

Influence de l'ombrage sur les paramètres morphométriques du cacao (*Theobroma cacao* L.) dans la localité de Buyinga en territoire de Lubero (Nord-Kivu, RD Congo)

[Influence of shade on the morphometric parameters of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the locality of Buyinga in Lubero territory (North Kivu, DR Congo)]

Kambale Muhesi Eloge¹⁻³, Musubao Kapiri Moïse²⁻³, Kambale Kataliko Moïse¹, Kavira Kitonda Carine¹, Kasereka Makombani Alex¹, Paluku Kolongo Léon¹, and Paluku Nzenda Gilbert¹

¹Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières (ISEAVF-Butembo), BP 421, Ville de Butembo, RD Congo

²Département des Eaux et Forêts, Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université Catholique du Graben (UCG-Butembo), BP 29, Ville de Butembo, RD Congo

³Cellule de Statistiques et Analyse des données, Laboratoire d'Ecologie, Géomorphologie et Géomatique (LEGG), Ville de Butembo, RD Congo

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The cocoa tree (*Theobroma cacao* L.) is an economically, nutritionally and socially important crop. Currently, this culture is at the center of scientific debate because it is indexed to play a significant role in the phenomenon of deforestation observed in humid tropical regions. In order to contribute to its expansion while minimizing forest losses and protecting the environment, agroforestry systems integrating herbaceous or woody flora species have emerged as a better alternative. In this perspective, this study constitutes a contribution to the valuation of shade trees in the cultivation of cocoa while maintaining intact its productivity in the territory of Lubero. The objective of the study is to study the influence of shade trees on the morphometric parameters of pods in the ecological environment of Buyinga. To achieve this objective, observations were made at nine cocoa plantations chosen according to their degree of shade. With the exception of the number of pods per stem, the results show that there is a very highly significant difference in the means of the length of the pods, the circumference of the pods and the number of beans per pod in the plantations according to the degree of shading (p -value <0.05). Indeed, the average lengths of the pods are 24.83 ± 4.11 cm in moderately shaded plantations, 22.61 ± 4.38 cm in heavily shaded plantations and 19.20 ± 2.69 cm for plantations without shade (in broad daylight). The average circumferences of the pods are respectively equal to 27.99 ± 3.41 cm for plantations with medium shade, 26.47 ± 2.5 cm for plantations without shade and 26.46 ± 3.49 for plantations with strong shade. The average number of beans per pod is 38.95 in plantations with medium shade against 38.53 beans per pod for plantations without shade and 26.5 beans for plantations with strong shade. Despite the absence of significant difference in the number of pods per stem according to the degree of shade, cocoa plantations growing under medium shade induced a high number of pods per stem compared to other plantations. The average number of pods per stem is around 25.8 ± 7.25 for plantations with medium shade, 23.89 ± 6.03 for plantations with strong shade and 21.51 ± 7.44 for plantings without shade.

KEYWORDS: Cocoa tree (*Theobroma cacao* L.), agroforestry systems, morphometric parameters, degree of shade and territory of Lubero.

RESUME: Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est une culture importante du point de vue économique, nutritionnel et social. Actuellement, cette culture se trouve au centre de débats scientifiques car elle est indexée de jouer un rôle non négligeable dans le phénomène de déforestation observée en régions tropicales humides. En vue de contribuer à son expansion tout en minimisant les pertes forestières et en protégeant l'environnement, des systèmes agroforestiers intégrant des espèces floristiques herbacées ou ligneuses se sont positionnés comme une meilleure alternative. Dans cette perspective, cette étude constitue une contribution à la valorisation des arbres d'ombrage dans la culture du cacao tout en maintenant intact sa productivité dans le territoire de Lubero. L'objectif de l'étude est d'étudier l'influence des arbres d'ombrage sur les paramètres morphométriques des cabosses dans le milieu écologique de Buyinga.

Pour atteindre cet objectif, des observations ont été effectuées au niveau de neuf plantations de cacao choisies en fonction de leur degré d'ombrage. A l'exception du nombre des cabosses par tige, les résultats montrent qu'il y a une différence très hautement significative des moyennes de la longueur des cabosses, de la circonférence des cabosses et du nombre des fèves par cabosse dans les plantations en fonction du degré d'ombrage (p -value $<0,05$). En effet, les longueurs moyennes des cabosses valent $24,83\pm 4,11$ cm dans les plantations moyennement ombragées, $22,61\pm 4,38$ cm dans les plantations fortement ombragées et $19,20\pm 2,69$ cm pour les plantations sans ombrage (en plein soleil). Les circonférences moyennes des cabosses sont respectivement égales à $27,99\pm 3,41$ cm pour les plantations à moyen ombrage, $26,47\pm 2,5$ cm pour les plantations sans ombrage et $26,46\pm 3,49$ pour les plantations à fort ombrage. Le nombre des fèves moyen par cabosse est de 38,95 dans les plantations à moyen ombrage contre 38,53 fèves par cabosse pour les plantations sans ombrage et 26,5 fèves pour les plantations à fort ombrage. Malgré l'absence de différence significative du nombre de cabosses par tige en fonction du degré d'ombrage, les plantations cacaoyères évoluant sous moyen ombrage ont induit un nombre des cabosses par tige élevé par rapport aux autres plantations. Les moyennes du nombre des cabosses par tige sont de l'ordre de $25,8\pm 7,25$ pour les plantations à moyen ombrage, $23,89\pm 6,03$ pour les plantations à fort ombrage et $21,51\pm 7,44$ pour les plantations sans ombrage.

MOTS-CLEFS: Cacaoyer (*Theobroma cacao* L.), systèmes agroforestiers, paramètres morphométriques, degré d'ombrage et territoire de Lubero.

