

## Dynamique des peuplements arborescents des forêts semi-décidus non perturbées de la cuvette centrale Congolaise à Yoko, RDC

### *Dynamics of tree populations in undisturbed semi-deciduous forests of the central Congolese basin in Yoko, DRC*

Thierry BENGWELA MONGOLU<sup>1,4</sup>, Crispin BALO<sup>2</sup>, Félicien LUKOKI<sup>2</sup>, Faustin BOYEMBA BOSELA<sup>3,4</sup>, Pisco MENGA<sup>2</sup>

1. Section de Foresterie, Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques de Bengamisa (ISEA/B'SA).
2. Département de biologie, Faculté des Sciences et Technologie, Université de Kinshasa (UNIKIN).
3. Département de biologie, Faculté des Sciences, Université de Kisangani (UNIKIS).
4. Laboratoire d'écologie et aménagement forestier, Faculté des Sciences, Université de Kisangani (UNIKIS).

**Résumé.** La présente étude menée dans la réserve forestière de Yoko a porté sur l'aménagement des peuplements arborescents des forêts de la cuvette centrale Congolaise. L'inventaire en plein a été réalisé dans 9 ha du dispositif permanent du bloc Nord. Les mécanismes de la dynamique des peuplements des *Greenwayodendron suaveolens* [(Engl. & Diels). Verdc] et *Scorodophloeus zenkeri* [Harm] (Accroissements annuel diamétrique, Recrutement et la mortalité des arbres) ont été évalués au cours de la période allant de l'année 2015 et 2021. Les résultats de cette étude montrent que les accroissements moyens annuels des *Greenwayodendron suaveolens* ont été évalués à  $0,31 \pm 0,28$  cm/an avec la valeur maximale de 0,18 cm/an et minimale de 0,00 cm/an en 2021 et ceux de *Scorodophloeus zenkeri* ont été estimés à  $0,51 \pm 0,37$ cm/an avec la valeur maximale de 1,65 cm/an et minimale de 0,01 cm/an en 2021. Le taux de recrutements est de 0,53% pour *Scorodophloeus zenkeri* et de 0,14% pour *Greenwayodendron suaveolens*. Le taux de mortalité pour *Greenwayodendron suaveolens* est de 3,47% et 2,10% pour *Scorodophloeus zenkeri*. Cette étude démontre que les accroissements diamétriques entre les deux espèces (*Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri*) sont différentes selon leur classe de diamètre, l'analyse de Kruskal-Wallis montre que le p-value est inférieur à 0,5. (Kruskal-Wallis chi-squared = 3.4251, df = 4, p-value = 0.4894) pour *Greenwayodendron suaveolens* et (Kruskal-Wallis chi-squared = 29,726, df = 6, p-value = 0,00004431) pour *Scorodophloeus zenkeri*.

En effet, la végétation des écosystèmes forestiers est fonction des conditions de milieu d'étude. Il est nécessaire de connaître et comprendre le sens de cette dynamique pour une gestion durable de la forêt et à la mise en place de plans d'aménagements pertinents..

**Mots clés :** Dynamique, forêt, Cuvette centrale, Yoko.

**Abstract.** This study carried out in the Yoko forest reserve focused on the development of tree populations in the forests of the central Congolese basin. The full inventory was carried out in 9 ha of the permanent system of the North block. The mechanisms of *Greenwayodendron suaveolens* population dynamics [(Engl. & Diels). Verdc] and *Scorodophloeus zenkeri* [Harm] (Annual diameter increments, recruitment and mortality of trees) were evaluated during the period from 2015 to 2021. The results of this study show that the average annual increments of *Greenwayodendron suaveolens* were evaluated at  $0.31 \pm 0.28$  cm/year with the maximum value of 0.18 cm/year and minimum of 0.00 cm/year in 2021 and those of *Scorodophloeus zenkeri* were estimated at  $0.51 \pm 0.37$ cm/year with the maximum value of 1.65 cm/year and minimum of 0.01 cm /year in 2021. The recruitment rate is 0.53% for *Scorodophloeus zenkeri* and 0.14% for *Greenwayodendron suaveolens*. The mortality rate for *Greenwayodendron suaveolens* is 3.47% and 2.10% for *Scorodophloeus zenkeri*. This study demonstrates that the diameter increases between the two species (*Greenwayodendron suaveolens* and *Scorodophloeus zenkeri*) are different depending on their diameter class, the Kruskal-Wallis analysis shows that the p-value is less than 0.5. (Kruskal-Wallis chi-squared = 3.4251, df = 4, p-value = 0.4894) for *Greenwayodendron suaveolens* and (Kruskal-Wallis chi-squared = 29.726, df = 6, p-value = 0.00004431) for *Scorodophloeus zenkeri*.

Indeed, the vegetation of forest ecosystems depends on the conditions of the study environment. It is necessary to know and understand the meaning of this dynamic for sustainable forest management and the implementation of relevant development plans.

**Keywords:** Dynamics, forest, Central basin, Yoko.

#### Abridged English version

Studies to estimate the biomass of forest ecosystems (Brown 2002, Chave *et al.* 2004), evaluate floristic diversity and compare various parameters of the functioning of forest ecosystems. The latter, installed to monitor forest dynamics (growth and turnover of all species present) of forest stands disturbed or not by anthropogenic interventions, have contributed to improving knowledge of the functioning of these ecosystems and to ecology of their main species (Picard & Gourlet-Fleury 2008).

At the end of the inventory from 2015 to 2021 in the 9 ha plot, trees with DBH  $\geq 10$  cm were inventoried. Each hectare was subdivided into 100 plots of 10 m x 10 m. In each plot, the trees were inventoried, measured, marked with paint and positioned (coordinates (x, y)). We followed this procedure to quantify the processes of forest dynamics in the two blocks (North and South) six years after the measurements from 2015 to 2021. Trees with a diameter greater than or equal to 10 cm, or 31.4 cm of circumference were inventoried and positioned by their spatial coordinates x and y using the classic method

using the compass and decimeters (Picard & Gourlet-Fleury 2008).

The positioning of the trees was carried out during the inventory.

Once the tree was well positioned and identified, its diameter was measured, at a height marked on the trunk by a line of paint: 1.30 m most of the time, or above the large defects and/or buttresses, the paint being raised along the trunk at 4.50 m. The total diametric structure, or distribution of stems by diameter classes, was established by taking into account all individuals, and all species combined, for the case of our study only two individuals were taken into account. It carries certain information on the dynamics of the population.

The individuals of *Greenwayodendron suaveolens* measured during the 2015 and 2021 campaigns in the North

block of our study, by comparing these individuals, this does not give a difference depending on their mortality rate and recruitment rate.

The species of *Greenwayodendron suaveolens* and *Scorodophloeus zenkeri* in the plots of the North block were then subjected to a principal component analysis (PCA) for the valuation of plant groups in relation to their mortality and recruitment in 2021.

The annual diameter increments of *Scorodophloeus zenkeri* and *Greenwayodendron suaveolens* are significantly different between the different species at the 5% threshold, Kruskal-Wallis chi-squared=32.636, df=9, p-value=0.0001545 for *Scorodophloeus zenkeri*, and Kruskal-Wallis chi-squared=3.4251, df=4, p-value=0.4894 for *Greenwayodendron suaveolens* as shown in Table 5.

## INTRODUCTION

Les forêts d'Afrique centrale constituent le deuxième plus grand massif de forêts tropicales denses humides et le premier puit de carbone au monde. Elles s'étendent des côtes du golfe de Guinée à l'Ouest, aux montagnes du rift Albertin à l'Est, et couvrent près de sept degrés de latitude de part et d'autre de l'équateur. En majeure partie, elles appartiennent à l'ensemble des forêts guinéo-congolaises dont elles constituent plus de 80% de la superficie totale. Dans l'Ouest du Cameroun et dans l'Est de la République Démocratique du Congo, elles englobent aussi des forêts afro-montagnardes (PFBC 2006).

Quelle que soit leur diversité, les milieux forestiers ne sont pas statiques dans le temps et uniformes dans l'espace. Ils ont une dynamique qui leur est propre et qui peut changer en réaction à certains phénomènes, faisant ainsi état d'une mosaïque des peuplements d'arbres forestiers se renouvelant continuellement dans le temps et dans l'espace (Riera *et al.* 1988). Les changements peuvent être initiés par des perturbations, des conditions édaphiques et topographiques ou des conditions anthropiques qui transforment la structure et la composition (Alexandre 1982, Bertault 1991, Dupuy *et al.* 1997, Senécal 2011).

