Geo-Eco-Trop.,2022, 46.3 : 389-402

Analyse de la régénération naturelle dans le Bassin du Congo : cas de *Guarea cedrata* (A. Chev.) Pellegr. dans les massifs forestiers de la cuvette centrale de Yoko et de Yangambi (Tshopo, RD. Congo)

Analysis of natural regeneration in the Congo Basin: the case of *Guarea cedrata* (A. Chev.) Pellegr. in the forest massifs of the central basin of Yoko and Yangambi (Tshopo, DR. Congo)

Roger KATUSI LOMALISA[1], Hyppolyte NSHIMBA SEYA WA MALALE[2], Gracia LITUKA LOFUMBO[3] & Jean De Dieu MANGAMBU MOKOSO[4]

Abstract: The present study was conducted in the forest massifs of the central basin of the Yoko Forest Reserve and the Yangambi Biosphere Reserve respectively located in the Ubundu territory, 32 km southeast of the city of Kisangani and in the Isangi territory, 100 km west of the same city. To carry out this study, twenty plots of one hectare each were installed, ten of which were in Yoko and ten in Yangambi, where seedlings of different height classes were measured and their x, y coordinates were taken; the degree of illumination and the thickness of the litter were also taken into account. In all twenty plots, except for plot 6 in Yangambi site and 3 and 8 in Yoko site, which each contain two seedlings, the rest of the plots contain only one seedling. A total of 7440 seedlings were recorded in two sites, of which 3194 seedlings (or 319.4 stems/ha) in Yangambi and 4246 seedlings (or 424.6 stems/ha) in Yoko. The S1 height class contains more stems/ha (2511 stems/ha in Yangambi and 2951 stems/ha in Yoko) than the other classes, and their numbers decrease with increasing size of individuals. Most of the seedlings developed in the covered areas (292.5 stems/ha in Yangambi and 325.1 stems/ha in Yoko) compared to the other light levels, and the same was true for the thickness of the litter, where the highest numbers were observed in the thin litter (196.3 stems/ha in Yangambi and 398.9 stems/ha in Yoko) compared to the other two litter thicknesses. There was no clear correlation between seedling height and environmental factors, namely, light levels and litter thickness. The positions of the seedlings in relation to the seedlings were independent of each other; however, some attraction was observed at small scales of analysis in some of the plots surveyed.

Keywords: Regeneration, *Guarea cedrata*, Forest massifs, Yangambi, Yoko, DR. Congo.

Résumé: La présente étude a été menée dans les massifs forestiers de la cuvette centrale de la réserve forestière de Yoko et celle de Biosphère de Yangambi respectivement localisées dans le territoire d'Ubundu, à 32 km au Sud-Est de la ville de Kisangani entre 0° 15' et 0° 20' N, 25° 14' et 25° 20' E et dans le territoire d'Isangi, à 100 km à l'Ouest de la même ville entre 0° 38' et 1° 10' N, 24° 16' et 25° 08' E. Pour réaliser cette étude, vingt parcelles de un hectare chacune, ont été installés, dont dix à Yoko et dix autres à Yangambi à l'intérieur desquelles tes plantules de différentes classes de hauteur ont été mesurées ainsi que la prise de leurs coordonnées x,y ; l'appréciation de degrés d'éclairement et l'épaisseur de la litière ont été aussi prises compte. Dans l'ensemble de vingt parcelles, hormis la parcelle 6 dans le site de Yangambi et, 3 et 8 dans celui de Yoko,qui contiennent chacune deux semenciers, le reste des parcelles ne renferment qu'un seul semencier. Au total, 7440 plantules ont été recensées au sein de deux sites dont 3194 plantules (soit 319,4 tiges/ha) à Yangambi et 4246 plantules (soit 424,6 tiges/ha) à Yoko. La classe de hauteur S1 renferme plus d'effectifs (2511 tiges/ha à Yangambi et 2951tiges/ha à Yoko) que les autres classes et, leurs effectifs diminuent avec l'augmentation de la taille des individus. La plupart des plantules se développent dans les milieux couverts (292,5 tiges/ha à Yangambi et 325,1 tiges/ha à Yoko) par rapport autres degrés d'éclairement et il en est de même pour l'épaisseur de la litière où les effectifs les plus élevés sont observés sur la litière fine (196,3 tiges/ha à Yangambi et 398,9 tiges/ha à Yoko) par rapport aux deux autres épaisseurs de la litière. Il n'y a pas de corrélation bien marquée entre la hauteur des plantules et les facteurs environnementaux, à savoir, le degré d'éclairement et l'épaisseur de la litière. Quant aux positions des plantules par rapport aux semenciers, elles sont indépendantes les unes des autres ; toutefois, on observe une certaine attraction à des petites échelles d'analyse dans quelques parcelles inventoriées.

[1] Professeur, Laboratoire d'Écologie et Gestion de la Biodiversité Végétale (LEGEBIV), Département d'Écologie et Gestion des Ressources Végétales, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, RD. Congo, Email : katusi.roger@gmail.com
[2] Professeur ordinaire, Laboratoire d'Écologie et Gestion de la Biodiversité Végétale (LEGEBIV), Département d'Écologie et Gestion des Ressources Végétales, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, RD. Congo, Email : hippolytenshimba@gmail.com
[3] Assistante de recherche, Laboratoire d'Écologie et Gestion de la Biodiversité Végétale (LEGEBIV), Département d'Écologie et Gestion des Ressources Végétales, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, RD. Congo, Email : gracialituka@gmail.com
[4] Professeur, Laboratoire de Biosystématique, Biodiversité et Management des Écosystèmes (LBBME), Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université officielle de Bukavu, R.D. Congo, Email : mangambu2000@yahoo.fr & mangambujd@gmail.com

Mots clés : Régénération, *Guarea cedrata*, Massifs forestiers, Yangambi, Yoko, RD. Congo.

INRODUCTION

Les forêts tropicales du Bassin du Congo font partie des écosystèmes les plus riches de la planète et plusieurs auteurs les qualifient de « musées de diversité de deuxième poumon forestier mondial » (KOMLA et al., 2020). D'après les objectifs du Développement Durable, les études de la population des espèces sont nécessaires pour disposer d'une bonne connaissance de l'autoécologie de ces dernières afin de déterminer les conditions dans lesquelles elles se développent et mettre en place des règles appropriées de leur gestion (BALDWIN, 2009 ; ATSRI et al., 2018). En outre, la gestion durable des essences de bois d'œuvre exige de pouvoir prédire à long terme, le renouvellement et la qualité et/ou la quantité du stock exploitable (DURRIEU DE MADRO, 1994; GOREAUD, 2000; KATUSI, 2015), et cela nécessite de bien cerner les processus écologiques qui déterminent la dynamique de la régénération de ces dernières (BATSIELELI, 2008; KATUSI, 2015).

Cette connaissance sur la dynamique de ces essences est une nécessité pour le maintien de la ressource et passe par la compréhension des mécanismes de son renouvellement (BROKAW, 1982a; AUGSPURGER, 1984). Ce dernier est régi par les phénomènes de la floraison et de la fructification, suivi de la dissémination des diaspores et enfin, de leur germination éventuelle (NATHAN & MULLER-LANDAU, 2000; MULLER-LANDAU, 2002; JESEL, 2005; KATUSI, 2015) dont les plantules ainsi apparues vont ensuite croître où certaines vont mourir d'autres survivre, et poursuivre leur croissance (KATUSI, 2015). A long terme, les nouveaux individus deviendront des arbres semenciers qui remplaceront ceux qui meurent, et enfin, ils mourront à leur tour et seront remplacés par d'autres et ainsi de suite (ALGOËT, 2008; ARAÚJO, 2009; KATUSI, 2015).

Ainsi, une forêt se régénère par la restauration progressive au fur et à mesure que les individus âgés disparaissent et qui est avant tout liée aux porte-graines présents et au mode de leur dispersion (diaspores), que soit à petite ou plus au moins grande distance (KATUSI, 2009). Et cela est plus influencé par le tempérament des espèces, sciaphiles ou héliophiles à des degrés divers (KATUSI, 2009; 2015) et par conséquent, plus ou moins aptes à se développer dans le sous-bois perturber ou pas (ROLLET, 1969; SCHNELL, 1971; MANGAMBU ,2002 ; ABOTSI et al., 2015).

Cependant, une meilleure connaissance de ces mécanismes de régénération qui, encore très peu connus pour la plupart d'essences, est indispensable tant sur le plan scientifique que pratique en vue de leur gestion durable afin d'orienter la reconstitution des forêts diversement perturbées par l'activité anthropique (KATUSI, 2015) et définir les possibilités réelles d'aménagement spécifiquement dans le domaine des plantations forestières (ALEXANDRE, 1977; ALKEMADE, 2009).