1. INTRODUCTION

Theobroma cacao L. ($2n = 20$) est une plante néotropicale, originaire de régions d'Amérique Centrale et d'Amérique du Sud et a été domestiqué en Amérique centrale. Parmi les 26 espèces du genre, *T. cacao* est la seule plante cultivée à grande échelle pour produire du chocolat [1], [2]. Elle est allogame et appartient à la famille des *Malvaceae* et anciennement à la famille des *Sterculiaceae* [2] – [5]. Au sein de cette espèce, il existe trois types ou groupes de cacao morphogénétiquement différents appelés « Criollo » (originaire du Venezuela), « Forastero » (originaire du bassin amazonien) et « Trinitario » produits naturellement dans l'île de Trinidad (croisement entre Criollo et Forastero), qui se différencient par la qualité des amandons, la vigueur et le rendement (Criollo de haute qualité et Forastero avec des qualités et des goûts différents) [2].

Le cacao (*Theobroma cacao* L.) est une culture produite dans les pays des tropiques et consommée principalement dans les pays développés des zones tempérées du monde [6]. Le cacao a une riche histoire d'utilisation humaine, à commencer par les peuples Olmèques et Mayas de l'Est du golfe du Mexique qui croyaient que le cacao leur avait été livré directement par Dieu [7]. Depuis ses origines divines en Méso-Amérique, le cacao a été introduit à la cour royale espagnole au milieu des années 1550 et les produits dérivés du cacao continuent d'avoir un attrait particulier dans la culture moderne. Il existe également une vaste documentation sur les utilisations médicinales du cacao qui peuvent être attribuées à d'anciens documents Aztèques [8]. Au cours des siècles suivants, les utilisations médicinales du cacao ont diminué, mais des recherches récentes ont démontré un rôle inattendu du cacao dans la promotion de la santé cardiovasculaire [7]. La base des effets bénéfiques du cacao sur la santé est que certains polyphénols (catéchines et flavanols) sont de puissants antioxydants qui peuvent atténuer les processus inflammatoires dans l'athérosclérose et bloquer l'expression des molécules d'adhésion cellulaire. Certains produits à base de cacao contiennent des niveaux suffisamment élevés de polyphénols biologiquement actifs pour exercer des effets bénéfiques aigus et chroniques sur la santé dus aux antioxydants [8], [9].

Bien que cultivée dans toutes les régions tropicales humides [5], [6], sa distribution actuelle à travers le globe s'étend de la latitude 20° N et la latitude 15° S de l'équateur [4]. Aujourd'hui, plus de 58 pays sont engagés dans la production de cacao, dont certains dépendent fortement de l'exportation de cacao pour leur développement économique, car cela contribue de manière significative à leurs recettes en devises [4]. Cette tendance fait que malgré son centre d'origine, 8,6 millions d'hectares de cacao sont plantés dans le monde avec seulement 17 % correspondant à l'Amérique et aux Caraïbes [2], [4]. Cette culture représente la plus grande source de devises non pétrolières pour les pays producteurs, avec plus de 73 % de la production provenant de l'Afrique [10] avec à la tête la Côte d'Ivoire, le Cameroun, le Nigeria et le Ghana [6], [11], [12], suivie de l'Asie (13,6 %) et l'Amérique latine (13,1 %) [4]. Ainsi, les leaders mondiaux de la production de fèves de cacao sont la Côte d'Ivoire, le Ghana, l'Indonésie, le Nigéria, le Cameroun, le Brésil, l'Équateur, la République dominicaine et la Malaisie, fournissant environ 92 % de la production mondiale [4]. En effet, la production mondiale annuelle de cacao (graines de cacao séchées et fermentées) est d'environ 3 millions de tonnes, les 2/3 étant transformés en poudre de cacao et en beurre de cacao, et le 1/3 restant utilisé pour la liqueur de cacao [6]. Par ailleurs, on estime la valeur de la production de cacao à plus de 4 milliards de dollars américains par an [4] obtenus par 5 à 6 millions de petits exploitants agricoles qui cultivent 95 % de la production mondiale [6], [10]. En effet, la demande et la consommation mondiales des produits dérivés du cacao sont en pleine croissance [13]. Par exemple aux États-Unis, l'utilisation du cacao et du beurre de cacao dans la fabrication du chocolat, les cosmétiques et d'autres produits génère un marché d'environ 70 milliards de dollars, fournissant plus de 60 000 emplois [6].

Malgré l'augmentation significative de la demande mondiale de cacao, sa production n'a pas suivi la même tendance et il existe donc un déficit mondial de l'offre qui était de 150 000 tonnes en 2015-2016 [1]. Prenant par exemple la Côte d'Ivoire qui produit la plus grande

part de fèves de cacao dans le monde (soit 39 % en 2017) équivalent à 1700000 tonnes de cacao marchand [14], le rendement du cacao dans ce pays ne s'élève qu'à 490 kg de fèves de cacao sèches par ha et par an, alors qu'il a été montré sur des stations de recherche ou dans des pays comme le Guatemala ou la Thaïlande que les rendements de cacao peuvent atteindre jusqu'à 3 000 kg par ha et par an [15]. Les causes de baisse de productivité du cacaoyer dans le monde sont multiples. Parmi les causes les plus incriminées figurent le changement climatique mondial, les infestations de ravageurs et les maladies, ainsi que la réduction de la productivité des plantes, due au vieillissement des cultures et leurs difficultés de régénération [1], [14] – [17]. D'autres causes comme la mauvaise gestion de l'ombrage, les géotypes à faible rendement et la faible fertilité des sols [15]. D'après [16], la diminution de la production cacaoyère est fortement liée à la pénurie de forêt, antécédent culturel recherché par les producteurs pour l'établissement des plantations cacaoyères.