L'étude de la régénération est donc un thème fondamental pour les écologistes forestiers (Puig 2001). Il est essentiel pour les sylviculteurs de connaître les mécanismes de la régénération et de la dynamique forestière (croissance, recrutement et mortalité des arbres forestiers), afin de maîtriser l'exploitation à long terme des écosystèmes forestiers. La maîtrise de cette exploitation est l'un des défis majeurs de la gestion durable des forêts (Puig 2001 & Obame 2015). Ainsi donc, l'objectif majeur de ce travail est d'étudier la dynamique des peuplements des arbres forestiers de la réserve forestière de Yoko tout en mettant en évidence les effets de la concurrence sur la croissance des arbres semi-décidues non perturbées de la cuvette centrale congolaise.

## Matériel et Méthodes

La présente étude a été menée dans la parcelle permanente de 9 ha du bloc Nord de la Réserve forestière de Yoko (RFY) au Nord-Est de la République Démocratique du Congo (RDC). Cette réserve est comprise entre 00° 15' et 00° 20' latitude Nord, 25° 14' et 25° 20' longitude Est à une altitude moyenne de 420 m (Boyemba 2011). Elle est située sur la rive gauche du fleuve Congo dans le Secteur de Bakumu-Mangongo en Province de la Tshopo (Fig.1). La RFY est limitée au Nord par la ville de Kisangani et les forêts perturbées, au Sud et

à l'Est par la rivière Biaro qui la divise en deux blocs (nord avec 3370 ha et sud avec 3605 ha, soit une superficie globale de 6975 ha) et à l'Ouest par la voie ferrée et la voie routière qu'elle loge des points kilométriques 21 à 38 sur l'axe routier Kisangani-Ubundu (Lomba & Ndjele 1998).

Du point de vue phytogéographique, la réserve de Yoko est située dans la Région Guinéo-Congolaise (White 1983) entre le District Centro-oriental de la Maïko et celui de la Tshopo (Ndjele 1988), Domaine Congolais (White 1979), Secteur Forestier Central (Dewildman 1913). Les forêts sont réparties sur l'ensemble du territoire de la RDC. Elles englobent divers faciès écologiques : forêt dense sempervirente et semi décidue (surtout sur la cuvette centrale) ; forêts édaphiques ; forêt de montagne (surtout à l'Est), forêt claire et savane arborée (surtout dans le Sud) (Nshimba 2008).

La réserve forestière de Yoko, de par sa localisation dans la cuvette centrale congolaise, bénéficie du climat équatorial chaud et humide de type Af (température du mois le plus froid supérieure à 18°C et hauteur de précipitation du mois le plus sec supérieure à 60 mm) suivant la classification de Köppen 1936 (Boyemba 2011). A l'instar d'autres zones forestières de cette cuvette, la température moyenne annuelle oscille autour de 25°C et les hauteurs de précipitations annuelles varient entre 1500 et 2000 mm avec une moyenne de 1750 mm (Vandenput 1981). Il s'observe deux périodicités saisonnières : sèche (la grande et la petite) et pluvieuse (la grande et la petite).

Les sols de la réserve forestière de Yoko, classés dans la catégorie des sols ferrallitiques des plateaux de type Yangambi (Y<sub>1</sub>), présentent les mêmes caractéristiques reconnues aux sols de la cuvette centrale congolaise : sol de couleur ocre-rouge, acide, profond avec une dominance de la fraction sableuse sur les deux autres fractions granulométriques (argileuse et limoneuse), une altération poussée de minéraux primaires avec néoformation des argiles du type 1:1 de nature kaolinique à faible capacité d'échange cationique (moins de 16mé/100g de sol) (Kombele 2004).

La réserve forestière de Yoko se trouve dans la chorologie de l'ensemble de District de la Tshopo (Ndjele 1988) : District Centro-Oriental de la Maïko, Secteur Forestier Central de Dewildeman 1913, Domaine Congolais et Région Guinéo-Congolaise qui s'étend du Sud de l'Afrique de l'Ouest à l'Afrique Centrale (White 1979 et 1993 cités par Lomba 2007).

D'après la synthèse régionale de la combinaison d'une pré-stratification régionale et de l'identification des particularités des forêts de chaque pays du bassin du Congo (COMIFAC 2014), la végétation de la réserve forestière de

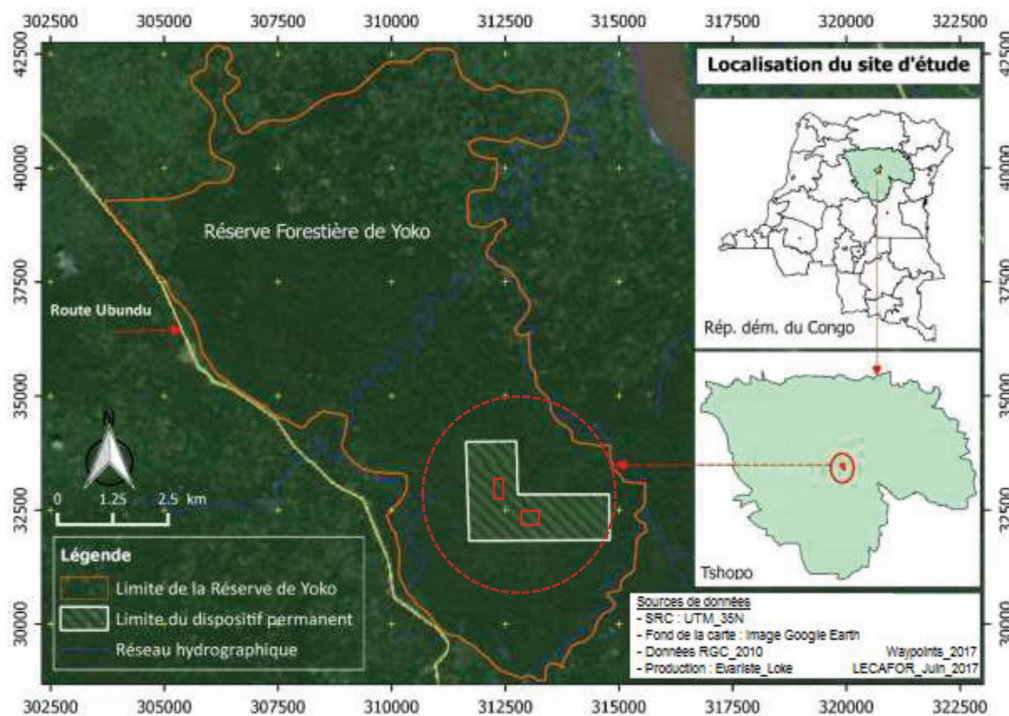


Figure 1. Carte de la réserve forestière de Yoko localisant l'emplacement du placeau de 400 ha en forme de « L » où sont installées les deux parcelles permanentes.

Figure 1. Map of the Yoko Forest reserve locating the location of the 400 ha "L" plot where the two permanent plots are located.

Yoko appartient à la forêt dense humide de transition entre le type sempervirent et le type semi-caducifolié.

Selon Letouzey 1968, ces forêts de transition sont caractérisées par l'abondance des *Fabaceae*. Dans cette zone, *Scorodophloeus zenkeri*, *Piptadeniastrum africanum* (Hook.f.) Brenan, *Cynometra sp*, *Prioria balsamifera* (Vermoesen) Breteler, ... représentent les principales espèces caractéristiques de cette famille. Les espèces grégaires telles que *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard, *Julbernardia seretii* (De Wild.) Troupin et *Pericopsis elata* (Harms) Meeuwen sont également bien représentées.

### Collecte des données

Les études d'estimation de la biomasse des écosystèmes forestiers (Brown 2002, Chave *et al.* 2004), d'évaluation de la diversité floristique et de comparaison de divers paramètres du fonctionnement des écosystèmes forestiers ont souvent été menées dans des dispositifs permanents. Ces derniers, installés pour le suivi de la dynamique forestière (croissance et turnover de toutes les espèces présentes) des peuplements forestiers perturbés ou non par des interventions anthropiques, ont contribué à l'amélioration de la connaissance du fonctionnement de ces écosystèmes et à l'écologie de leurs essences principales. Ils permettent également de faire un suivi de principales caractéristiques structurales de ces peuplements : structure diamétrique, biomasse, diversité floristique (Picard & Gourlet-Fleury 2008).

A Yoko, de nombreuses études ont été orientées à la description des principales formations végétales, à l'écologie des espèces caractéristiques, à leur distribution et à fournir des données structurales et floristiques de ces peuplements. La nécessité d'une connaissance approfondie de ces écosystèmes

forestiers naturels a conduit à l'installation des parcelles permanentes de 9 ha dans le bloc nord et 9 ha dans le bloc sud du placeau de 400 ha par le projet REAFOR (Relance de la Recerclé Agricole et Forestière en République Démocratique du Congo) pour le suivi de la dynamique forestière de tous les arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine est supérieur à 10 cm.