Guarea cedrata (A. Chev.) Pellegr. est présent dans la province de la Tshopo en République Démocratique du Congo. Dans cette région, *P. elata* constitue la principale espèce exploitée comme bois d'œuvre par les sociétés multinationales, et cette espèce est pourtant inscrite sur la liste rouge des espèces menacées de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) suite au constat d'un déclin marqué de ses populations et d'une absence avérée de régénération naturelle sous canopée dense. Pour mener à bien cette étude, certaines questions ont été posées, notamment, à l'échelle locale, (i) quelle est la densité des plantules en fonction du semencier ou des semenciers? La densité des plantules est-elle influencée par l'intensité lumineuse et l'épaisseur de la litière ? Les positions des plantules dépendent-elles de celles du semencier ou des semenciers au sein de différentes parcelles inventoriées ? Pour répondre à toutes ces questions, les objectifs spécifiques suivants ont été poursuivis, entres autres, évaluer : (i) la densité des plantules en fonction du diamètre du semencier ou des semenciers ; (ii) la densité des plantules en fonction de l'intensité lumineuse et l'épaisseur de la litière et enfin, (iii) vérifier si les positions des plantules sont dépendantes ou non de celles du semencier ou des semenciers au sein de différentes parcelles inventoriées.

MATERIEL ET METHODES

Sites d'étude

En périphérie de la ville de Kisangani dans la cuvette centrale de la République Démocratique du Congo (RD. Congo), la pression anthropique croissante sur les écosystèmes forestiers périurbains menace la pérennité des biens et services qu'ils fournissent.

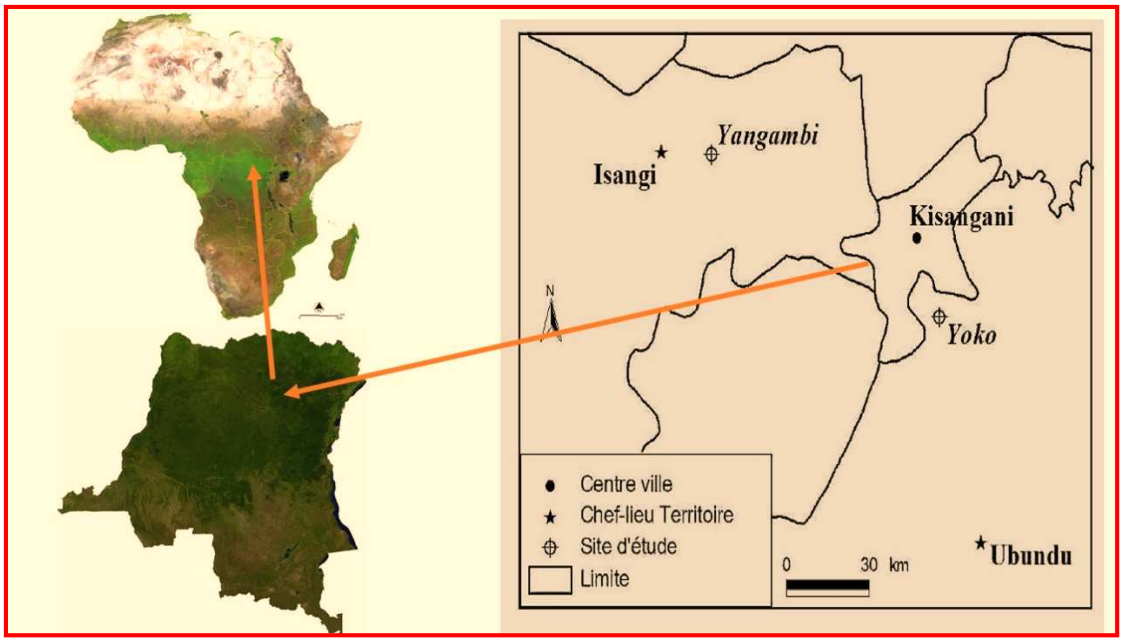


Figure 1.-Localisation de deux sites par rapport à la ville de Kisangani.

L'agriculture sur brûlis, les feux de brousse et la production de bois-énergie en sont les principales causes. Pour préserver cette forêt, cette étude a été menée dans deux sites : le site de Yangambi situé dans le territoire d'Isangi, à 100 km à l'Ouest de la ville, entre 0° 38' et 1° 10' N, 24° 16' et 25° 08' E et le site de Yoko situé dans le territoire d'Ubundu, à 32 km au Sud-Est de la ville de Kisangani, entre 0° 15' et 0° 20' N, 25° 14' et 25° 20' E (BOYEMBA, 2011; KATUSI, 2015; KATUSI et al., 2021) (Figure 1). Situé dans la zone équatoriale, les deux sites d'étude bénéficient d'un climat équatorial dont la température moyenne mensuelle varie entre 22,4 et 29,3°C, avec une moyenne annuelle proche de 25 °C et les précipitations annuelles varient entre 1.500 et 2.000 mm, avec une moyenne de 1.750 mm (VANDENPUT, 1981 ; MANGAMBU ,2002).

Approche méthodologique

Au total 20 parcelles de 1 ha chacune ont été installées en raison de dix parcelles à Yangambi (Figure 2) et dix autres à Yoko. Chaque parcelle de 1 ha est subdivisée en 100 placettes de 10 m x 10 m, à l'intérieur desquelles tous les individus à dbh ≥ 10 cm, ceux de 1 cm ≤ dbh < 10 cm et de différentes classes de hauteur, ont été inventoriés et positionnés par les cordonnées cartésiennes *x, y*. Il convient de signaler dans une parcelle, est considéré comme semencier, tout individu à dbh ≥ 30 cm.

Dans le cas où la parcelle a un seul semencier, ce dernier occupe le centre de cette dernière. Les plantules ont été catégorisés en 5 classes de hauteur (ALGOËT, 2008; BATSIELELI, 2008; MENGA, 2011; KATUSI, 2015; BBIDJO et *al.*, 2019; BBIDJO et al., 2020), et toutes ces mesures ont été matérialisées par un jalon gradué à des distances correspondant à chaque classe de hauteur, c'est-à-dire de 0-30 cm (S1) ; 30-50 cm (S2) ; 50-100 cm (S3) ; Tige à hauteur > 100 cm de hauteur mais à dbh < 1 cm et enfin ; Tige à 1 cm ≤ dbh < 10 cm (régénération acquise) (S5). Pour quantifier l'éclairement au niveau des plantules, la méthode des « points quadrats » (GREIG-SMITH, 1983 cité par DOUCET 1996, 2003) a été utilisée. La présence ou l'absence du couvert a été notée pour quatre classes de hauteur (0-2 m, 2-10 m, 10-20 m et ≥ 20 m). La principale source d'imprécision, provient de la difficulté d'estimer les hauteurs. Néanmoins, cette méthode permet d'évaluer et de comparer le couvert avec une fiabilité jugée satisfaisante, vu le nombre de mesures (MANGAMBU ,2002 ; KATUSI, 2009). Pour chaque placette de 10 m, quatre mesures du couvert ont été prises pour les 4 classes de hauteur. Ces mesures ont été prises aux quatre coins du carré (A, B, C et D) (la valeur 0 : présence du couvert et 1 : absence du couvert). La somme de celle-ci donne un indice de recouvrement du feuillage pour chaque hauteur, par exemple, une placette ayant comme indice 2 pour la classe de hauteur (10-20 m) signifie qu'à cette hauteur, il y a absence du couvert dans les deux coins du carré. D'autre part, pour l'analyse des données, l'indice de recouvrement utilisé est la somme des indices pour chaque hauteur. Cependant, pour ce travail, l'indice d'éclairement a été regroupé en 3 classes : la valeur de l'indice comprise entre 0 et 4: milieu couvert (DE1) ; 5 ou 6 : milieu légèrement couvert (DE2) et 7 ou 8 ou plus : milieu ouvert (DE3). Quant à l'épaisseur de la litière, est prise en compte dans cette étude par le fait qu'elle peut défavoriser la régénération suite à sa faible rétention d'eau et du fait qu'elle pourrait empêcher la graine d'arriver au sol. Pourtant, pour la germination, l'humidité est

un facteur nécessaire et indispensable en association avec la chaleur, de même que le contact avec le sol. L'épaisseur de la litière a été obtenue en la notant en classe : fine, moyenne et Épaisse en utilisant un jalon préalablement gradué de 0-5 cm ; 5-10 cm et > 10 cm (RAOLINANDRASANA, 1996; KATUSI, 2015; BBIDJO et al., 2019; BBIDJO et al.., 2020).



Figure 2.-Peuplement de *Guarea cedrata* (A. Chev.) Pellegr. Biosphère de Yangambi (© Jean de Dieu MANGAMBU, 2022)

Quant aux tests statistiques, le test d'Anova (F) a été utilisé pour comparer la densité des plantes de différentes parcelles au sein de deux sites et le test de Khi-carré (χ^2), pour comparer les effectifs des plantules en fonction des classes de hauteur, de degrés d'éclairement et de l'épaisseur de la litière.