Le cacao a été introduit en République Démocratique du Congo (RDC) durant la colonisation mais n'a jamais eu une production importante malgré le potentiel énorme qu'il possède un peu partout en zone forestière [18]. Sa culture est alors restée confinée à quelques plantations coloniales. Elle a fait l'objet d'une relance dans les années 1980, sans grand succès, avec la création de pôles de production. Les agriculteurs familiaux se sont appropriés la culture du cacao en marge de ces espaces. La tentative de relance de la filière a toutefois avorté suite aux guerres successives qu'a connues le pays [19]. Ainsi, la production actuelle de cacao est estimée à près de 6000 tonnes par an avec un rendement faible estimé à 0,3 tonne/ha obtenu sur une superficie moyenne par producteur variant de 0,5 à 4 ha [19]. Traditionnellement, la région du Bas Fleuve, dans la province du Bas Congo, a toujours été le plus grand producteur de cacao de la RDC; mais des potentialités importantes existent également au Nord de la province de l'Equateur et dans la Province Orientale (Tollens, 2004). Cependant, on observe une expansion de la culture du cacao dans la province du Nord-Kivu principalement dans les territoires de Beni et de Lubero. Cette promotion a été rendue possible par ESCO Kivu SPRL, située à Beni et Butembo qui est l'une des rares entreprises agroalimentaires de taille moyenne à réussir dans la région confrontée aux multiples conflictualités armées autour des ressources naturelles [20]. En effet, cette entreprise exploite le cacao biologique en accompagnant plus de 16 000 petits agriculteurs locaux de Beni, Lubero, Mambasa et Enuhumu. Les meilleures conditions de production, de fermentation et de séchage en faveur du cacao du Kivu ont eu une influence sur la qualité de ce produit. Ce qui a fait qu'ESCO Kivu exporte du cacao aux États-Unis vers des transformateurs de chocolat biologique spécialisés tels que Theo's, à Seattle [20]. Comme partout ailleurs, la cacaoculture en territoire de Beni et de Lubero a été incriminée comme moteur de la déforestation.

Face à cette dépendance de la culture de cacaoyer à la forêt, les principaux pays africains producteurs de cacao sont donc confrontés à un double enjeu. C'est à dire maintenir ou voire augmenter leur niveau de production en cacao marchand tout en stabilisant les zones de production existantes pour limiter au maximum la disparition des espaces forestiers [5]. Les impacts néfastes de l'intensification des pratiques agricoles ont en fait amplifié divers problèmes environnementaux: déforestation, érosion des sols, désertification, changement climatique, perte de la biodiversité et contamination de l'eau potable [21]. Ainsi, le cadre de développement durable qui offre des solutions intégrant les volets écologiques, économiques et sociaux de toute problématique, semble être un des moyens de faire face à ces problèmes [21], [22]. Ainsi, en quête d'une alternative écologiquement soutenable, socialement acceptable et économiquement profitable à l'agriculture conventionnelle, plusieurs chercheurs ont proposé l'agroforesterie, une activité agricole complexe intégrant les arbres aux cultures et à l'élevage du bétail [21]. Avec l'identification de cette nouvelle approche culturelle durable et respectueuse de l'environnement, la plupart des gouvernants des pays africains encouragent les producteurs à entreprendre une gestion des cacaoyères associant d'autres espèces capables de procurer divers biens et services aux cacaoyers et aux producteurs [5], [23]. Le principe n'est pas seulement de laisser des arbres dans la cacaoyère, mais il faudrait que ces arbres laissés ou introduits soient à même d'être utiles au producteur (consommation, vente, médecine, artisanat et construction) et de protéger l'environnement (protection des sols contre l'érosion, le lessivage, protection des cours d'eau ou des nappes souterraines) [5]. Néanmoins, plusieurs points sombres restent à éclaircir quant aux bénéfices écologiques, économiques et sociaux que peuvent tirer les petits producteurs ruraux, des pratiques agroforestières. Car en effet, vers le début des années 1980, dans plusieurs pays producteurs, il a été constaté des limites liées aux pratiques agroforestières à cacao. Économiquement, elles sont accusées de ne pas permettre d'espérer à un rendement élevé du cacao [21]. Ce paradoxe a fait que par exemple en Côte d'Ivoire, la monoculture a été encouragée par les services de vulgarisation avec l'introduction d'un hybride adapté aux conditions de plein sol et la diffusion d'un manuel établissant une liste d'arbres considérés comme indésirables. Ce qui a conduit à l'abandon de la variété *Amelonado* pour l'hybride et de ce fait, le système agroforestier pour des systèmes proches de la monoculture. C'est ainsi qu'à la fin des années 2000, l'agroforesterie traditionnelle a presque disparu du paysage ivoirien: 70 à 90% des plantations sont alors caractérisées par des conditions de léger ombrage ou de plein soleil [23], [24]. Toutefois, ces systèmes proches de la monoculture se trouvent, par rapport aux systèmes agroforestiers traditionnels, face à différents écueils, parmi lesquels le raccourcissement du cycle de vie du cacaoyer, la difficulté à maintenir un environnement forestier plus propice à la replantation cacaoyère et la prolifération de parasites [23]. À plus, les systèmes agroforestiers cacaoyers sont des actifs à long terme qui nécessitent un entretien continu et un renouvellement périodique des stocks d'arbres pour maintenir les rendements [17]. Cela englobe une approche intégrée autour des pratiques intelligentes face au climat (gestion de l'ombrage, diversification des cultures vivrières, gestion intégrée des sols et de l'eau, utilisation de matériel végétal de qualité en combinaison avec de bonnes pratiques agricoles) pour accroître la résilience des exploitations agricoles aux chocs climatiques, biotiques et socio-économiques [17], [25].