Une fois que l'arbre a été bien positionné et identifié, son diamètre a été mesuré, à une hauteur matérialisée sur le tronc par un trait de peinture : 1,30 m la plupart du temps, ou bien au-dessus des gros défauts et/ou des contreforts, la peinture étant remontée le long du tronc à 4,50 m. Les mesures ont été prises au DHP-mètre. Toutes les anomalies ont fait l'objet d'une codification particulière dans la base de données qu'il s'agisse de peintures remontées ou d'un manque de cylindricité du tronc rendant la donnée de diamètre particulièrement imprécise. La structure diamétrique totale, ou répartition des tiges par classes de diamètre a été établie en prenant en compte tous les individus, toutes les espèces confondues. Elle est porteuse de certaines informations sur la dynamique du peuplement.

A l'issue de l'inventaire en 2015 à 2021 dans la parcelle de 9 ha du bloc Sud, les arbres à DHP  $\geq 10$  cm ont été inventoriés. Chaque hectare a été subdivisé en 100 placeaux de 10m x 10m. Dans chaque placeau, les arbres ont été inventoriés, mesurés, marqués à la peinture. Depuis lors, une base des données a été créée pour loger les informations relatives au dispositif de Yoko.

### Calcul de l'accroissement diamétrique

La croissance est étudiée par le biais de l'accroissement en taille des individus. D'une manière générale, les arbres

avec contreforts ou dont la hauteur de mesure a été remontée entre les différentes périodes d'inventaire ne sont pas pris en compte pour l'étude de l'accroissement, de même que les arbres présentant des blessures ou autres anomalies sur le tronc. L'accroissement en diamètre entre deux inventaires réalisés à  $t_1$  et  $t_2$  est exprimé de la façon suivante :

$$\Delta d = \frac{dt_2 - dt_1}{t_2 - t_1}$$

Avec :  $\Delta d$  = accroissement diamétrique ;  $dt_2$  = diamètre au temps  $t_2$  ;  $dt_1$  = diamètre au temps  $t_1$ .

### Calcul du taux de recrutement

Le taux de recrutement annuel, noté  $r$ , se calcule classiquement comme le rapport entre le nombre d'arbres recrutés entre les temps  $t_1$  et  $t_2$  et le nombre total d'arbres vivants au temps  $t_1$  (de diamètre supérieur au diamètre de référence : 10 cm à 1,30 m du sol). Le recrutement, en valeur brute ou en taux annuel, peut être calculé soit en effectif, soit en surface terrière, soit en volume. Le taux de recrutement en effectif se calcule de la manière suivante :

$$\text{Taux de recrutement annuel (\%)} = 100 \times \left( \frac{N_{t_1, t_2}}{N_{t_1}} \right) / \Delta t$$

Avec :  $n_{t_1, t_2}$  = nombre d'arbres recrutés entre les temps  $t_1$  et  $t_2$  ;  $N_{t_1}$  = nombre total d'arbres vivants au temps  $t_1$  (de diamètre supérieur à celui de référence)

### Calcul du taux de mortalité

Différentes méthodes de calcul sont utilisables selon les données disponibles. Comme pour le recrutement, la mortalité peut être aussi calculée en effectif, en surface terrière, ou en volume. Le calcul du taux de mortalité en effectif s'effectue de la façon qui suit: Avec :  $N_t$  = effectif des survivants de la population de départ après  $t$  années. Les arbres recrutés ne sont pas pris en compte ;  $N_0$  = effectif de départ ;  $t$  = durée de la période de calcul.

$$\text{Taux de mortalité annuel (\%)} = 100 \times \left[ 1 - \left( \frac{N_t}{N_0} \right)^{\left( \frac{1}{t} \right)} \right]$$

### Analyse statistique des données

Les mesures des arbres ont été stockées dans la base de données et ont servi à l'analyse et à la quantification des différents processus de la dynamique forestière : croissance, recrutement et mortalité, en travaillant à l'échelle de l'individu. Dans ce travail, nous analysons les paramètres de la dynamique dans la réserve forestière de Yoko six ans après les mesures effectuées en 2015, 2018, 2019 et 2021. Différents logiciels ont servi à réaliser l'ensemble des calculs, des analyses statistiques et des graphiques présentés dans les résultats de ce travail et l'ensemble des tests statistiques ont été réalisés avec le logiciel R version 4.1.2.

## Résultats

### Taux de recrutement annuel des tiges adultes du *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri* (diamètre $\geq 10$ cm) dans le bloc Nord

Le tableau 1 montre le nombre des individus recrutés et le taux de recrutement pendant 6 ans d'observation : 230

individus de *Greenwayodendron suaveolens* mesurés pendant la campagne de 2015 dans le Bloc Nord, 2 individus ont été recrutés à la campagne de 2021, ce qui fait un taux de recrutement de 0,14 %. En comparant le recrutement des individus du bloc Nord ( $t=2,6471$ ,  $df=1$ ,  $p\text{-value}=0,2299$ ), cela ne donne pas de différence. 376 individus de *Scorodophloeus zenkeri* mesurés pendant la campagne de 2015 dans le Bloc Nord, 12 individus ont été recrutés à la campagne de 2021, ce qui fait un taux de recrutement de 0,53%. En comparant le recrutement des individus du bloc Nord ( $t=6,0476$  ;  $df=1$  ;  $p\text{-value}=0,1043$ ), cela ne donne pas de différence.

### Taux de mortalité annuel des tiges adultes du *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri* (diamètre $\geq 10$ cm) dans le bloc Nord

230 individus de *Greenwayodendron suaveolens* mesurés pendant la campagne de 2015 dans le Bloc Nord, 44 individus étaient retrouvés morts en 2021, soit un taux de mortalité de 3,47%. 376 individus de *Scorodophloeus zenkeri* mesurés pendant la campagne de 2015 dans le Bloc Nord, 45 individus étaient retrouvés morts en 2021, soit un taux de mortalité de 2,10%.

Le Tableau 3 nous montre le taux de mortalité en fonction des classes de diamètre. Le taux de mortalité le plus élevé est observé dans la classe 5 avec 3 individus morts, soit 6,53%. Cependant le taux le plus faible est observé dans la classe 2 avec 11, soit un taux de 2,57%. Pour *Greenwayodendron suaveolens*.

En tenant compte du taux de mortalité en fonction des classes de diamètre, le tableau 4 montre sur les 45 individus morts au bloc Nord, 9 dans la classe 5 et 0 dans la classe 10, soit respectivement un taux de mortalité s'élevant à 3,93% et 0,93%. Pour *Scorodophloeus zenkeri*.

### Relations spatiales entre les peuplements de *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri* entre les parcelles dans le bloc Nord

En fonction de leur abondance, les espèces des peuplements de *Greenwayodendron suaveolens* dans les parcelles du bloc Nord, l'analyse composante principale (ACP) a été faite afin de valoriser les groupements végétaux par rapport à la mortalité et recrutement en 2021.

Les deux premiers axes représentent 100 % de la variance expliquée pour le bloc Nord de *Greenwayodendron suaveolens* (Fig. 2).

L'axe 1 (53,5% de la variance expliquée) de *Greenwayodendron suaveolens* dans le bloc Nord.

- Dans les coordonnées positives, les parcelles (3, 4, 5, et 7) sont influencées par un nombre important des recrutés.

- Dans les coordonnées négatives, les parcelles (1, 2, 6, 8 et 9) sont influencées par un taux élevé des mortalités.

Les deux premiers axes représentent 100% de la variances expliquées pour le bloc Nord de *Scorodophloeus zenkeri* (Fig. 2).

L'axe 1 (53,5% et de la variance expliquée) *Scorodophloeus zenkeri* dans le bloc Nord.

- Dans les coordonnées positives, les parcelles (1,2, 5, 8 et 9) sont influencées par un nombre important des recrutés.

- Dans les coordonnées négatives, les parcelles (3, 4, 6 et 7) les parcelles sont influencés par un taux élevé des mortalités.

