.2. Texture et Densité apparente et pH du sol.....	26
3.2.1. Texture du sol	26
3.2.2. Densité apparente du sol.....	28
3.2.3. Corrélation entre la densité apparente et les particules minérales solide du sol.....	29
3.3. pH du sol.....	31

3.4. Stockage du carbone.....	32
3.4.1. Biomasse vivante.....	32
3.4.2. Débris	36
3.4.3. Sols	36
3.4.3.1. Similarités entre stockage du carbone du sol et d'autres éléments.....	38
3.4.4. Le stock total de carbone des peuplements étudiés	41
Chapitre quatrième : DISCUSSION.....	43
4.1. Densité de peuplement, diamètre à hauteur de la poitrine (dhp) et surface terrière	43
4.2. Texture du sol	45
4.3. Densité apparente du sol.....	47
4.4. pH du sol.....	48
4.5. Stockage du carbone dans la biomasse vivante	48
4.6. Stockage du carbone dans les débris (litière)	49
4.7. Stockage du carbone dans les sols.....	50
4.8. Bilan du carbone.....	52
CONCLUSION ET SUGGESTIONS	54
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	57

ANNEXES

0. INTRODUCTION

0.1. Problématique

Les changements climatiques affectent déjà des systèmes physiques et biologiques sur tous les continents. Il est quasi-impossible que la cohérence entre les changements observés et le changement climatique actuel soit due au hasard. Seule une réduction des émissions humaines des gaz à effet de serre peut permettre d'empêcher le changement climatique de prendre une ampleur susceptible d'engendrer des catastrophes. Étant donné que le gaz carbonique est le plus important parmi tous les gaz à effet de serre, on se concentrera donc sur la maîtrise des émissions de ce gaz (carbonique) qui posent le problème plus sévère de développement durable, à cause du lien étroit avec la production énergétique qui a déjà été souligné (Petit, 2008).

En effet, d'après les climatologues, il faudra stabiliser la teneur en CO₂ à 450 ppm afin de maintenir le réchauffement climatique en dessous de 2 °C, ce qui devrait permettre de limiter les conséquences sur les écosystèmes et sur la vie des sociétés. L'objectif de 450 ppm implique que l'humanité réduise ses émissions de CO₂ de moitié d'ici 2050 par rapport aux émissions actuelles. Pour atteindre cet objectif, il faut dès maintenant employer toutes les solutions possibles afin de ralentir la croissance des émissions dans les années à venir puis d'inverser la tendance à partir de 2020/2025 (www.ifp.fr). Et ceci ne peut être atteint, selon le Protocole de Kyoto, qu'en réduisant soit en diminuant les émissions de gaz à effet de serre et en augmentant ainsi leur séquestration dans les différents puits de carbone (FAO, 2002).

On estime que 17,4% des gaz à effet de serre (GES) à l'échelle globale proviennent du secteur forestier à travers la déforestation et la dégradation des forêts, et ces dernières ont également un potentiel considérable pour séquestrer le carbone. La part des forêts dans le stock de carbone des sols est proportionnellement plus importante (36 % des 1 600 GtC), de même que leur part dans le flux net annuel de carbone de l'atmosphère vers la biomasse dû à la production primaire (44 % des 50 GtC/an). Mais surtout, elles contiennent la plus grande partie (81 %) du carbone stocké dans la biomasse vivante de la biosphère, qui s'élève à 560 GtC. Ce stock est du même ordre de grandeur que celui de l'atmosphère (750 GtC) (Dupouey *et al*, 1999).

Etant donné que les forêts fournissent une vaste gamme de services environnementaux (conservation de la biodiversité, approvisionnement en eau, fixation du carbone, régulation des crues et protection contre la désertification et l'érosion des sols) (www.theGEF.org), elles sont à l'heure actuelle au centre des négociations sur le changement climatique. Le processus de réduction des émissions de gaz à effet de serre dues à la déforestation et à la dégradation forestière (REDD) en cours ou la création d'un fond de partenariat pour le carbone forestier, visant le boisement des terres non forestières, attestent des espoirs mis sur les espaces forestiers comme potentiels puits de carbone (Boulier et Simon, 2010).

Outre la forêt, les sols constituent un important réservoir équivalent à presque trois fois la quantité de carbone stocké dans la biomasse terrestre, et deux fois celle de l'atmosphère (Lal, 2003 in Bernoux et *al.*, 2004 ; Razakamanarivo, 2009),.

Les différences spatiales de stockage du carbone sont contrôlées par la texture du sol et sont modifiées par l'utilisation à long terme et la gestion du sol (FAO, 2002), ce qui veut dire que la texture du sol possède une influence significative sur le stockage du carbone comme l'a démontré Verneyre (2007). Feller et *al.* (1991) ajoutent que les stocks organiques des sols, cultivés ou non, sont beaucoup plus déterminés par la texture que par le climat. C'est pour cette raison que Diouf (2009) dit que lorsque l'on gère le sol de façon à accroître sa teneur en carbone organique, le sol capte plus de CO₂ qu'il en émet, le CO₂ est donc retiré de l'atmosphère et stocké par le sol.

Néanmoins, les régions tropicales et subtropicales où les conditions de minéralisation de la matière organique sont de très loin supérieures à celles des régions tempérées apparaissent ainsi comme les plus performantes à l'égard de la séquestration annuelle de carbone (Séguy et *al.*, 2003). Il est donc nécessaire de comprendre et de corrélérer les données concernant des paramètres aussi importants que la minéralogie, la structure du sol, les caractéristiques texturales et physico-chimiques... sur le stockage du carbone, dans l'optique de préserver voire d'augmenter les quantités de carbone stocké et donc de limiter les émissions de gaz à effet de serre (Woignier, 2009).

Dans un contexte plus particulier, la capacité du sol à fixer le carbone et la restauration de la fertilité du sol dépend de l'espèce (Harmand et Njiti, 1998 ; Loupe et *al.*, 1998 ; Diouf, 2009 ; Ebuy, 2009 et Razakamanarivo, 2009). *Pericopsis elata* bien qu'étant une essence qui produit l'un des plus prestigieux bois d'œuvre d'Afrique tropicale très apprécié sur le marché

international la protection dont il bénéficie ne suffit pas (Louppe, 2008). Les résultats obtenus récemment par Boyemba (2011) montrent que la texture du sol figure parmi certains facteurs du milieu qui agissent également sur la répartition spatiale agrégée dans la forêt naturelle.

Bien que les forêts soient des réservoirs naturels de dioxyde de carbone, le phénomène de "puits de carbone" n'existe que si elles grandissent ou si leur sol s'enrichit durablement en carbone : il est ainsi naturellement limité (Verneyre, 2007). Plusieurs pays en développement, notamment en Asie, ont montré que des investissements de grande ampleur dans des plantations forestières peuvent inverser la tendance à la déforestation et produire une augmentation nette des superficies couvertes par les forêts (FAO, 2012). C'est ainsi que la plantation d'arbres est souvent la méthode la plus rapide et la plus efficace de produire plus de biomasse, de manière à compenser les pertes de carbone dues à la déforestation ou à la dégradation des forêts sur une autre parcelle (FAO, 2012). Car, le potentiel n'est pas négligeable, surtout si l'on vise des bois durs et denses et l'enrichissement des sols en matière organique (Verneyre, 2007). Les plantations forestières peuvent aussi d'une part, par leur diversité et leur souplesse de mise en œuvre, contribuer efficacement à satisfaire les besoins nationaux en produits ligneux et participer au développement économique des pays et d'autre part à concourir au maintien et à la restauration de la diversité biologique et des fonctions productives des forêts naturelles d'Afrique centrale après perturbation anthropique (Marien et Mallet, 2004). Les plantations de *Pericopsis elata* paraissent donc très intéressantes dans des investigations à cause de ses différentes fonctions (environnementales, sociales et économiques).

Dans ce travail nous estimons, analysons et comparons la quantité de carbone séquestré dans trois compartiments (biomasse vivante et débris végétaux et sol) de deux peuplements équiennes : cas de *Pericopsis elata* en plantation forestière de l'I.N.E.R.A-Yangambi.

0.2. Hypothèses

Les hypothèses à vérifier dans ce travail sont les suivantes :

- Les deux peuplements ne présentent pas de différence en terme de stock de carbone ;
- Le stockage de carbone dans la biomasse vivante et la litière est lié à la densité et la surface terrière de peuplement ;
- La fonction puits de carbone du sol est fortement liée aux contributions considérables de la matière organique que des propriétés du sol.

0.3. Objectifs

Notre étude a pour objectif général d'estimer la quantité de carbone séquestré dans la biomasse vivante, les débris végétaux et le sol des deux peuplements de *Pericopsis elata*.

Dans ce cadre nous avons comme objectifs spécifiques de :

- connaître la quantité de carbone séquestré pour chaque peuplement et tester leur différence ;
- connaître et mettre en évidence la densité de peuplement, la surface terrière et la quantité de carbone séquestré dans la biomasse vivante et dans la litière ;
- connaître et mettre en évidence les variabilités des propriétés du sol avec celles de la quantité de carbone du sol.

0.4. Etudes antérieures

Beaucoup de chercheurs nous ont précédé dans les études du stock de carbone. La revue de la littérature suivante ne mentionne que quelques-uns de ces travaux réalisés, mais la liste n'est pas exhaustive :

Dupouey *et al.* (1999) a évalué les stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. Dans ce travail, le stock de carbone dans la biomasse des forêts françaises est évalué à 860 MtC pour 14,5 millions d'hectares de forêt, celui des sols à 1 140 MtC. Le stock total des forêts françaises est donc de 2 000 MtC. Le stockage net a été dans les forêts françaises de 10,5 MtC/an entre 1979 et 1991, soit 10 % de nos émissions annuelles de carbone fossile.

Razakamanarivo (2009) a étudié les potentialités de stockage du carbone dans le système plante-sol des plantations d'Eucalyptus des hautes terres malgaches. Dans son travail, des équations allométriques reliant la quantité de biomasse (aérienne et racinaire) de taillis d'eucalyptus aux variables dendrométriques (circonférence des souches, surface terrière des rejets) ont été développées. L'application de ces équations et la caractérisation du stock de carbone du sol (0-30 cm) ont montré que les plantations d'eucalyptus présentent un stock total de carbone élevé en comparaison aux autres modes d'usage des terres : $150,8 \pm 25,3$ Mg C ha⁻¹ contre 112 ± 15 pour B et $72,3 \pm 9,9$ Mg C ha⁻¹ pour CJ. Ceci est en raison de la contribution importante du système racinaire ($21,22$ Mg C ha⁻¹ dans la souche et $20,38$ Mg C ha⁻¹ dans les racines à $\varnothing > 2$ mm) et du sol (de l'ordre de $84,8$ Mg C ha⁻¹).

Ebuy (2009) a fait des estimations de stockage du carbone dans les plantations de l'INERA/YANGAMBI. En présentant ses résultats selon les espèces, *Austranella congolensis* a démontré sa pertinence pour le stockage de l'élément carbone (373,9 Ct/ha) suivie de *Gilbertiodendron dewevrei* (229,3 Ct/ha et 121 Ct/ha) et en dernière position *Drypetes likwa* (113 Ct/ha).

Dans toutes les littératures, la nouveauté de cette étude est clairement justifiée.

0.5. Subdivision du travail

Hormis l'introduction, le présent travail est scindé en quatre chapitres : le premier parle des généralités, le deuxième montre les matériels et méthodes utilisés, le troisième présente les résultats, et le dernier chapitre discute les résultats obtenus, suivis d'une conclusion et suggestions.

CHAPITRE PREMIER : GENERALITES

1.1. Milieu d'étude

Ce travail est réalisé dans les peuplements de *Pericopsis elata*, plantation forestière de l'INERA-Yangambi, dans la région de Yangambi (Province Orientale, R.D. du Congo).

Selon la synthèse de Kabongo wa Tshikamba, 2010, Yangambi est une région de la Province du Haut Congo (Province orientale), dans la partie Nord-est de la cuvette centrale, située sur la rive droite du fleuve Congo en République Démocratique du Congo. Cette région est située à 0° 49' de latitude Nord et à 24° 29' de longitude Est. Son altitude varie entre 350 m et 500 m. Du point de vue orographique, elle est constituée d'une série de plateaux entrecoupés de vallées et séparés de la plaine par un escarpement. La figure 1 présente la région de Yangambi.

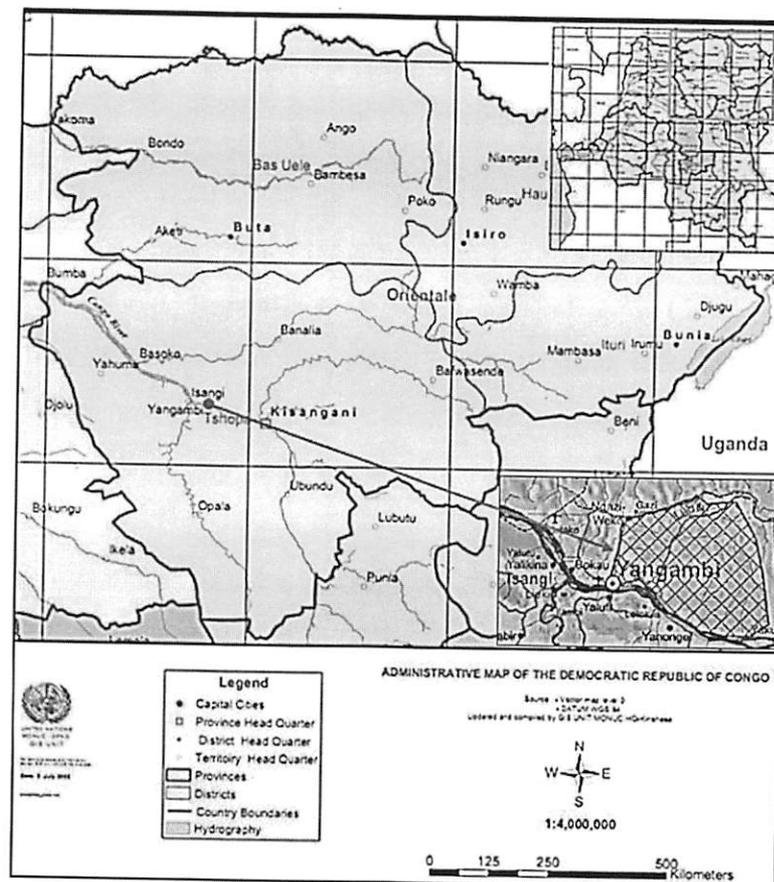


Figure 1. Site de Yangambi (Province Orientale). Source : OCHA(2011) adapté par Tulonde (2013)

Située à cheval sur l'équateur, la région de Yangambi est dotée d'un climat équatorial de type Af de la classification de Koppen. Cette zone se caractérise par des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 1 500 mm à 2 000 mm et par une température moyenne annuelle de 25°C. Le régime des pluies que l'on y rencontre présente une double périodicité propre aux régions équatoriales se traduisant par deux maxima dont l'un se situe en mai et l'autre en octobre. Cette double périodicité est également observée pour la radiation solaire, dont les maxima se situent l'un en mars et l'autre en octobre. La saison de janvier-février est nettement la plus sèche de l'année par rapport à celle de juillet-août. Par ailleurs, le système hydrographique de la région est d'autant plus dense qu'on s'approche du fleuve Congo. La courbe de précipitation et de température de la région de Yangambi est illustrée dans la figure 2.

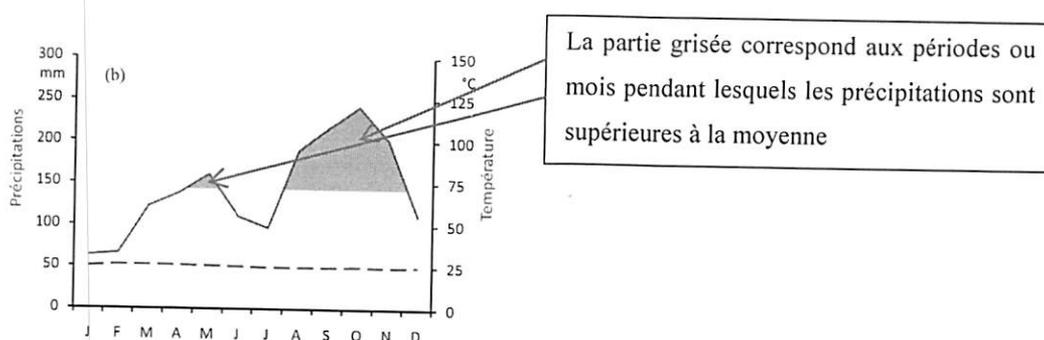


Figure 2. Courbes de précipitation et de température pour le centre de Yangambi, moyennes mensuelles des années 2000 – 2008 (Boyemba, 2011).

Les sols de Yangambi sont formés principalement de sédiments éoliens, composés de sables quartzueux, d'argile kaolinique et d'oxydes de fer libres plus ou moins hydratés. Ils classés selon WRB comme Haplic FERRALSOL (Dystric, Xanthic) et HygroFERRALSOL, jaune selon la classification INEAC (Baert *et al.*, 2009). La stratification des sols de Yangambi, par exemple, présente les sols argileux sur les plateaux de hautes altitudes. Au fur et à mesure qu'on descend vers les basses altitudes (i.e. plaines ou terrasses alluviales), le pourcentage d'argile diminue jusqu'à présenter les sols sableux dans les bas-fonds (Van Wambeke *et al.*, 1957 in Boyemba, 2011).

Diverses formations végétales peuvent être distinguées dans la région : recrus forestiers, parasoleraies, forêts secondaires remaniées, forêts hétérogènes à caractère primitif (stade ultime progressif de la forêt secondaire), forêts primitives à *Gilbertiodendron dewevrei*, forêts rivulaires et marécageuses (Kabongo wa Tshikamba, 2010).

1.2. Définition et élargissement des concepts

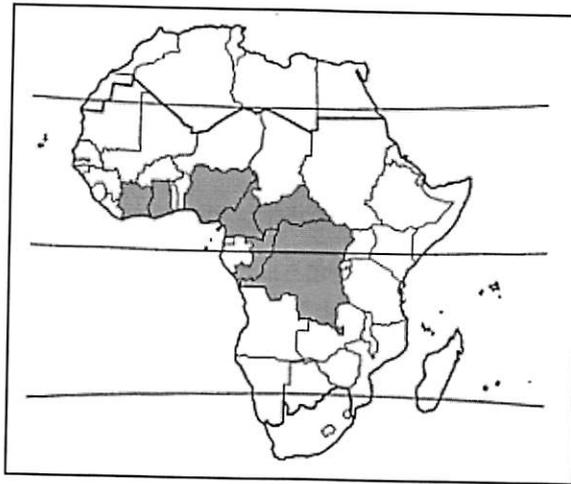
1.2.1. *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen

1.2.1.1. Contexte général et problématique

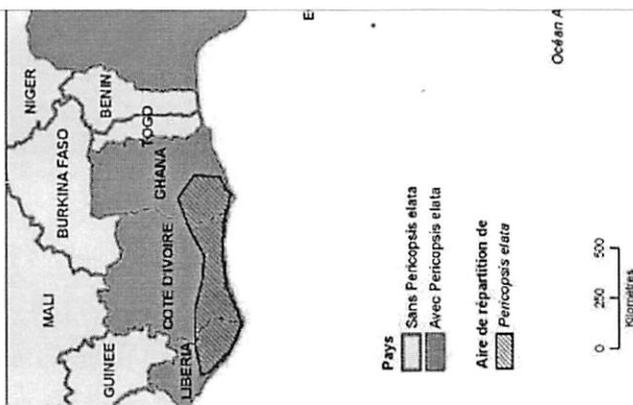
Pericopsis elata (Harms) Van Meeuwen est une légumineuse de la famille des Papilionaceae, Fabaceae, autrement nommé (synonyme) *Afrormosia elata* Harms (1913) (Loupe, 2008 et CITES, 2010).

Connue commercialement sous les noms d'*Afrormosia* et *Assamela* (pays francophones et Pays portugaises), *Afrormosia* et *Africanteak* (pays anglophones). Avec comme abréviation Afro. C'est une espèce de la forêt dense guinéo congolaise (Loupe, 2008).