La gestion des arbres d'ombrage dans les systèmes agroforestiers à cacaoyer est une question délicate qui se trouve au centre des débats à l'heure actuelle. Bien que ces arbres contribuent à l'augmentation du rendement par la fertilisation des sols, ils peuvent entrer en concurrence avec le cacaoyer tant sur le volet de l'approvisionnement en éléments minéraux lorsque la fertilité des sols décline que sur le volet de compétition à la lumière [15]. Ce qui entraîne une baisse des rendements de cacao en raison de l'augmentation des conditions de stress biotiques et abiotiques [15]. Ainsi, [26] note que jusqu'ici, tenants et adversaires de l'ombrage qui s'affrontaient se contentaient d'étayer leurs thèses par des préférences à des cas particuliers ou des positions de principe plutôt que s'appuyer sur des bases expérimentales indiscutables. C'est pourquoi, cette étude aborde aussi la question des arbres d'ombrage et l'influence que ceux-ci jouent sur les paramètres morphométriques de cacao dans le territoire de Lubero. L'objectif de cette recherche est d'étudier l'influence du degré d'ombrage sur les paramètres morphométriques des cabosses dans la localité de Buyinga qui constitue l'une des zones de production du cacao biologique en territoire de Lubero.

2. MILIEU D'ÉTUDE ET MÉTHODES

2.1. MILIEU D'ÉTUDE

Cette étude a été effectuée dans les plantations cacaoyères situées dans la localité de Buyinga. Cette dernière est située en chefferie des Baswagha, territoire de Lubero à 40 km de l'Est de la ville de Butembo, en province du Nord-Kivu, à l'Est de la République Démocratique du Congo. Elle se trouve à 0°03'49 de latitude Nord et 029°02'42,8" de longitude Est. Buyinga est situé entre deux collines dont celle de Muhola dans sa partie Nord et celle de Lutambi dans sa partie Sud. Elle est aussi bordée par la rivière Mususa dans sa partie Nord et qui constitue sa limite administrative avec les regroupements Muhola et Manzia alors que la rivière Biena la traverse. Généralement, le territoire de Lubero connaît un climat équatorial. Il s'agit d'un climat équatorial du type guinéen qui s'étend sur les basses terres occidentales et septentrionales [27]. Ce climat varie fortement avec l'altitude et la situation géographique. La proximité de l'équateur détermine deux saisons pluvieuses et deux saisons relativement sèches de juin à août et de janvier à février [28]. C'est notamment en zone équatoriale avec des précipitations régulières au cours de l'année. Avec une altitude moyenne de 1265 m, cette localité se situe dans les basses terres chaudes et humides dans le plateau occidental s'appuyant sur la classification du territoire de Lubero proposée par [27], [29]. Ces basses terres chaudes et humides sont appelées également *tierras calientes* des Andes car elles s'étendent de 900 à 1400 m d'altitude. L'étagement du relief dans le territoire de Lubero détermine aussi indirectement celui de la végétation à travers les gradients pluviométriques et thermométriques qu'il provoque. L'étagement de la végétation s'accorde à celui des précipitations [29]. En dessous de 1200 m, on a une forêt ombrophile de plaine. De 1200 à 1600 m, s'étend une forêt de transition ayant certaines caractéristiques de la forêt de plaine. La couverture forestière est ombrophile de type équato-guinéen. Elle a comme sous-bassement les roches précambriennes granitiques, gneissiques et schisteuses. La température moyenne est comprise entre 24 à 25 °C et les précipitations sont de l'ordre de 2183 mm [29]. Les études pédologiques effectuées avec les plantations massives des colons au Kivu dans cette partie du Congo-Belge afin d'y repérer le meilleur sol ont révélé que les sols des hautes terres de l'extrême Nord-Kivu sont essentiellement argileux et faiblement ferrallitiques dérivés des terrains cristallins du Précambrien inférieur. Les sols dérivés des divers substrats rocheux rencontrés dans le territoire de Lubero sont principalement formés de matériaux kaolinitiques. Le trait essentiel de ces sols est la présence de terres d'excellente qualité mais à forte sensibilité à l'érosion [28]. Cette sensibilité de ces sols à l'érosion a conduit à la dégradation de la couverture pédologique et ce qui a diminué les étendues des terres cultivées et on assiste à une rétrogradation pédologique en raison de l'appauvrissement des terres épuisées. Ce milieu a subi une déforestation systématique suite à l'agriculture itinérante sur brûlis basée sur les cultures vivrières et les cultures industrielles comme le cacaoyer si bien que les forêts de montagne auraient disparu dans la région depuis plusieurs décennies [27]. Du point de vue socioéconomique, la population de Buyinga est essentiellement de la tribu *Nande* appelée aussi *Yira*, dont l'agriculture constitue la principale activité économique [30], à laquelle s'ajoute l'élevage des petits et gros bétails et l'artisanat principalement l'extraction de l'or. Cette agriculture est à la fois vivrière et industrielle, et essentiellement traditionnelle car utilisant des outils aratoires rudimentaires [29]. La cacao-culture est l'une des principales cultures industrielles actuellement pratiquées. Le marché de commercialisation est organisé chaque jeudi de la semaine, à l'intention de divers opérateurs commerciaux en provenance de la ville de Butembo et des différents milieux ruraux autour de cette localité, ce qui fait qu'elle est considérée comme un important centre d'approvisionnement en produits vivriers. La figure 1 présente la localisation du milieu d'étude.