Tableau 1. *Taux de recrutement annuel des populations de GS : Greenwayondron suaveoleus et SZ : Scorodophloeus zenker*  
 Table 1. *Annual recruitment rate of populations of GS: Greenwayondron suaveoleus and SZ: Scorodophloeus zenker*

Espèces	Effectif initial	Recruté (6 ans)	Taux de recrutement annuel (%)
GS (Bloc Nord)	230	2	0,14
SZ (Bloc Nord)	376	12	0,53

Tableau 2. *Taux de mortalité annuel des populations de GS : Greenwayondron suaveoleus et SZ : Scorodophloeus zenker*  
 Table 2. *Annual mortality rate of populations of GS: Greenwayondron suaveoleus and SZ: Scorodophloeus zenker*

Espèces	Effectif initial	Morts (6 ans)	Taux de mortalité (%)
GS (Bloc Nord)	230	44	3,47
SZ (Bloc Nord)	376	45	2,10

Tableau 3. *Taux de mortalité en fonction des classes de diamètre du Greenwayodendron suaveolens dans le bloc Nord*  
 Table 3. *Mortality rate according to diameter classes of Greenwayodendron suaveolens in the North block*

**Légende :** **CD** : classes de diamètre (cm) ; **Ao** : effectif en 2015 ; **SV** : individus survivants en 2021 ; **M** : individus morts en 2021 ; **TM** : taux de mortalité (%)

Bloc Nord				
CD	Ao	SV	M	TM(%)
Classe1	66	45	14	3,89
Classe2	76	69	11	<b>2,57</b>
Classe3	54	42	12	4,10
Classe4	25	29	4	2,86
Classe5	9	6	3	<b>6,53</b>
Total	230	191	44	3,47

Tableau 4. *Taux de mortalité en fonction des classes de diamètre du Scorodophloeus zenkeri dans le bloc Nord*  
 Table 4. *Mortality rate according to diameter classes of Scorodophloeus zenkeri in the North block*

**Légende :** **CD** : classes de diamètre (cm) ; **Ao** : effectif en 2015 ; **SV** : individus survivants en 2021 ; **M** : individus morts en 2021 ; **TM** : taux de mortalité (%)

Bloc Nord				
CD	Ao	SV	M	TM(%)
Classe1	70	50	6	1,48
Classe2	55	57	3	0,93
Classe3	66	54	7	1,85
Classe4	48	57	5	4,2
Classe5	39	36	9	2,38
Classe6	52	44	7	2,74
Classe7	26	23	4	3,93
Classe8	14	17	3	3,65
Classe9	5	3	1	0
Classe10	1	2	0	0
Total	376	343	45	2,10

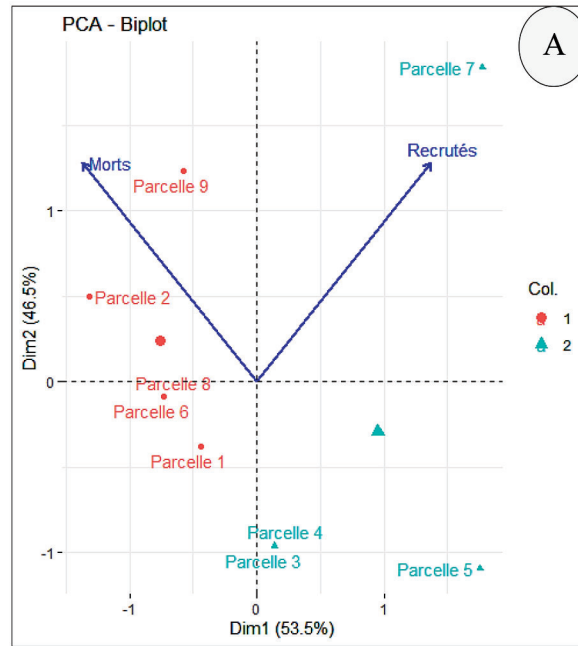


Figure 2. Ordination des parcelles d'inventaire par l'ACP de *Greenwayodendron suaveolens* dans les deux blocs d'inventaire (a. Bloc Nord).  
 Figure 2. Ordination of inventory plots by the ACP of *Greenwayodendron suaveolens* in the two inventory blocks (a. North Block).

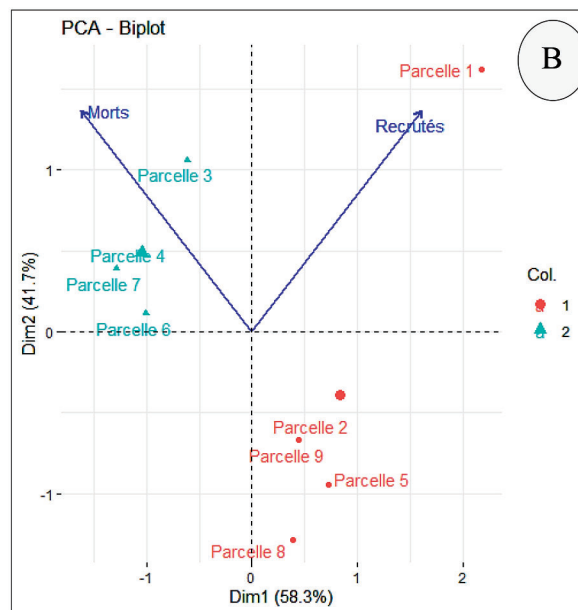


Figure 3. Ordination des parcelles d'inventaire par l'ACP de *Scorodophloeus zenkeri* dans le bloc d'inventaire (b. Bloc Nord).  
 Figure 3. Ordination of inventory plots by the PCA of *Scorodophloeus zenkeri* in the inventory block (b. North Block).

### Accroissement diamétrique annuel des tiges adultes du *Greenwayodendron suaveolens*, et *Scorodophloeus zenkeri* dans le bloc Nord

Les accroissements diamétriques annuels sont de  $0,51 \pm 0,37$  cm/an de *Scorodophloeus zenkeri* avec la valeur maximale de 1,65 cm/an et minimale de 0,01 cm/an tandis qu'il est de  $0,31 \pm 0,28$  cm/an de *Greenwayodendron suaveolens* avec la valeur maximale de 1,79 cm/an et minimale de 0,00 cm/an. Les accroissements moyens annuels sont significatifs différents entre les différentes espèces au seuil de 5%, Kruskal-Wallis chi-squared=32.636, df=9, p-value=0.0001545 pour *Scorodophloeus zenkeri*, et Kruskal-

Wallis chi-squared=3.4251, df=4, p-value=0.4894 pour *Greenwayodendron suaveolens*.

La figure 4 illustre que, les classes de diamètre [30-40[cm [40-50[cm sont celles qui présentent un accroissement annuel moyen plus élevé, soit respectivement 0.65 et 0.66. Tandis que le plus faible accroissement moyen annuel est observé chez celle à [10-20[cm, soit de 0.20 cm/an. Les accroissements moyens annuels sont significativement différents entre les différentes classes de diamètre au seuil de 5% (Kruskal-Wallis chi-squared= 9,726, df=6, p-value=0,00004431) de *Scorodophloeus zenkeri* (figure 3). La figure 4 illustre que, les classes de diamètre [20-30[cm [30-40[cm sont là les deux classes qui présentent un accroissement annuel moyen,

soit respectivement de 0.26 et 0.31. Les accroissements moyens annuels sont significativement différents entre les différentes classes de diamètre au seuil de 5% (Kruskal-Wallis chi-squared=3.4251, df=4, p-value=0.4894) de *Greenwayodendron suaveolens* (Fig. 4).

**Surface terrière des tiges adultes du *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri* dans le bloc Nord**

Les valeurs de dispersion des surfaces terrières des individus de *Greenwayodendron suaveolens* au sein de deux blocs (Fig.5). Dans le Bloc Nord, la surface terrière totale est de 1,17 m<sup>2</sup>/ha (0,15±0,08 m<sup>2</sup>/ha) pour l’année 2015, elle est passée de 1,2419 m<sup>2</sup>/ha (0,179± 0,099 m<sup>2</sup>/ha) à l’année 2021, soit 6 ans (t-apparié=-5,6968, df=8, p-value=0,0007863<0,05). Pour Bloc Sud, la surface terrière totale était de 1,214m<sup>2</sup>/ha (0,156±0,083 m<sup>2</sup>/ha) pour l’année 2015, elle est passée de 1,2567 m<sup>2</sup>/ha (0,213± 0,175 m<sup>2</sup>/ha) à l’année 2021, soit 6 ans (t-apparié=-6,2742, df=9, p-value=0,0008868<0,05).