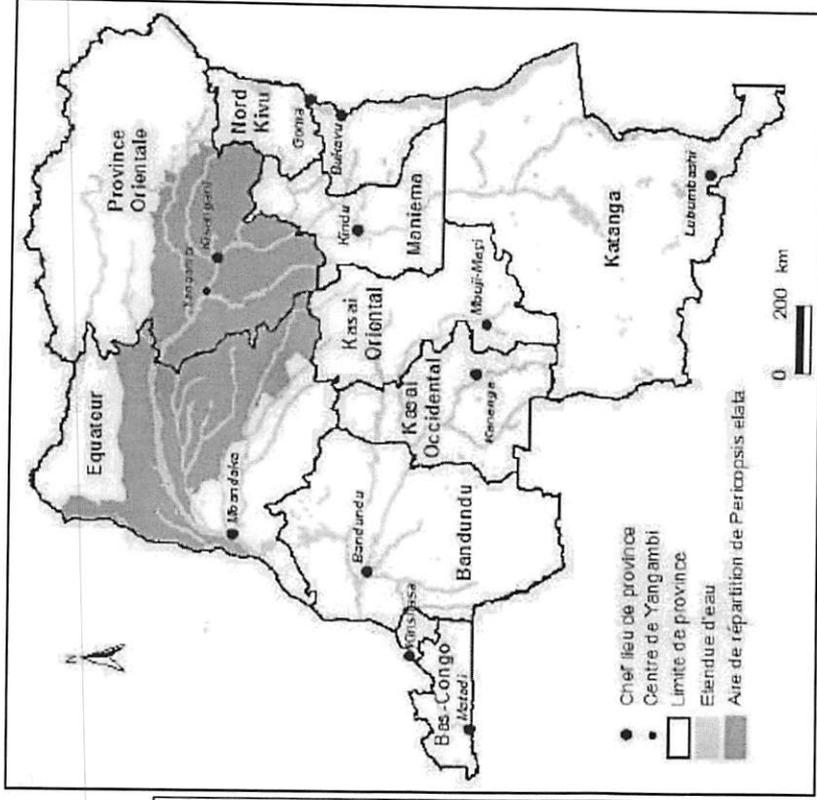
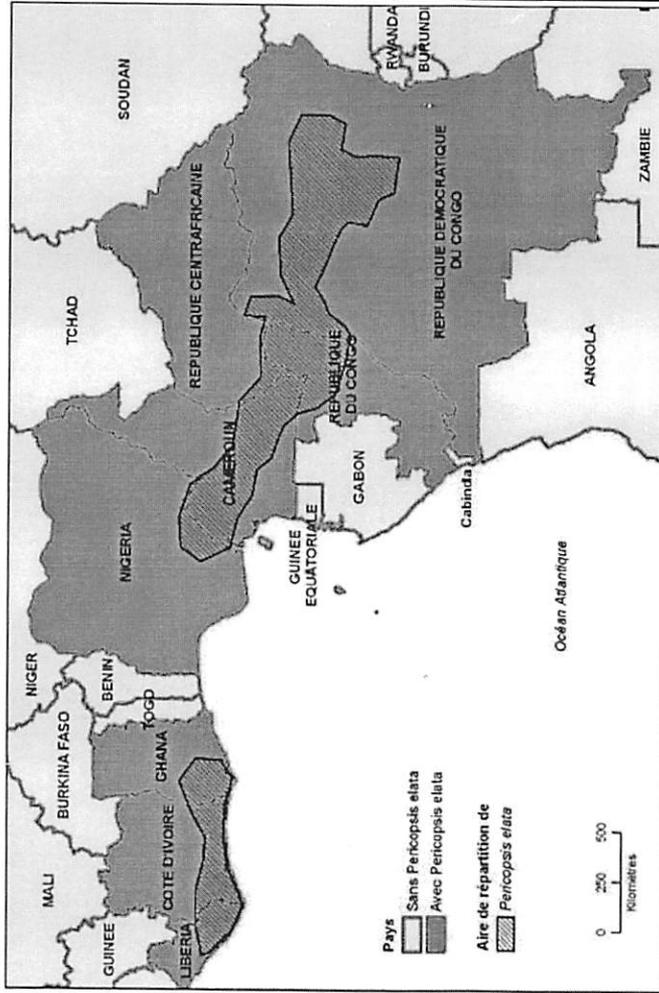
Pericopsis elata est présent depuis la Côte d'Ivoire jusqu'en Centrafrique et en R.D.Congo. Il a été introduit dans l'ouest de l'Ouganda (Loupe, 2008). Son aire de répartition en Afrique en généralement et en R.D.Congo en particulier est illustrée par la figure 3.



A. Les pays avec *Pericopsis elata* au niveau de l'Afrique (Source : Loupe, 2008)



B. Aire de répartition de *Peric*
Voorhoeve, 1965 ; Boulvert,
2011)



B. Aire de répartition de *Pericopsis elata* dans les pays d'Afrique (Sources : Voorhoeve, 1965 ; Boulvert, 1977 et Lebrun & Stork, 2008 in Boyemba, 2011)
 C. Aire de répartition de *Pericopsis elata* dans la R.D.Congo (Source : Dickson et al., 2005 in Boyemba, 2011)

Figure 3. Aire de répartition de *Pericopsis elata* en Afrique

L'aire de répartition de *Pericopsis elata* est discontinue, avec de nombreuses sous populations isolées au Ghana, Côte d'Ivoire, Sud Est du Cameroun, Nord du Congo Brazza, Nord Est de la R.D.Congo, et le Sud-ouest de la République Centrafricaine (RCA) (CITES, 2010). En R.D.Congo, la répartition de *Pericopsis elata* est limitée à deux provinces, la Province de l'Equateur et la Province Orientale. Dans la Province Orientale, l'espèce couvre tout le District de Tshopo composé des territoires de Banalia, Bafwasende, Ubundu, Opala, Isangi, Yahuma et Basoko ; tandis que dans la Province de l'Equateur, elle est présente dans les territoires de Bumba, Djolu, Bongandanga, Lisala, Budjala, Libenge, Zongo, Kungu, Makanza, Bomongo. Sa zone de répartition dans ces deux provinces est estimée à 33 650 000 ha (Dickson *et al.*, 2005 in Boyemba, 2011). Cette répartition part de territoires voisins de la ville de Kisangani jusqu'à ceux se trouvant le long de l'Oubangi. Dans la région de Kisangani où elle est la principale essence commerciale, l'aire de répartition de *Pericopsis elata* s'étend sur environ 100 000 km². Elle est cependant bien représentée dans le triangle Yangambi – Banalia – Bafwasende et traverse l'hinterland de Yanonge pour atteindre la rive gauche du fleuve Congo dans les territoires d'Ubundu, Isangi et Opala avant de remonter le District de la Tshuapa (Boyemba, 2011).

1.2.1.2. Usages

Le bois est très apprécié sur le marché international, principalement pour le mobilier et les placages décoratifs, mais aussi pour les menuiseries intérieures et extérieures, les escaliers, la parqueterie et la construction navale. Il passe pour être un substitut de teck. Il convient également pour la construction lourde et légère, les traverses de chemin de fer, la charronnerie, les boiseries intérieures, les manches, les échelles, les outils agricoles, les articles de sport, les instruments de musique, les jouets, les articles de fantaisie, la caisserie, la sculpture, le tournage et les égouttoirs. En médecine traditionnelle au Congo, on frictionne des scarifications de pâte d'écorce en guise d'antalgique (Louppe, 2008).

1.2.1.3. Production et commerce international

L'exploitation de *Pericopsis elata* destinée au commerce international a débuté en 1948 au Ghana, suivi de près par la Côte d'Ivoire. En 1966, le Ghana exportait 8600 m³ de grumes et 19 600 m³ de sciages, contre seulement 150 m³ de grumes en 2001. La même année, la Côte d'Ivoire était le principal exportateur avec 68 000 m³ de grumes et 15 000 m³ de sciages. Dernièrement, c'est au tour du Cameroun, du Congo et de la R.D.Congo d'être passés en tête,

la Côte d'Ivoire et le Ghana n'exportant que de faibles volumes. En effet, le Cameroun a exporté 13 000 m³ de sciage en 2003, 7500 m³ en 2004 et 6200 m³ en 2006. Le Congo, quant à lui, a exporté 3 000 m³ de sciages en 2003 au prix moyen de US\$ 371/m³, et en 2004 le volume exporté a atteint 5 000 m³ au prix moyen de US\$ 324/m³. *Pericopsis elata* compte au nombre des quatre principales essences à bois d'œuvre du Congo (Louppe, 2008).

1.2.1.4. Description

Arbre de taille moyenne à grande atteignant 45 (-50) m de haut ; fût dépourvu de branches jusqu'à une hauteur de 30 (-35) m, rectiligne et cylindrique, parfois tortueux, jusqu'à 130 (-150) cm de diamètre, souvent avec des contreforts bas et obtus ; surface de l'écorce crème ou grisâtre, s'écaillant en fins morceaux laissant des taches rouge-brun, écorce interne jaunâtre, fonçant à l'orange sale ; cime aplatie, à branches massives, étalées ; rameaux pendants, glabres. Feuilles alternes, composées imparipennées à (5-)7-9(-11) folioles ; stipules linéaires, d'environ 7 mm de long, caduques ; pétiole et rachis mesurant ensemble 7-20 cm de long, légèrement sillonnées sur la face supérieure ; stipelles filiformes, de 2-5 mm de long, persistantes ; pétiolules de 3-7 mm de long ; folioles alternes, elliptiques à ovales-elliptiques, de 3-8 cm x 1,5-3,5 cm, la terminale plus grande, légèrement cunéiformes à arrondies à la base, courtement acuminées à l'apex, glabres, pennatinervées à 5-11 paires de fines nervures. Inflorescence : panicule mince, retombante, atteignant 12 cm de long à l'extrémité d'une pousse, à pubescence clairsemée ; bractées jusqu'à 4 mm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées, blanches à crème ou verdâtres ; pédicelle de 5-9 mm de long, mince ; calice campanulé, de 6-12 mm de long, à grands lobes triangulaires, finement poilus ; corolle à étendard presque circulaire de 11-13 mm de diamètre, à onglets, pétales des ailes et de la carène d'environ 15 mm de long ; étamines 10, libres, 9-19 mm de long, glabres ; ovaire supère, aplati, de 5-6 mm de long, pubescent, style mince, recourbé. Fruit : gousse oblongue-linéaire, aplatie de 7-17 cm x 2,5-3 cm, brièvement stipulée, vaguement ailée sur les bords, brune, lisse, à nervures réticulées, indéhiscente, contenant 1-4 graines. Graines discoïdes, de 12-15 mm de diamètre, brunes. Plantule à germination épigée ; hypocotyle de 1-2 cm de long, épicotyle de 4-5 cm de long ; cotylédons ovales, d'environ 12 mm de long, légèrement charnus ; 2 premières feuilles opposées, simples, les suivantes alternes et 3 foliolées (Louppe, 2008).

1.2.1.5. Croissance et développement

La croissance initiale peut être rapide lorsque les conditions sont bonnes : les jeunes arbres atteignent 8 m de haut et 9 cm de diamètre de fût au bout de 7 ans et 26 m de haut au bout de 16 ans. Des essais de plantation menés en Côte d'Ivoire ont fait ressortir des taux de croissance allant jusqu'à 20 cm de diamètre de fût en l'espace de 20 ans. Les gaules ont tendance à avoir un port étalé, buissonnant. Au Ghana, les arbres fleurissent en avril-mai et donnent des fruits en août-novembre. Les semis se trouvent généralement à proximité des arbres-mères, dans un rayon de 35 m, ce qui laisse penser que les gousses indéhiscentes sont dispersées uniquement sur de faibles distances, même si parfois elles peuvent l'être sur de plus longues, sous l'effet de vents puissants. Les nodules des racines contiennent des bactéries qui fixent l'azote (Louppe, 2008). Son accroissement annuel moyen est de 0,4 cm/an (DIAF, 2009).

1.2.1.6. Ecologie, Multiplication et plantation

Pericopsis elata est caractéristique de la forêt semi-décidue, en particulier dans les endroits marécageux, plats et perturbés. Il est présent dans des régions où la pluviométrie annuelle est de 1 000 – 1 500 mm. Le poids de 1 000 graines est de 200-450 g. La production de graines a beau être souvent abondante, on a maintes fois évoqué l'absence de régénération naturelle. Les graines de *Pericopsis elata* germent rapidement, en l'espace d'environ 8 jours, que ce soit à l'ombre épaisse ou dans les petites clairières de la forêt ; pourtant, les jeunes plants ne survivent que dans les trouées de la forêt et meurent dans l'ombre épaisse. En plein soleil, le taux de germination est très faible, seulement près de 5%. Les semis tolèrent remarquablement bien la sécheresse à tel point qu'on peut les trouver tant sur des sols de forêts humides que secs. Des essais de semis ont démontré que les jeunes plants poussent mieux lorsque les graines sont recouvertes de 1,5 cm de terre. Lors d'essais, la multiplication par boutures de tiges a donné des bons résultats (Louppe, 2008).

1.2.1.7. Gestion

Lors d'un essai en pépinière mené au Ghana, l'apport d'engrais NPK a eu des effets positifs sur la croissance des semis, le substrat (du compost pur ou un mélange de 80% de compost et de 50% de sable) n'ayant quant à lui aucune incidence sur la croissance. Au Ghana et en RD du Congo, *Pericopsis elata* a fait ses preuves dans des plantations d'enrichissement à petite échelle (plantations en ligne et par groupes) de même que dans des systèmes de taungya et de

plantations pures. Pour les arbres de forêt naturelle, le diamètre minimal d'abattage est de 5 cm en Côte d'Ivoire, de 60 cm en R.D. du Congo, de 100 cm au Cameroun et de 110 cm au Ghana (Loupe, 2008). Selon Assumani (2009), dans la plantation forestière de l'I.N.E.R.A-Yangambi le bilan de *Pericopsis elata* est fonction de la méthode de plantation utilisée, car ses observations ont montré que, selon l'efficacité des méthodes de plantation, la différence est significative entre les différents traitements et la méthode de layon a donné des résultats supérieurs par rapport aux autres.

1.2.1.8. Maladies et ravageurs

On a constaté que les larves de la pyrale *Lamprosema lateritialis* sont un ravageur des semis et des jeunes arbres. Les effets de la défoliation provoquée par cet insecte peuvent être graves car ils peuvent entraîner un taux élevé de mortalité chez les jeunes plants. Dans certains endroits du Ghana, le champignon *Beauveria bassiana* a bien été identifié comme étant un ennemi naturel de *Lamprosema lateritialis* (Loupe, 2008).

1.2.1.9. Récolte et exploitation

Au Ghana, la limite minimale d'abattage est de 110 cm de diamètre pour *Pericopsis elata*, mais même dans ce cas l'abattage n'est autorisé que si l'on détient un permis. Au Cameroun, la limite minimale du diamètre pour *Pericopsis elata* est de 100 cm, mais on a recommandé de la réduire à 80 cm pour limiter la pression qui s'exerce sur les classes de diamètre inférieur, qui sont coupées sans discrimination et en toute illégalité en raison de l'absence d'arbres ayant un diamètre de fût supérieur à 100 cm (Loupe, 2008). Pour ce qui est des paramètres d'aménagement en R.D. du Congo, selon l'ordre d'importance d'exploitabilité, *Pericopsis elata* se retrouve dans les classes I (essence traditionnelle) et V (essence protégée), le Diamètre Minima d'Exploitation (DME) est fixé à 60 cm et l'Accroissement Annuel Moyen (AAM) est de 0,4 cm/an (DIAF, 2009).

1.2.1.10. Situation actuelle de l'espèce

Pericopsis elata est classée par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) comme espèce en danger. Ce qui a conduit à son classement à l'annexe II de la Convention sur le Commerce International des espèces de faune et de flore sauvage menacées d'extinction (CITES). En effet, l'espèce est bien menacée ou alors a presque disparu dans les pays d'Afrique de l'Ouest et notamment en Côte d'Ivoire (ici l'espèce a presque disparu,

Koumassi Amiana, com. pers.), au Ghana, et au Nigeria, où l'exploitation et le commerce international ont débuté depuis plus de 55 ans. Des stocks importants de cette espèce existent cependant encore dans le bassin du Congo et notamment au Cameroun, au Congo, et République Démocratique du Congo. En RCA, l'Afromosia n'est presque pas encore exploitée (CITES, 2010).

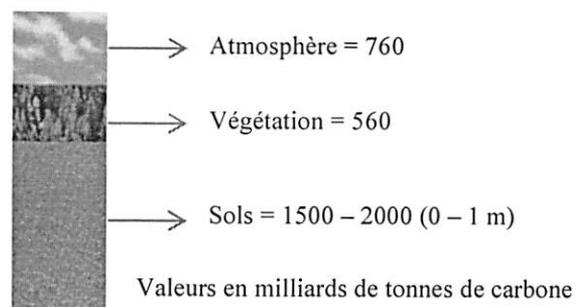
1.2.1.11. Perspectives

Non seulement les rythmes de croissance semblent être trop lents pour que l'on puisse mettre en place des plantations de bois d'œuvre économiquement viables, mais encore seul est très apprécié le bois de cœur. Au Ghana, il a été convenu qu'à l'avenir toute tentative visant à mettre en place des plantations de *Pericopsis elata* devait s'attaquer au problème de la déforestation causée par *Lamprasema lateritalis*. Aussi, semble-t-il, la seule et unique façon de sauver l'avenir de cette précieuse essence africaine est de développer son exploitation durable dans la forêt naturelle, au prix de très longues révolutions et donc de niveaux de production très faibles (Louppe, 2008).

1.2.2. Végétation, sol et changement climatique

Au premier abord le lien entre les sols et la composition de l'atmosphère, en particulier les concentrations des gaz à effet de serre, n'est pas évident ! Pourtant les sols sont au cœur du cycle du carbone, qui compte deux importants gaz à effet de serre : le CO₂ ou dioxyde de carbone qui est, après la vapeur d'eau, le gaz à effet de serre le plus important en concentration dans l'atmosphère avec 380 ppm, et le CH₄ ou méthane.

La concentration du CO₂ apparaît faible, mais ramenée à la masse de l'atmosphère, cela équivaut à un compartiment d'environ 760 milliards de tonnes de carbone (ou Giga tonnes = Gt) : c'est-à-dire plus que dans toutes les plantes, qui stockent moins de 600 milliards de tonnes... mais beaucoup moins que les sols qui comportent au moins le double de carbone que dans l'atmosphère.



Tout irait bien si ces compartiments (végétation, sol et atmosphère) étaient isolés les uns des autres ! Mais, ces compartiments imposants échangent en permanence du carbone. Ainsi la végétation retire annuellement et globalement de l'atmosphère environ 120 Gt de C via la photosynthèse, soit plus d'un atome de carbone atmosphérique sur 6. Mais dans le même temps, les plantes respirent et rendent à l'atmosphère environ la moitié de ce qu'elles ont retiré. Quand l'arbre meurt, il est décomposé recyclant son carbone sous forme de biomasse, nécromasse et sous forme de CO_2 libérés dans l'atmosphère selon un processus appelé la « respiration du sol » ou l'eau. En fait sous ce terme de « respiration du sol » deux principaux processus sont réunis : la respiration autotrophe racinaire et la respiration hétérotrophe qui domine le plus souvent. Au final, actuellement, la photosynthèse est légèrement supérieure à la respiration des plantes et du sol c'est-à-dire que les écosystèmes terrestres retirent du CO_2 de l'atmosphère. Ce puits de carbone est de l'ordre de 1 à 1,5 Gt de C par an, ce qui permet de freiner l'augmentation annuelle de CO_2 dans l'atmosphère, une partie des rejets de CO_2 dus aux activités humaines est ainsi absorbée par les océans et par les écosystèmes terrestres. La figure 4 illustre le cycle global du carbone (IPCC, 2007).

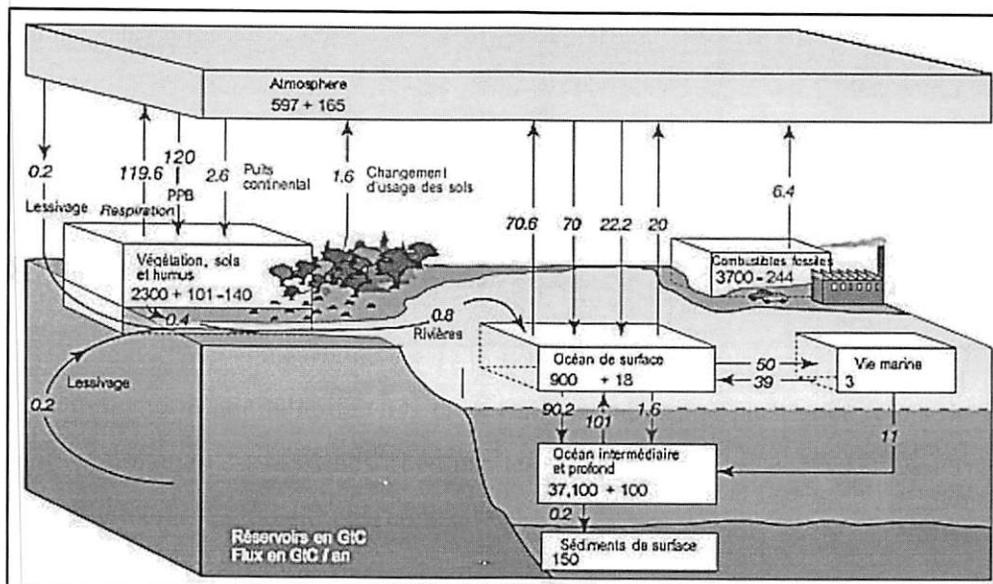


Figure 4. Le cycle global du carbone

Les définitions concernant les changements climatiques diffèrent selon les auteurs, bien que de façon générale une élévation de température de 1°C au minimum soit considérée. Ils suivent le plus souvent les prédictions du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), notamment son scénario médian IS92a qui prévoit une augmentation de la température de l'ordre de 2°C en 100 ans, un doublement de la quantité de CO_2 et des

précipitations plus importantes (valeurs moyennes sur l'ensemble de la terre). Par ailleurs certains auteurs considèrent que la hausse des températures sera plus marquée aux latitudes élevées. D'autres n'hésitent pas à tester des augmentations importantes de température (1.8 - 5.8 °C) (Cao et *al.*, 1998 ; Mäkipää et *al.*, 1999 ; Pendall et *al.*, 2004 & Rodionov et *al.*, 2007 in Desbourdes et *al.*, 2008).

Au début des années 1990, la société globale a pris conscience de l'importance potentielle que représente, pour le changement climatique, l'augmentation des concentrations de GES d'origine anthropique dans l'atmosphère, et de la nécessité de diminuer ces concentrations. Deux types d'actions peuvent être envisagées: 1) diminuer le niveau des émissions de GES, 2) favoriser le transfert et stockage de ces gaz dans d'autres compartiments terrestres où ils seraient sous une forme stabilisée (par exemple, sous forme de sédiments carbonatés, de biomasse végétale ligneuse, ou de MO des sols). Pour nommer ce phénomène de transfert, transformation et de stabilisation de ces GES de l'atmosphère dans d'autres compartiments, les termes de « séquestrer » et « séquestration » sont souvent utilisés pour renforcer le côté spectaculaire du phénomène et exercer un effet médiatique (Bernoux et *al.*, 2004).

Chapitre deuxième : MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériels

Nous avons deux types de matériels : matériel biologique et matériels non biologiques.

2.1.1. Matériel biologique

Pericopsis elata constitue notre matériel biologique.