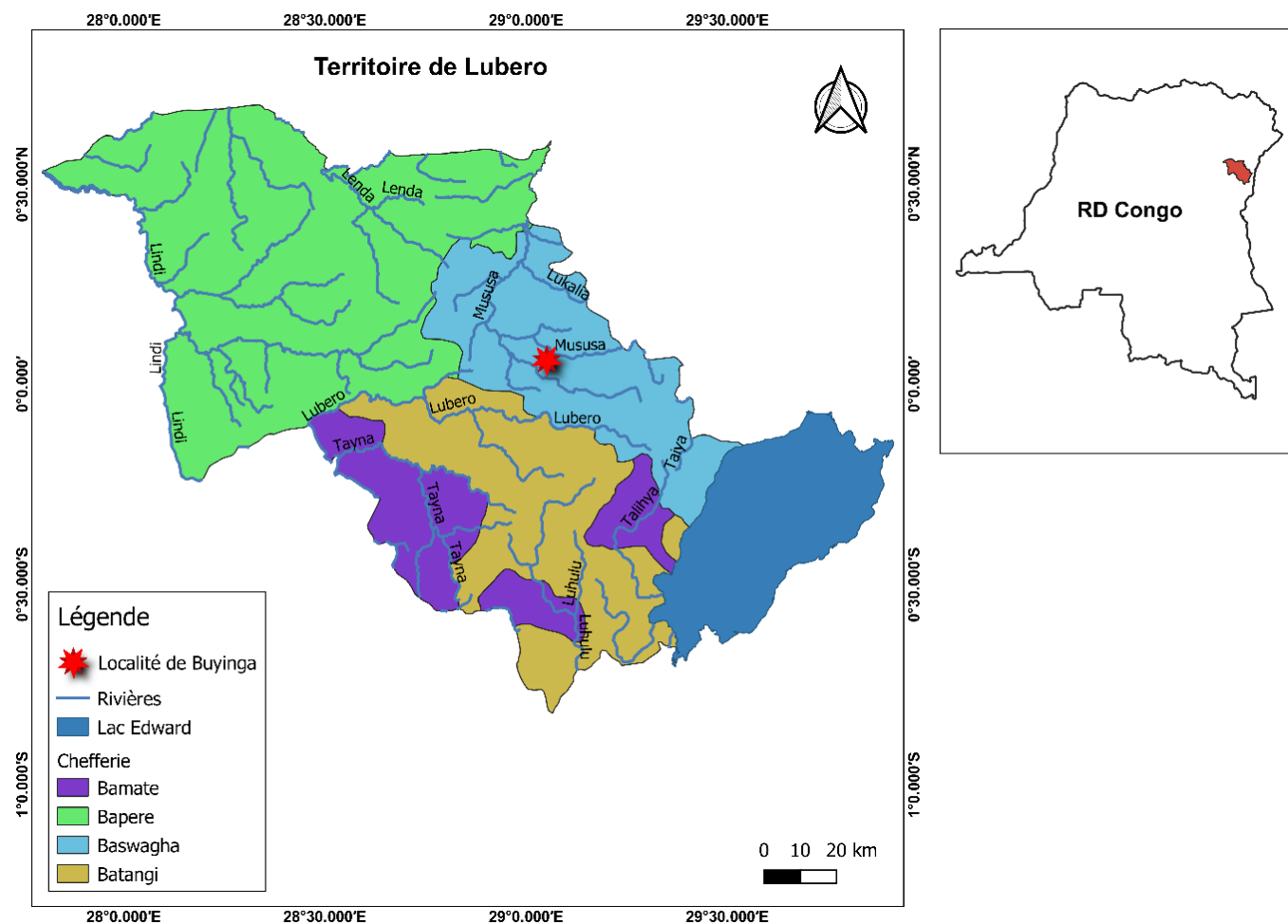


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

2.2. METHODES

2.2.1. MATÉRIELS

La collecte des données a nécessité un certain nombre de matériels. D'une part, le matériel biologique constitué des cabosses et de leurs fèves et d'autre part un certain nombre de matériels non biologiques. Parmi ces derniers figurent notamment un GPS (*Global Positioning System*) marque Garmin 64X pour prélever les coordonnées géographiques des plantations de cacaoyer considérés dans cette étude, un pied à coulisse pour mesurer le diamètre de cabosses ou des fèves de cacao, une latte graduée pour mesurer la longueur des cabosses ou des fèves et un ordinateur pour l'encodage et le traitement des données numériques.

2.2.2. COLLECTE DES DONNÉES

Les mesures de paramètres observées ont été faites dans les champs de cacaoyers. Une synthèse bibliographique a fourni des informations secondaires nécessaires pour faciliter la collecte des données. Dans la localité, neuf plantations de cacaoyer ont fait objet d'études et ont été choisis d'une manière aléatoire sur base d'une liste préalable des plantations cacaoyères. L'échantillonnage a été effectué en se basant sur la densité des arbres donnant une indication sur le degré d'ombrage. Ainsi, les neuf plantations cacaoyères ont été scindés en trois groupes: les plantations dépourvus d'arbres d'ombrage ou en plein soleil, les plantations moyennement ombragés et les plantations fortement ombragées en raison de trois plantations pour chacune de ces catégories. Dans chaque plantation, nous avons considéré dix pieds de cacaoyer. Le comptage du nombre des cabosses par tige de cacaoyer a été fait. Par contre, sur chacun de dix pieds de cacaoyers, nous avons effectué l'écabossage et un échantillon de trois cabosses mûres a été retenu puis découpées à l'aide d'une machette. Sur chacune de trois cabosses, les observations ont porté sur la longueur des cabosses, la circonférence des cabosses et le nombre de fèves par cabosse. Au final, l'étude a été menée sur un échantillon de 270 cabosses en raison 90 cabosses par catégories

de plantations suivant le critère d'ombrage. Vu que cette étude n'a pas pour objectif d'étudier la diversité floristique des systèmes agroforestiers en base de cacaoyer, les espèces agroforestières ont été identifiées seulement faire allusion à leur dominance ou leur occurrence dans les plantations à moyen ombrage et dans celles à fort ombrage. Les espèces agroforestières identifiées dans les champs de cacaoyer sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Liste des essences forestières dans les agroforêts en base de cacaoyer en localité de Buyinga

Noms scientifiques	Familles	Noms vernaculaires
<i>Grevilea robusta</i> (A. Cunn. Ex R. Br)	Proteaceae	Mugaramba
<i>Erythrina abyssinica</i> L.	Fabaceae	Omukohwa
<i>Persea americana</i> Mill.	Lauraceae	Muavoka (Avocatier)
<i>Cedreala odorata</i> L.	Meliaceae	Mutakatifu
<i>Albizzia gummifera</i> (G. Mell) Casm	Fabaceae	Musevere
<i>Myrianthus arboreus</i> (P. Beauv)	Moraceae	Kyamba
<i>Musanga cecropioides</i> (R. Br)	Moraceae	Kumbukumbu
<i>Harungana madagascariensis</i> (Lam. exPoir)	Hypericaceae	Musombo
<i>Entandrophragma</i> sp.	Meliaceae	Liboyo (Sapelli)
<i>Kigelia africana</i> (Lam) Benth	Bignoniaceae	Mumbiri
<i>Spathodea campanulata</i> (P. Beauv.)	Bignoniaceae	Mbina
<i>Markhamia lutea</i> (Benth) K. Schum	Bignoniaceae	Musavu
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Arecaceae	Ngazi (Palmier à huile)
<i>Maesopsis eminii</i> (Engl)	Rhamnaceae	Muguruka
<i>Terminalia superba</i> (Engl & Diels)	Combretaceae	Limba