Les valeurs de dispersion des surfaces terrières des individus de *Scorodophloeus zenkeri* au sein de deux blocs (Fig.6). Dans le Bloc Nord, la surface terrière totale était de 1,541 m<sup>2</sup>/ha (0,316±0,172 m<sup>2</sup>/ha) pour l’année 2015, elle est passée de 1,7523 m<sup>2</sup>/ha (0,277±0,199m<sup>2</sup>/ha) à l’année 2021, soit 6 ans (t-apparié = -6,6971, df = 8, p-value=0,0008861<0,05). Pour Bloc Sud, la surface terrière totale était de 1,738 m<sup>2</sup>/ha (0,2171±0,115 m<sup>2</sup>/ha) pour l’année 2015, elle est passée de 1,6568 m<sup>2</sup>/ha (0,283± 0,193 m<sup>2</sup>/ha) à l’année 2021, soit 6 ans (t-apparié=-6,967, df=8, p-value=0,0008997<0,05).

**Répartition spatiale et représentation des individus de *Greenwayodendron suaveolens*, et *Scorodophloeus zenkeri* en 2021**

Les individus des *Greenwayodendron suaveolens* inventoriés en 2021 montre que dans le Bloc Nord, le total de 230 individus inventoriés dans les 9 parcelles soit 21,22±7,74 ind/ha, le maximum était de 35 individus/ha et le minimum de 9 individus/ha. Les individus des *Scorodophloeus zenkeri* avec un total de 341 individus inventoriés dans les 9 parcelles soit 37,88±9,11 ind/ha, le maximum était de 60 individus/ha et le minimum de 29 individus/ha.

Les figures 8a et 9b nous font l’illustration de la répartition des individus des *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri* suivant les coordonnées (x ; y) dans les différentes parcelles dans le Bloc Nord.

L’analyse de la répartition spatiale des tiges de *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri* ont été étudiées à partir des individus inventoriés en 2021. Pour chaque distance *r*, on a défini une enveloppe de confiance de l’hypothèse nulle **H<sub>0</sub>** (répartition aléatoire) de distribution aléatoire des points (processus de Poisson) avec la méthode de Monte Carlo, qui est facile à interpréter. A partir de 1000 simulations, l’intervalle de confiance est calculé au risque de 5%. La distance *r* maximale d’interprétation doit être inférieure à la moitié de la plus grande longueur de la surface d’analyse, soit (100 m de rayon).

Les 9 carrés de Bloc Nord (soit 300 m : longueur de la surface), sur une distance *r* de 100 m d’analyse, les 191 tiges sont distribuées de manière aléatoire autour de 60 et 100 m.

Tableau 5. Accroissements diamétriques annuels des populations de *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri* dans le bloc nord  
Table 5. Annual diametric increases in populations of *Greenwayodendron suaveolens* and *Scorodophloeus zenkeri* in the northern block

Espèces	Accroissement diamétrique moyen (cm/an)	Maximum	Minimum
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	0,51 ± 0,37	1,65	0,01
<i>Greenwayodendron suaveolens</i>	0,31 ± 0,28	0,18	0,00

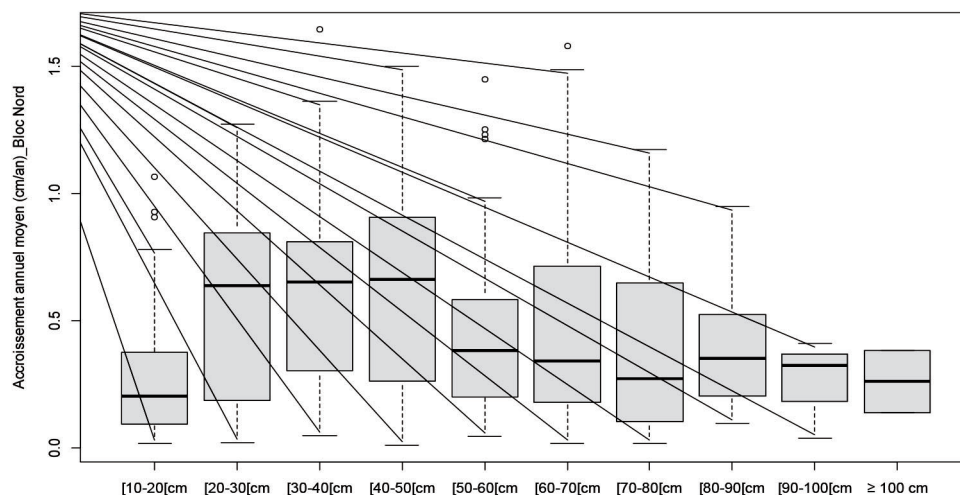


Figure 4. Dispersion des valeurs des accroissements annuels en diamètre en fonction des classes de diamètre de *Scorodophloeus zenkeri* au sein du Bloc Nord entre les années 2015 et 2021.

La boîte représente l’intervalle dans lequel sont groupés 50 % de l’accroissement annuel moyen, la barre épaisse à l’intérieur de la boîte indique la valeur moyenne des accroissements, la barre basse indique l’accroissement moyen minimal et la barre haute indique l’accroissement moyen maximal.

Figure 4. Dispersion of the values of annual increments in diameter according to the diameter classes of *Scorodophloeus zenkeri* within the North Block between the years 2015 and 2021.

The box represents the interval in which 50% of the average annual increment is grouped. The thick bar inside the box indicates the average value of increments, the lower bar indicates the minimum average increment and the tall bar indicates the maximum average increment.

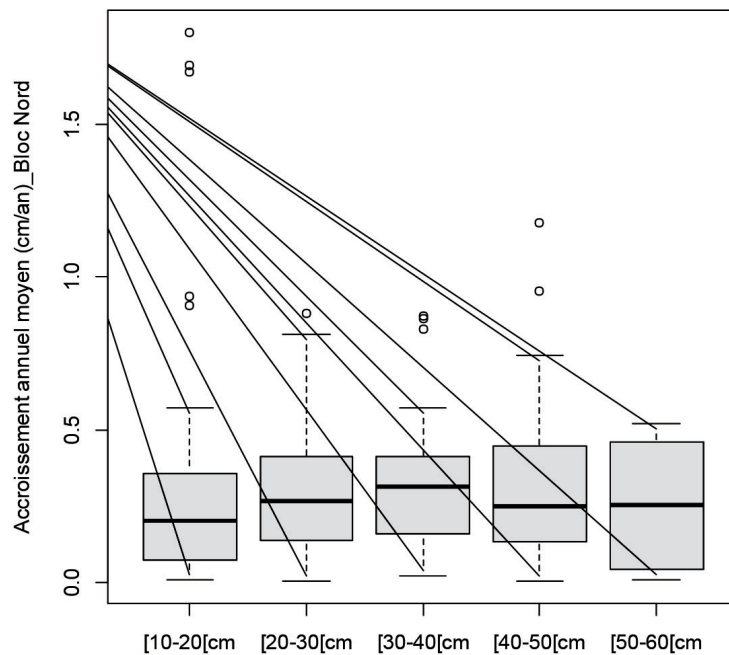


Figure 5. Dispersion des valeurs des accroissements annuels en diamètre en fonction des classes de diamètre de *Greenwayodendron suaveolens* au sein du Bloc Nord entre les années 2015 et 2021.

La boîte représente l'intervalle dans lequel sont groupés 50 % de l'accroissement annuel moyen, la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la valeur moyenne des accroissements, la barre basse indique l'accroissement moyen minimal et la barre haute indique l'accroissement moyen maximal.

Figure 5. Dispersion of the values of annual increments in diameter according to the diameter classes of *Greenwayodendron suaveolens* within the North Block between 2015 and 2021.

The box represents the interval in which 50% of the average annual increment is grouped. The thick bar inside the box indicates the average value of increments, the lower bar indicates the minimum average increment and the tall bar indicates the maximum average increment.

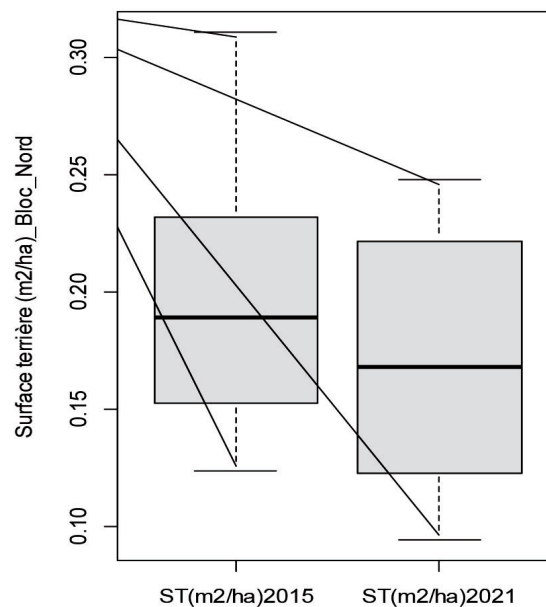


Figure 6. Dispersion des valeurs de surface terrière des individus de différentes classes de diamètre de *Greenwayodendron suaveolens* dans les deux bloc nord et sud de notre étude.