2.1.2. Matériels non biologiques

Les matériels non biologiques utilisés sur le terrain sont présentés dans le tableau 1 :

Tableau 1. Matériels non biologiques utilisés sur le terrain

ID	Etape	Matériel	Utilité
1	Mesure de circonférence des arbres	Ruban circonférentiel	Connaître le dhp après conversion des valeurs de la circonférence
2	Echantillonnage des sols	Machette	Préparer la surface où le profil sera installé et faciliter d'autres opérations
		Bêche	Creuser les profils
		Mètre ruban	Délimiter la surface des cadres pour la récolte des débris et délimiter les strates
		Cylindre de Kopecki	Prélever les échantillons du sol
		Marteau en bois	Enfoncer le cylindre métallique dans le sol
		Sachet en plastique de 270 x 380 mm	Prélever les échantillons
Sacs et cartons	Rassembler et faciliter le transport des sachets contenant les échantillons		

Quant au laboratoire, le tableau ci-dessous présente les matériels selon le type d'analyse effectuée :

Tableau 2. Matériels non biologiques utilisés au laboratoire

ID	Matériel	Utilité	Type d'analyse
1	Gros creusets	Sécher le sol à l'aire libre	Granulométrie
2	Petit creusets	Sécher les échantillons à l'étuve	Carbone litière
3	Balance analytique à 0,01 g de sensibilité (marque PMC - MILLIOT)	Peser les échantillons	Densité apparente, granulométrie, carbone débris et dosage de carbone sec
4	Cuillère	Faciliter la pesée	Granulométrie et dosage du carbone sec du sol
5	Tamis de 2 mm	Eliminer les grosses particules et autres matériels supérieurs à 2 mm	Dosage du carbone et granulométrie
6	Tamis de 63 μ m	Séparer le limon avec le sable	Granulométrie
7	Etuve à 105 °C (Marque MEMMERT)	Sécher les échantillons	Densité apparente, carbone débris et granulométrie
8	Plaque chauffante	Chauffer les échantillons du sol	Granulométrie
9	Coton	Nettoyer les marquages	Densité apparente, carbone débris et granulométrie
10	Casserole	Chauffer légèrement l'échantillon	Granulométrie
11	Dessiccateur	Refroidissement juste après l'étuve	Densité apparente, carbone débris et granulométrie
12	Chronomètre	Chronométrer la durée	Densité apparente, carbone débris et granulométrie
13	Cylindre gradué de 1 00 ml	Quantifier les réactifs	Granulométrie
17	Bechet en plastique	Décantation et sédimentation	Granulométrie
18	Bechet de 1 000 ml	Préparation et sédimentation	Granulométrie

19	Petit Bechet de 100 ml	Sécher les particules minérales solides du sol à l'étuve	Granulométrie
20	Pissette	Faciliter le dosage des réactifs	Granulométrie et dosage du carbone sec du sol
21	Marquer	Marquage	Densité apparente, carbone débris, dosage du carbone sec du sol et granulométrie
22	Analyseur élémentaire Flash	Quantifier le carbone	Dosage du carbone sec du sol

2.2. Méthodologies

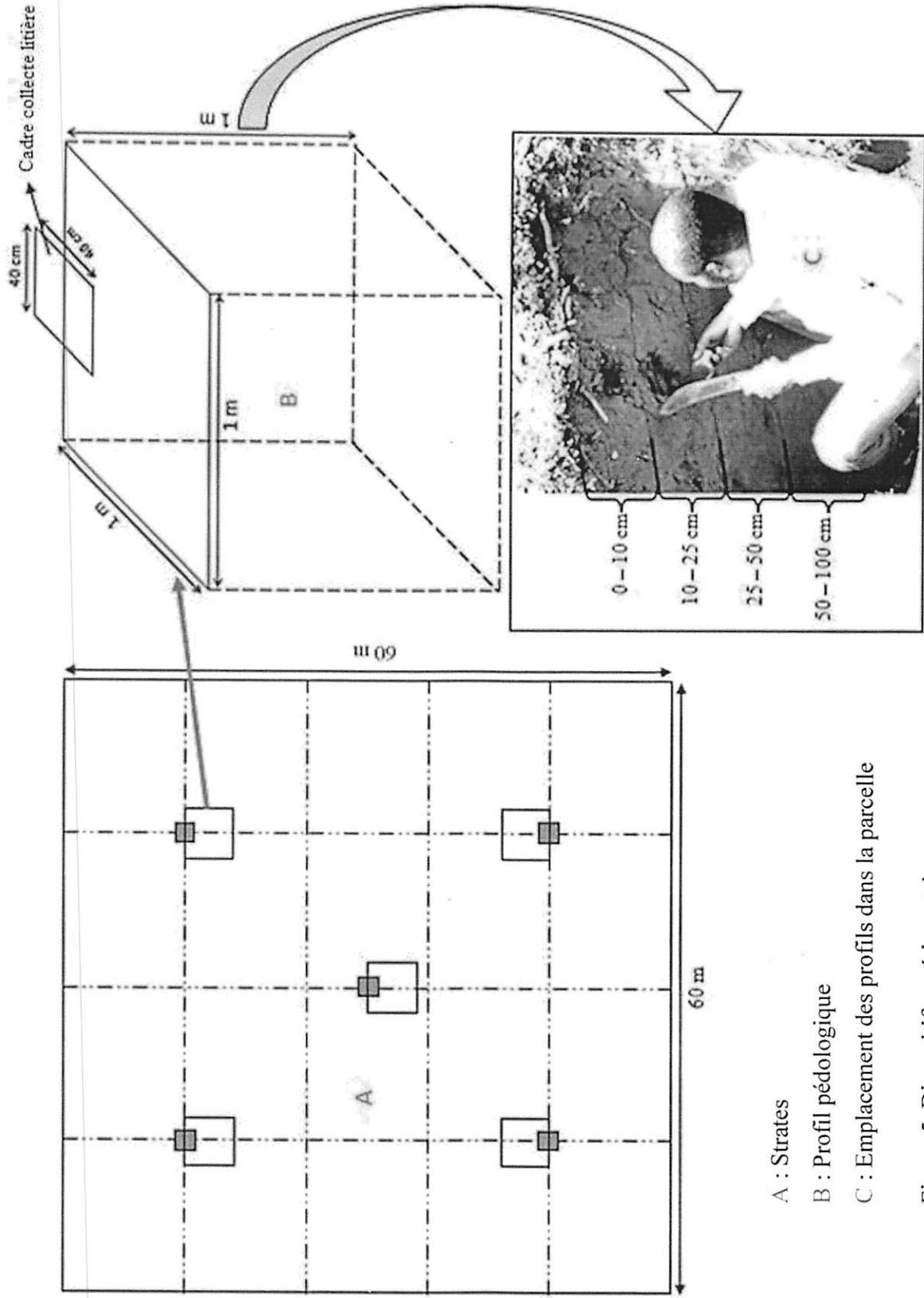
2.2.1. Dispositif expérimental

Selon Assumani (2009), les plantations de *Pericopsis elata* ont été établies entre les années 1938 et 1942. Ces plantations ont été réalisées manuellement et les plants étaient généralement à racines nues et il s'agit de plantations pures dans près de 70 % de cas. Signalons que les peuplements ont été suivis dans la plupart des cas par l'équipe de foresterie de l'I.N.E.R.A.- Yangambi ; dès l'installation des plantations jusqu'au départ des colons Belges vers les années 1960. Les travaux de dégagement furent effectués en suivant un cycle normal, c'est-à-dire deux fois par an jusqu'en 1949 ; une fois sur 5m de large, une autre fois sur 2m. En 1960, tous les travaux furent arrêtés et les plantations étaient abandonnées. A l'exception de l'élagage artificiel ou de dégagement parfois pratiqué en bas âge, ces plantations n'ont bénéficié d'aucun traitement sylvicole comme l'éclaircie ou la fertilisation.

Plantées à 1942 par la méthode de blanc-étoc, les peuplements de la présente étude présentent un espacement régulier entre les arbres ou 6 x 2m et ces peuplements occupent des faibles superficies inférieures à 1 ha, soit 0,36 ha ou 3600 m².

Dans chacune de peuplement, nous avons délimités 5 cadres d'une dimension équivalent à 40x40 cm dans lesquelles les débris végétaux ont été prélevés. A cause des contraintes techniques, ce cadran a été élargie jusqu'à 1 m², mais nos échantillons ont été soigneusement récoltés au milieu du premier cadran (40x40 cm) afin de maintenir la cohérence pédologique.

La figure 5 schématise le dispositif expérimental.



A : Strates

B : Profil pédologique

C : Emplacement des profils dans la parcelle

Figure 5. Dispositif expérimental

2.2.2. Inventaire des arbres

L'inventaire a concerné uniquement les arbres de l'espèce d'intérêt (*Pericopsis elata*). Dans des peuplements de 3600 m², les circonférences des arbres ont été prises au niveau de 1,30 mètre du sol à l'aide du ruban circonférentiel.

2.2.3. Echantillonnage des sols

Les échantillons du sol ont été prélevés à l'aide des cylindres métalliques pour la densité apparente et les analyses physico-chimiques au laboratoire. À chaque strate, nous avons collectés les échantillons composites pour les analyses granulométriques.

2.2.3.1. Débris (litière)

Nous avons récolté intégralement les matériels compris dans des cadrats de dimensions appropriées (40 cm x 40 cm) mesurés à l'aide d'un mètre ruban avant de creuser le profil.

2.2.3.2. Horizon minéral

On a considéré les profondeurs prédéfinies suivantes : (0-10, 10-25, 25-50, 50-100 cm) que nous appelons strates. Notons que cette profondeur n'inclut pas l'épaisseur de matière organique que l'on peut retrouver sur le sol minéral. Pour chaque profondeur, le cylindre de volume connu est enfoncé dans le sol soit perpendiculairement à la paroi du profil du sol, et le matériel collecté est transféré dans le sachet. Il est important de rappeler que les analyses granulométriques sont faites à partir des échantillons composites des strates.

2.2.4. Analyses des sols au laboratoire

2.2.4.1. Débris

Au laboratoire, nous avons pesé intégralement les échantillons collectés sur le terrain à l'aide d'une balance de précision, un sous échantillon de 10 gr par échantillon était prélevé dans chacune des échantillons puis séché au four à 65°C pendant 24 heures.

2.2.4.2. Densité apparente

C'est la mesure de la densité du sol en tenant compte qu'il y a des vides entre les particules solides du sol (porosité). Pour cela, on avait prélevé un échantillon du sol non remanié cylindrique. Arrivé au laboratoire, ces échantillons ont été séchés à l'aire libre puis séchés à



l'étuve à 105°C. Le rapport entre le poids sec et le volume du cylindre donne la densité apparente.

2.2.4.3. Granulométrie

La méthode utilisée pour l'analyse granulométrique est la méthode des sédimentations successives. Le mode opératoire y affère est repris à l'annexe 1.3.1.1.

La texture du sol a été déterminée en reportant les teneurs en argile, limon et sable sur un triangle des textures.

2.2.4.4. pH à l'eau et au CaCl₂

Le pH du sol fut déterminé par la méthode de l'électrométrie. Le mode opératoire y affère est repris à l'annexe 1.3.1.2.

2.2.4.5. Détermination du pourcentage de carbone du sol

Les analyses chimiques ont été faites en Belgique (Université Catholique de Louvain-la-Neuve : UCL) par l'encadreur de la présente étude. Seules les horizons superficielles (strates superficielles : 0-10 et 10-25) ont été analysés pour la détermination du taux de carbone du sol. Les analyses étaient faites à l'aide de l'Analyseur élémentaire Flash géré entièrement par ordinateur, ce système permet de déterminer la quantité de C, H, N, S et O dans tous les types de matrices (gaz, liquides, solides) dans une gamme de concentration allant de 100 ppm à 100%. L'entièreté du contrôle de l'appareil a lieu via le logiciel Eager 300. Les analyses étaient faites par la méthode de Dumas (1831). Le mode opératoire y affère est repris à l'annexe 1.3.1.3.

2.2.5. Analyse des données

2.2.5.1. Densité de peuplement

La densité (notée N), paramètre définie au niveau du peuplement, est le nombre de tiges sur pied ramené à l'hectare (Gaudin, 1996 et TERE, 2006).

2.2.5.2. Conversion de la circonférence en diamètre

Etant donné que le ruban estime une grandeur appelée circonférence dont la définition n'est pas ambiguë. Il faut diviser la mesure de circonférence par π pour obtenir le diamètre.

2.2.5.3. Surface terrière

La surface terrière (ST), paramètre décrivant là encore le peuplement, est la somme des sections transversales au diamètre de référence de tous les arbres du peuplement (Massenet, 2005 ; TEREA, 2006).

2.2.5.4. Séquestration du carbone

Pour estimer le carbone séquestré dans ces les trois compartiments étudiés, nous avons procédé par les méthodes proposées par Pearson et Brown (2005) dans un document publié par Winrock International, en utilisant les équations allométriques adaptées pour les forêts tropicales humides.

2.2.5.5. Paramètres statistiques

Pour ce qui est des paramètres statistiques utilisés dans ce travail, nous avons : la distribution des fréquences, les indicateurs de position et les indicateurs de dispersion pour la statistique descriptive et le test de comparaison des moyennes (appariées, dépendantes ou indépendantes) à l'aide du test t de Student (symbolisé par t) et le test z , le test de comparaison des variances (ANOVA : F de Fisher) et la corrélation à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson (r ou R) pour la statistique inférentielle. La significativité est marqué à partir du p -value $< 0,05$ ou $0,01$ soit en comparant la valeur calculée à la valeur obtenue à partir de la table correspondante (Significative lorsque la valeur calculée est supérieure à la valeur tabulaire). (Jayaraman, 1999 ; Anonyme, 1999 ; Legendre, 2007).

Le logiciel Microsoft Excel nous a aidé non seulement à la saisie et traitement des données mais aussi à produire quelques graphiques. Ces données ont été importées par d'autres logiciels tels que logiciels Statistica 6.1, SPSS 14.0, R.1.10 et XLSTAT 2013.3.04. Notons aussi l'intervention de la calculatrice scientifique de marque CASIO fx-82MS.

Chapitre troisième : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

3.1. Densité de peuplement, diamètre à hauteur de la poitrine (dhp) et surface terrière

125 pieds de *Pericopsis elata* ont été inventoriés (55 pour le premier peuplement et 70 pour le deuxième peuplement) dans deux peuplements de 0,36 ha.

La densité de chacun de ces deux peuplements (parcelles) est présentée dans la figure 6.

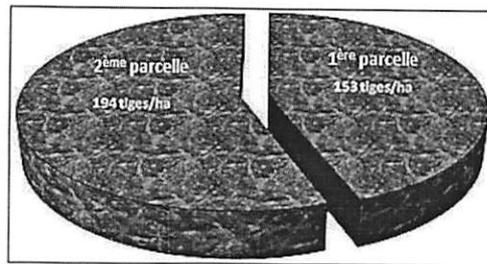


Figure 6. Densité des peuplements

La densité du deuxième peuplement, telle que présentée par la figure ci-dessus, est plus forte (194 tiges.ha⁻¹) que celle du premier peuplement (153 tiges.ha⁻¹). Le test bilatéral de *t* de Student montre que même si la densité dans ces deux peuplements n'est pas la-même, cette différence n'est pas significative (p-value = 0,28).

Quant aux diamètres à hauteur de la poitrine (dhp), la figure 7 présente leur dispersion au tour de la moyenne selon les deux peuplements (parcelles) inventoriés.

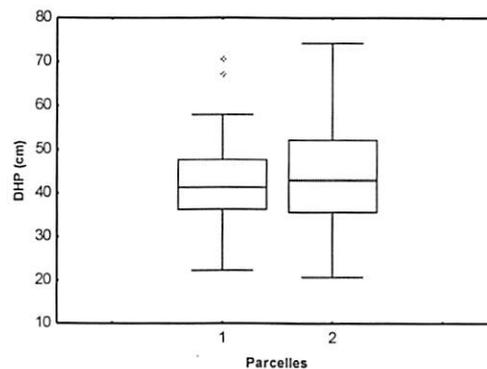


Figure 7. Dispersion des valeurs de dhp par rapport à la moyenne

Il ressort de cette figure que le deuxième peuplement porte les arbres de plus gros diamètre que le premier peuplement, avec un dhp maximum de 74,2 cm contre 70,8 cm et une moyenne des dhp de 44,3 cm contre 42,6 cm. Le dhp moyen de ces deux peuplements est de 43,5 cm.

Signalons que les données du dhp de ces deux peuplements présentent toutes une dispersion relative par rapport à la moyenne et une distribution homogène.

Pour la surface terrière, les figures 8 et 9 ci-dessous illustrent leur dispersion et leur distribution dans ces deux peuplements (parcelles).

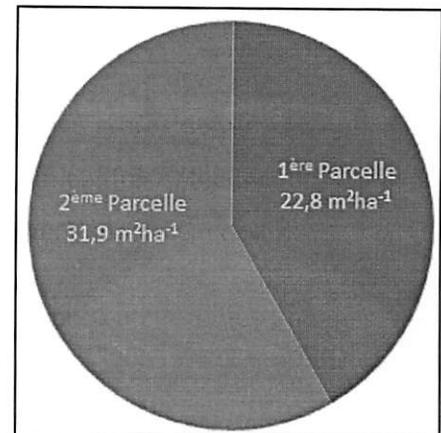
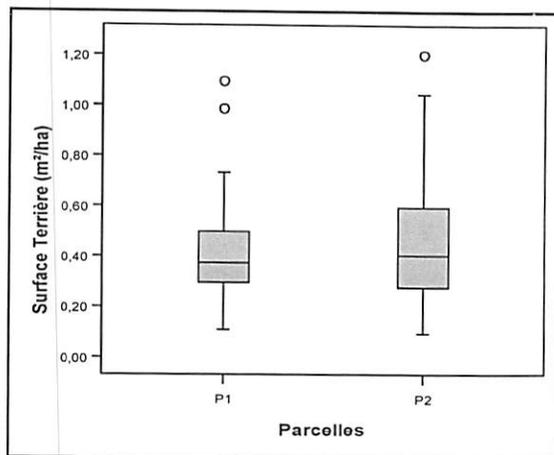


Figure 8. Dispersion des surfaces terrières Figure 9. Surface terrière totale

La figure 9 ci-dessus montre que le deuxième peuplement renferme des arbres qui occupent des grandes superficies à l'hectare que ceux du premier peuplement. Avec comme surfaces terrières moyennes estimées à $0,164 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ contre $0,149 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$, valeur médiane de $0,146 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ contre $0,135 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$, valeur maximale de $0,432 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ contre $0,394 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ et avec comme valeur minimale de $0,034 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ contre $0,039 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$.

Pour ce qui est de la figure 10, il ressort que le deuxième peuplement est le plus riche que le premier peuplement en termes de mètre carré à l'hectare de l'occupation des arbres, avec comme surfaces terrières totales estimées à $11,491 \text{ cm}^2.\text{ha}^{-1}$ contre $8,609 \text{ cm}^2.\text{ha}^{-1}$.

Le test z (bilatéral) entre les deux peuplements montre que la différence entre les moyennes des surfaces terrières n'est pas significative ($z = 0,276 > 0,05$ au seuil de 0,05).

3.2. Texture, Densité apparente et pH du sol

3.2.1. Texture du sol

Les différents résultats des analyses granulométriques des quatre strates des sols et leur évolution en profondeur dans les deux peuplements (parcelles) étudiés sont présentées par la figure 10.

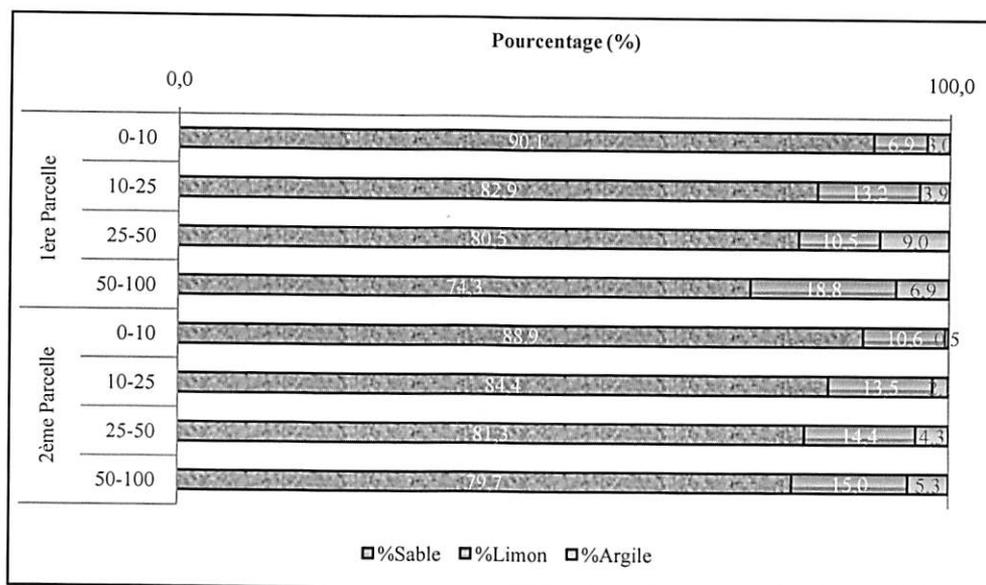


Figure 10. Analyses granulométriques des sols

Partant de cette figure, le sable est la particule minérale solide du sol qui domine dans tous les deux peuplements et décroît respectivement en fonction de la profondeur avec les moyennes de 82,0 % du sable, 12,4 % du limon et 5,7 % d'argile pour le premier peuplement, et 83,6 % du sable, 13,4 % du limon et 3,1 % d'argile pour le deuxième peuplement. Ce qui montre qu'il existe une corrélation étroite entre l'augmentation en profondeur et la quantité de sable ($r = 0,975$ où $p < \alpha$ soit $0,025 < 0,05$). Par contre le limon et l'argile accusent quelques irrégularités dans le premier peuplement mais ils sont trop remarqués dans les strates les plus profondes, c'est plutôt au deuxième peuplement qu'ils augmentent respectivement avec la profondeur du sol. Ce qui nous fait voir qu'il n'y a pas des corrélations entre l'évolution en profondeur et les quantités d'argile et de limon ($r = 0,865$ pour l'argile et $r = 0,812$ pour le limon où $p > \alpha$ soit $0,135 > 0,05$ pour l'argile et $0,188 > 0,05$ pour le limon). En comparant les deux peuplements selon les quatre strates, le deuxième peuplement accuse des supériorités en sable et limon que le premier peuplement, cependant la quantité d'argile est plus fortement remarquée dans le premier peuplement que dans le deuxième peuplement.