Pour apprécier la répartition spatiale entre les plantules et les semenciers, la méthode intertype de DIGGLE (1983) cité par TRAISSAC (2003) a permis d'analyser les relations entre les plantules et les semenciers. L'hypothèse testée est l'indépendance des deux répartitions. Le principe est dérivé de la méthode de RIPLEY (1977) et le calcul est basé sur la fonction $K_{12}fun$ du package ads, grâce au logiciel R version 2.5, selon l'équation :

$$\hat{L}_{12}(r) = \sqrt{\frac{\hat{K}_{12}(r)}{\pi}} - r$$

Comme K(r), la fonction $K_{1.2}(r)$ est interprétée par la fonction $L_{1.2}(r)$ (BESAG, 1977 ; GOREAUD, 2000): $L_{1.2}(r) = 0$ traduit une indépendance entre les plantules et les semenciers (la courbe passe dans l'enveloppe de confiance). $L_{1.2}(r) > 0$ traduit une attraction entre les plantules et les semenciers (la courbe passe au-dessus de l'enveloppe de confiance) et inversement $L_{1.2}(r) < 0$ correspond à une « répulsion » entre les plantules et les semenciers (la courbe passe en dessous de l'enveloppe de confiance).

RESULTATS

Densité des plantules en fonction du diamètre du semencier ou des semenciers.

Dans l'ensemble de 20 parcelles d'un hectare chacune, hormis la parcelle 6 pour le site de Yangambi et les parcelles 3 et 8 pour le site de Yoko, qui contiennent toutes les deux semenciers, le reste des parcelles ne renferment qu'un seul semencier. Dans le site de Yangambi, le dhp le plus grand est observé chez le semencier de la parcelle 5 (dbh = 149,7 cm) et le plus petit diamètre chez ceux de la parcelle 7 (dbh_{moy} = 50,6 cm) tandis

qu'à Yoko, le dhp le plus grand est observé chez le semencier de la parcelle10 (dbh = 111,5 cm) et le plus petit, chez celui de la parcelle 7 (dbh = 41,7 cm).

La densité la plus élevée est observée dans la parcelle 10 (729 tiges/ha) et les autres parcelles ont moins de 500 tiges/ha dans le site de Yangambi tandis qu'à Yoko, la densité la plus élevée est observée dans la parcelle 3 (1.031 tiges/ha) suivies des parcelles 6 (1.021 tiges/ha), 5 (598 tiges /ha) et 7 (528 tiges/ha) tandis que les autres parcelles ont moins de 500 tiges/ha (voir Tableau 1). On note qu'il n'y a pas une différence d'effectifs des plantules au sein de differentes parcelles dans les deux sites au seuil de 0,05 (F= 0,72 ; p = 0,97).

Tableau 1.- Densité des semis en fonction du diamètre du semencier ou des diamètres des semenciers.

	Site de Yangambi			Site de Yoko		
Parcelle	Semencier	Dhp (cm)	Densité	Semencier	Dhp (cm)	Densité
Parcelle 1	1	91,8 cm	384	1	60,2 cm	120
Parcelle 2	1	72,3 cm	377	1	95,5 cm	190
Parcelle 3	1	64,5 cm	262	2	76,8 cm	1031
Parcelle 4	1	81,7 cm	198	1	66,9 cm	219
Parcelle 5	1	149,7 cm	223	1	93 cm	598
Parcelle 6	2	53,7 cm	381	1	101,9 cm	1021
Parcelle 7	1	50,6 cm	190	1	41,7 cm	528
Parcelle 8	1	86 cm	302	2	79,6 cm	225
Parcelle 9	1	77,4 cm	148	1	57,3 cm	200
Parcelle 10	1	63,2 cm	729	1	111,5 cm	114
Total	11		3194	12		4246
Moyenne			319,4			424,6
Ecart-type			167,6			356,1

Le tableau 1 indique que, sur l'ensemble de deux sites, la densité totale des plantules est de 7.440 tiges dont 3.194 tiges à Yangambi (soit 319,4 ± 167,6 tiges/ha) et 4.246 tiges à Yoko (soit 424,6 ± 356,1 tiges/ha)

Densité des plantules en fonction des classes de hauteur.

Dans le site de Yangambi, la densité la plus élevée est observée dans la classe S1 avec 2.571 tiges (soit 257,1 tiges/ha) et la moins élevée dans la classe S5 avec 5 tiges (soit 0,5 tiges/ha). De même à Yoko, la densité la plus élevée dans la classe S1 avec 2.953 tiges (soit 295,3 individus/ha) et la moins élevée dans la classe S5 avec 18 tiges (soit 1,8 tiges/ha). On observe une différence très hautement significative au seuil de 0,05 (χ^2 = 165,8; p < 2.2e-16) (voir Figure 3). En d'autres termes, il y a plus des plantules de différentes classes de hauteur à Yoko qu'à Yangambi avec un coefficient de détermination supérieure à 0,5 qui est significatif.

Densité des plantules en fonction de degrés d'éclairement.

Dans le site de Yangambi, un effectif élevé des plantules s'observe dans le milieu couvert (DE1) avec 2.925 individus (soit une moyenne de 292,5 individus/ha) et très peu dans le milieu ouvert (DE3) avec 17 individus (soit 1,7 individus/ha). Il en est de même dans le site de Yoko, le milieu couvert (DE1) avec 3.251 individus (soit une moyenne de 325,1 individus/ha) et le milieu ouvert (DE3) avec 41 individus (soit 4,1 individus/ha) (voir Figure 4). On note une différence très hautement significative au seuil de 0,05 (χ^2 = 244,4; p < 2.2e-16).

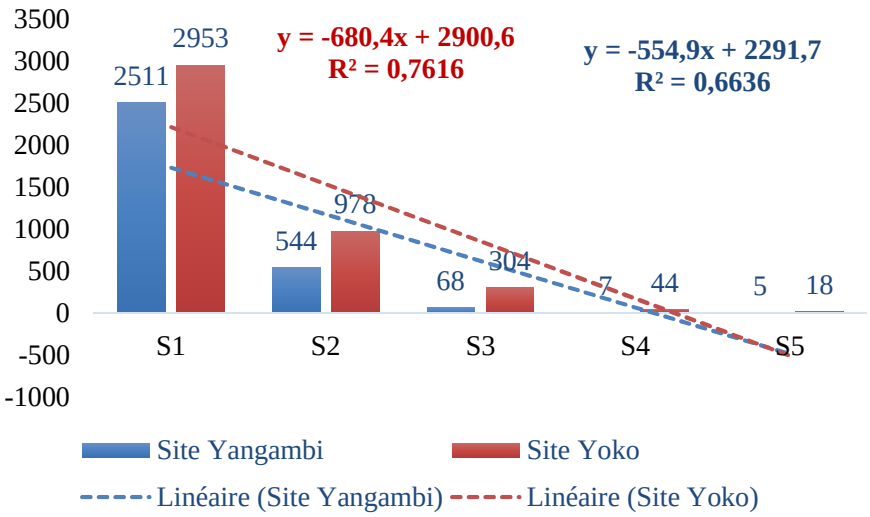


Figure 3.- Densité des plantules en fonction des différentes classes de hauteur.

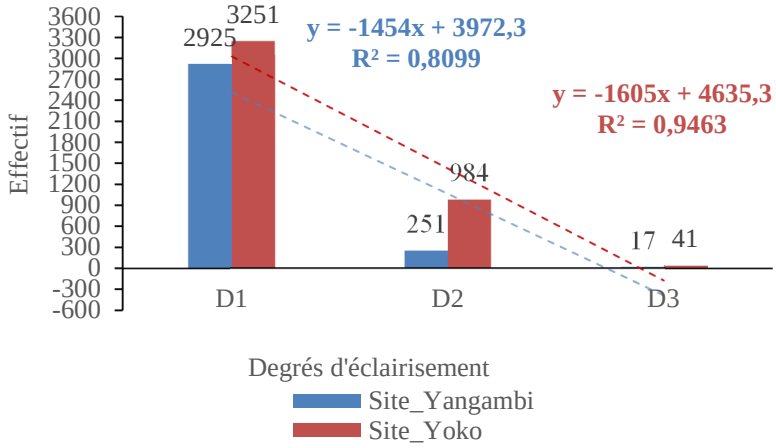


Figure 4.- Densité des plantules en fonction de degrés d'éclairement.

Densité des plantules en fonction d'épaisseurs de la litière.