La boîte représente l'intervalle dans lequel sont regroupés 50 % des surfaces terrières et la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la surface terrière médiane ; la barre en dessous indique la surface terrière minimale et la barre au-dessus, la surface terrière maximale. Le point situé au-dessous, représente la valeur extrême supérieure par rapport à la surface terrière moyenne et n'est pas pris en compte (Bloc Nord).

Figure 6. Dispersion of basal area values of individuals of different diameter classes of *Greenwayodendron suaveolens* in the two northern and southern blocks of our study.

The box represents the interval in which 50% of the basal areas are grouped and the thick bar inside the box indicates the median basal area; the bar below indicates the minimum basal area and the bar above indicates the maximum basal area. The point below represents the upper extreme value compared to the average basal area and is not taken into account (North Block).



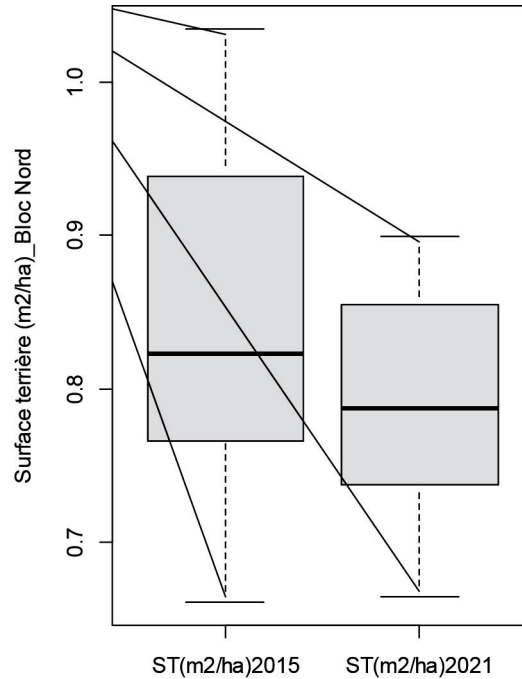


Figure 7. Dispersion des valeurs de surface terrière des individus de différentes classes de diamètre de *Scorodophloeus zenkeri* dans les deux bloc nord et sud (Bloc Nord).

Figure 7. Dispersion of basal area values of individuals of different diameter classes of *Scorodophloeus zenkeri* in the two northern and southern blocks (North Block).

Tableau 6. Nombre des individus dans les parcelles Bloc Nord en 2021

Table 6. Number of individuals in Bloc Nord plots in 2021

Blocs	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Total	Moy-Ec	Max	Min
GS BN	25	35	14	9	24	16	27	19	22	<b>191</b>	21,22±7,74	35	9
SZ BN	42	35	60	35	31	37	38	29	34	<b>341</b>	37,88±9,11	60	29

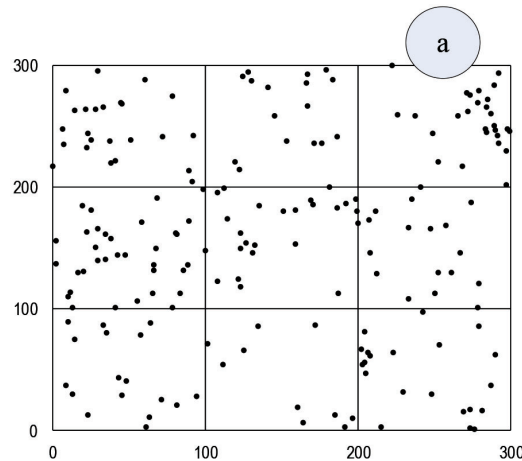


Figure 8a. Représentation des individus de *Greenwayodendron suaveolens* dans 9 ha du Bloc Nord en 2021  
Figure 8a. Representation of individuals of *Greenwayodendron suaveolens* in 9 ha of the North Block in 2021

cependant on observe une tendance à l'agrégation autour de 10 et 60 m de rayon, le pic d'agrégation est observé sur une distance  $r$  de 35 m, mais l'indice d'agrégation  $L(r) = 3$  est faible.

**Intertype entre les peuplements des *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri* dans le bloc Nord en 2021.**

En considérant ici comme peuplements d'arbres adultes celui dont le diamètre est supérieur ou égal à 30 cm, il s'agit des peuplements d'arbres de *Greenwayodendron suaveolens*

et *Scorodophloeus zenkeri*. La figure 8 montre le résultat de relation spatiale entre les peuplements d'arbres adultes de *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri* dans le bloc Nord. Le pic positif de la courbe  $L_{12}(r)$  supérieure à la limite de l'intervalle de confiance (pointillés verts) correspond aux distances pour lesquelles l'attraction interspécifique est la plus grande. La carte de répartition spatiale est illustrée par les figures ci-dessous, ce pendant la courbe passe dans l'intervalle de confiance, ce qui signifie que les deux espèces sont indépendantes entre elles.

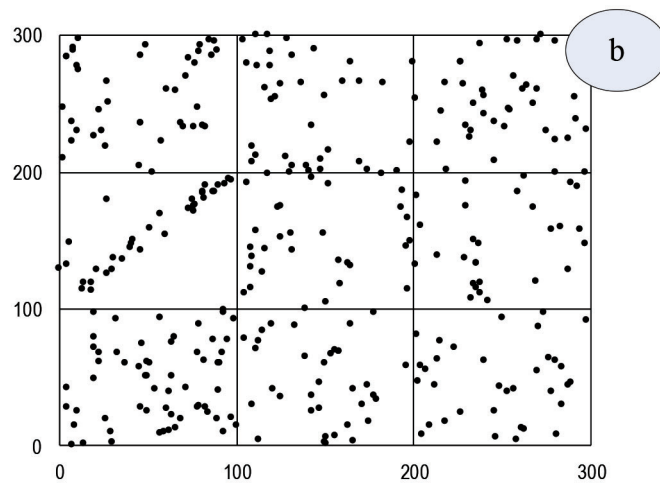


Figure 9b. Représentation des individus de *Scorodophloeus zenkeri* dans 9 ha du Bloc Nord en 2021  
 Figure 9b. Representation of individuals of *Scorodophloeus zenkeri* in 9 ha of the North Block in 2021

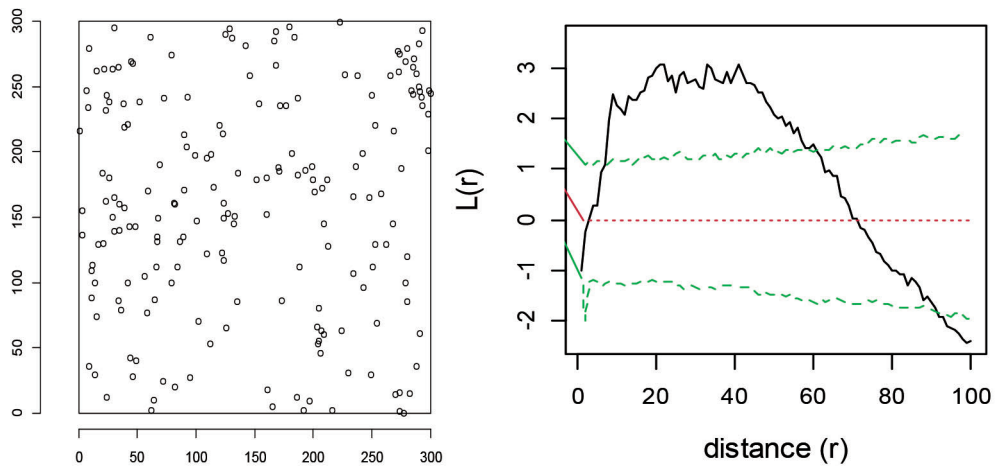


Figure 10. Indices  $L(r)$  des semis de points de (diamètre  $\geq 10$  cm) *Greenwayodendron suaveolens* en 2021 dans le bloc Nord.  
 Figure 10.  $L(r)$  indices of point seedlings of (diameter  $\geq 10$  cm) *Greenwayodendron suaveolens* in 2021 in the North block.