Entre les strates les différentes sont non significatives pour toutes les trois particules minérales solides ($p = 0,000$ % de sable, $0,016$ % de limon et $0,025$ % de argile $< 0,05$) pour le premier peuplement, par contre pour le deuxième peuplement, la différence est significative entre les strates en % de sable et % de limon ($p = 0,000$ % de sable et $0,001$ % de limon $< 0,05$) et c'est non significative en % de argile ($p = 0,067 > 0,05$).

En considérant les deux peuplements comme un seul peuplement, telle qu'illustrée par la figure 11, le sable reste toujours la particule minérale solide du sol la plus dominante dans toutes les quatre strates et, il diminue en fonction de la profondeur. Le limon est la deuxième particule après le sable et, l'argile vient en dernière position après le limon. L'importance de ce deux particule (limon et argile) est fonction de la profondeur ; mais on note quelques irrégularités en terme de proportion entre la deuxième et la troisième strate (limon) et entre la troisième et la quatrième strate entre le cas échéant pour l'argile.

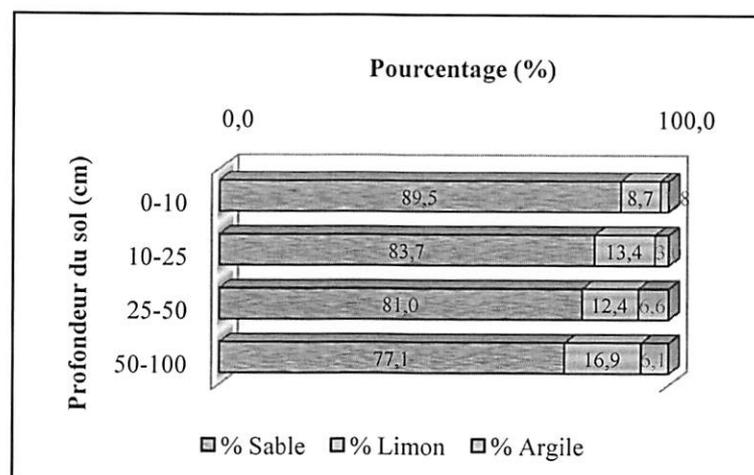


Figure 11. Analyses granulométriques de deux peuplements fusionnés

Les résultats sur le test de différence significative entre les deux peuplements, nous renseigne que les valeurs négatives calculées de t issues des données appariées des pourcentages de sable et de limon pour les deux peuplements ($-1,17$ et $-0,57$) respectivement sont supérieures à la valeur négative tabulaire de la distribution de t de Student ($-3,18$), alors que la valeur de t issue des données appariées des pourcentages d'argile de ces deux peuplements ($3,73$) est supérieure à la valeur positive tabulaire de la distribution de t de Student ($3,18$), pour 3 degrés de liberté, au seuil de signification de 5%, test bilatéral. Ce constat nous amène à conclure que les différences observées entre les deux peuplements en termes des pourcentages de sable et de limon sont non significatives. Ce qui signifie que même si les données du sable et du limon du deuxième peuplement sont supérieures à celles du premier peuplement, il n'y a pas

d'éléments significatifs permettant d'affirmer ces différences. Par contre les différences observées entre les deux peuplements en termes d'argile sont significatives.

En utilisant le triangle de texture de USDA à 13 classes, nos données tombent dans la classe sablo-limoneux. Ceci nous pousse à conclure que le sol de ces deux peuplements à une texture sablo-limoneux. . Etant donné que les deux peuplements sont contigus, il est tout à fait normal de conclure que ces deux peuplements évoluent sur un même substrat.

Vu l'importance de la densité apparente aux estimations du stock de carbone du sol, le point qui suit en développe plus pour les peuplements étudiés.

3.2.2. Densité apparente du sol

La figure 12 nous présente les densités apparentes des sols des peuplements ainsi que leurs tendances vis-à-vis de l'évolution de la profondeur.

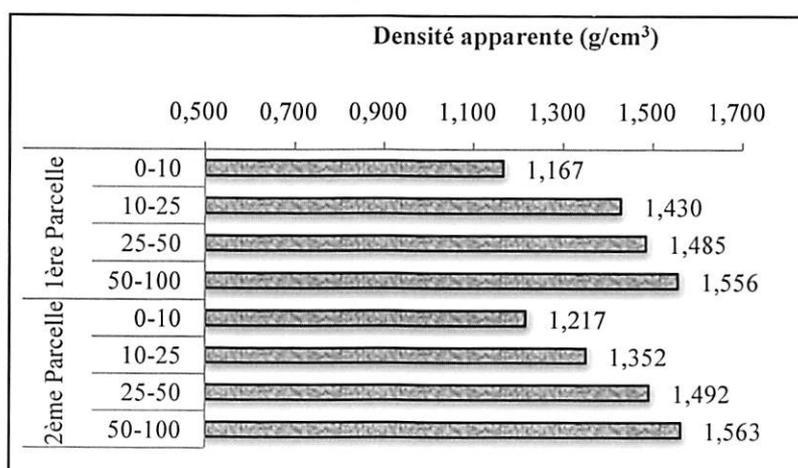


Figure 12. Analyses de la densité apparente des sols

Il ressort clairement de cette figure que dans le premier peuplement c'est la dernière strate qui a une forte densité alors que la première strate en a moins que tous les autres, et le deuxième peuplement donne le même constat. En comparant les deux peuplements, la deuxième n'accuse l'infériorité qu'à la deuxième strate ce qui signifie que la densité apparente du premier peuplement n'est supérieure par rapport à celle du deuxième peuplement qu'au niveau de la deuxième strate.

Notons que la densité apparente moyenne du premier peuplement est légèrement supérieure à celle du deuxième peuplement, soit 1,410 g/m³ contre 1,406 g/cm³. Ces deux peuplements présentent la même moyenne soit 1,41 g/m³ chacune.

Le constat majeur est que la densité apparente augmente avec la profondeur dans tous les deux peuplements. Ceci s'observe aussi quand les deux peuplements sont considérés comme un seul peuplement telle qu'illustre la figure 13.

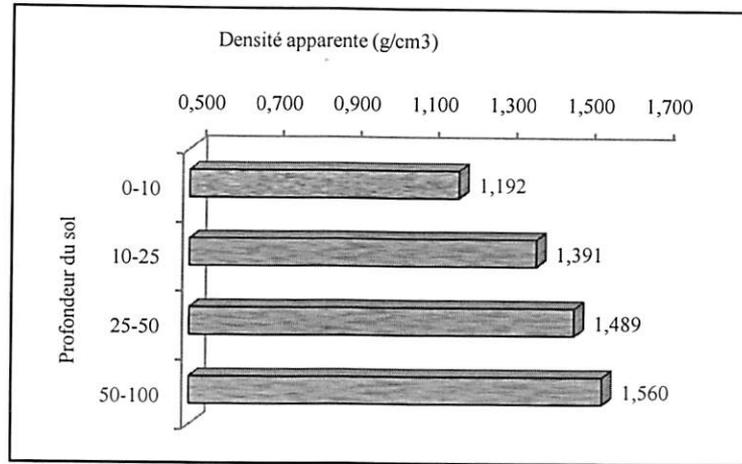


Figure 13. Densité apparente des sols de deux peuplements fusionnées

L'augmentation de la quantité de sable en profondeur est l'élément clé justifiant aussi l'évolution de la densité apparente en profondeur.

Le test de différence significative entre les deux peuplements en termes de densité apparente montre que la valeur calculée de t issue des données appariées de la densité apparente pour les deux peuplements (0,14) est inférieure à la valeur tabulaire de la distribution de t de Student (3,18), pour 3 degrés de liberté, au seuil de signification de 5%, test bilatéral. Ce constat nous amène à conclure que la différence entre les deux peuplements en termes de la densité apparente du sol est non significative, soit $p = 0,208 > \alpha = 0,05$. Cela signifie qu'il n'y a pas d'éléments significatifs permettant d'affirmer cette différence. Par contre entre les strates, le test montre que dans toutes les deux peuplements les différences sont très significatives avec $p = ,000 < 0,05$

3.2.3. Corrélation entre la densité apparente et les particules minérales solide du sol

Le tableau 3 et la figure 14ci-dessous nous montrent la direction et le degré de relation et les tendances qu'il y a entre la densité apparente et les quantités de chacune des particules minérales solides du sol

Tableau 3. Corrélation entre densité apparente et % sable, % limon et % argile

		%	%	%
		Sable	Limon	Argile
Densité apparente	r de Pearson	-0,996(**)	0,898	0,487
	p-value (bilatérale)	0,004	0,102	0,513

** La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

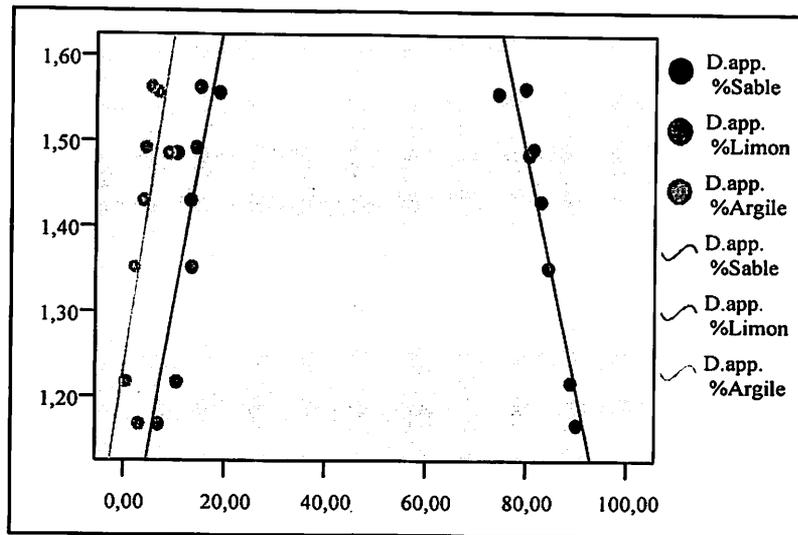


Figure 14. Corrélation entre la densité apparente et le pourcentage de sable, limon et d'argile

La valeur négative de r linéaire indique que la densité apparente et la quantité de sable n'évoluent pas dans le même sens c'est-à-dire que si la quantité de sable diminue, la valeur de la densité apparente augmente (non proportionnelle). Etant donné que la valeur trouvée sur la table des valeurs significatives du coefficient de corrélation linéaire pour 8 nombres d'observations au seuil de signification de 5% est inférieure à la valeur trouvée par r linéaire ($0,6319 < 0,9435$), nous disons que la densité apparente et la quantité de sable dans les sols sont corrélées d'une manière significative. En se basant sur l'échelle descriptive de coefficient de corrélation, r tombe dans la classe où la corrélation est élevée et la relation est étroite (0,90 - 1).

La valeur positive du coefficient de corrélation (r) signifie que la densité apparente et la quantité de limon évoluent dans le même sens. Etant donné que la valeur trouvée sur la table des valeurs significatives du coefficient de corrélation linéaire, pour 8 nombres d'observations au seuil de signification de 5%, est inférieure à la valeur calculée de r linéaire ($0,6319 < 0,8042$), nous disons que la densité apparente et la quantité de limon dans les sols sont

corrélées d'une manière significative. En se basant sur l'échelle descriptive, r tombe dans la classe où la corrélation est haute et la relation est marquée (0,70 – 0,90).

La valeur positive du coefficient de corrélation (r) signifie que la densité apparente et la quantité d'argile évoluent dans le même sens. Etant donné que la valeur trouvée sur la table des valeurs significatives du coefficient de corrélation linéaire, pour 8 nombres d'observations au seuil de signification de 5%, est inférieure à la valeur calculée de r linéaire ($0,6319 < 0,7222$), nous disons que la densité apparente et la quantité d'argile dans les sols sont corrélées d'une manière significative. En se basant sur l'échelle descriptive, r tombe dans la classe où la corrélation est haute et la relation est marquée (0,70-0,90).

Le pH fait également partis des analyses qui ont été faites pour cette étude ; le point ci-dessous en développe plus.

3.3. pH du sol

La distribution du pH à H₂O et pH au CaCl₂ selon les deux premières strates du sol de chaque peuplement (P1 et P2) est présentée dans la figure 15.

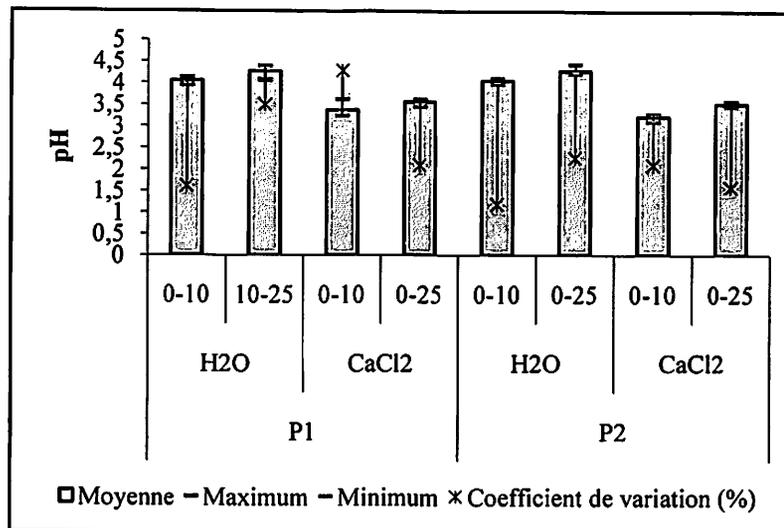


Figure 15. Distribution du pH à H₂O et au CaCl₂ selon les strates pour chaque peuplement

La figure ci-dessus montre que le pH de ces deux peuplements est très fortement acide dans une profondeur allant de 0 – 25 cm du sol avec une acidité échangeable étant toujours inférieure à l'acidité actuelle. Ce pH augmente avec la profondeur.

Les deux peuplements présentent presque une même moyenne de pH, soit 4,16 de pH à l'eau contre 4,17 de pH à l'eau et 3,46 contre 3,37 de pH au CaCl₂. C'est-à-dire que le deuxième

peuplement présente un pH à l'eau légèrement supérieur et une faible acidité échangeable du sol par rapport au premier peuplement. Les moyennes de ces deux peuplements sont de 4,2 des pH à l'eau et 3,45 des pH CaCl_2 pour tous les deux peuplements. Donc *Pericopsis elata* dans ces deux peuplements de la plantation forestière de l'I.N.E.R.A-Yangambi s'accompagne d'une acidité qui est trop loin de la neutralité.

Le Coefficient de Variation montre que dans tous les peuplements, la dispersion des données est faible (il n'y a pas assez de dispersion) vis-à-vis de la moyenne et la distribution est très homogène.

La littérature montre que le sol séquestre des quantités substantielles du carbone. La partie qui suit présente les résultats relatifs au carbone séquestré dans la biomasse, les débris végétaux, mais aussi dans le sol.

3.4. Stockage du carbone

3.4.1. Biomasse vivante

En analysant les deux peuplements sur la séquestration du carbone dans la biomasse vivante, nous trouvons que le stockage du carbone n'est pas le même dans les deux peuplements, la figure 16 en clarifie plus.

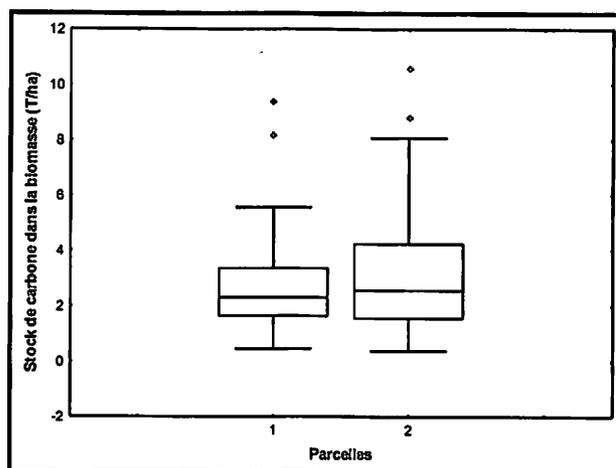


Figure 16. Stock de carbone dans la biomasse vivante

Dans la figure ci-dessus, le deuxième peuplement présente une quantité plus élevée de carbone que le premier peuplement. Avec comme valeur maximale de 5,6 $\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ contre 8,4 $\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ contre, valeur minimale de 0,4 $\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ contre 0,5 $\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ et valeur moyenne estimée à 3,1 $\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ contre 2,8 $\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Le stock de ces deux peuplements à des différentes échelles est présenté dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4. Séquestration du carbone dans la biomasse vivante de deux peuplements

Peuplements	Stock de carbone (tC.ha ⁻¹)	
	3600 m ² ou 0,36 ha	10 000 m ² ou 1 ha
1 ^{er}	54,5	151,4
2 ^{ème}	79,1	219,8
Total	133,6	371,2
Moyenne	66,8	185,6

Il ressort de ce tableau que le peuplement de *Pericopsis elata* du deuxième peuplement a séquestré beaucoup plus de carbone que celui du premier peuplement, soit une valeur estimée à 219,8 tC.ha⁻¹ contre 151,4 tC.ha⁻¹ respectivement, que ce soit sans extrapolation ou après l'extrapolation à l'hectare. Cette différence est imputable à la densité des peuplements et à la grosseur des arbres (notamment la surface terrière et densité de peuplement). Par rapport à la superficie actuelle de ces deux peuplements (0,36 ha), les valeurs obtenues sont de l'ordre de 54,521 tonnes pour le premier peuplement et 79,113 tonnes pour le deuxième peuplement.

La répartition du stock de carbone total par classe de dhp pour ces deux peuplements est présentée dans la figure 17.

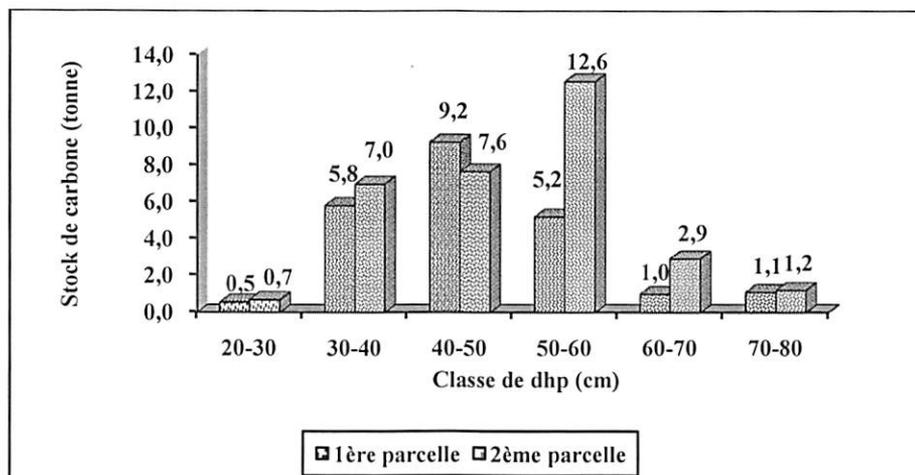


Figure 17. Répartition du stock de carbone total par classes de dhp

Partant de cette figure, la classe de 40-50 cm contient une biomasse importante, ce qui explique également l'importance de carbone séquestré dans cette classe de diamètre pour le

premier peuplement. Tandis que pour le deuxième peuplement, c'est la classe de 50-60 cm qui constitue la classe la plus importante en terme de biomasse par rapport aux autres classes du même peuplement. Dans toutes les deux peuplement le stock de carbone n'évolue pas en fonction des classes de dhp car celui-ci dépend aussi du nombre de tiges que renferme chaque classe de dhp..

Considérant les deux peuplements comme étant un seul peuplement (en terme spécifique : espèce), le stock total de carbone est estimé à 133,634 tonnes pour une surface de 0,72 ha ou $185,6 \text{ t.ha}^{-1}$ pour une superficie de 1 ha.

Selon le test de différence significative entre les moyennes de ces deux peuplements, le test z à une probabilité de 1,96 au seuil de signification de 5% montre que la différence n'est pas significative entre les deux peuplements en ce qui concerne la quantité de carbone séquestré dans la biomasse ou $-1,33 > -1,96$.

Concernant l'évolution des fréquences, surfaces terrières totales par rapport aux stocks de carbone dans la biomasse des arbres selon les classes de dhp, la figure 18 en donne les tendances.

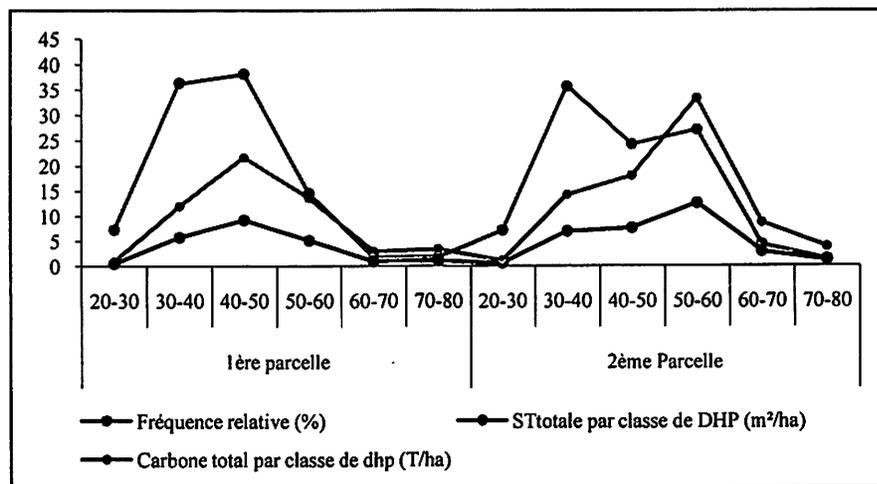


Figure 18. Répartition des fréquences, surfaces terrières totales et stocks de carbone par classes de dhp

Dans tous les deux peuplements les trois courbes n'évoluent pas respectivement en fonction des classes de dhp. La courbe de fréquence montre une forte représentation des arbres dans la classe de 40-50 cm dans le premier peuplement et la classe de 30-40 cm dans le deuxième peuplement. La courbe de la surface terrière totale, quant à elle, montre que la classe de 40 – 50 cm est celle occupant une grande surface à l'hectare dans le premier peuplement et la

classe de 50 – 60 cm dans le deuxième peuplement. Cette tendance s'observe aussi pour la quantité de carbone séquestré dans chaque classe de dhp. Les tableaux des fréquences sont présentés dans l'annexe II.2. Donc, la supériorité d'un de ces deux peuplements en termes de séquestration du carbone dépend de la densité et de la surface terrière des peuplements. Car le peuplement ayant plus de tiges à l'hectare c'est celui aussi qui renferme une grande surface terrière des arbres et une quantité élevée de carbone séquestré dans la biomasse vivante.