2.2.3. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Les données ont été collectées et encodées sous le tableur Microsoft Excel 2019. Le test de normalité de Shapiro-Wilk et d'égalité de variances de Bartlett ont été appliqués aux données de différents paramètres. Pour les paramètres où les conditions de normalité et d'homoscédasticité sont vérifiées, une analyse de la variance à un facteur de classification (intensité de l'ombrage) avec trois modalités a été effectuée. La procédure GLM (*Generalized Linear Model* ou Modèle Linéaire Généralisé) a été suivie pour effectuer cette analyse de la variance. Par contre, pour les paramètres accusant un défaut de normalité et d'égalité des variances, l'analyse de la variance à un facteur de classification a été remplacée par le test de rangs de Kruskal-Wallis. Les différences entre les moyennes de différents degrés d'ombrage testés étaient considérées comme significatives quand la probabilité critique (p-value) était inférieure au seuil de significativité (5 %). La représentation graphique des comparaisons par paire avec des p-values indiquant les différences a été rendue possible grâce au package 'ggpubr' [31]. Cet package fournit directement des comparaisons par paires basées sur le test t de Student dans le cas de l'analyse de la variance et sur le test de Wilcoxon s'il s'agit d'un test de Kruskal-Wallis. Pour étudier les corrélations entre les divers paramètres, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été faite en utilisant le package 'FactoMineR' [32] et les graphiques de cette ACP ont été formalisés en utilisant le package 'factoextra' [33], une des extensions du package 'ggplot2' [34]. L'ensemble des analyses statistiques a été effectué à l'aide du logiciel R version 4.1.2 [35] en utilisant un éditeur de script IDE (*Integrated Development Environment*), le logiciel RStudio version 1.2.5033. Les résultats ont été présentés sous forme de diagrammes à boîtes à moustaches.

3. RÉSULTATS

3.1. NOMBRE DES CABOSSES PAR TIGE

Le test de Shapiro-Wilk montre que les données du nombre des cabosses par tige de cacaoyer suivent la loi normale ($W=0,98438$, $p\text{-value}=0,3563$) et les variances de trois groupes de plantation sont homogènes (Bartlett $\chi^2=1,95$; $ddl=2$; $p\text{-value}=0,377$). L'analyse de la variance montre que le nombre des cabosses ne pas différent prenant en compte les trois groupes de plantations selon le degré d'ombrage ($p\text{-value}=0,15 > 0,05$). Les valeurs de la distribution du nombre des cabosses par tige par catégories de plantations sont représentées au niveau de la figure 2.

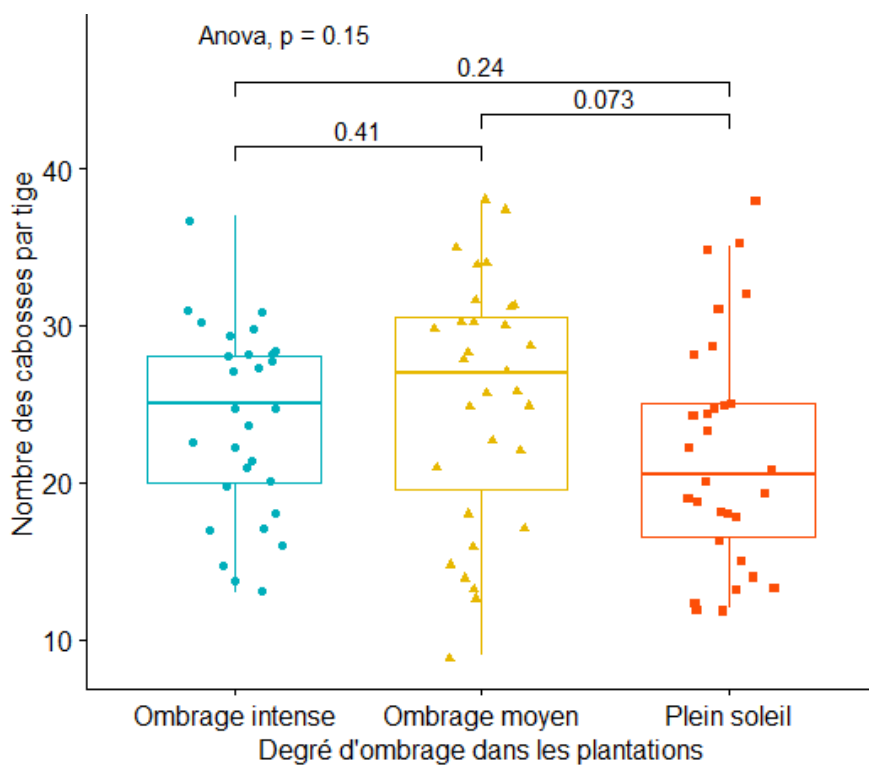


Fig. 2. Distribution du nombre des cabosses par tige en fonction du degré d'ombrage

La figure 2 montre que dans les plantations de cacaoyer fortement ombragées, le nombre de cabosses par tige varie de 13 à 37 cabosses avec une moyenne de $23,9 \pm 6,03$ cabosses. Tandis que dans les plantations moyennement ombragées, les valeurs du nombre de cabosses par tige 9 à 38 cabosses avec une moyenne de $25,39 \pm 7,73$ cabosses alors que dans les plantations installées en plein soleil, le nombre de cabosses par tiges varie de 12 à 38 cabosses avec une moyenne de $21,83 \pm 7,39$ cabosses.