Dans le site de Yangambi, un effectif élevé des plantules se développent sur la litière fine (EP1) avec 1.963 individus (soit une moyenne de 196,3 individus/ha) et très peu des plantules se développent sur la litière épaisse (EP3) avec 184 individus (soit 18,4 individus/ha). Il en est de même dans le site de Yoko, la litière fine (EP1) avec 3.289 individus (soit une moyenne de 328,9 individus/ha) et la litière épaisse (EP3) avec 109 individus (soit 10,9 individus/ha) (voir Figure 5). On note une différence très hautement significative au seuil de 0,05 (χ^2 = 108,4; p< 2.2e-16) au sein de deux sites.

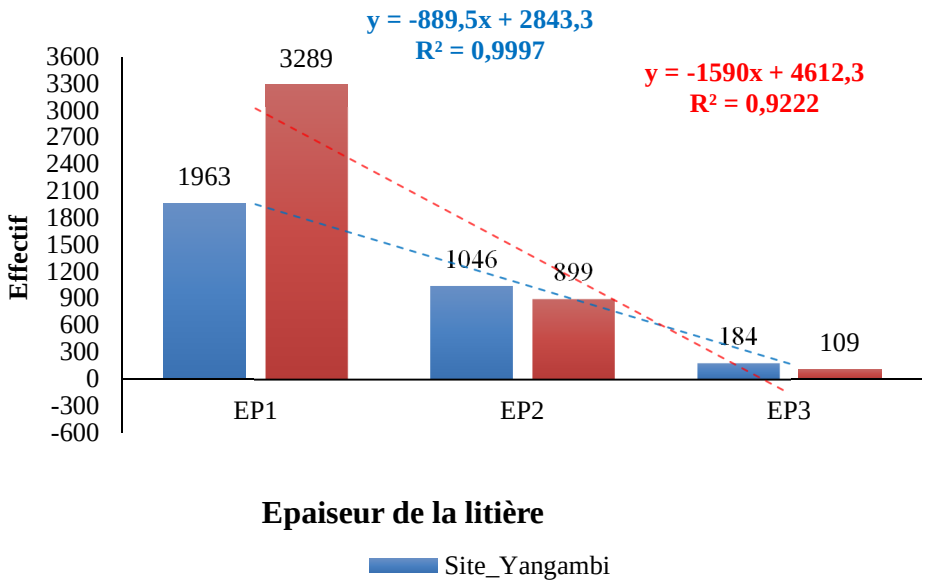


Figure 5. -Densité des plantules en fonction des epaisseurs de la litière.

Corrélation entre les classes de hauteur des plantules, degrés d'éclairement et les épaisseurs de la litière.

Dans le site de Yangambi, l'analyse de la composante principale montre que, dans les parcelles P3, P4 et P8, les individus de S3, S4 et S5 sont corrélés positivement avec P_couv et Ouv, et ne les sont pas avec les épaisseurs de la litière. Dans la parcelle P10, les individus de S1 et S2 sont corrélés positivement avec L_moy tandis que les parcelles P1, P2, P5, P6, P7 et P9, la taille des plantules n'est pas corrélée aux degrés d'éclairement ainsi qu'aux épaisseurs de la litière (voir Figure 6a).

Dans le site de Yoko, l'analyse de la composante principale montre que, dans les parcelles P3 et P5, les individus de S4 sont corrélés positivement avec P_couv, Ouv, L_moy et L_ép, et dans la parcelle P6, les individus de S1, S2 et S3 sont plus corrélés négativement avec Couv et L-fine tandis que dans les autres parcelles, la taille des plantules ne sont pas corrélées aux degrés d'éclairement ni aux épaisseurs de la litière (voir Figure 6b).

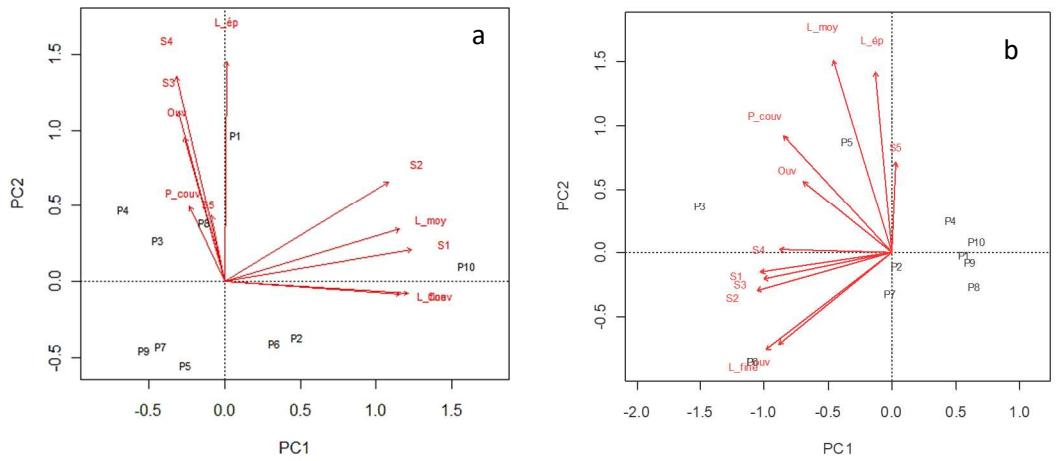


Figure 6.- Représentation des variables de la taille des plantules des *Guarea cedrata* en fonction de degrés d'éclairement et de l'épaisseur des litières sur le plan factoriel Dim1 (55%)/Dim2(27%) de l'ACP dans le site_Yoko (S1: 0-30 cm, S2: 30-50 cm, S3: 50-100 cm, S4: Tige à hauteur > 100 cm à dbh < 1cm et S5: Tige dont à 1 cm ≤ dbh < 10 cm; Couv : couvert, P_couv: partiellement couvert et Ouv: Ouvert; L_fine: litière fine, L_moy: litière moyenne et L_ép: litière épaisse) (a: Site_Yangambi et b: Site_Yoko).

Distribution des plantules autour du semencier ou des semenciers

Dans une distance de 50 m d'analyses au sein du site de Yangambi, , les plantules sont indépendantes de la position du semencier ou des semenciers dans les parcelles 1 (voir Figure 7a), 2 (Figure 7b), 5 (voir Figure 7e), 6 (voir Figure 7f), 8 (voir Figure 7h) et 9 (voir Figure 7i); elles sont dépendantes de 0 à 9 m et indépendantes au-delà de 9 m dans la parcelle 3 (voir Figure 7c); elles sont dépendantes de 2 à 8 m et indépendantes de 0 à 2 m, puis au-delà de 8 m dans la parcelle 4 (voir Figure 7d); elles sont dépendantes de 3 à 5 m, 7 à 9 m, 12 à 14 m, 18 à 19 m et indépendantes de 0 à 3 m, 5 à 7 m, 9 à 12 m, 14 à 18 m, puis au-delà de 19 m dans la parcelle 7 (voir Figure 7g); elles sont dépendantes de 29 à 31 m et indépendantes de 0 à 29 m, puis au-delà de 31 m dans la parcelle 10 (voir Figure 7j).