Nous constatons aussi qu'un bon nombre d'arbres est concentré dans les classes inférieures de dhp dans tous les deux peuplements.

Le tableau ci-dessous nous montre le sens et la significativité des relations qui existent entre ces trois paramètres regroupés en classe de dhp (Fréquence relative, Surface terrière et stock carbone) dans chaque peuplement.

Tableau 5. Corrélation entre la fréquence relative, surface terrière et stock de carbone par classe de dhp

			Fréquence relative	STtotal	Stock de Carbone
premier peuplement	Fréquence relative	r de Pearson	1	,913(*)	,852(*)
		p-value (bilatérale)		,01	,03
	STtotal	r de Pearson	,913(*)	1	,991(**)
		p-value (bilatérale)	,01		,00
	Stock Carbone	r de Pearson	,852(*)	,991(**)	1
		p-value (bilatérale)	,03	,00	
Deuxième peuplement	Fréquence relative	r de Pearson	1	,805	,701
		p-value (bilatérale)		,05(*)	,12
	STtotale	r de Pearson	,805	1	,987(**)
		p-value (bilatérale)	,05(*)		,00
	Stock de Carbone	r de Pearson	,701	,987(**)	1
		p-value (bilatérale)	,12	,00	

* La corrélation est significative au niveau 0.05 (test bilatéral).

** La corrélation est significative au niveau 0.01 (test bilatéral).

Il est montré par le tableau ci-dessus que la fréquence relative, la surface terrière et le stock de carbone évoluent dans le même sens. Ces trois paramètres sont corrélés significativement l'une vis-à-vis de l'autre ($p\text{-value} < \alpha$) au seuil de 5 % et au seuil de 1%, pour le

premierpeuplement (parcelle), alors que pour le deuxième peuplement (parcelle), la corrélation ne pas significative au entre la fréquence relative et et le stock de carbone par classe de dhp.

Il nous a été utile de considéré aussi les débris végétaux ou les litières au dessus du sol ; la partie qui suit en présente les résultats.

3.4.2. Débris

La séquestration du carbone dans les débris végétaux (litières) de ces deux peuplements est présentée dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6. Séquestration du carbone dans les débris végétaux selon les peuplements

Peuplements	Sans extrapolation à l'hectare (0,36 ha ou 3600m ²)	Avec extrapolation à l'hectare (10000m ²)
	Carbone (tC.ha ⁻¹)	Carbone (tC.ha ⁻¹)
1 ^{er}	1,3	3,6
2 ^{ème}	1,5	4,1
Total	2,8	7,7

Il ressort de ce tableau que ces deux peuplements stockent différemment le carbone dans leur litière. Le deuxième peuplement séquestre plus de carbone dans leur débris végétaux que le premier, soit 4,1 tC.ha⁻¹ contre 3,6 tC.ha⁻¹. Et toutes les deux peuplements présentent un total estimé à 7,7 tC.ha⁻¹.

Le test *t* de différence significative montre que la différence est significative entre les deux peuplements en termes de stock de carbone dans les débris végétaux ($p = 0,035 < 0,05$). Cette significativité est due à la différence du nombre d'arbres entre les deux peuplements bien qu'étant occupées par une même espèce de même âge évoluant dans un même climat, avec *r* de Pearson = 1,000 qui est très significative à $\alpha = 0,01$.

3.4.3. Sols

La distribution des pourcentages de carbone sec provenant directement du laboratoire dans les deux peuplements (parcelles) selon les deux stratesest présentée par la figure 19.

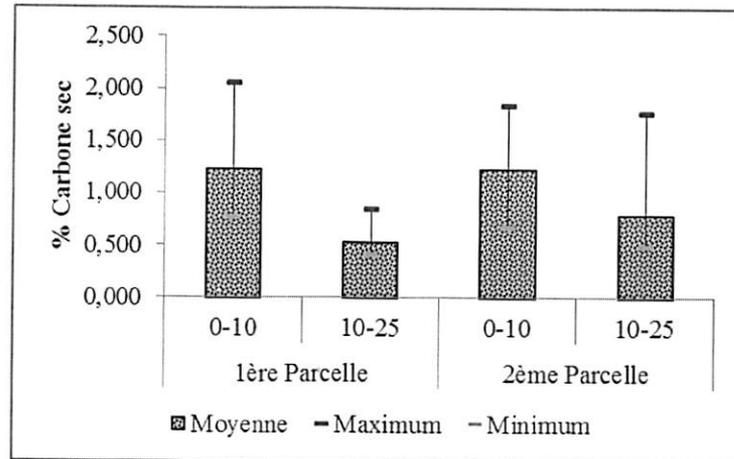


Figure 19. Distribution des pourcentages carbone sec dans les parcelles selon les deux strates

Il ressort de cette figure que les deux peuplements présentent la même moyenne dans la première strate, soit 1,2 % de carbone sec chacune, mais arrivé à la deuxième strate c'est le deuxième peuplement qui en présente plus, soit 0,8 % contre 0,5 %. Un autre constat est que la teneur en pourcentage de carbone dans la première strate est plus importante que la teneur en % de carbone dans la seconde strate, et cette situation est identique dans tous les deux peuplements. En observant les moyennes, c'est le deuxième peuplement qui en présente plus par rapport au premier peuplement, soit 1,0 % contre 0,9 %.

Après conversion et extrapolation, le tableau 7 ci-dessous montre la séquestration du carbone dans les 25 cm de profondeur du sol de ces deux peuplements étudiés.

Tableau 7. Stock de carbone dans les 25 premiers centimètres du sol de ces deux peuplements

Strates	Carbone P1 (tC.ha ⁻¹)	Carbone P2 (tC.ha ⁻¹)	Moyenne (tC.ha ⁻¹)	Total (tC.ha ⁻¹)
0 – 10 cm	14,2	15,1	14,7	29,3
10 – 25 cm	11,4	15,6	13,5	27,0
Total carbone (tC.ha⁻¹)	25,6	30,7	28,2	56,3

P1 et P2 représentent le premier et le deuxième peuplement.

Il ressort du tableau ci-dessus que la séquestration du carbone n'est pas la même d'abord dans les deux strates et ensuite dans deux les peuplements. La première strate contient plus de carbone dans la première strate par contre elle en présente moins dans le deuxième peuplement. La deuxième strate du deuxième peuplement contient plus de carbone que toutes les autres strates, alors que la deuxième strate du premier peuplement en contient moins. La

moyenne des stocks de carbone des premières strates est de 14,7 tC.ha⁻¹ alors que celle des deuxièmes strates est de 13,5 tC.ha⁻¹. Entre les deux peuplements, c'est le deuxième peuplement qui contient plus de carbone par rapport au premier peuplement, soit 30,7 tC.ha⁻¹ contre 25,6 tC.ha⁻¹. La comparaison intra-parcellaire montre que la différence est significative entre les deux strates du premier peuplement ($p = 0,014 < \alpha = 0,05$), par contre elle est non significative entre les deux strates du deuxième peuplement ($p = 0,303 > \alpha = 0,05$), et la comparaison inter-parcellaire montre que les différences sont non significatives entre les deux premières et entre les deux deuxièmes strates ($p = 0,629 > \alpha = 0,05$) et $p = 0,456 > \alpha = 0,05$), et entre les deux peuplements ($p = 0,413 > \alpha = 0,05$). Notons que la différence est aussi non significative en fusionnant les deux peuplements ($p = 0,117 > \alpha = 0,05$). L'insignifiance de la différence entre les deux peuplements serait due à la même nature du sol, même occupation et aux mêmes conditions.

3.4.3.1. Similarités entre stockage du carbone du sol et d'autres éléments

Le tableau ci-dessous montre la corrélation qui existe entre le stockage de carbone et le pourcentage de sable, le pourcentage de limon, le pourcentage d'argile, le pH et la densité apparente du sol.

Tableau 8. Corrélation entre le stockage du carbone du sol, la texture, la densité apparente et le pH

		% Carbone
% Sable	Corrélation de Pearson	,981
	p-value (test bilatérale)	,019(*)
%Limon	Corrélation de Pearson	-,815
	p-value (test bilatérale)	,185
% Argile	Corrélation de Pearson	-,629
	p-value (test bilatérale)	,371
pH eau	Corrélation de Pearson	-,920
	p-value (test bilatérale)	,080
Densité apparente	Corrélation de Pearson	-,985
	p-value (test bilatérale)	,015(*)

* La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Concernant la texture du sol, il ressort du tableau ci-dessus que la corrélation n'est significative qu'entre le pourcentage de sable et le stockage du carbone et ils évoluent tous dans le même sens. Ceci nous pousse à penser que l'augmentation de la porosité du sol influe

positivement sur l'incorporation des matières organiques dans le sol. Par contre il n'y pas de corrélations entre le stockage du carbone et le pourcentage de limon et d'argile, et ils évoluent dans le sens contraire. En se basant sur l'échelle descriptive de coefficient de corrélation, la corrélation entre le sable et le stockage du carbone dans le sol tombe dans la classe où la corrélation est élevée et la relation est étroite (r variant de 0,90 – 1), par contre, la corrélation entre le limon et le stockage du carbone est haute et la relation est marquée (r variant de 0,70 – 0,90), enfin, la corrélation entre l'argile et le stockage du carbone dans le sol est dans la classe où la corrélation est modérée et la relation est constante (0,40 – 0,70). Les tendances entre ces différents éléments sont clarifiées par la figure 20.

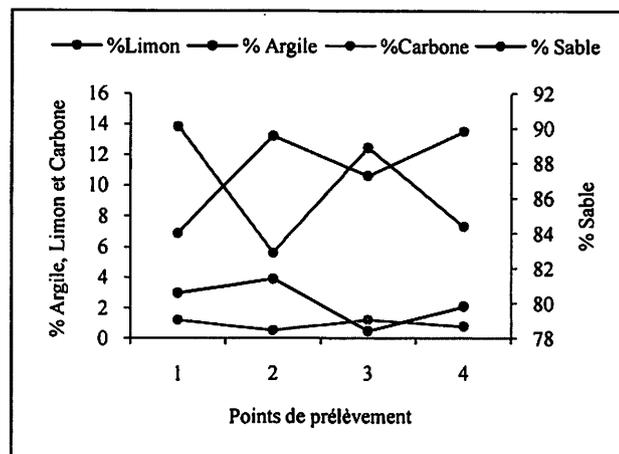


Figure 20. Evolution du stock de carbone par rapport à la quantité de Sable, Limon et Argile

En observant cette figure nous voyons que l'évolution du % d'argile et le stock de carbone est cohérents. Donc l'augmentation de la quantité d'argile augmente aussi le stockage du carbone dans le sol.

Quant à la densité apparente et la quantité de carbone dans le sol, nous voyons, non seulement qu'elles évoluent dans le sens contraire ($r = - 0,985$) mais aussi elles sont corrélées significativement, soit $p < \alpha$ ou $0,015 < 0,05$. La figure 21 nous donne des similarités observées dans les deux peuplements en termes de la densité apparente, pourcentage carbone sec et le stock de carbone dans le sol.

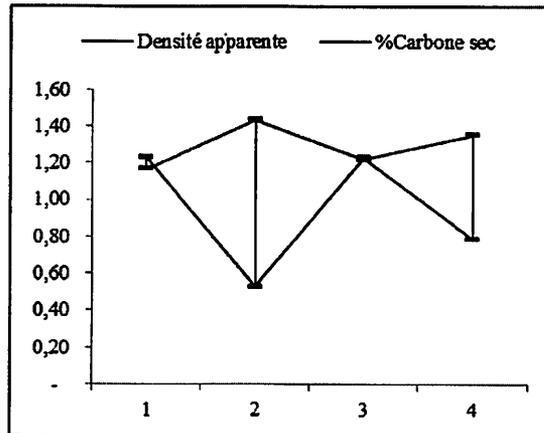


Figure 21. Evolution de la densité apparente vis-à-vis du % C et du stock de carbone du sol

Partant de cette figure nous pouvons dire que la densité apparente du sol et le stockage du carbone n'évoluent pas dans le même sens. Nous constatons aussi que les variations de la densité apparente sont faibles par rapport à celles de carbone. Donc, une forte densité apparente du sol est défavorable au stockage du carbone dans le sol.

En ce qui concerne le pH et le stockage de carbone du sol, la valeur négative de r indique que le pH et la quantité de carbone n'évoluent pas dans le même sens c'est-à-dire que si le pH diminue, la quantité de carbone dans les sols augmente et vice versa. Etant donné que la valeur de p est supérieure au seuil de signification, soit $p = 0,080 > \alpha = 0,05$, nous disons que le pH et le stockage du carbone dans les sols ne sont pas corrélés d'une manière significative.

Les différentes tendances observées dans les deux peuplements en termes de pH eau, pH au CaCl_2 et le stockage du carbone dans le sol sont présentées dans la figure 22.

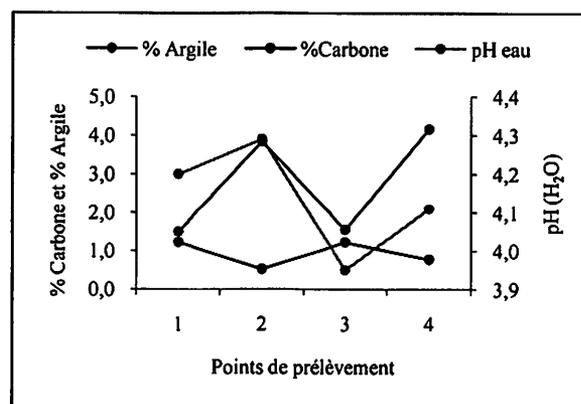


Figure 22. Relation pH de l'eau, le pourcentage d'argile et le stockage du carbone dans le sol

La figure ci-dessus nous montre que le pH augmente avec la profondeur du sol, alors que le pourcentage de carbone diminue avec la profondeur. La baisse du pH en profondeur est fonction de la quantité d'argile. L'enrichissement de la première strate par rapport à la deuxième strate est justifié par la décomposition de la litière causée par les activités intenses des organismes telluriques rendant ainsi disponible les éléments nécessaires pour la plante, arrivés au niveau des couches profondes ses éléments ne sont presque pas retenus mais plutôt lessivés à cause de la texture du sol accusant une très représentation d'argile dans ces couches. Donc dans ce sol le pH n'a pas d'affinité directe avec le stockage de carbone mais plutôt avec la quantité de l'argile.

3.4.4. Le stock total de carbone des peuplements étudiés

Le tableau 9 ci-dessous présente le résultat final du stock de carbone dans les deux peuplements de *Pericopsis elata* de la plantation forestière de l'INERA/Yangambi.

Tableau 9. Séquestration du carbone dans les deux peuplements

Peuplements	Arbres vivants (tC.ha ⁻¹)	Débris (tC.ha ⁻¹)	Sol (tC.ha ⁻¹)	Total (tC.ha ⁻¹)
1 ^{er}	151,4	3,6	25,6	180,6
2 ^{ème}	219,8	4,1	30,7	254,6
Total	371,2	7,7	56,3	435,2
Moyenne	185,6	3,8	28,2	217,6

Le tableau ci-dessus montre qu'entre ces deux peuplements étudiés, c'est le deuxième peuplement qui a séquestré plus de carbone que le premier peuplement dans tous les trois compartiments (biomasses vivantes, débris végétaux et 25 premiers centimètres de profondeur du sol), avec un total de 254,6 tC.ha⁻¹ contre 180,6 tC.ha⁻¹. Test bilatéral de *t* de Student montre le que stockage du carbone dans les deux peuplements n'est pas significativement différent ($p\text{-value} = 0,107 > \alpha = 0,05$). Les différentes tendances de la séquestration dans différents compartiments sont éclaircies par la figure 23.

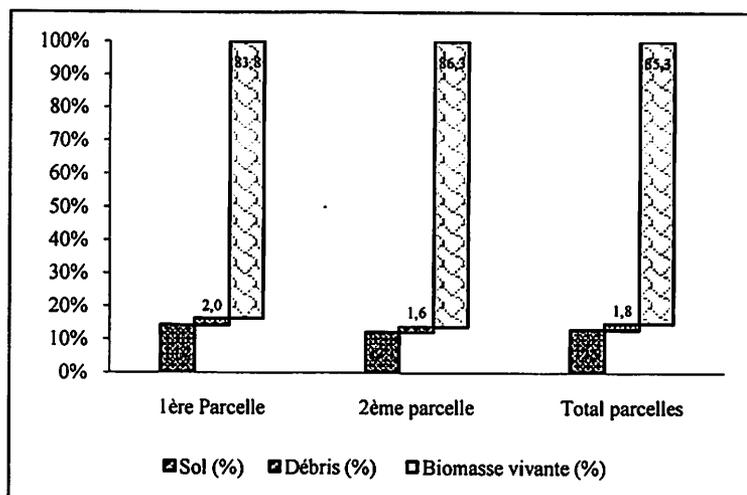


Figure 23. Répartition des stocks de carbone dans les trois différents compartiments

Il ressort de cette figure que dans les $180,6 \text{ tC.ha}^{-1}$ stockés dans le premier peuplement, les biomasses vivantes présentent une grande partie soit 83,8%, suivie du sol avec 14,2% et le débris avec 2,0%. Dans le deuxième peuplement, c'est toujours les biomasses vivantes qui renferment une grande partie dans un total $254,6 \text{ tC.ha}^{-1}$, soit 86,3%, suivie du sol avec 12,1 %, ensuite le débris avec 1,6 %. L'ensemble de ces deux peuplements présente un total de $435,2 \text{ tC.ha}^{-1}$ dans lequel les biomasses vivantes contiennent 85,3 %, le sol renferme 12,9 %, enfin les débris renferment 1,8 %.

Chapitre quatrième : DISCUSSION

4.1. Densité de peuplement, diamètre à hauteur de la poitrine (dhp) et surface terrière

Le deuxième peuplement a la plus forte densité que le premier peuplement, soit 194 tiges.ha⁻¹ contre 153 tiges.ha⁻¹. Le test bilatéral de t de Student montre que même si les deux peuplements ne présentent pas un même nombre de tige à l'hectare, cette différence n'est pas significative ($p > \alpha$ ou $0,28 > 0,05$). Nous sommes du même point de vue avec Djuikouo Marie. N. K. et *al.* (2010) pour les trois types forestiers de la Réserve de Biosphère du Dja, dans le sud-est du Cameroun, qui fait partie de la forêt tropicale contiguë du Bassin du Congo, où ils ont trouvé que la densité des arbres ne différait pas significativement entre les types forestiers avec $F_{2,11} = 3,50; P = 0,06$). Ce résultat serait justifié par le fait que bien que le taux de mortalité de ces deux peuplements occasionné par divers facteurs limitant la croissance des arbres semble être particulière d'un peuplement à l'autre, les influences de l'âge, de la superficie, du nombre de pieds plantés, de la méthode sylvicole, du milieu ou des conditions climatiques, etc. s'avèrent importantes à la croissance ou dynamique des arbres de ces deux peuplements.

L'ensemble de ces deux peuplements présente une densité de 177 tiges/ha, ce qui est largement supérieur à ce qu'avait trouvé Assumani (2007) dans la même plantation de l'I.N.E.R.A-Yangambi mais avec plusieurs parcelles de *Pericopsis elata* où la densité moyenne était de 71 tiges à l'hectare. Boyemba (2011) avaient trouvés, dans une parcelle d'environ 273 ha, de forêt naturelle à Yangambi, une densité de 1,8 pied.ha⁻¹. Notre résultat corrobore aussi avec celui de Boyemba (2011) dans son étude sur l'écologie de *Pericopsis elata* dans la forêt naturel de Yoko où il a aussi trouvé qu'il n'existe pas de différence significative entre les zones de peuplement à *Pericopsis elata* du point de vue de la densité des arbres avec comme éléments explicatifs la taille ou le type de perturbation (trouée ou chablis naturel, grande perturbation due à la présence humaine par exemple, ...).

La grosseur des arbres n'est pas la même dans les deux peuplements c'est-à-dire que les arbres de plus gros diamètre et de plus petit diamètre sont dans le deuxième peuplement, par contre le premier peuplement ne renferme que les arbres ayants des grosseurs intermédiaires. Cette distinction s'explique par le fait que l'abandon de l'INERA/Yangambi depuis 1970 a fait qu'il n'y ait pas une même croissance en diamètre occasionnant ainsi une croissance particulière selon les conditions dans lesquelles chacun se retrouve.

Un autre constat est qu'un bon nombre d'arbres est concentré dans les classes inférieures de dhp dans tous les deux peuplements. Ceci serait premièrement dû à la densité créant un environnement très compétitif en lumière, car la classe où sont concentrés les arbres du peuplement dont la densité est forte est inférieure à celle où sont concentrés les arbres du peuplement dont la densité est faible ; et deuxièmement le mode gestion, c'est-à-dire que généralement, la structure d'un peuplement régulier se présente toujours en forme de cloche, nonobstant, la structure de ces peuplements est en forme irrégulière renversé comme dans la forêt naturelle, et pour cause le mode de gestion explique bien ce comportement sylvicole (abandon des peuplements dans les jeunes âges).

Le dhp moyen de ces deux peuplements est estimé à 43,5 cm, ce qui est presque le même avec ce qu'avait trouvé Assumani (2009) avec un nombre plus important de parcelles que les notre où le diamètre moyen à 1,30m pour *Pericopsis elata* (Afromosia) toutes méthodes et parcelles confondues varie autour de 43,9 cm.