3.2. LONGUEUR DES CABOSSES

Les résultats montrent que les données de la longueur des cabosses n'éloignent de la distribution normale ($W=0,98565$; $p\text{-value}=0,008376 < 0,05$) et les variances entre les différentes catégories de plantation ne sont égales (Bartlett $\chi^2=22,13$; $ddl=2$; $p\text{-value}=1,56.10^{-5}$). En effet, le test des rangs de Kruskal-Wallis montre une différence très hautement significative entre les moyennes de la longueur des cabosses en fonction du degré d'ombrage dans les plantations (Kruskal-Wallis $\chi^2=76,50$; $ddl=2$; $p\text{-value}=2,2.10^{-16**}$). La distribution des valeurs de la longueur des cabosses en fonction des trois groupes de plantations est présentée au niveau de la figure 3.

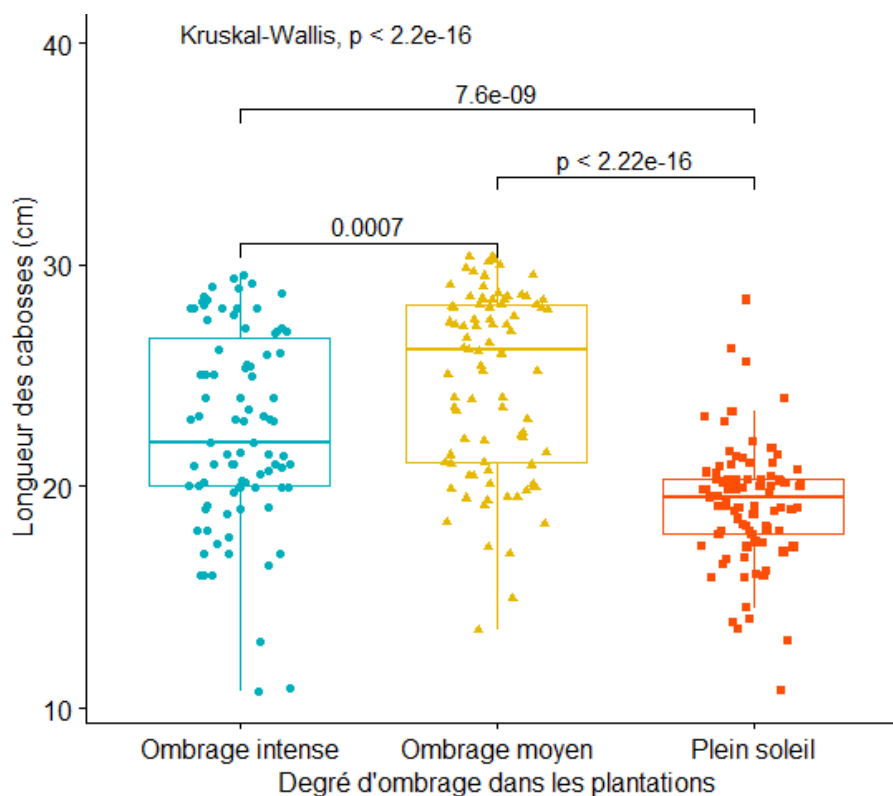


Fig. 3. Comparaison des moyennes de la longueur des cabosses en fonction du degré d'ombrage

La figure 3 montre que tous les trois groupes de plantations sont significativement différents (p -value $<0,05$) en fonction de la longueur des cabosses. Les cabosses les moins longues ont été obtenues dans les plantations en plein soleil. Les valeurs de la longueur des cabosses varient de 10,80 à 29,50 cm avec une moyenne de $22,62 \pm 4,38$ cm dans les plantations fortement ombragées. Dans les plantations moyennement, les valeurs oscillent entre 13,50 et 30,40 cm avec une moyenne de $24,83 \pm 4,11$ cm. Enfin, dans les plantations en plein soleil, la longueur des cabosses varie de 10,80 à 28,40 cm avec une valeur moyenne de $19,21 \pm 2,69$ cm.

3.3. CIRCONFÉRENCE DES CABOSSES

Comme pour la longueur des cabosses, la distribution des valeurs de la circonférence s'écarte significativement de la distribution normale ($W=0,96229$; p -value= $1,76 \cdot 10^{-6}*** < 0,05$). De même, les variances entre les trois catégories de plantations ne sont pas égales (Bartlett $\chi^2=10,87$; $ddl=2$; p -value= $0,004336**$).

En effet, l'application d'un test non paramétrique basée sur les sommes des rangs de Kruskal-Wallis pour comparer les moyennes montre une différence très hautement significative de la circonférence des cabosses (Kruskal-Wallis $\chi^2= 19,109$; $ddl=2$; p -value= $7,08 \cdot 10^{-5}*** < 0,05$). La figure 4 présente la distribution des valeurs de la circonférence des cabosses en fonction du degré d'ombrage et la comparaison par paires.