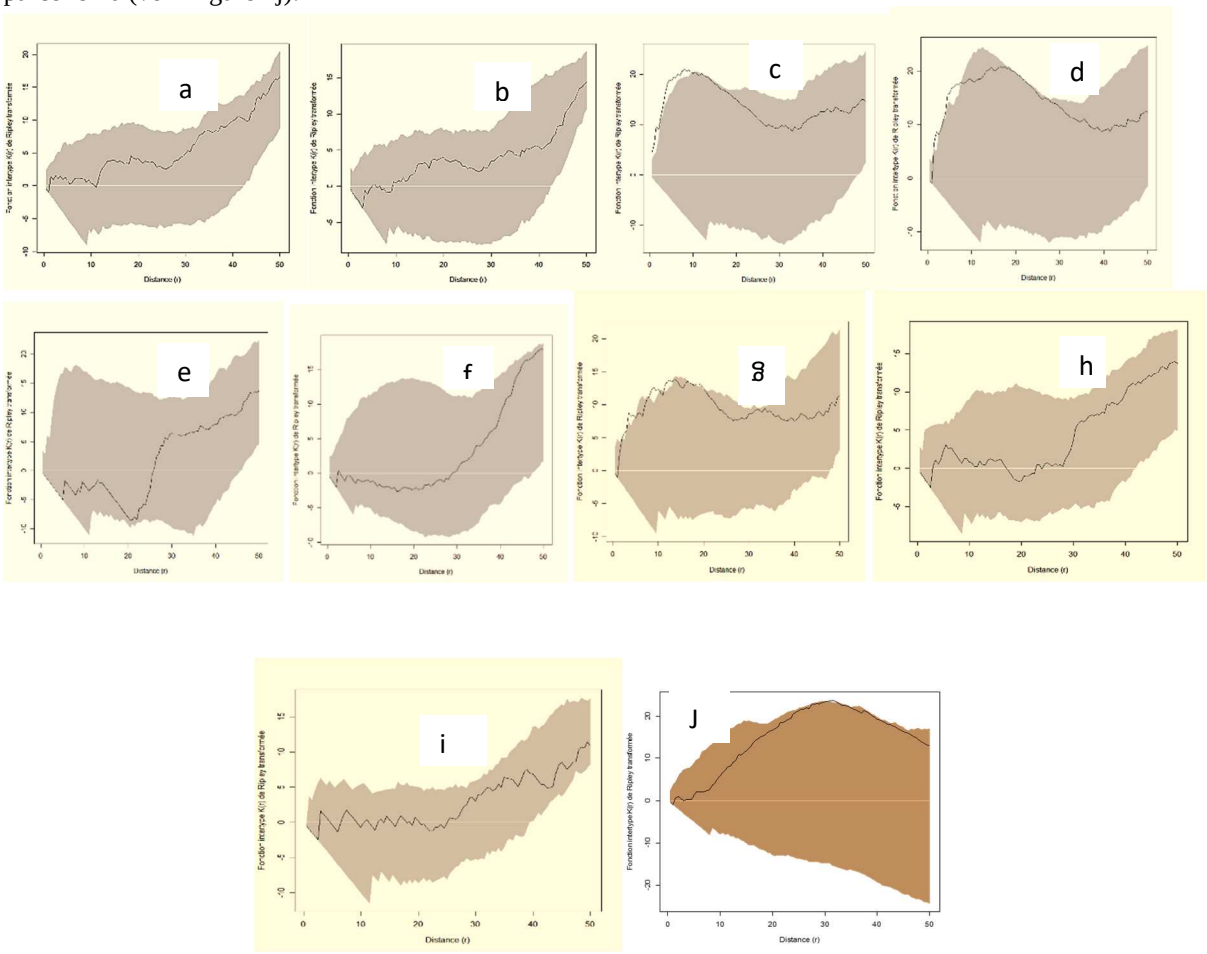


Figure 7.- Fonction K_{12} (r) intertype de Ripley transformée entre les plantules et le semencier ou les semenciers au sein de dix parcelles d'un hectare chacune dans le site de Yangambi (a: parcelle 1, b: parcelle 2, c: parcelle 3, d: parcelle 4, e: parcelle 5, f: parcelle 6, g: parcelle 7, h: parcelle 8, i: parcelle 9 et j: parcelle 10).

Dans le site de Yoko, dans une distance de 50 m d'analyses, les plantules sont indépendantes de la position du semencier ou des semenciers dans les parcelles 1 (voir Figure 8a), 2 (voir Figure 8b), 3 (voir Figure 8c), 4 (Figure 8d), 8 (voir Figure 8 h), 9 (voir Figure 8i) et 10 (voir Figure 8j); elles sont dépendantes entre 9 à 11 m et indépendantes de 0 à 9 m puis, au-delà de 11 m dans la parcelle 5 (voir Figure 7e); elles sont dépendantes entre 8 à 11 m et indépendantes de 0 à 8 m puis indépendantes au-delà de 11 m dans la parcelle 6 (voir Figure 7f) et enfin, dépendantes de 21 à 32 m et indépendantes de 0 à 21 m, puis au-delà de 32 m dans la parcelle 7 (voir Figure 7g).

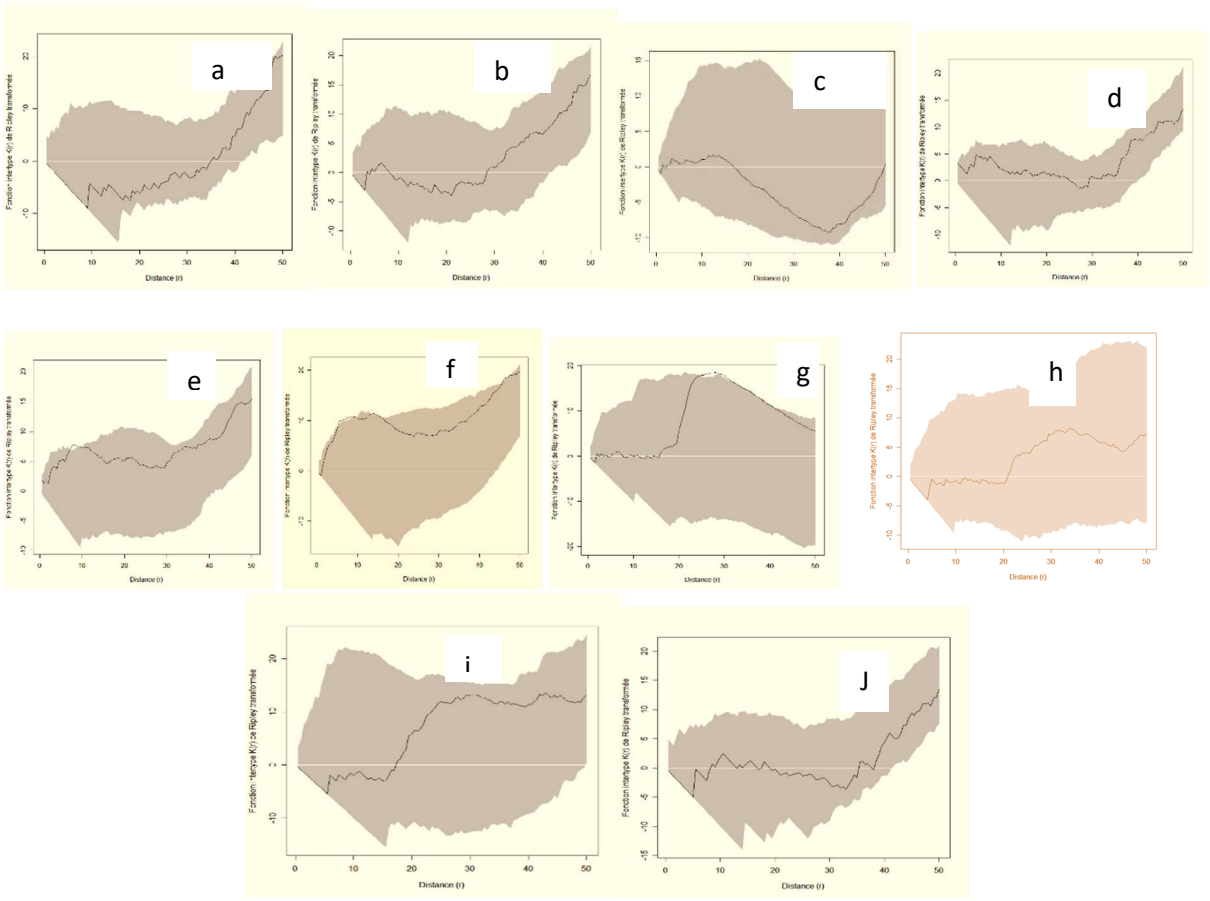


Figure 8.- Fonction K_{12} (r) intertype de Ripley transformée entre les plantules et le (s) semencier (s) au sein de dix parcelles d'un hectare chacune dans le site de Yoko (a: parcelle 1, b: parcelle 2, c: parcelle 3, d: parcelle 4, e: parcelle 5, f: parcelle 6, g: parcelle 7, h: parcelle 8, i: parcelle 9 et j: parcelle 10).

DISCUSSION

En RD. Congo, les connaissances en matière de la dynamique des populations d'arbres sont peu connues, alors que le pays vient de s'engager sur la voie de valorisation de ses ressources forestières, d'où le plan d'aménagement forestier s'avère très important (BOYEMBA, 2011; MENGA, 20011). La gestion des peuplements en cause, exige de pouvoir prédire à long terme le renouvellement et la qualité du stock exploitable (BOYEMBA, 2011; KATUSI, 2015). Pour cela, il est nécessaire de mieux cerner les processus écologiques qui déterminent la dynamique de la régénération des espèces forestières en général, et celles de bois d'œuvres en particulier (KATUSI, 2009).

Néanmoins, dans le cadre de l'aménagement des massifs forestiers, il est nécessaire de prendre en compte la régénération acquise au niveau du peuplement d'avenir et de renouvellement des espèces forestières pour le maintien de la production des forêts (VAN ENGELEN et al., 2006). Au regard de l'importance des services rendus, la forêt de ces deux blocs forestiers mérite d'être gérée de manière durable. Ce n'est malheureusement pas encore le cas, car on observe qu'elle se dégrade au fil du temps, et il est prévisible que la RD. Congo perd plus de 2.018 millions d'ha de forêts à l'horizon 2035 (AMANI et al., 2017).