Etant donné que le dhp est le paramètre principal de la surface terrière, le deuxième peuplement renferme des arbres de plus grosses et de plus petites surfaces terrières que ceux du premier peuplement qui renferme les valeurs intermédiaires. C'est ce qui confère au deuxième peuplement une plus grande richesse ($31,9 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$) par rapport au premier peuplement ($22,8 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$) en termes de surface terrière des arbres. La différence entre les moyennes des surfaces terrières de ces deux peuplements n'est pas significative ($z = -1,09 > -1,96$ au seuil de 0,05). La moyenne de ces deux peuplements est de $27,35 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$, ce qui paraît supérieure à celle qu'avait trouvé Assumani (2009) dans la même plantation mais avec un nombre important de parcelles de *Pericopsis elata* où la moyenne des surfaces terrières était de $16,3 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$. La non significativité de la surface terrière entre les parcelles n'est pas observée dans les trois types forestiers de la Réserve de Biosphère du Dja, dans le sud-est du Cameroun où la surface terrière différait de façon significative avec $F_{2,11} = 7,38$; $P = 0,009$ (Djuikouo et al., 2010) et dans les trois zones de la réserve forestière de Yoko où la surface terrière totale des zones présentent des différences significatives avec $F = 9,93$; $p = 0,0002$) (Boyemba, 2011).

La plus petite surface terrière est trouvé dans le deuxième peuplement contenant aussi un grand nombre de tiges à l'hectare. Ce qui n'est pas le cas avec ce que Boyemba (2011) a trouvé dans la réserve forestière de Yoko où la plus petite surface terrière ($20,8 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$) a été trouvée dans les peuplements à densité faible de *Pericopsis elata* (zone 2, 1 à 2 pieds. ha^{-1}). Selon lui, ce résultat la taille ou le type de perturbation (trouée ou chablis naturel, grande

perturbation due à la présence humaine par exemple, ...) expliquerait mieux son résultat. Selon Loupe *et al.*, (1998), dans les trois jachères arborées, reboisées il y a 6 ans, à Korhogo, nord Côte d'Ivoire, la jachère occupée *Gmelina arborea* a présenté une forte richesse quant à la surface terrière totale, soit 19,30 m².ha⁻¹, elle est suivie de par celle d'*Eucalyptus camaldulensis* puis *Acacia auriculiformis*, soit 15,35 m².ha⁻¹ et 10,83 m².ha⁻¹. La moyenne de ces trois jachères était estimée à 15,30 m².ha⁻¹. C'est-à-dire qu'il y avait une forte corrélation entre la surface terrière des peuplements et leur densité.

Nos arguments aux résultats ci-dessus sont aussi appuyés par Périé *et al.* (2006) : la densité des peuplements joue un rôle important dans la croissance des arbres en conditionnant le partage des ressources disponibles entre les différents arbres du peuplement et donc le niveau de concurrence interindividuelle. De trop fortes densités, en induisant une compétition accrue pour la lumière, l'eau et les nutriments, peuvent amplifier l'effet d'un stress environnemental. Plus la densité d'un peuplement est élevée, moins l'accroissement en diamètre des troncs et des branches est important. Elle est habituellement mesurée par le nombre d'arbres à l'hectare et par sa surface terrière totale à l'hectare. Ces deux caractéristiques déterminent la densité d'un peuplement à un instant donné. Boyemba (2011) ajoute un autre paramètre important en disant laquelle les grandes ouvertures ou éclaircies de la canopée modifient la structure de *Pericopsis elata* en favorisant sa régénération.

4.2. Texture du sol

Le sable domine dans toutes les deux peuplements et décroît respectivement en fonction de la profondeur par contre le limon et l'argile montrent le contraire. Ce qui veut dire que nous n'avons pas trouvé des corrélations entre l'évolution en profondeur et la quantité du limon et celui d'argile. Nous constatons que la quantité de sable évolue dans le sens contraire avec celle de limon et aussi d'argile tandis qu'entre la quantité de limon et celle d'argile l'évolution prend le même sens. En utilisant le triangle textural USDA, le sol de ces deux peuplements présente une texture sablo-limoneux avec comme moyennes estimées à 82,8% pour le sable, 12,9% pour le Limon et 4,4% pour l'argile. En comparant ce site avec d'autres, tels que présentés dans le tableau 3 ci-dessous, le sol de ces deux peuplements de la plantation forestière de l'I.N.E.R.A.-Yangambi à Yangambi, renferme trop peu d'argile (moins de 15 %), constitués de limons et/ou sables (fins ou grossiers). Selon Les petits débrouillards (2013), ils présentent une faible cohésion, donc une faible stabilité structurale. Ils sont facilement érodés, les particules libres étant transportées par ruissellement.

Les différences observées entre les deux peuplements en termes des pourcentages de sable et de limon sont non significatives, par contre en termes d'argile sont significatives. L'insignifiance de ces deux peuplements en termes de teneur en sable et limon peut être justifiée par le fait que ces deux peuplements sont installés côte à côte sur une même condition climatique et même type de sol. Bien que ces paramètres s'avèrent importants, l'argile se présente différemment. Entre les strates les différences sont non significatives pour toutes les trois particules minérales solides du sol pour le premier peuplement, par contre pour le deuxième peuplement, la différence est significative entre les strates en %sable et %limon et c'est non significative en %argile.

En comparant nos résultats avec ceux des autres chercheurs, telle que présenté par le tableau 6 ci-dessous, nous voyons que *Pericopsis elata* vie sue un sol accusant une faible teneur en argile dans toutes les deux parcelles dans la plantation forestière de l'I.N.E.R.A/Yangambi que dans la forêt naturelle en observant les résultats de Boyemba (2011), ainsi que par rapport aux autres espèces ligneuses.

Tableau 10. Comparaison de la granulométrie du présent travail avec d'autres recherches

Auteurs	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Texture	Sites/plantations
Présent travail	82,8	12,9	4,4	Sablo-limoneux	<i>Pericopsis elata</i> I.N.E.R.A- Yangambi/Yangambi
	74,12	4,73	21,15	Limono-argileux-sableux	Zone I avec <i>Pericopsis elata</i> , Forêt naturelle de Yoko/Kisangani
	75,61	4,76	19,13	Limono-argileux	Zone II avec <i>Pericopsis elata</i> , Forêt naturelle de Yoko/Kisangani
Boyemba (2011)	52,62	10,26	37,13	Argilo-sableux	Zone III avec <i>Pericopsis elata</i> , Forêt naturelle de Yoko/Kisangani
	69,6	13,1	17,3	Limono-sablonneux	Jachère arborée d' <i>Acacia auriculiformis</i> / Korhogo, Nord Côte d'Ivoire
Loupe et al. (1998)	73,5	10,5	16,1	Limono-sablonneux	Jachère arborée d' <i>Eucalyptus camaldulensis</i> / Korhogo, Nord Côte d'Ivoire
	72,4	11,8	15,7	Limono-sablonneux	Jachère arborée de <i>Gmelina arborea</i> / Korhogo, Nord Côte d'Ivoire

4.3. Densité apparente du sol

La densité apparente augmente avec la profondeur dans le sol de deux peuplements signifiant que d'autant plus qu'on évolue en profondeur, la quantité de la matière organique diminue, il y a moins d'agrégation, moins de racines.... Le coefficient de corrélation ne montre pas seulement que la densité apparente et la quantité de sable n'évoluent pas dans le même sens mais aussi elles sont corrélées d'une manière significative car, selon la littérature, plus la granulométrie d'un sol est fine et plus il a tendance à avoir une densité apparente faible signifiant que d'autant plus qu'il y a agrégation avec la matière organique plus aussi les vides augmentent, donc la densité apparente diminue. Le test de différence significative entre les deux peuplements montre qu'il n'y a pas des différences significatives entre les deux peuplements en ce qui concerne la densité apparente du sol. L'insignifiance de ces deux peuplements en termes de la densité apparente peut être justifiée par le fait que non seulement ces deux peuplements sont installées côte à côte sur une même condition climatique et même type de sol mais aussi ces deux peuplements influencent de la même façon la structure de leur sol étant donné qu'elles sont occupées par la même espèce et presque même densité (différence non significative) malgré la présence très négligeable des autres espèces adventices dans les peuplements.

Notre résultat corrobore avec celui de Harmand et Njiti (1998) selon lequel la densité apparente de l'horizon 0-5 cm des sols des différentes situations en 1995 était de : 1,32 pour *Acacia polyacantha*, 1,32 pour *Senna siamea*, 1,37 pour *Eucalyptus camaldulensis*, 1,33 pour Jachère herbacée protégée et 1,44 pour Culture continue : où les parcelles de *Acacia polyacantha*, *Senna siamea* et *Eucalyptus camaldulensis* ne sont pas différentes au seuil de 5 %, les variations significatives de densité apparente entre les différents modes de gestion du sol sont limitées à la profondeur de 5 centimètres. Il est aussi de même avec le résultat obtenu par Razakamanarivo (2009) où, pour un mode d'usage donné et sur tout le profil, les densités apparentes des sols de Sambaina sont plus faibles que ceux de Sadabe, bien que cette différence ne soit pas significative. Une tendance non significative s'observe aussi entre les densités apparentes des modes d'usage avec : 1.04 à 1.48 g.cm⁻³ et 1.12 à 1.49 sous eucalyptus et culture/jachère, contre 1.16 à 1.56 g.cm⁻³ sous système originel. Il justifie ses résultats en ce terme que la présence de racines en profondeur sous eucalyptus ainsi que l'effet du labour sous culture peuvent être une explication à cette tendance.

4.4. pH du sol

Ces deux peuplements de *Pericopsis elata* évoluent sur un sol fortement acide, avec une moyenne des pH eau estimée à 4,2 et 3,4 pour le pH CaCl₂ du sol. Ce qui montre qu'il y a une faible teneur en éléments échangeables dans ces sols comme le Calcium et le magnésium échangeable. Car, selon la littérature, le pH influence la disponibilité des éléments minéraux dans le sol c'est-à-dire lorsque le pH est près de la neutralité, la disponibilité des éléments nutritifs essentiels contenus dans le sol est maximale. La disponibilité diminue lorsque le pH descend sous la barre de 5,5. Etant donné que les deux pH de ces sols présentent un écart compris entre 0,6 – 1, ils accusent une acidité échangeable moyenne. Notre résultat corrobore avec ceux de Verneyre (2007) dans la zone de Fazenda où les résultats pour le pH du sol montrent des différences selon la méthode employée, les résultats avec l'eau sont systématiquement plus élevés que ceux avec le CaCl₂, l'ensemble des résultats confirme toutefois que le pH est partout acide (valeur maximale de 6,25) avec des résultats plus faibles. Ceci n'est pas le cas pour les jachères arborées, reboisées il y a 6 ans à Korhogo/nord Côte d'Ivoire, où toutes les trois jachères d'*Acacia auriculiformis*, de *Gmelina arborea* et celle d'*Eucalyptus camaldulensis* où il a trouvé 6,31 de pH eau et 5,38 de pH sel pour *Acacia auriculiformis*, 6,71 de pH eau et 5,79 de pH sel pour *Gmelina arborea* et 6,89 de pH eau et 5,33 de pH sel (Loupe et al., 1998).

4.5. Stockage du carbone dans la biomasse vivante

Les deux peuplements séquestrent différemment le carbone dans leur biomasse vivante. Car le deuxième peuplement renferme une quantité importante de carbone par rapport au premier peuplement (79,1 tC.ha⁻¹ contre 54,5 tC.ha⁻¹). La supériorité du deuxième peuplement est due non seulement le nombre important de pieds qu'elle contient (densité) et aussi de sa richesse en arbres de plus gros diamètre par rapport au premier peuplement. Les deux peuplements présentent une différence non significative en termes de stock de carbone dans la biomasse vivante ($z = -1,33 > -1,96$). Ce résultat n'est pas le même avec ce qu'a été trouvé par Djuikouo et al. (2010) pour les trois types forestiers de la Réserve de Biosphère du Dja, au le Sud-est du Cameroun, qui fait partie de la forêt tropicale contigüe du Bassin du Congo, où la biomasse aérienne différait de façon significative ($F_{2,11} = 17,95$; $P < 0,001$), avec comme valeurs de la biomasse estimée à $596,1 \pm 62,24$; $401,67 \pm 58,06$ et $383,14 \pm 61,91$ Mg ha⁻¹ dans les FGD (forêts à *Gilbertiodendron dewevrei*), FTF (forêts hétérogènes sur terraferma) et FPI (forêts périodiquement inondées). Cette différence peut être due à la différence significative aussi trouvée en termes du nombre de tige par type de forêt étudiée.

Des données sont aussi fournies par Ebuy (2009) en présentant ses résultats selon les espèces, *Austranella congolensis* a démontré sa pertinence pour le stockage de l'élément carbone (373,9 Ct/ha) suivie de *Gilbertiodendron dewevrei* (229,3 Ct/ha et 121 Ct/ha) et en dernière position *Drypetes likwa* (113 Ct/ha). Dupouey et *al.* (1999), dans une étude couvrant 540 parcelles du réseau faisant le suivi des forêts européennes où le stock de carbone dans la biomasse des forêts françaises était évalué à 860 MtC pour 14,5 millions d'hectares de forêt. Razakamanarivo (2009) a trouvé 32 ± 13 Gg C se trouvent dans la biomasse aérienne et 67 ± 15 Gg dans la biomasse racinaire donc un total de 99 ± 28 GgC dans les plantations d'eucalyptus (E) à courte durée de rotation (5 ans) sur les Hautes Terres de Madagascar.

La surface terrière totale montre que la classe de 40 – 50 cm est celle occupant une grande surface à l'hectare dans le premier peuplement et la classe de 50 – 60 cm dans le deuxième peuplement. Cette tendance s'observe aussi pour la quantité de carbone séquestré dans chaque classe de dhp. Donc, la densité de peuplement n'est pas le seul paramètre pouvant justifier le stockage du carbone dans la biomasse d'un peuplement donné.

4.6. Stockage du carbone dans les débris (litière)

Les deux peuplements ne stockent pas la même quantité de carbone dans la litière. Le deuxième peuplement séquestre plus de carbone dans leur débris végétaux que le premier peuplement, soit $4,1 \text{ tC.ha}^{-1}$ contre $3,6 \text{ tC.ha}^{-1}$. Et toutes les deux peuplements présentent un total estimé à $7,7 \text{ tC.ha}^{-1}$. La différence est significative entre les deux peuplements ($p = 0,035 < 0,05$). Nos résultats paraissent légèrement inférieurs ou supérieures par rapport aux études des autres chercheurs. Légèrement inférieurs par exemple aux résultats de Razakamanarivo (2009) qui a trouvé que la litière au niveau des couches O_1 et $O_f + O_h$ contiennent respectivement environ 5,3 et 16,2 Mg C.ha⁻¹, et légèrement supérieure par exemple aux résultats de Harmand et *al.* (2004) qui ont trouvé 2 MgC.ha⁻¹ pour un peuplement d'*Eucalyptus camaldulensis* au Cameroun et de Laclau (2001) cité par Razakamanarivo (2009) qui a trouvé 3,3 MgC.ha⁻¹ sous des hybrides d'eucalyptus au Congo. Pour les forêts françaises, Dupouey et *al.* (1999) ont obtenus pour le 137 tC/ha du total moyen de l'écosystème, les débris prennent 6%. Ces différences peuvent être justifiées par le nombre d'arbres et la superficie considérée mais aussi par les conditions écoclimatiques différentes.

4.7. Stockage du carbone dans les sols

La séquestration du carbone n'est pas la même d'abord dans les deux strates et ensuite dans deux les peuplements. La première strate contient plus de carbone dans le premier peuplement par contre elle en présente moins dans le deuxième peuplement. En observant les deux peuplements, la moyenne des stocks de carbone des premières strates est de $14,7 \text{ tC.ha}^{-1}$ alors que celle des deuxièmes strates est de $13,5 \text{ tC.ha}^{-1}$. Entre les deux peuplements, c'est le deuxième peuplement qui stocke plus de carbone par rapport au premier peuplement, soit $30,7 \text{ tC.ha}^{-1}$ contre $25,6 \text{ tC.ha}^{-1}$. La comparaison intra-parcellaire montre une différence significative entre les deux strates du premier peuplement ($p = 0,014 < \alpha = 0,05$), par contre elle est non significative entre les deux strates du deuxième peuplement ($p = 0,303 > \alpha = 0,05$), et la comparaison inter-parcellaire montre que des différences sont non significatives entre les deux premières et deux deuxièmes strates ($p = 0,629 > \alpha = 0,05$) et $p = 0,456 > \alpha = 0,05$, et entre les deux peuplements ($p = 0,382 > \alpha = 0,05$). La différence est aussi non significative en fusionnant les deux peuplements ($p = 0,117 > \alpha = 0,05$).

En observant la concentration de carbone dans chaque couche, nous voyons que les deux peuplements présentent la même moyenne dans la première strate, soit $1,227 \%$ de carbone sec chacune, mais arrivé à la deuxième strate c'est le deuxième peuplement qui en présente plus, soit $0,787 \%$ contre $0,528 \%$. Un autre constat est que la première strate présente plus de carbone que la deuxième strate, et ceci est observé dans toutes les deux peuplements. Selon les résultats obtenus de la texture du sol, le sable et le stockage du carbone évoluent tous dans le même sens alors que l'évolution du pourcentage d'argile et de limon par rapport l'évolution de la quantité de carbone dans le sol n'est pas dans le même sens. La très faible quantité d'argile montre l'indisponibilité des éléments échangeables ainsi l'instabilité structure du sol. La nature de la texture (sablo-limoneuse) montre que le degré de lessivage des éléments minéraux est important jusque dans les couches profondes vu la faible teneur en argile qui allait jouer le rôle de rétention de ces éléments et de l'eau équilibrant ainsi la vitesse de décomposition de la litière.

Il y a une forte corrélation entre la densité apparente et le stockage du carbone dans le sol ; leur évolution est inversement proportionnelle signifiant que l'augmentation de la porosité du sol influe positivement sur l'incorporation des matières organiques dans le sol et qui dit matière organique dit carbone.

Le pH augmente avec la profondeur du sol, alors que le pourcentage de carbone diminue avec la profondeur. Il n'y a pas de significativité dans cette corrélation. La diminution du pH au niveau de la couche supérieure est justifiée par la texture du sol plus précisément par la quantité d'argile dans cette couche, ce qui signifierait que la concentration des éléments minéraux dans la couche superficielle dépend en grande partie de l'enrichissement en matière organique par la litière. Car, selon la littérature, Harmand et Njiti (1998) ont émis l'hypothèse en disant que la litière serait le principal élément qui maintient la fertilité du sol dans la région tropicale où la minéralisation est forte à cause d'une très faible quantité d'argile.

C'est ce qui nous permet d'affirmer notre troisième hypothèse en disant que la fonction puits de carbone du sol est fortement liée aux contributions considérables de la matière organique que des propriétés du sol.

La première couche a une grande porosité que la deuxième car vu l'inverse de la variation de la densité apparente c'est-à-dire qu'une faible densité apparente indique une forte porosité favorisant l'incorporation plus de la matière organique dont la perte est compensée par l'apport de la litière. Harmand et Njiti (1998) nous étaye à partir du résultat de leur étude en disant qu'il existe une corrélation significative ($r = - 0,65$; $P < 0,001$) entre la densité apparente et la teneur en carbone du sol cela signifie que la porosité du sol augmente avec l'incorporation de matière organique au sol. Selon ces auteurs, cette situation peut être due à plusieurs processus tels que la minéralisation des débris végétaux inclus dans le sol, créant des pores, l'activité de la faune du sol favorisant la formation de micro-galeries souterraines, la formation de micro-agrégats plus stables sous l'effet des apports organiques...

Le sol de ces deux peuplements présente une texture sablo-limoneuse. Selon la nature de ce type de texture, ce type de sol présente une faible capacité de rétention en l'eau et en éléments minéraux dans le sol. C'est ce qui expliquerait la faible teneur en carbone dans la deuxième strate que dans la première strate, car cette dernière étant enrichie par l'incorporation de la matière organique.

Concernant l'intérêt que présente l'argile vis-à-vis de stockage du carbone dans le sol, plusieurs auteurs l'ont déjà évoqué. Feller et *al.* (1991) avait trouvé que le contenu en carbone des différentes fractions varie selon la teneur en argile. Selon les résultats obtenus par Verneyre (2007), les parcelles plus argileuses (82 et 17a) semblent mieux stocker le carbone que les parcelles plus sableuses (19 et 84), en soutenant l'hypothèse qui dit que la teneur en argile du sol est un des facteurs majeurs dans la variabilité de la teneur en matière organique

du sol, et donc dans le stockage de carbone. Georges Siegenthaler essaie d'expliquer ce phénomène en disant que les argiles peuvent fixer la matière organique (humus) par adsorption sur/dans leurs feuillets par l'intermédiaire des oxydes et hydroxydes d'Al et de Fe qui forment un revêtement pelliculaire, plus les argiles sont fins, plus la matière organique est retenue, et plus la minéralisation est lente (www.domainedevens.com). Selon Kazakou (2006) une grande abondance des minéraux argileux réduira la vitesse de décomposition, du fait de la grande capacité du sol à retenir l'eau. Donc, une teneur importante d'argile donne une fixation importante de la matière organique, et donc du carbone dans le sol.

Les variations de la densité apparente sont faibles par rapport à celles de carbone. Notre résultat est étayé par celui de Verneyre (2007) dans ses investigations faites dans la zone de Fazenda en disant que la variation de la densité apparente du sol est faible en comparaison par exemple avec la concentration en carbone.

4.8. Bilan du carbone

Le deuxième peuplement a séquestré plus de carbone que le premier peuplement dans tous les trois compartiments [biomasses vivantes, débris végétaux et sol (25 premiers centimètres)], avec un total de 254,6 tC.ha⁻¹ contre 180,6 tC.ha⁻¹. En comparant les trois compartiments, c'est la biomasse vivante qui renferme une très grande partie de carbone séquestré dans ce peuplement, soit 83,8% ; suivie du sol avec 14,2% et ensuite vient le débris avec 2,0 % dans les 180,6 tC.ha⁻¹ du premier peuplement ; 86,3%, suivies du sol avec 12,1 %, ensuite le débris avec 1,6 % dans un total 254,6 tC.ha⁻¹ du deuxième peuplement ; et 85,3 %, suivies du sol avec 12,9 %, et les débris avec 1,8 % dans un total de 435,2 tC.ha⁻¹ que présente toutes les deux peuplements. La supériorité montrée par le deuxième peuplement peut être justifiée par le fait qu'il renferme plus de tiges à l'hectare, les arbres de plus gros diamètres ou encore une surface terrière très riche au niveau de la biomasse, une forte densité de la biomasse au niveau de débris, un pH de l'eau légèrement supérieure avec une faible salinité rapport au premier peuplement et un pourcentage élevé du carbone sec dans le sol.