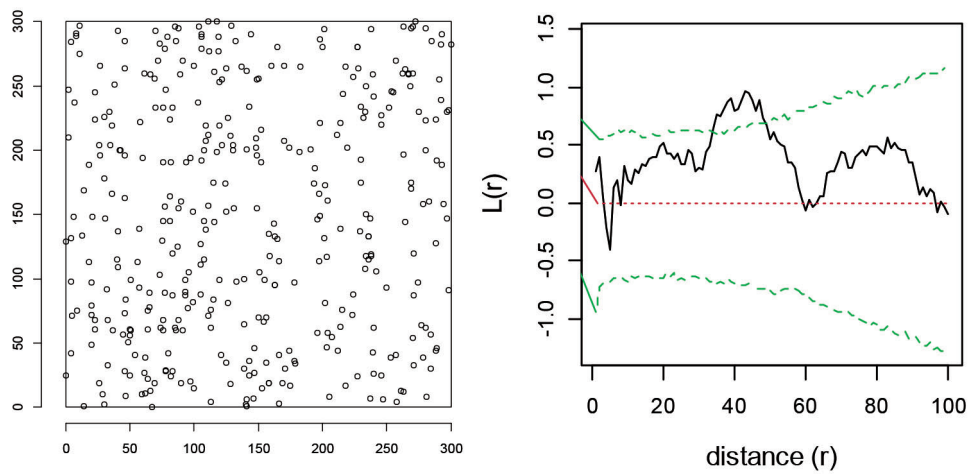


Figure 11. Indices  $L(r)$  des semis de points de (diamètre  $\geq 10$  cm) *Scorodophloeus zenkeri* en 2021 dans le bloc Nord.  
 Figure 11.  $L(r)$  indices of point seedlings of (diameter  $\geq 10$  cm) *Scorodophloeus zenkeri* in 2021 in the North block.

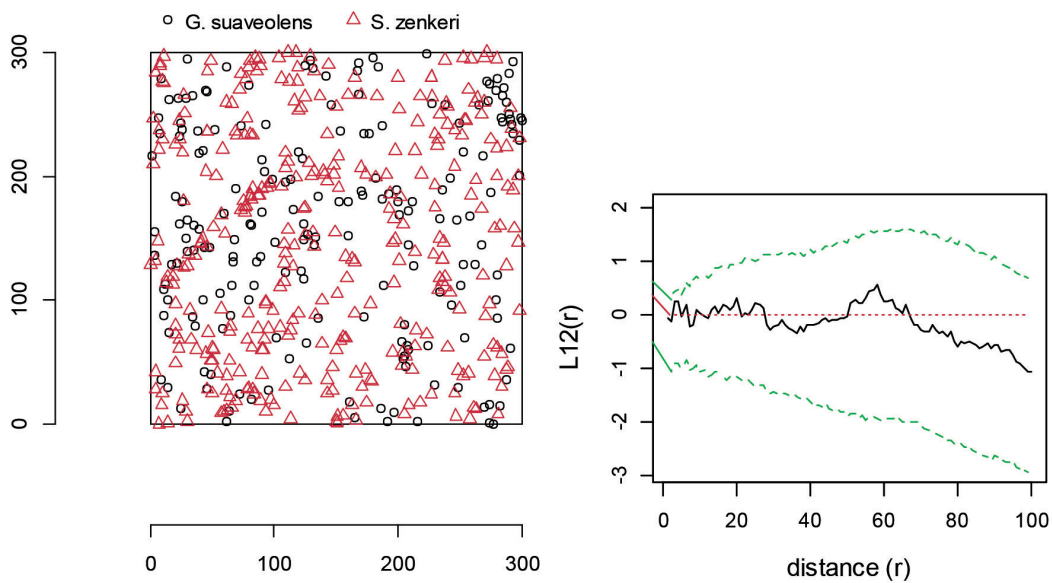


Figure 12. Intertype entre *G.suaveolens* et *S.zenkeri* Nord 2021.  
Figure 12. Intertype between *G. suaveolens* and *S. zenkeri* Nord 2021

## Discussion

### Taux de recrutement et mortalité

De 2015 à 2021, 6 ans de campagne de mensuration effectuée au bloc Nord, un effectif total de 230 individus de *Greenwayodendron suaveolens* ont été recrutés et 376 individus de *Scorodophloeus zenkeri* ont été recrutés au bloc Nord.

Kalidu 2016 dans son étude au bloc Nord dans la réserve forestière de Yoko 7 ans après, il trouve 11 individus de *Petersianthus macrocarpus* (P.Beauv.) Liben ont été recrutés, soit le taux de recrutement de 1,16%. Pour toutes les espèces confondues, dans la réserve de Yoko, Nyembo 2012 pour ses études obtient un taux de recrutement de 3,5%. Dans la région du lac Maï-Ndombe, Menga 2012 dans ses études dans la région du lac Maï-Ndombe obtient des valeurs oscillant autour de 3,91 à 8,62% pour l'espèce *Millettia laurentii* De Wild. inventoriée dans le groupement à *Picralima nitida* (Stapf) T.Durand & H.Durand et *Millettia laurentii* sur sol sablo-argileux.

Mukubi (2013) dans ses études à la réserve forestière de Yoko, trouve 44 individus recrutés pendant la période d'observation dans les deux blocs (Nord et Sud) avec un recrutement annuel moyen de 4,4 individus par hectare. Les espèces *Aidia micrantha* (K.Schum.) Bullock ex F.White, *Staudtia gabonensis* Warb. et *Pycnanthus angolensis* (Welw.) Warb. ont représenté chacune 9% du total d'individus recrutés, suivies de *Panda oleosa* Pierre et *Cola griseiflora* De Wild. avec un taux de recrutement chacune de 7%.

Gourlet-Fleury 1997 dans ses études à Paracou, a montré que le recrutement ne remplace pas la mortalité il présentait 0,8% du peuplement total vivant.

Menga (Op.cit) a obtenu les taux respectifs de 1,79 à 7,77% dans le groupement à *Millettia laurentii* et *Dichostemma glaucescens* Pierre ensuite de 2,34 à 2,58% dans le groupement à *Picralima nitida* et *Millettia laurentii*.

Pour la présente étude, 44 individus de *Greenwayodendron suaveolens* ont été trouvés morts au bloc Nord et un taux de

mortalité à 3,47% et 1,97%. 45 individus de *Scorodophloeus zenkeri* ont été trouvés morts.

Mukubi (Op.cit) trouve 30 individus morts dans l'ensemble des blocs de son étude. Il trouve les espèces *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri* représentaient chacune 13% des morts. Suivies de *Diogoa zenkeri* (Engl.) Exell & Mendonça avec un taux de mortalité de 10%, et *Aidia micrantha*, *Diospyros sp.*, *Microdesmis yafungana* J.Léonard et *Musanga cecropioides* R.Br. ex Tedlie avec un taux de mortalité chacune de 7%. Durrieu de Madron 1994 dans ses études à Paracou a montré que le taux de mortalité par classe de diamètre était de 0,7 à 2%. Brent *et al.* (2003) ont noté un taux de mortalité variant entre 0,2 et 0,8% dans ses études le constant a été également observé par Vallauri *et al.* (2002) en mentionnant les taux de mortalité variant entre 2 à 8,4% dans les forêts naturelles mixtes du Michigan et du Wisconsin. Durrieu de Madron *et al.* 1998 dans son étude à Mopri, a observé un taux de mortalité de 0,67% pour l'ensemble de dispositif permanent. Durrieu de Madron (Op.cit) a encore montré un taux de mortalité de 0,53% dans le dispositif d'Irobo en Côte d'Ivoire. Ces valeurs sont inférieures à celles que nous avons obtenues dans notre étudié. Ceci traduit un équilibre dans le peuplement étudié, car le recrutement compense la mortalité.

### Accroissement annuel moyen sur la surface terrière et la biomasse aérienne

Pour les espèces *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus zenkeri* 6 ans après, les accroissements annuels moyens des individus dans le bloc Nord, *Greenwayodendron suaveolens* accroissement annuel de  $0,31 \pm 0,28$  cm/an avec la valeur maximale de 0,18 cm/an et minimale de 0,00 cm/ en 2021. *Scorodophloeus zenkeri*  $0,51 \pm 0,37$  cm/an avec la valeur maximale de 1,65 cm/an et minimale de 0,01 cm/ en 2021.

Kochummen 1987 cité par Katusi 2015 dans la forêt de Malaisie où ils ont observé un accroissement diamétrique moyen compris entre 0,15 et 0,25 cm/an. Mengin- Lecreux 1990b cité par Katusi (Op.cit) à Paracou en Guyane, les accroissements moyens évalués sur une période de 5 ans variaient de 0,08 cm/an à 0,24 cm/an. Assumani 2009 trouve la valeur d'accroissement annuel moyen de *Petersianthus*

*macrocarpus* avec ceux de *Millettia laurentii* (0,52 à 0,94 cm/an, et *Pericopsis elata* (0,64 à 0,69 cm/an, mise à plantation ; les *Millettia laurentii* et *Pericopsis elata* ont des accroissements annuels moyens presque similaires à ceux de *Petersianthus macrocarpus*.