Il sied de signaler que, l'exploitation forestière à elle seule entraîne la fragmentation et la réduction du massif forestier; cette exploitation entraîne également la réduction et l'appauvrissement en espèces de bois d'œuvres (MANGAMBU, 2009). Bien qu'elle concerne principalement les espèces commerciales, l'exploitation forestière peut, en fonction de son intensité et des techniques utilisées, avoir des conséquences diverses sur l'ensemble de l'écosystème notamment sur la régénération des espèces (MANGAMBU, 2002 ; VLEMINCKX et al., 2014). Pour mieux comprendre les résultats relatifs en termes de la régénération de cette espèce, selon le stade de développement, nous allons comparer nos résultats avec ceux d'autres chercheurs qui ont travaillé dans cette thématique.

Analyse démographique

Sur l'ensemble de deux sites, la densité moyenne pour toutes les classes de hauteur est de 372 tiges/ha. La classe S1 renferme une densité très élevée par rapport aux autres classes de hauteur, et que la densité diminue avec l'augmentation de la taille des plantules. Il convient de signaler que, les individus de la régénération acquise sont moins représentés et souvent absents dans la plupart des parcelles inventoriées, soit 0,5 tige/ha dans le site de Yangambi et de 1,8 tiges/ha dans le site de Yoko, soit une densité moyenne de 1,15 tiges/ha pour les deux sites, et cela nous pousse à confirmer que, l'espèce se régénère difficilement dans le milieu naturel et que, les individus de petite taille (S1, S2, S3 et S4) meurent avant d'atteindre 1cm de diamètre; ce qui corrobore au constat fait par LIEBERMAN (1996) et JESEL (2005) qui stipulent que, les premiers stades de la vie d'un arbre, de la graine à la plantule, sont des stades démographiques enregistrant généralement une très forte mortalité. En Guinée, des arbres plantés (*Guarea cedrata)* dans le sous-étages forestiers ont fait apparaître une mortalité de près de 50%, et ont atteint une hauteur moyenne de 2,5 à 3 m à 6 ans; pour les arbres plantés dans le chemin forestier, la mortalité était de 25 à 30% mais la hauteur ne dépassait pas 1,2 m tandis que tous les semis exposés en plein soleil étaient morts au bout de deux ans (www.prota.org).

La lumière étant le facteur le plus limitant en forêt tropicale dense, la grande majorité des espèces d'arbres dépend alors des ouvertures de la canopée pour libérer leur croissance et passer aux stades suivants (BROKAW & SCHEINER, 1989; JESEL, 2005 ; KATUSI, 2015), c'est le cas de *Guarea cedrata* qui est une espèce semi-héliophile (DOUCET, 2003; KATUSI, 2015). Nous estimons que l'absence des plantules de classes S4 et S5 dans d'autres parcelles se justifierait par le fait que *Guarea cedrata* étant semi-héliophile, peut tolérer l'ombre dans ses premiers stades de développement, et que, sa croissance demande une certaine luminosité sans laquelle les plantules seront appelées à disparaitre.

En étudiant la régénération des quinze espèces commerciales *(Entandrophragma cylindricum, E. angolense, E. utile, Khaya anthotheca, K. ivoiriensis, Guarea cedrata, Turraeanthus africanus, Lovoa trichiloides, Thieghemella heckelii, Terminalia ivoiriensis, T. superba, Lophira alata, Heritiera utilis, Triplochiton scleroxylon* et *Nauclea diderrichi*), DUPUY (1998) a observé que, la densité des plantules varie entre 150 et 280 tiges /ha en forêt sempervirentes et de 120 tiges/ha pour les espèces commerciales de première catégorie. Au Gabon, LEROY (2000) a évalué la densité de la régénération des trois espèces des Fabaceae à hauteur ≥ 1 m et avait obtenu les résultats suivants : *Tetraberlinia bifoliolata* (275 tiges/ha), *Paraberlinia bifoliolata* (73,75 tiges/ha) et *Guibourtia ehie* (10,75 tiges/ha), et pour l'espèce *Aucoumea klaineana*, la densité est de 140 tiges /ha (DOUCET, 2003). En RDC, BOYEMBA (2011), a obtenu pour *Pericopsis elata*, une densité de 1,03 tiges/ha dans la forêt naturelle à Yoko. De ces résultats, nous constatons que, *Guarea cedrata* présente une densité élevée par rapport à la plupart d'espèces précitées. Toutefois, il sied de signaler que, malgré cette densité, l'effectif le plus élevé est observé aux trois premières classes de hauteur, à savoir S1, S2 et S3 qui représentent au moins 98 % tandis que les deux dernières classes de hauteur, en l'occurrence, S4 et S5 ne représentent que moins de 2% ; cette observation n'assure pas une bonne installation de l'espèce dans les forêts semi-caducifoliées de Yangambi et de Yoko.

La densité des juvéniles est tributaire de degrés d'éclairement et d'épaisseurs de la litière

OLDMAN & VAN DIJK (1991) estiment que la lumière est un facteur déterminant pour l'installation, la survie et le développent d'une espèce. A l'issue de nos investigations, en moyenne dans les deux sites, 308,8 tiges/ha se développent dans le milieu couvert (DE1), 61,75 tiges/ha dans le milieu partiellement couvert (DE2) et 2,9 tiges/ha dans le milieu ouvert (DE3). De ces résultats, nous constatons que, les plantules se développent mieux dans le milieu couvert, et cela serait lié au caractère semi-héliophile de l'espèce chez laquelle, les plantules, au premier stade de leur développement, ont besoin de moins de lumière pour s'installer. Les mêmes résultats ont été observés par KATUSI (2009 ; 2015). JESEL (2005) martèle que, le tempérament d'une essence traduit l'évolution de ses besoins en lumière au cours de son développement où les conditions environnementales ainsi que les caractéristiques des graines disséminées, déterminent sa capacité à persister, à germer et à se développer.

Quant aux épaisseurs de la litière, la majorité des plantules au sein deux de sites se développent sur la litière fine avec une densité moyenne de 262,6 tiges/ha sur la litière fine; 97,25 tiges/ha sur la litière moyenne et 14,65 pieds/ha sur la litière épaisse. RAOLINANDRASANA (1996), en évaluant la densité des semis de *Intsia bijuga* en fonction d'épaisseurs de la litière, il avait constaté que, la densité de *Intsia bijuga* est plus élevée sur la litière moyenne que sur les autres épaisseurs; ce qui ne corrobore pas avec nos résultats.

En bref, à l'échelle locale de la station, la majorité des plantules se développent dans le milieu couvert et sur la litière fine par rapport à d'autres degrés d'éclairement et d'épaisseurs de la litière.

En vérifiant s'il y a une corrélation entre la taille des plantules avec les degrés d'éclairement ainsi que les épaisseurs de la litière au sein de deux sites, nous avons constaté que, dans la plupart des parcelles, la taille des plantules n'est pas corrélée avec ces deux facteurs; néanmoins, dans certaines parcelles, l'analyse de la composante principale a montré que, dans le site de Yangambi, les individus de S3, S4 et S5 sont corrélés positivement avec P_couv et Ouv dans les parcelles P3, P4 et P8, et les individus de S1 et S2 sont corrélés

positivement avec L_moy. dans la parcelle 10 (*Cfr* Figure 5a). Dans le site de Yoko, les individus de S4 sont corrélés positivement avec P_couv, Ouv, L_moy et L_ép dans la parcelle P3 et la parcelle P5, et les individus de S1, S2 et S3 sont corrélés négativement avec Couv et L-fine dans la parcelle (*Cfr* Figure 5b).

Le constat est que, les plantules de différentes hauteurs ont été recensées à de différents degrés d'éclairement et d'épaisseurs de la litière, si bien que, il n'y a pas eu un des facteurs environnementaux (éclairement et litière) qui prime sur la taille des individus. Néanmoins, dans certaines parcelles, il y a une certaine corrélation soit positive ou négative avec ces facteurs et que, la litière joue un rôle non négligeable dans l'installation des plantules, le rôle d'éponge (rétention d'eau) et de réserve de nutriments.

Interaction juvéniles-adultes

Des analyses intertypes entre les semenciers et les plantules ont été effectuées sur les différentes parcelles inventoriées dans les sites de Yangambi et de Yoko. Selon KOUKOU (1992), la répartition spatiale des juvéniles autour d'un semencier se caractérise par leurs présences à proximité et à la périphérie des couronnes des semenciers. Toutefois, en forêt tropicale, la couronne de la plupart d'arbres ne dépasse pas les 20 m des rayons, et toutes les directions n'ont pas la même longueur (KATUSI, 2015). Au niveau des placettes, nous avons évalué les distances de dispersion des plantules autour des adultes du plus proche adulte disperseur (OKUDA et al., 1997; NATHAN & MULLER-LANDAU, 2000), mais le génotype peut permettre une estimation des distances vraies, mais nécessite un échantillonnage difficile à mettre en place (FLORES, 2005).