Dans une Commune Rurale des Hautes Terres malgaches (Sambaina), Razakamanarivo, (2009) a estimé, pour un stock total de 238 ± 40 Gg C, 32 ± 13 Gg C se trouvent dans la biomasse aérienne, 67 ± 15 Gg dans la biomasse racinaire et 139 ± 36 Gg C dans les 30 premiers centimètres du sol. Harmand et al. (2004), ont obtenu en jachères âgée de 7 ans reboisée par *Eucalyptus camaldulensis* au Cameroun, dans un stock total de 40,5 tC.ha⁻¹, la biomasse aérienne et les racines font 24 tC.ha⁻¹, la litière prend 2 tC.ha⁻¹ et le sol renferme

14,5tC.ha⁻¹. Dupouey et *al.* (1999), a obtenu, dans une étude couvrant 540 parcelles du réseau faisant le suivi des forêts européennes, le total moyen de l'écosystème estimé à 137 tC.ha⁻¹, de ce total, le sol représente 51 %, les débris 6 %, les racines 6 % et la biomasse aérienne 37%.

Ces résultats nous permettent d'affirmer nos deux premières hypothèses, car les stocks de carbone séquestré dans les deux peuplements ne sont pas significativement différents bien que ceux-ci ne soient pas les mêmes, et aussi, le stockage de carbone dans les deux compartiments est fonction non seulement de la densité mais aussi de la surface terrière du peuplement.

Etant donné que l'enrichissement du sol en carbone est plus fonction de la quantité de la matière organique, nous remarquons qu'il existe une relation étroite entre les trois compartiments étudiés en termes de stockage du carbone. Car le stockage du sol varie en fonction de la biomasse vivante. Cela signifie que dans la parcelle où la biomasse est élevée c'est la parcelle qui acquise une faible densité de biomasse de la litière à l'hectare et un faible stock de carbone séquestré dans le sol. Donc, d'autres études doivent être faites en analysant la séquestration selon les différentes saisons pour étayer cette hypothèse.

CONCLUSION ET SUGGESTIONS

En sus des fonctions socio-économique et environnementale des plantations forestières de *Pericopsis elata*, la présente étude a estimé, analysé et comparé la quantité de carbone séquestré dans la biomasse vivante, les débris végétaux et le sol dans deux parcelles de *Pericopsis elata* de la plantation forestière de l'I.N.E.R.A-Yangambi à Yangambi.

Un inventaire des pieds à diamètre supérieur ou égal à 20 cm au niveau de 1,3 m à partir du sol a été effectué dans deux parcelles de 3600 m² chacune. La connaissance du diamètre nous a permis de quantifier le carbone séquestré dans la biomasse vivante à l'aide de l'équation générale adaptée pour les forêts tropicales humides. Cinq échantillons des débris ont été prélevés dans cinq différents points de prélèvement par peuplement dans une surface de 40 x 40 cm chacun, à partir desquels leur moyenne nous a permis d'estimer la densité de la biomasse. Ensuite, quatre strates d'une profondeur de 1 m nous ont servies pour savoir la quantité de carbone stockée selon la profondeur de chaque strate. Notons que les analyses texturales et les analyses de la densité apparente du sol sont allées jusqu'à 1m de profondeur du sol tandis que celles du pH et du pourcentage de carbone n'ont concernées que les vingt-cinq premiers centimètres du sol.

Les résultats ont montré que la différence n'est pas significative entre les deux peuplements en terme de nombre de tiges à l'hectare bien que ceci ne soit pas le même dans les deux peuplements, soit 153 tiges.ha⁻¹ pour le premier peuplement et 194 tiges.ha⁻¹ pour le deuxième peuplement. La densité moyenne de ces deux peuplements est estimée à 177 tiges.ha⁻¹.

La différence n'est pas significative entre les moyennes de dhp bien que le résultat ne soit pas le même, soit un dhp moyen estimé à 42,6 cm pour le premier peuplement et 44,3 cm pour le deuxième peuplement. Les deux peuplements présentent un dhp moyen estimé à 43,5 cm. Le premier peuplement renferme des arbres de plus grosses et de plus petites surfaces terrières que ceux de premier peuplement qui renferme les valeurs intermédiaires, ce qui confère au deuxième peuplement une plus grande richesse (31,9 m².ha⁻¹) par rapport au premier peuplement (22,8 m².ha⁻¹) en termes de surface terrière des arbres avec une différence non significative.

Quant aux analyses granulométriques du sol, le sol du premier peuplement présente 82,0 % du sable, 12,4 % du limon et 5,7 % d'argile et le sol du deuxième peuplement présent 83,6 % du sable, 13,4 % du limon et 3,1 % d'argile. En utilisant le triangle textural USDA, le sol de ces

deux parcelles présente une texture sablo-limoneux avec comme moyennes estimées à 82,8% pour le sable, 12,9% pour le Limon et 4,4% pour l'argile.

Les deux peuplements vivent sur sol fortement acide, avec une moyenne des pH de l'eau estimée à 4,2 dans toutes les deux peuplements et celle des pH CaCl₂ estimée à 3,5 dans le premier peuplement et 3,4 dans le deuxième peuplement.

Les deux peuplements séquestrent différemment le carbone dans tous les trois compartiments c'est-à-dire dans la biomasse vivante, dans le débris et dans le sol et ceux-ci sont en faveur du deuxième peuplement. Quant aux biomasses vivantes, le deuxième peuplement présente 79,1 tC.ha⁻¹ contre 54,5 tC.ha⁻¹ pour le premier peuplement avec une différence non significative. Pour la quantité de carbone séquestré dans le débris, le deuxième peuplement présente 4,051 tC.ha⁻¹ contre 3,577 tC.ha⁻¹ pour le premier peuplement avec une différence significative entre les deux peuplements. Enfin, pour ce qui est du sol, le deuxième peuplement présente 25,5 tC.ha⁻¹ contre 21,9 tC.ha⁻¹ pour le premier peuplement avec une différence déclarée significative.

Dans un total de 180,6 tC.ha⁻¹ stockés dans le premier peuplement, les biomasses vivantes présentent une grande partie soit 83,8%, suivie du sol avec 14,2% et le débris avec 2,0%. Dans le deuxième peuplement avec comme total 254,6 tC.ha⁻¹, les biomasses vivantes sont toujours en tête avec soit 86,3%, suivie du sol avec 12,1 %, ensuite le débris avec 1,6 %. L'ensemble de ces deux peuplements présente un total de 435,2 tC.ha⁻¹ dans lequel les biomasses vivantes renferment 85,3 %, le sol renferme 12,9 %, enfin les débris renferment 1,8 %.

La connaissance et la mise en évidence des différents paramètres étudiés nous ont révélés qu'il n'y a pas de différence entre les deux peuplements en terme de stock de carbone bien que la quantité ne soit pas la même, la quantité de carbone séquestré dans la biomasse vivante et litière est liée à la densité et la surface terrière de peuplement, la fonction puits de carbone du sol est plus liée aux contributions considérables de la matière organique que des propriétés du sol.

Etant donné que ces résultats et la poursuite des recherches dans la même voie (considération d'autres paramètres sur le bilan du carbone par an ainsi que le flux du carbone) trouvent leur intérêt avec les enjeux et besoins en connaissances internationales ou nationales sur l'appréciation rapide et fiable des capacités de fixation de Carbone atmosphérique des

plantations forestières, ces évaluations précises permettront non seulement à la RDC mais aussi à l'I.N.E.R.A-Yangambi de pouvoir suivre et bénéficier les avancées des négociations internationales sur la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), effectivement les résolutions post-Kyoto offriront des options prometteuses avec le processus REDD et devenir ainsi éligibles au Mécanisme pour un Développement Propre (MDP), nous suggérons que ce soit à la R.D.Congo et aussi à l'I.N.E.R.A-Yangambi de privilégier les recherches sur le carbone afin de bénéficier pleinement de la potentialité qu'elle renferme en multipliant des efforts pour la gestion durable de ces plantations forestières presque abandonnées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALIAPUR, 2007. La granulométrie. Filière de valorisation des pneus usagés. Recherche & Développement.71, cours Albert Thomas - 69003 Lyon –France. 8 p.www.aliapur.fr

Anonyme, 1999. Méthode d'Analyse Statistique : 6. Inférence Statistique – Test d'Hypothèses. ULB. Pp. 56 – 71.

Association nationale Les petits débrouillards, 2013. Les sols, terreau fertile pour l'EDD. Fiche activité 4 - Quelques propriétés du sol. Les Journées de l'ERE 2012-2013. 7 p.

Assumani A., 2009. Bilan dendrométrique de plantations expérimentales de *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen et *Millettia laurentii* De Wild. installées à Yangambi (R.D.Congo) entre 1938 et 1942. Mémoire D.E.A, Fac Sc./UNIKIS. 132 p.

Baert G., Van Ranst E., Ngongo M.L., Kasongo E.L., Verdoodt A., Mujinya B.B. & Mukalay J.M., 2009. Guide des sols en R.D.Congo. Tome II : Description et données physico-chimiques des profils types. 321 p.

Bernoux M., Feller C., Cerri C., Eschenbrenner V., Cerri E.P., 2004. Séquestration du carbone dans le sol. In: Roose E.J., G.D.N.N.G., Christian P., GanryF., Bourgeon G. (Ed.), Gestion de la biomasse, Erosion et séquestration du carbone. Pp. 29 – 42.

Boulier J. & Simon L., 2010. Les forêts au secours de la planète : quel potentiel de stockage du carbone ? Espace Géographique (EG). 17p.

Boyemba F.B., 2011. Ecologie de *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Belgique. 181 p.

Chéry P., 2008. Bases et techniques de la pédologie. Cours. INETAB. 28 p.

CITES, 2010. S'assurer que le commerce international des espèces d'arbres africaines inscrites à l'annexe II de la CITES est compatible avec leur conservation. Rapport du 2^{ème} Atelier Régional du Programme conjoint OIBT – CITES, Seme, Limbe, Cameroun du 29 septembre au 02 octobre 2010. 68 p.

Desbourdes L., Febvre V., Javaux B. & Thauvin G., 2008. Effets des changements climatiques sur l'évolution des stocks de carbone organique des sols forestiers. 8 p.

Diouf M., 2009. Les opportunités du carbone dans le sol pour le secteur de l'agriculture. Direction de l'Environnement et des Etablissements classes. Sénégal. 5p.

Direction Inventaire et Aménagement Forestiers (DIAF), 2009. Liste des Essences Forestières de la République Démocratique du Congo. Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature et Tourisme. République Démocratique du Congo. 50 p.

Djuikouo Marie. N. K., Doucet J-L., Nguembou C. K., Lewis L. S. & Sonke B., 2010. Diversity and aboveground biomass in three tropical forest types in the Dja Biosphere Reserve, Cameroon. African Journal of Ecology. Blackwell Publishing Ltd, Afr. J. Ecol., 48. Pp. 1053–1063.

Dupouey J.L., Siguand G., Bateau V., Thimonier A., Dhole J.F., Nepveu G., Bergè L. Augusto L., Belkacem & S., Nys C., 1999. Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. C.R. Acad. Agric. Fr, Vol. 85, n° 6. Pp. 293-310.

Ebuy J., 2009. Estimation du stockage de carbone dans les plantations de l'I.N.E.R.A.-Yangambi à Yangambi (R.D.Congo) :Cas d'*Austranella congolensis* (De Wild). A. Chev., de *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild) J. Léonard et « *Drypetes likwa* (J. Léonard. nomen) ». Mémoire D.E.A, Fac.Sc/Unikis. 133p.

FAO, 2002. La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. Rapport basé sur le travail de Michel Robert, Institut National de Recherche Agronomique, Paris, France. 70p.

FAO, 2012. Situation des forêts du monde. Rome. 52 p.

Feller C., Fritsch E., Poss R.&Valentin C., 1991. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferralitiques (Afrique de l'ouest, en particulier). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXVI, n°1.Pp. 25-36.

Fond pour l'Environnement Mondial (FEM). Un nouveau climat pour les forêts. L'action du FEM au service de la gestion durable des forêts. www.theGEF.org. 32p.

Gaudin S, 1996. Dendrométrie des peuplements. BTSA Gestion Forestière. Module D42, V.1.1. CHATEAUFARINE. 64 p.

Harmand J.-M. & Njiti C.-F., 1998. Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière. Agric Dév n°18. Pp 21–29

- Harmand J-M., Njiti C.F., Bernhard-Reversat F. & Puig H., 2004. Aboveground and belowground biomass, productivity and nutrient accumulation in tree improved fallows in the dry tropics of Cameroon. *Forest Ecology and Management* 188. Pp. 249 – 265.
- Hénin S., 1976. Cours de physique du sol : Texture – Structure –Aération. ORSTOM (Paris) et EDITEST (Bruxelles), Belgique. 159 p.
- IFP. Capter et stocker le CO₂ pour lutter contre l'effet de serre. L'action de l'IFP. www.ifp.fr. 16p.
- INUFA, 2005. Parlons fertilisant : Sol et ses constituants. 6 p.
- Jayaraman K., 1999. Manuel de statistique pour la recherche forestière. FAO, Coopération Hollandaise et Commission Européenne. FO: GCP/RAS/163/NET, FO : GCP/INT/679/EC. 239 p.
- Kabongo wa Tshikamba T., 2010. Etude corrélative entre la phénologie du *Pericopsis elata* HARMS et les paramètres éco-climatiques dans la région de Yangambi en République Démocratique du Congo. *Geo-Eco-Trop.*, n° 34. Pp. 127 – 138.
- Legendre P., 2007. L'inférence statistique : les tests d'hypothèse. Université de Montréal. Bio 2041. 16 p.
- Louppe D., 2008. Ressources végétales de l'Afrique tropicale. Bois d'œuvre 1. PROTA. 785 p.
- Louppe D., Ouatarra N'Klo & Oliver R., 1998. Maintien de la fertilité dans trois jachères arborées. Bilan minéral (Korhogo, nord Côte d'Ivoire). *Agric Dév* n° 18. Pp. 47–54.
- Maritxu G., 2005. Module Pédologie : Physique du sol. PAD. INPT-ENSAT. Pp. 36 – 47.
- Massenet J-Y., 2005. Chapitre I: Grosseur des arbres. Lycée forestier – Château de Mesnières. 12 p.
- Masson J-C., 2012. Comprendre la formation et la fertilité des sols. IFE. 5 p.
- Pearson T. & Brown S., 2005. Guide de Mesure et de Suivi du Carbone dans les Forêts et Prairies Herbeuses. Rapport Winrock International. 39 p.

Périé C., Ouimet R. & Duchesne L., 2006. Évolution contemporaine des principales caractéristiques dendrométriques des stations du RÉSEF. Mémoire de recherche forestière n° 149. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. 46 p.

Petit M., 2008. Livret sur l'environnement : Changement climatique mondial. Fiches pédagogiques élaborées Comité de par l'environnement de l'Académie des sciences à l'intention des enseignants du second degré. Institut de France, Académie des Sciences. 14p.

Razakamanarivo H., 2009. Potentialités de stockage du carbone dans le system plante-sol des plantations d'Eucalyptus des hautes terres malgaches. Thèse en cotutelle. Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques. 193 p.

Séguy L., Bouzinac S. & Quillet J. C., 2003. Dossier séquestration carbone : Et si on avait sous-estimé le potentiel de séquestration pour le semis direct ? Quelles conséquences pour la fertilité des sols et la production ? Document obtenu sur le site Cirad du réseau <http://agroecologie.cirad.fr>. 19p.

Siegenthaler G., le sol de la vigne. Vigneron. Domaine de Vens – le – HautF-74910 Seyssel, France. www.domainedevens.com. 61p.

TEREA, 2006. Dendrométrie et Topographie. Module 2. Formation de forestier aménagiste et de gestionnaire forestier. 46 p.

Verneyre L., 2007. Proposition de méthodologie d'évaluation des stocks de carbone des sols dans le projet « Puits de carbone PSA-ONF International » (Fazenda São Nicolau, Mato Grosso, Brésil). Mémoire. « Forêt, Nature et Société », ENGREF Centre de NANCY. 89p.

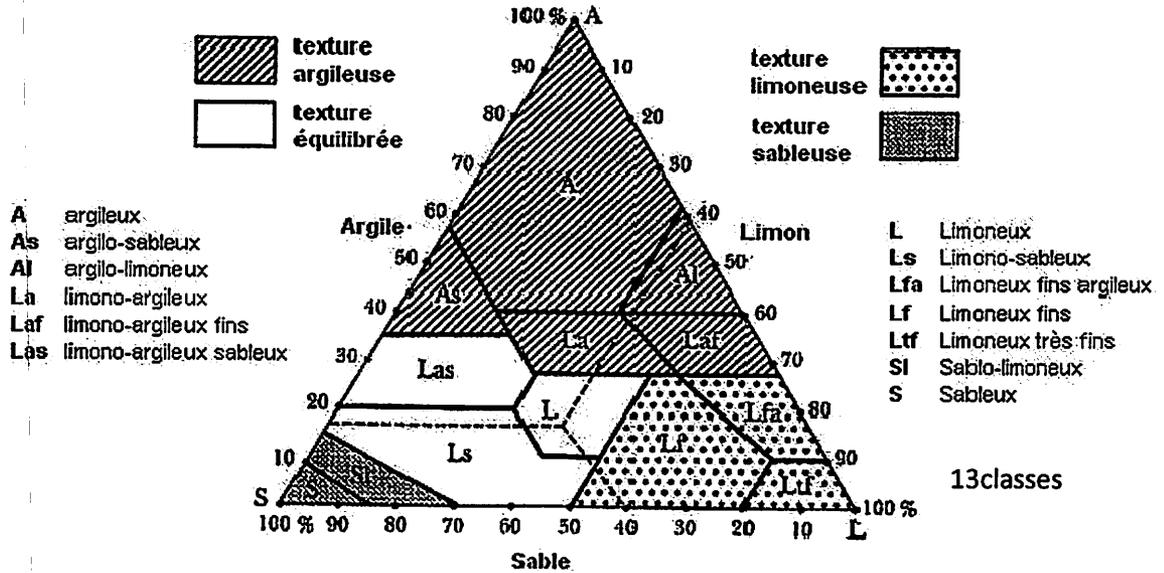
Woignier T, 2007. Relation entre la structure poreuse des sols à allophanes et le stockage du carbone : caractérisation expérimentale et modélisation. IRD ; UR Seqbio « Séquestration du carbone et bio fonctionnement des sols ». Pôle de Recherche Agro environnementale de la Martinique. 34p.

<http://agro-reporter.blogspot.com/2012/12/duo-de-ph-au-menu.html>. Consulté le 20/07/2013

ANNEXES

ANNEXE I : SOL

1.1.1. Diagrammes triangulaires des classes texturales de sol d'après les dimensions des particules (modèle USDA à 13 classes ; source : Masson, 2012)



Pour utiliser le diagramme, Il faut porter sur les trois axes les pourcentages d'argile, de limons et de sables. Pour chacundes points ainsi trouvés, il conviendra ensuite de mener une parallèle à l'axe précédent : l'intersection de ces troisparallèles désigne la classe du sol.

Ce triangle peut être expliqué dans un tableau de texture du sol (pourcentages, poids sec) basée sur la classification granulométrique USDA (US département of agriculture) comme suit :

1.2. Texture du sol (pourcentages, poids sec) basée sur la classification granulométrique USDA (US département of agriculture)

Appellation courante des sols	Sable	Limons	Argile	Classe texturale
Sols sableux (texture grossière)	86 – 100	0 – 14	0 – 10	Sable
	70 – 86	0 – 30	0 – 15	Sable limoneux
Sols limoneux (texture modérément grossière)	50 – 70	0 – 50	0 – 20	Limons sableux
Sols limoneux (texture moyenne)	23 – 52	28 – 50	7 – 27	Limons
	20 – 50	74 – 88	0 – 27	Limons silteux
	0 – 20	88 – 100	0 – 12	Limons très fins (silt)
Sols limoneux (texture modérément fine)	20 – 45	15 – 52	27 – 40	Limons argileux
	45 – 80	0 – 28	20 – 35	Limons sablo-argileux
	0 – 20	40 – 73	27 – 40	Limons silto-argileux
Sols argileux (texture fine)	45 – 65	0 – 20	35 – 55	Argile sableuse
	0 – 20	40 – 60	40 – 60	Argile silteuse
	0 – 45	0 – 40	40 – 100	Argile

1.3. Granulométrie, densité apparente, pH et carbone

Parcelle	Strate	%			Densité apparente (g/m ³)	pH		Ecart pH	% C sec	Carbone (tC/ha)
		Sable	Limon	Argile		H ₂ O	pHCaCl ₂			
1 ^{ère}	0 – 10	90,1	6,9	3,0	1,167	4,05	3,364	0,7	1,2273	14,2
	10 – 25	82,9	13,2	3,8	1,430	4,284	3,578	0,7	0,5276	11,4
	25 – 50	80,5	10,5	8,9	1,485	-	-	-	-	-
	50 – 100	74,4	18,8	6,9	1,556	-	-	-	-	-
2 ^{ème}	0 – 10	88,9	10,6	0,5	1,217	4,056	3,214	0,842	1,2268	15,1
	10 – 25	84,4	13,5	2,1	1,352	4,316	3,536	0,78	0,7874	15,6
	25 – 50	81,4	14,4	4,3	1,492	-	-	-	-	-
	50 – 100	79,7	15,0	5,3	1,563	-	-	-	-	-

1.3.1. Modes opératoires

1.3.1.1. Granulométrie

Celle-ci nous a permis de déterminer le pourcentage de sable, de limon et d'argile d'un échantillon représentatif du sol. Le principe consiste à la dispersion, au fractionnement et à la détermination des pourcentages pondérés des fractions.

La dispersion consiste à l'élimination des ciments (destruction des agrégats), peptisation des colloïdes (argiles) (individualisation des colloïdes) et la mise en suspension.