Concernant la surface terrière dans notre zone d'étude dans le bloc Nord de notre étude, *Greenwayodendron suaveolens* elle était de 1,174m<sup>2</sup>/ha (0,156±0,083m<sup>2</sup>/ha) pour l'année 2015, elle est passée de 1,24 m<sup>2</sup>/ha (0,17±0,09m<sup>2</sup>/ha) à l'année 2021. *Scorodophloeus zenkeri* au sein du le bloc Nord, la surface terrière totale était de 1,54m<sup>2</sup>/ha (0,31±0,17m<sup>2</sup>/ha) pour l'année 2015, elle est passée de 1,7523m<sup>2</sup>/ha (0,27±0,19m<sup>2</sup>/ha) à l'année 2021.

Kalidu (2016) dans son étude sur la même espèce, trouve qu'elle est passée de 0,95m<sup>2</sup>/ha en 2008 à 1,11m<sup>2</sup>/ha en 2015, soit un gain de 0,02m<sup>2</sup>/ha.

### Répartition spatiale et représentation des individus

La répartition spatiale de notre étude, montre que la courbe passe dans l'intervalle de confiance, ce qui illustre que les deux espèces sont indépendantes entre elles. Nous pensons que cette répartition est liée à la surface restreinte de notre étude.

Cependant, dans une grande surface d'analyse, soit 2000m x 1000m, Katusi (2015) au sein des deux sites d'études, la distribution spatiale des individus des deux espèces de *Guarea* est hétérogène cela serait liée à la topographie du terrain. Picard & Gourlet-Fleury (2008) et Lomba (2007), ont observé que l'espèce est agrégée dans les dispositifs de 400 ha à Yoko et à Biaro. De même Shaumba (2009) a observé l'agrégation de *Prioria oxyphylla* (Harms) Breteler dans le bloc Nord du dispositif permanent de Yoko.

Menga (2012), dans son étude sur le *Millettia laurentii* dans les parcelles de 300m x 300m trouve des agrégats de petite taille de rayon.

### Conclusion

La dynamique de la végétation dans les écosystèmes forestiers est fonction des conditions de milieu. Il est important de connaître le sens de cette dynamique pour une gestion durable de la forêt et la mise en place de plans d'aménagements pertinents. La présente étude a porté sur l'étude de la dynamique des peuplements des arborescents dans les forêts semi-décidus non perturbées de la cuvette centrale Congolaise à Yoko poursuivant comme objectif de comparer la dynamique de quelques paramètres structuraux des peuplements arborescents de *Greenwayodendron suaveolens* et *Scorodophloeus, zenkeri* à partir de l'analyse des données d'inventaire de 2015 à 2021 au cours desquelles les arbres morts, les accroissements et recrutés sont pris en compte. Les résultats démontrent que le taux de recrutement est supérieur à celui de mortalité, permettant de compenser le nombre d'arbres morts. Quant aux accroissements diamétriques, ils sont supérieurs à la perte due à la mortalité pourtant supérieure aux arbres recrutés. En étudiant la dynamique des peuplements arborescents dans une forêt non perturbée, cela a permis d'évaluer l'influence de la dynamique forestière (recrutement, mortalité et accroissement diamétrique des arbres) sur chacune de nos espèces d'étude.

De ces résultats, nous suggérons que la base de données soit régulièrement mise à jour et que les taxons inconnus soient identifiés. Une équipe dynamique de suivi permanent du dispositif devrait être mise en place.

### Remerciements

Nos sincères remerciements sont adressés aux comités des évaluateurs du journal qui nous ont permis d'améliorer la qualité de cet article et à mon épouse Elysée Makekera qui n'a cessé de m'encourager enfin de réaliser cette œuvre.

### Références

- Alexandre D.Y. 1982. Eude de l'éclaircissement du sous-bois d'une forêt dense humide sempervirente de Taï, Côte d'Ivoire. *Acta Oecologia Generalis*, 4, 3, 407-447.
- Alongo S. 2013. *Etude microclimatique et pédologique de l'effet de lisière en cuvette centrale congolaise : impact écologique de la fragmentation des écosystèmes. Cas des séries Yangambi et Yakonde à la région de Yangambi (R.D. Congo)*. Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles, 316 p.
- Assumani D. 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 de DEA, FS/UNIKIS, 119 p.
- Boyemba B.F. 2011. *Ecologie de Pericopsis elata (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée*. Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles, 181 p.
- Durrieu de Madron L. 1993. *Mortalité, chablis et rôle des trouées dans la sylvigénèse avant et après exploitation sur le dispositif d'étude sylvicole de Paracou*. Thèse de Doctorat, Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts, 203p.
- Favrichon V., Gourlet-Fleury S., Bar-Hen A. *et al.* 1998. *Parcelles permanentes de recherche en forêt dense tropicale humide . Eléments pour une méthodologie d'analyse des données*. Série Forafri CIRAD, France, 67p.
- Finegan B., Camacho M. & Zamora N. 1999. Diameter increment patterns among 106 treespecies in a logged and silviculturally treated Costa Rican rainforest. *Forest Ecology and Management*, 121,3, 159-176.
- Gazel M. 1983. *Croissance des arbres et productivité des peuplements en forêt dense équatoriale de Guyane*. Rapport O.N.F., 129p.
- Katusi L. R. 2015. *Ecologie de Guarea cedrata (A. Chev.) Pellegr. et Guarea thompsonii Sprague & Hutch. dans les forêts des environs de Kisangani : Cas des Réserves forestières de Yoko et de Biosphère de Yangambi (Province Orientale, R.D.Congo)*. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 166p.
- Kombebe F. 2004. *Diagnostic de la fertilité des sols dans la cuvette centrale congolaise*. Thèse de Doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, 421p.

- Lomba B. 2007. *Contribution à l'étude de phytodiversité à la réserve forestière de Yoko (Ubundu, RD. Congo)*. Mémoire de D.E.S, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 60p.
- Masiala G. 2009. *Analyse d'une zone de contact de la forêt à Gilbertiodendron dewevrei (De Wild.) J. Léonard avec la forêt semi-caducifoliée dans la réserve de la Yoko nord (RDC)*. Mémoire de DES, Faculté de sciences, Université de Kisangani, 103p.
- Mbasi M. 2013. *Etude de la variabilité structurale et floristique dans les peuplements forestiers hétérogènes de Yoko, RD Congo*. Mémoire de D.E.S, Mémoire de DES, Faculté de sciences, Université de Kisangani, 68p.
- Menga P. 2012. *Ecologie des peuplements naturels de Millettia laurentii De Wild. dans la région du lac Mai-Ndombe, en RD Congo - Implications pour la gestion durable d'une espèce exploitée*. Thèse Doctorat, Faculté de sciences, université de Kinshasa, 197p.
- Mukubi kikuni D. 2013. *Quantification des processus de la dynamique forestière : Accroissement diamétrique, recrutement et mortalité des arbres dans la réserve forestière de Yoko (Ubundu, R.D. Congo)*. Mémoire Master-DES/DEA en Gestion de la Biodiversité et Aménagement forestier Durable, Université de kisangani, 51p.
- Ndjele M.B. 1988. *Les éléments phytogéographiques endémiques dans la flore vasculaire du Zaïre*. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, 528p.
- Nshimba S.M. 2008. *Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbiye à Kisangani, R.D.Congo*. Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles, 272p.
- Pfbc 2006. *Les forêts du bassin du Congo. Une évaluation préliminaire*. Partenariat
- Picard N. & Gourlet-Fleury S. 2008. *Manuel de référence pour l'installation des dispositifs permanents en forêts de production dans le bassin du Congo*. CIRAD, Rapport COMIFAC, 265 p.
- Puig H. 2001. *La Forêt tropicale humide*. Belin, 250-304.
- Riera B., Puig H. & Lescure J-P., 1988. *La dynamique des forêts naturelle. Bois et Forêts des Tropiques*, 219, 70-78.
- Sonké B. 1997. *Etudes floristique et structurale des forêts de la réserve de faune du Dja (Cameroun)*. Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles, 276p.
- Vandenput R. 1981. *Les principales cultures en Afrique centrale. Tournai : publications D.G.A.*, Editions Lesaffre, hors-série, pp 228-259.
- White F. 1983. *The vegetation of Africa*. Paris, UNESCO, 356p.

Manuscrit reçu le 20/09/2024

Version révisée acceptée le 27/03/2025

Version finale reçue le 03/04/2025

Mise en ligne le 05/04/2025