Nos résultats ont montré que, que ça soit dans le site de Yangambi ou le site de Yoko, les plantules en général, sont indépendants du semencier ou des semenciers, mais à de petites échelles d'analyses, sont parfois dépendants du semencier ou des semenciers par exemple dans les parcelles 3, 4, 7 et 10 à Yangambi (*Cfr* Figures 6c, d, g et j) et à Yoko, dans les parcelles 5, 6 et 7 (*Cfr* Figures 7e, f et g). D'où, la distribution des plantules est en grande partie indépendante de celle des adultes.

En comparant avec d'autres espèces, par exemple en RD Congo, BOYEMBA (2011) a observé pour l'espèce *Pericopsis elata* que, dans les conditions naturelles à Yoko, il y a une indépendance entre la présence des semis et celle des semenciers, mais par contre, dans la plantation à Yangambi, il y a un regroupement des semis autour des semenciers pour la valeur de r = 71 m, distance au-delà de laquelle, il y a une indépendance entre la présence des semis et celle des semenciers. MENGA (2011), pour l'espèce *Millettia laurentii* dans la région de Maï-Ndombe à Bandundu, a observé que, les analyses des relations spatiales jeunes-adultes ont permis de mettre en évidence une dépendance spatiale positive entre juvéniles et adultes mais sur des échelles très variables, entre 6 et 33 m, car au-delà de ces distances, il y a indépendance entre les deux types (jeunes : 1 cm ≤ dhp < 60 cm et adultes : dhp ≥ 60 cm).

En Guyane française, dans les deux domaines d'études (c'est-à-dire le domaine des Nouragues et celui de Paracou), TRAISSAC (2003) a observé, pour l'espèce *Vouacapoua americana*, qu'il n'apparaît aucune dépendance significative entre la répartition des juvéniles et celle des adultes. FLORES (2005), a observé l'indépendance entre la répartition des juvéniles et celle des adultes chez *Carapa procera*, *Dicorynia guianensis*, *Lecythis persistens*, *Qualea rosea*, *Tachigali melinonii* et *Virola michelii*. Le cas d'interaction du type agrégatif chez *Bochoa prouacensis*, *Epurua falcata*, *Gustavia hexapetala* et *Oxyandra asbeckii* tandis que du type répulsif à courte distance chez *Licania alba*, *Pogonophora schomburgkiana* et *Pradosia cochlearia*.

En bref, les analyses intertypes ne permettent pas de mettre clairement en évidence des relations spatiales entre juvéniles (plantules) et adultes (semenciers). D'après les connaissances sur la dissémination de l'espèce, on peut émettre l'hypothèse selon laquelle, l'indépendance observée entre les deux répartitions est, en fait, la conséquence de deux mécanismes antagonistes : d'une part, une attraction entre les deux semis de points du fait de la dissémination à courte distance et d'autre part, un processus dont l'intensité dépend des caractéristiques du peuplement adulte (FLORES, 2005; KATUSI, 2015).

Comprendre l'importance de la régénération de *Guarea cedrata*

Face à l'abatage non contrôlé d'arbres dans les forêts, certaines espèces sont menacées d'extinction. C'est le cas de *Guarea cedrata* au sein de la réserve du Biosphère de Yangambi et de la réserve forestière de Yoko dans la province de la Tshopo, en RD. Congo. *Guarea cedrata* est une essence très appréciée par les fabricants de meubles et des architectes dans le monde entier pour sa haute résistance, ses belles couleurs et sa finition élégante ; cependant, les experts craignent son extinction. Pour aider à résoudre ce problème, les scientifiques essaient de comprendre la régénération naturelle de cette essence, c'est le cas de ce manuscrit.

Aujourd'hui, la quantité de bois sur le marché n'est plus la même. Ces dernières années, le lieu des négoces connaît une carence de bois qui inquiète, ce qui n'existait pas avant. Aux dires, les grossistes avancent comme raison que, les coupes de bois ne sont plus disponibles dans les zones proches. Ces exploitants sont alors contraints d'aller plus loin dans les forêts pour s'en procurer.

C'est pourquoi, le prix du bois est revu à la hausse et, la production et le commerce de ces bois se font de manière informelle et ce, malgré son importance socio-économique. L'absence de cadre juridique et la bonne gouvernance a pour conséquence, une exploitation non durable de bois qui conduit à la déforestation et à la dégradation des forêts, associées aux émissions de gaz à effet de serre. Si rien n'est fait, les marchés de Kisangani, la grande métropole de la province de la Tshopo, avec sa démographie galopante risque, de connaître des pénuries de bois de chauffage, les bois énergies et les bois d'œuvres, et même, la rareté de la viande de brousse.

CONCLUSION

L'analyse de la régénération de *Guarea cedrata* a permis d'élucider la connaissance de l'écologie de cette espèce via la régénération dans une forêt semi-caducifoliée des environs de Kisangani. Dans l'ensemble de deux réserves, l'espèce *G. cedrata* présente une densité très élevée des semis à dhp < 1 cm à 1,30 m de l'ordre de 372 tiges/ha, soit 99,7 %, et que la densité de la régénération acquise à 1 cm ≤ dhp < 10 cm est de 1,2 tiges/ha (soit 0,3 %); cela s'expliquerait par une forte mortalité des semis avant d'atteindre un dhp ≥ 1 cm à 1,30 cm au-dessus du sol. Ce résultat, montre clairement que *Guarea cedrata* s'installe difficilement dans le sous-bois de la forêt semi-caducifoliée.

L'espèce se régénère mieux dans les endroits couverts à faible pénétration de la lumière ainsi que sur la litière fine, mais il n'y a pas vraiment de corrélation bien marquée entre la hauteur des plantules et les facteurs environnementaux, à savoir, les degrés d'éclairement et les épaisseurs de la litière.

Il est vraiment souhaitable, vu ce résultat, de procéder en une régénération assistée; d'où, l'utilisation des pratiques sylvicoles s'avèrent importantes voire indispensables pour la pérennité de cette espèce.

Nous pensons que découvrir le secret de croissance de cette essence signifie aussi une chance pour les communautés forestières de développer des pratiques sylvicoles durables, et de répondre à la demande croissante de bois tropicaux cultivés et récoltés dans des conditions qui protègent l'écosystème fragile menacée par la déforestation et la dégradation des forêts. À cet égard, sa conservation est une priorité à l'échelle nationale d'abord, et internationale ensuite de par son rôle majeur dans la séquestration des gaz à effet de serre.

Nous pensons encore que pour atteindre ses objectifs, les gouvernements (national et provincial), et ses partenaires doivent mener des efforts pour aider les populations locales à développer une économie durable basée sur les ressources forestières. Gérer son exportation dans les règles, pourra aider l'État Congolais à renflouer ses caisses et redonner ainsi du boum à son économie. Pour ce, l'État Congolais doivent renforcer les capacités de la population en formant assez d'expert en foresterie pour mener à bien ce type de travail.

BIBLIOGRAPHIE

ABOTSI K.E., RADJI A., ROUHAN G., DUBUISSON J.-Y., KOKOU K. (2015). The Pteridaceae family diversity in Togo. *Biodiversity Data Journal* 3: e5078. https://doi.org/10.3897/BDJ.3.e5078

ALEXANDRE D.Y. (1977). Régénération naturelle d'un arbre caractéristique de la forêt équatoriale de côte d'Ivoire : *Turraeanthus africana* Pellegr. *Ecol Plant*, 12 (3): 242-262.

ALGOËT B. (2008). *Phénologie et régénération du Wenge (Millettia laurentii) en RDC*. DEA, AgroParisTech, 95 p + Annexes.

ALKEMADE R., OORSCHOT M. VAN, MILES L., NELLEMANN C., BAKKENES M., BRINK B. T (2009). GLOBIO3: A framework to investigate options for reducing global terrestrial biodiversity loss. *Ecosystems*, 12 (3): 374–390.

AMANI I., LEJOLY J. NYAKABWA M. (2018). Herbaceous communities in a context of edaphic heterogeneity in Central African semi-deciduous forest ecosystems. *Annales des Sciences et des Sciences Appliquées*, 4 (3) : 10-35.

ARAÚJO M.B., ALAGADOR D., CABEZA M., NOGUÉS-BRAVO D., THUILLER W. (2011). Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters*, 14 (5): 484–492.

ATSRI H.K., KONKO Y., CUNI-SANCHEZ A., ABOTSI K.E., KOKOU K. (2018). Changes in the West African forest-savanna mosaic, insights from central Togo. *PLOS ONE*, 13 (10): e0203999. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203999.

AUGSPURGER C.K. (1984). Seedling survival of tropical tree species: interactions of dispersal distance, light gaps, and pathogens. *Ecology*, 65 (6): 1705-1712.

BALDWIN R.A. (2009). Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11 (4): 854–866.