Pour ce qui est du dosage, nous avons pesé précisément environ 10,0 g d'échantillon sec du sol inférieur à 2 mm, l'échantillon est mis dans un bécher de 1000 ml. Ajouter 50 ml d'eau de Javel. Chauffer légèrement la solution sur une plaque chauffante tout en agitant pour démarrer la réaction. La solution est retirée après 15 minutes pour contrôler le dégagement gazeux. Attendre la fin de la réaction et ajouter encore 50 ml d'eau de Javel (après 15 minutes). Chauffer légèrement en s'assurant de bien contrôler la réaction. L'étape a été répétée deux fois jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'effervescence, donc un ajout total de 100 ml d'eau de javel. Chauffer jusqu'à la fin de la réaction (encore 15 minutes donc 30 minutes au total). Retirer de la plaque chauffante et laisser refroidir. Ajouter 10 ml de Na₂CO₃ à 2 % puis ajouter de l'eau pour obtenir un volume total d'environ 800 ml.

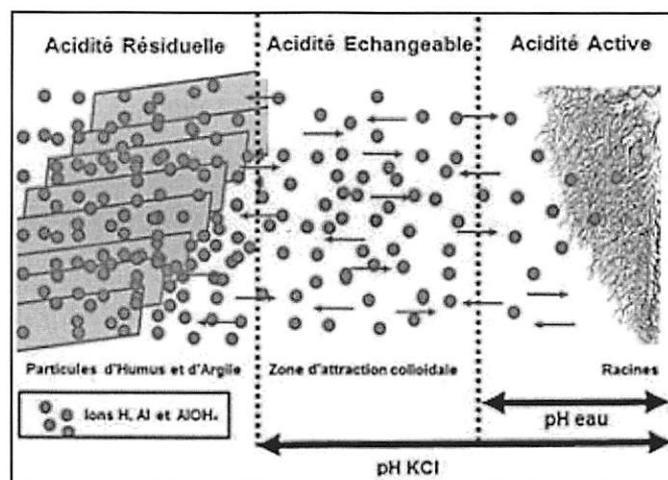
Pour quantifier chacune de particule, nous avons utilisé la décantation. La dernière solution 800ml est reposée pendant un temps nécessaire pour éliminer le plus petit limon, le surnageant contenant l'argile est siphonné, le mélange non siphonné est de nouveau porté au volume de 800 ml à l'aide du milieu de suspension, l'opération est répétée jusqu'à l'élimination complète de l'argile (surnageant claire, sans suspension), procéder au tamisage du contenu du bécher sur un tamis de 63 µm de porosité, rincer le bécher et les tamis à l'eau jusqu'à ce que l'eau de rinçage soit claire c'est-à-dire que le limon et le sable sont séparés par tamisage. Le tamisa est mis dans le petit bécher de 100 ml puis séché à 105 °C dans l'étuve

pendant une nuit. Placer les petits béchers au dessiccateur pendant au moins 4 heures et ensuite prendre le poids du bécher ensemble avec le contenu et le poids du bécher vide. La différence entre les deux poids donne la quantité de sable ou de limon. La quantité d'argile est alors la différence entre la quantité de l'échantillon préparée (10,0 g) et la somme de limon et sable (poids sec du résidu précipité).

1.3.1.2. pH

Les opérations consistaient à peser 10 g de sol tamisé à 2 mm de diamètre et déverser dans un flacon, ajouter 25 ml d'eau distillé, agiter avec intermittence pendant 30 minutes à 250 tours, laisser décanter pendant 30 minutes et le pH mètre préalablement étalonné, plonger l'électrode dans le surnageant et lire la valeur sur le cadre de l'appareil. L'acidité active est mesurée par le pH eau, ainsi appelé car la mesure se fait après avoir placé l'échantillon de terre dans de l'eau désionisée. Cette acidité présente pour l'agronome le pH de la solution du sol (lié aux ions H^+ dissous). On parle également d'acidité actuelle. Le pH eau est considéré comme celui que subissent les racines et les micro-organismes. D'une façon générale, en France par exemple, lorsque l'on parle de pH du sol, il s'agit du pH eau. Ce n'est pas le cas dans tous les pays, ce qui engendre des problèmes dans les traductions ou les échanges entre spécialistes.

L'acidité échangeable (ou d'échange) s'estime par le pH $CaCl_2$. L'eau utilisée pour la mesure du pH eau est complétée du chlorure de calcium. Le calcium va prendre la place des ions aluminium et hydrogène présents sur le complexe argilo-humique et facilement extractibles. Ces ions expulsés H^+ vont être dosés, en plus de ceux déjà présents dans la solution du sol. Le pH $CaCl_2$ est donc toujours plus acide que le pH eau. On parle d'acidité potentielle, c'est-à-dire, plus ou moins, le pH que peut atteindre un sol que l'on laisse évoluer sans chaulage. Dans certains pays, germaniques notamment, seul le pH sel est réalisé. Les agronomes y estiment que le pH eau est trop variable selon les années et les conditions de prélèvements, alors que le pH sel est plus stable et reflète mieux les échanges de la vie du sol. La figure 6 ci-dessous nous dit mieux en présentant les relations d'équilibres entre les différents types d'acidité (<http://agro-reporter.blogspot.com/2012/12/duo-de-ph-au-menu.html>).



Source : Brady and Weil, 2008

1.3.1.3. Dosage du Carbone

La méthode de Dumas consiste en une combustion totale de la matrice sous oxygène. Les gaz produits sont réduits par du cuivre puis desséchés. On procède avant tout par peser précisément (au 1/10 de mg) environ 10 mg de l'échantillon sec à l'air dans une cupule en aluminium puis placer les cupules dans le passeur d'échantillon.

Concernant le calcul, la teneur en carbone de l'échantillon est donnée directement par l'appareil en % C.

ANNEXE II. BIOMASSE VIVANTE

II.1. Diamètre à hauteur de la poitrine (dhp), Surface terrière et stock de carbone

N°	Peuplement	Circonférence (cm)	DHP (cm)	ST (m ² /ha)	Carbone (tC/ha)
1	I	70	22,3	0,108	0,46051357
2	I	73	23,2	0,118	0,5137532
3	I	77	24,5	0,131	0,59040926
4	I	91,5	29,1	0,185	0,92575621
5	I	97	30,9	0,208	1,07791807
6	I	98	31,2	0,212	1,10712899
7	I	103	32,8	0,235	1,26048734
8	I	103,4	32,9	0,236	1,2732887
9	I	104,5	33,3	0,242	1,30890465
10	I	105,5	33,6	0,246	1,34180994
11	I	111,5	35,5	0,275	1,54994905
12	I	112,5	35,8	0,280	1,58645029
13	I	113	36,0	0,282	1,60489766
14	I	114	36,3	0,287	1,64218768
15	I	117,2	37,3	0,304	1,76508704
16	I	118,5	37,7	0,311	1,8165844
17	I	120	38,2	0,318	1,87714297
18	I	121	38,5	0,324	1,91819742
19	I	122	38,9	0,329	1,95980075
20	I	123	39,2	0,335	2,00195572
21	I	123	39,2	0,335	2,00195572
22	I	124	39,5	0,340	2,04466506
23	I	125	39,8	0,346	2,0879315
24	I	125,5	40,0	0,348	2,10977448
25	I	127,5	40,6	0,360	2,19855277
26	I	128	40,8	0,362	2,22110062
27	I	129	41,1	0,368	2,26662261
28	I	130	41,4	0,374	2,31271524
29	I	130	41,4	0,374	2,31271524
30	I	132,5	42,2	0,388	2,43046089
31	I	134	42,7	0,397	2,50284556
32	I	140	44,6	0,433	2,80561213
33	I	140	44,6	0,433	2,80561213
34	I	140	44,6	0,433	2,80561213
35	I	141	44,9	0,440	2,85815692
36	I	141	44,9	0,440	2,85815692
37	I	141	44,9	0,440	2,85815692
38	I	144	45,9	0,459	3,01941535
39	I	146,5	46,7	0,475	3,15798839
40	I	147	46,8	0,478	3,18616405
41	I	150	47,8	0,498	3,35847217
42	I	150	47,8	0,498	3,35847217

43	I	151,5	48,2	0,508	3,44673247
44	I	154	49,0	0,525	3,5969828
45	I	156,5	49,8	0,542	3,75120442
46	I	163	51,9	0,588	4,17104549
47	I	166	52,9	0,609	4,37414955
48	I	166,4	53,0	0,612	4,40168087
49	I	169	53,8	0,632	4,58323875
50	I	170	54,1	0,639	4,6542765
51	I	170	54,1	0,639	4,6542765
52	I	182	58,0	0,733	5,56004044
53	I	182	58,0	0,733	5,56004044
54	I	211	67,2	0,985	8,17478243
55	I	222,4	70,8	1,094	9,37674749
56	II	65	20,7	0,093	0,3796094
57	II	77	24,5	0,131	0,59040926
58	II	79	25,2	0,138	0,63122715
59	II	80	25,5	0,142	0,65227005
60	II	90	28,7	0,179	0,88671093
61	II	96	30,6	0,204	1,04918711
62	II	97,5	31,1	0,210	1,09246335
63	II	98	31,2	0,212	1,10712899
64	II	105	33,4	0,244	1,32529434
65	II	105	33,4	0,244	1,32529434
66	II	106	33,8	0,248	1,3584518
67	II	107	34,1	0,253	1,39211576
68	II	107,5	34,2	0,256	1,40913859
69	II	108	34,4	0,258	1,42628913
70	II	110	35,0	0,268	1,49617561
71	II	111	35,4	0,272	1,53189447
72	II	112	35,7	0,277	1,5681342
73	II	112	35,7	0,277	1,5681342
74	II	113	36,0	0,282	1,60489766
75	II	113	36,0	0,282	1,60489766
76	II	113,3	36,1	0,284	1,61602925
77	II	115	36,6	0,292	1,68000708
78	II	115	36,6	0,292	1,68000708
79	II	116,4	37,1	0,300	1,73384896
80	II	119	37,9	0,313	1,83663464
81	II	121,3	38,6	0,325	1,93062066
82	II	123	39,2	0,335	2,00195572
83	II	123	39,2	0,335	2,00195572
84	II	123	39,2	0,335	2,00195572
85	II	126,5	40,3	0,354	2,15388168
86	II	132	42,0	0,385	2,4066231
87	II	132,3	42,1	0,387	2,42090839
88	II	133,5	42,5	0,394	2,47857179
89	II	134	42,7	0,397	2,50284556
90	II	134	42,7	0,397	2,50284556

91	II	136,4	43,4	0,411	2,62139765
92	II	137	43,6	0,415	2,65156551
93	II	140	44,6	0,433	2,80561213
94	II	140	44,6	0,433	2,80561213
95	II	142	45,2	0,446	2,91130399
96	II	145,5	46,3	0,468	3,10209908
97	II	146	46,5	0,471	3,12996684
98	II	151	48,1	0,504	3,41715551
99	II	151	48,1	0,504	3,41715551
100	II	151,5	48,2	0,508	3,44673247
101	II	153	48,7	0,518	3,53640831
102	II	158	50,3	0,552	3,84565985
103	II	161	51,3	0,573	4,03893534
104	II	161,4	51,4	0,576	4,06514785
105	II	161,5	51,4	0,577	4,07171732
106	II	164	52,2	0,595	4,23808589
107	II	164	52,2	0,595	4,23808589
108	II	164	52,2	0,595	4,23808589
109	II	165	52,5	0,602	4,30578643
110	II	170	54,1	0,639	4,6542765
111	II	172	54,8	0,654	4,79837851
112	II	172	54,8	0,654	4,79837851
113	II	173	55,1	0,662	4,87144757
114	II	174	55,4	0,670	4,94519854
115	II	175	55,7	0,677	5,0196338
116	II	178	56,7	0,701	5,24706915
117	II	179	57,0	0,709	5,32426538
118	II	182	58,0	0,733	5,56004044
119	II	185,3	59,0	0,759	5,82670539
120	II	189	60,2	0,790	6,13490392
121	II	189	60,2	0,790	6,13490392
122	II	200	63,7	0,885	7,10979438
123	II	210	66,9	0,975	8,07416357
124	II	217,4	69,2	1,045	8,83705305
125	II	233	74,2	1,201	10,586898

II.2. Fréquence, Dhp moyen, ST totale et Carbone total des arbres par classe de DHP

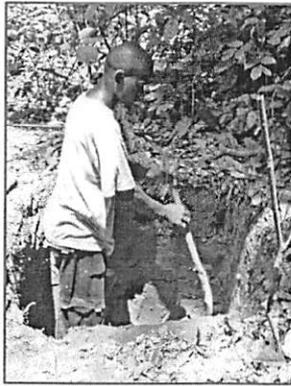
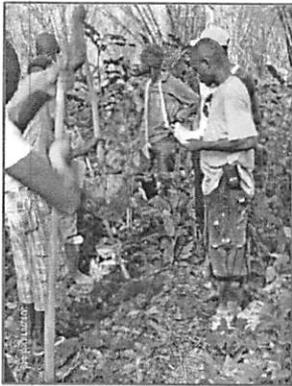
Peuplement	Classe de DHP	Fréquence relative (%)	DHP Moyen par classe des DHP (cm)	ST totale par classe de DHP (m ² /ha)	Carbone total par classe de dhp (T/ha)
1 ^{er}	20-30	7	24,8	0,54251261	0,89655561
	30-40	36	36,3	5,79285873	12,0010023
	40-50	38	44,8	9,22249316	21,6402307
	50-60	15	54,5	5,18451344	13,6651495
	60-70	2	67,2	0,98462933	2,94292168
	70-80	2	70,8	1,0938995	3,3756291
2 ^{ème}	20-30	7	24,9	0,68327584	1,13048165
	30-40	36	35,4	6,95391656	14,2187017
	40-50	24	44,7	7,62590679	18,0008868
	50-60	27	54,1	12,5506745	33,3039766
	60-70	4	64	2,90522735	8,64756396
	70-80	1	74,2	1,20065906	3,81128327

ANNEXE III. IMAGES DU TERRAIN ET DU LABO

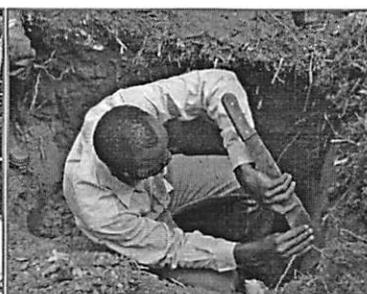
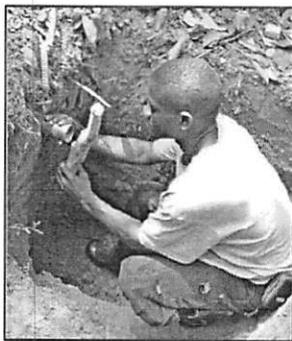
COLLECTE DE DEBRIS VEGETAUX



PROFILS PEDOLOGIQUES



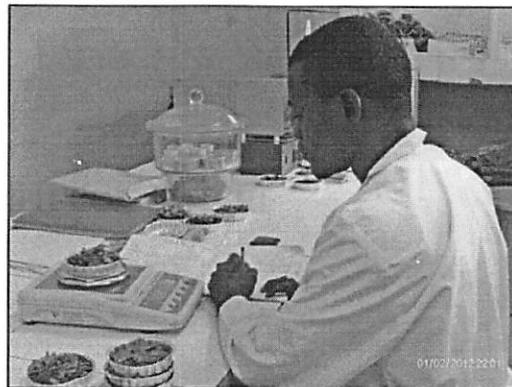
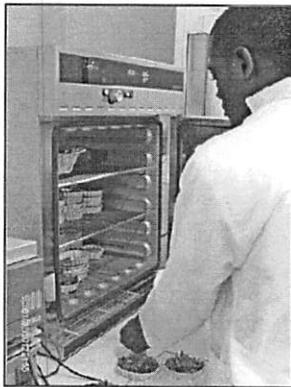
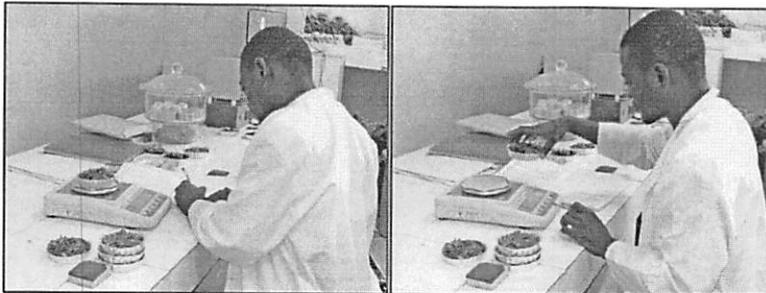
PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS DU SOL



DETERMINATION POIDS FRAIS TRIAGE DES DEBRIS VEGETAUX



POIDS SEC SOUS ECHANTILLON LITIERE

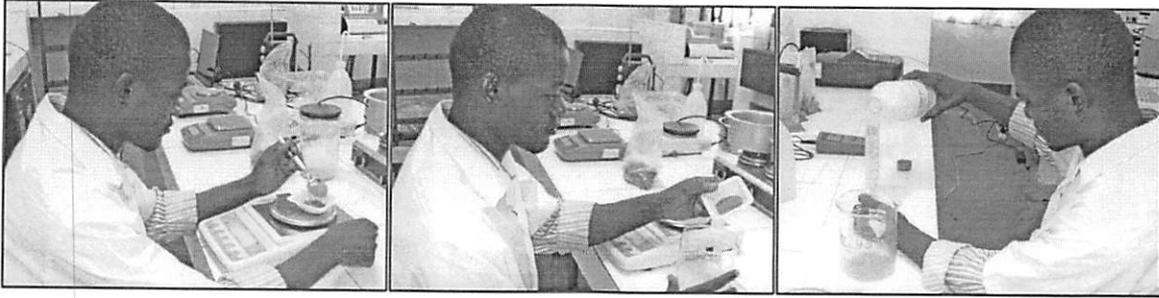


SECHAGE A L'AIRE LIBRE ET A L'ETUVE

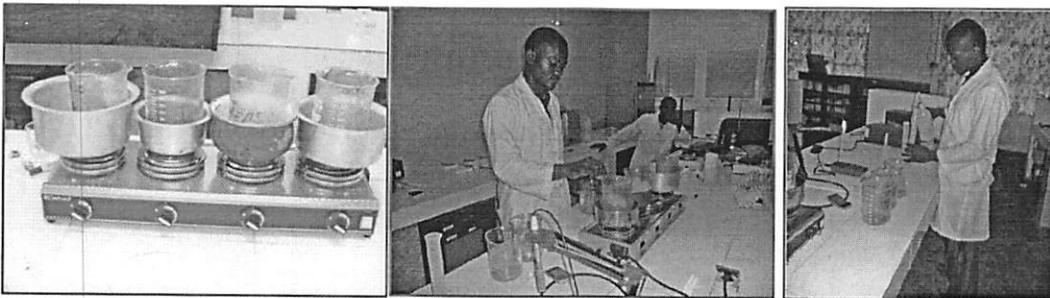


ANALYSES GRANULOMETRIQUES

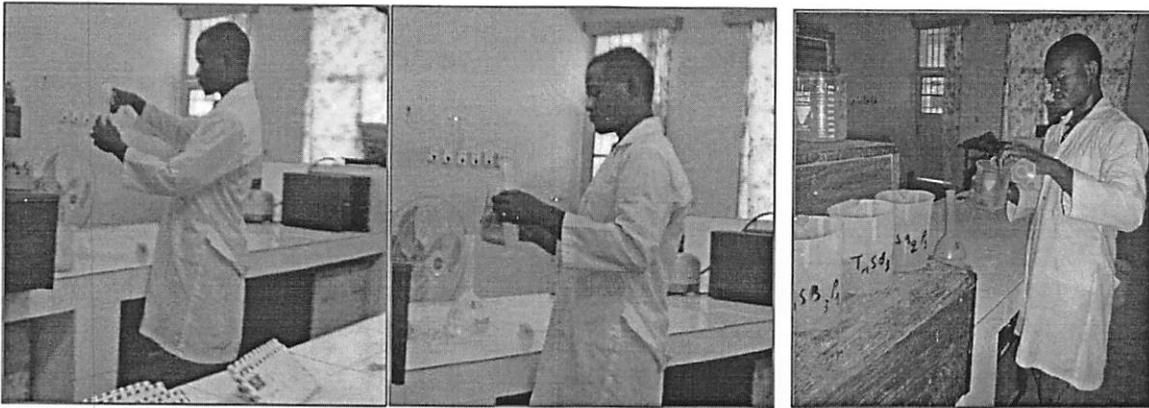
1) Prélèvement de 10 gr du sol après tamissage à 2 mm 2) Dosage 50 ml d'eau de Javel



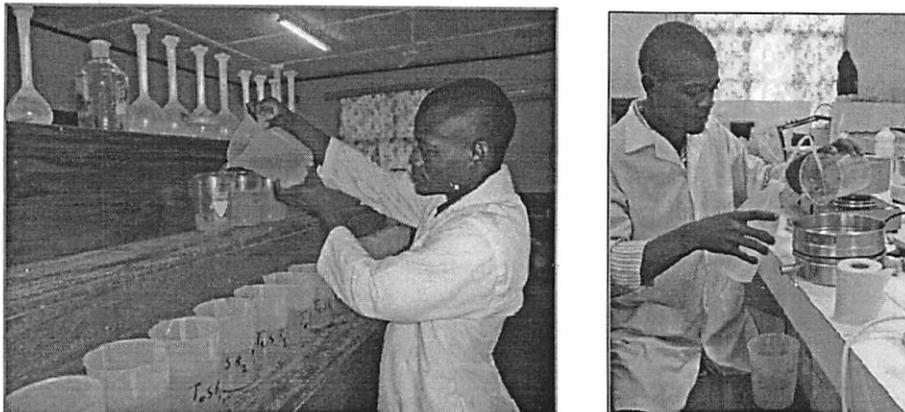
3) Préparation du sol



4) Dosage et ajout de 10 ml de NaCO_3



5) Décantation (élimination d'argile) quantification et séparation du sable avec limon)



6) Sechage des sable et limon à l'étuve