BATSIELELI B.A. (2008). *Phénologie et régénération des espèces ligneuses arborées en forêt tropicale humide : cas d'Afrormosia (Pericopsis elata) et Tola (Prioria balsamifera) en RDC*. Mémoire de stage de fin de cycle, AgroParis Tech-ENGREF, Montpellier, 54 p.

BBIDJO T.V., KATUSI L.R, MBAYU M.F., MATOMWA N.JC. & NSHIMBA S.M.H. (2019). Régénération naturelle de *Khaya anthotheca* (Welw.) C.DC. dans les trouées d'abattage d'exploitation artisanale de bois d'œuvre dans la région de Lolwa, Territoire de Mambasa, Province de l'Ituri, RD Congo. *Afrique Science*, 15 (6) : 80-91.

BBIDJO T.V., NSHIMBA S.M.H., MBAYU M.F., MATOMWA N.JC. & KATUSI L.R. (2020). Régénération naturelle des *Entandrophragma* C.DC. dans les trouées d'abattage d'exploitation artisanale de bois d'œuvre à Lolwa (Ituri, RD Congo). *Revue de Recherche-Développement*, 13 (2): 11-31.

BESAG J. (1977). Contribution to the discussion of Dr Ripley's paper. *Journal of the royal statistical society*, 39: 193-195.

BOYEMBA B. (2011). *Ecologie de Pericopsis elata (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée*. Thèse de doctorat, ULB, Bruxelles, 181 p.

BROKA N.V.L. & SCHEINER S.M. (1989). Species composition in gaps and structure of a tropical forest. *Ecology*, 70 (3): 538-541.

BROKA W N. V. L. (1982a). The definition of tree fall gap and its effect on measures of forest dynamics. *Biotropica*, 14 (2): 158-160

DOUCET J. L. (2003*). L'alliance délicate de la gestion forestière et de la biodiversité dans les forêts du centre du Gabon*. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, Gembloux, 323 p.

DOUCET J. L., MOUNGAZI A. & ISSEMBE Y. (1996). Régénération naturelle dans la forêt des Abeilles (Gabon). Inventaires, écologies des espèces et impact de l'exploitation. Rapport interne, U.E.R. Sylviculture, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, 127 p.

DUPUY B. (1998). Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine. *Série FORAFRI* Document 4, CIRAD-Forêt, 328 p.

DURRIEU DE MADRON L. (1994). Mortalité des arbres en forêt primaire de Guyane française. *Bois et Forêts des Tropiques*, 239 : 43-57.

FLORES O. (2005). *Détermination de la régénération chez 15 espèces d'arbres tropicaux en forêt Guyanaise, les effets de l'environnement et de la délimitation par dispersion*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, Montpellier, 209 p.

GOREAU F. (2000). *Apports de l'analyse de la structure spatiale en forêt tempérée à l'étude et la modélisation des peuplements complexes*. Thèse de doctorat en Sciences forestières, ENGREF, 362 p.

JESEL S. (2005). *Ecologie et dynamique de la régénération de Dicoryna guianensis (Caesalpiniaceae) dans une forêt guyanaise*. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 288 p.

KATUSI L. (2009). *Analyse de la régénération et de la structure spatiale des Meliaceae de la réserve Forestière de Yoko. Cas de Guarea cedrata (A. chev.) Pellegr. et Guarea thompsonii sprague & Hutch. (Ubundu, Province Orientale, RDCongo*). D.E.A., FS/UNIKIS, 102 p.

KATUSI, L. (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 Biosphère de Yangambi (Province Orientale, RDC).* Thèse de doctorant, FS/UNIKIS, 136 p.

KATUSI, L.R, MANGAMBU, M. J-D, ARUNA, S J et NSHIMBA, S. M. H. (2021). Etudes phénologiques et dispersions des fruits de *Guarea cedrata* et *Guarea thompsonii* (Meliaceae) dans les forêts semi-caducifoliées du massif forestier de Kisangani (République Démocratique du Congo). *Geo-Eco-Trop*., (45): 145-159.

KOMLA E.A., KOUAMI K., GERMINAL R. & DEBLAUWE V. (2020). Vulnérabilité des ptéridophytes au changement climatique et implications pour leur conservation au Togo (Afrique de l'Ouest). *Plant Ecology and Evolution*, 153 (1): 22–32, 2020.

KOUKOU K. (1992). *Contribution du déterminisme écologique de la répartition spatiale de l'Angélique (Dicorynia guianensis) en forêt dense guyanaise*. D.E.A de Géographie des espaces Tropicaux de L'Université de Bordeaux III/ENGREF, 88 p.

LEROY C (2000). *Caractérisation dendrométrique architecturale et spatiale de la structure de 2 agrégats d'Angélique (Dicorynia guianensis Amshoft,) Caesalpiniaceae*. D.E.A, Unité Mixte de Recherche CIRAD/INRA Modélisation des Plantes, 36 p.

LIEBERMAN D. (1996). Demography of tropical tree seedlings: a review in Swaine M.D. (ed). *Ecology of Tropical Forest Tree Seedlings*. UNESCO/ Parthenon Publishing, Paris, pp 131-138

MANGAMBU M. (2002). *Etude de peuplement du sous-bois dans la partie Nord de la Réserve forestière de Yoko, Ubundu*. TFE, FS/UNIKIS, 55 p + annexes.

MENGA M P. (2011). *Ecologie des peuplements naturels de Millettia laurentii De Wild. (Wenge) dans la région du lac Maï-Ndombe, en RD Congo*. Thèse de doctorat, FS/ UNIKIN, 190 p.

MULLER-LANDAU H.C (2002). Assessing recruitment limitation: concepts, methods and cas estudies from a tropical forest. In D.J. Levey, W.R. Silva & M. Galetti, (Eds), Seed Dispersal and Frugivory: *Ecology, Evolution and Conservation.* CAB International, Oxfordshire, UK: 35-53.

NATHAN R. & MULLER-LANDAU H.C (2000). Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends ecology evolution journal*, 15: 278-285.

OKUDA T., KACHI N., YAP S.K. & MANOKARAN N. (1997). Tree distribution pattern and fate of juveniles in a lowland tropical rain forest-implication for regeneration and maintenance of species diversity. *Plant Ecology*, 131 (2): 155-171.

OLDEMAN R.A.A. & VAN DIJK J. (1991). Diagnosis of the temperament of tropical rain forest trees. *In: Rain forest regeneration and management.* Gomez-Pompa A., Whitmore T.C. & Hadley M. (Eds). *Man And Biosphere series*: 21–65.

PEROCHES P. (2012). *Étude sur l'évolution de la biomasse au niveau de terroirs du Plateau Batéké en République Démocratique du Congo. Impact des systèmes de culture et des techniques agroforestières telles que la Régénération Naturelle Assistée promues par le projet Makala*. Mémoire de césure. Montpellier, France, SupAgro, IRC, Cirad, 79 p.

RAOLINANDRASANA L.O. (1996). *Etude de la régénération naturelle de Hinty (Intsia bijuga) de la forêt litorale Tampolo-fernoarivo Atsinanana.* D.E.A, Côte Est Malagasy, 63 p.

ROLLET B. (1969). La régénération naturelle en forêt dense humide sempervirente de plaine de la Guyane vénézuélienne. *Bois et Forêts des Tropiques*, 124 : 19-38.

SCHNELL R. (1971). Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. Ed. Gauthier-Villars 55, quai des grands-augustins, Paris 6è, Vol II, 951 p.

SHALUFA A., ROBBRECHT E., KATUSI L., NSHIMBA S., NTAHOBAVUKA H. et MANGAMBU M., (2014). Structure, dispersion spatiale et abondance de la population à *Guarea thompsonii* Sprague et Hutch. (Meliaeae) dans la forêt à *Scorodophloeus zenkeri* Harms (Fabaceae) dans la Réserve Forestière de la Yoko en R.D. Congo. *Journal of Animal &Plant Sciences*, 23 : 3569-3587

TRAISSAC M.S. (2003). *Dynamique spatiale de Vouacapoua americana (Aublet), arbre de la forêt tropicale humide à répartition agrégée*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon I, 217 p.

VAN ENGELEN V.W.P., VERDOODT A., DIJKSHOORN. J. A. & VAN RANST E. (2006). Soil and Terrain Database of Central Africa (D.R. of Congo, Burundi and Rwanda). Report 2006/07 available through http://www.isric.org.

VANCLAY J K. (1995). Growth models for tropical forests: A synthesis of models and methods. *Forest Science*, 41 (1): 7-42.

VLEMINICKX J., DROUET T., AMANI C., LISINGO J., LEJOLY J. & HARDY O.J. (2014). Impact of fine-scale edaphic heterogeneity on tree species assembly in a central African rainforest. *Journal of Vegetation Science*, 26: 134-144.