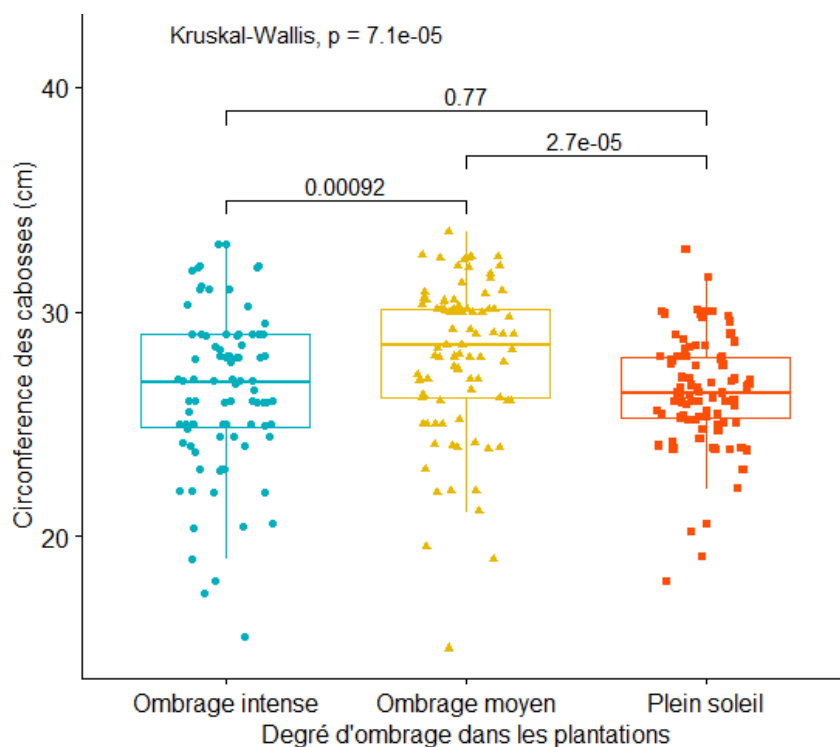


Fig. 4. Comparaison des moyennes de la circonférence des cabosses en fonction du degré d'ombrage

Malgré que le test de Kruskal-Wallis a révélé d'une manière générale la différence entre les moyennes, la comparaison par paires (figure 4) montre qu'il n'existe pas de différence significative de la circonférence des cabosses entre les plantations fortement ombragées et les plantations en plein soleil ($p\text{-value}=0,77 > 0,05$). En effet, on constate que les plantations moyennement ombragées ont induit des cabosses avec une circonférence supérieure par rapport aux cabosses de deux autres catégories de plantations. Les valeurs de la circonférence des cabosses dans les plantations moyennement ombragées varient de 15 à 33,60 cm avec une moyenne de $27,99 \pm 3,41$ cm. Par contre, dans les plantations fortement ombragées, les valeurs varient de 15,15 à 33 cm avec une moyenne de $26,46 \pm 3,49$ cm alors que dans les plantations installées en plein soleil, la circonférence des cabosses varie de 18 à 32 cm avec une valeur moyenne de $26,47 \pm 2,52$ cm.

3.4. NOMBRE MOYEN DES FÈVES PAR CABOSSE

Les résultats montrent que les données du nombre des fèves par cabosse ne sont pas distribuées selon une loi de distribution normale ($W=0,9614$; $p\text{-value}=1,28.10^{-6***}$). Mais, on constate quand même que les variances du nombre des fèves par cabosse en fonction des trois groupes de plantations se rapprochent un tout petit peu de la condition de l'homoscédasticité (Bartlett $\chi^2=5,965$; $ddl=2$; $p\text{-value}=0,05066^*$). La comparaison des moyennes du nombre des fèves par cabosse par le test non paramétrique de Kruskal-Wallis montre une différence très hautement significative entre les groupes de moyennes (Kruskal-Wallis $\chi^2= 17,47$; $ddl=2$; $p\text{-value}=0,0001604***$). La distribution des valeurs du nombre des fèves par cabosse en fonction des groupes de plantations est présentée au niveau de la figure 5.

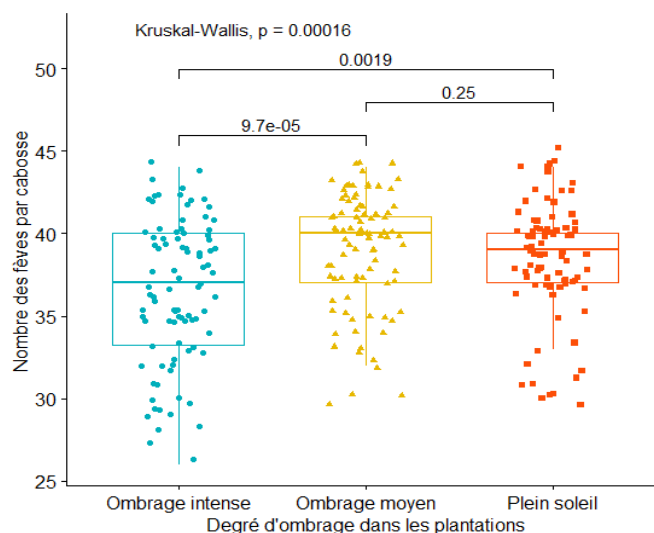


Fig. 5. Comparaison des moyennes du nombre des fèves par cabosse en fonction du degré d'ombrage

La figure 5 montre que malgré la différence observée après le test de Kruskal-Wallis, le nombre des fèves par cabosse dans les plantations moyennement ombragées et dans les plantations installées en plein soleil n'est pas statistiquement différent ($p\text{-value}=0,25 > 0,05$). On constate que les plantations fortement ombragées ont donné des cabosses avec moins de fèves. Les valeurs du nombre des fèves par cabosse dans les plantations fortement ombragées varient de 26 à 44 fèves avec une moyenne de $36,50 \pm 4,37$ fèves. Tandis que dans les plantations moyennement ombragées, on observe un nombre élevé des fèves variant de 30 à 44 fèves avec une moyenne de $38,96 \pm 3,49$ fèves. Enfin, les plantations en plein soleil se trouvent dans une position intermédiaire avec des valeurs allant de 30 à 45 fèves par cabosse avec une valeur moyenne de $38,53 \pm 3,51$ fèves.

3.5. CORRÉLATIONS ENTRE LES PARAMÈTRES OBSERVÉS

L'analyse en Composantes Principales (ACP) a permis de représenter les informations en considérant les deux premiers axes: le premier axe représente 60,08 % de la variance et le deuxième axe représente 20,23 % soit un total de la variance expliquée de 80,31 %. Cela signifie que ces deux premiers axes sont les plus informatifs. La figure 6 présente le pourcentage de la variance expliquée et le cercle de corrélation des variables considérées dans l'ACP.

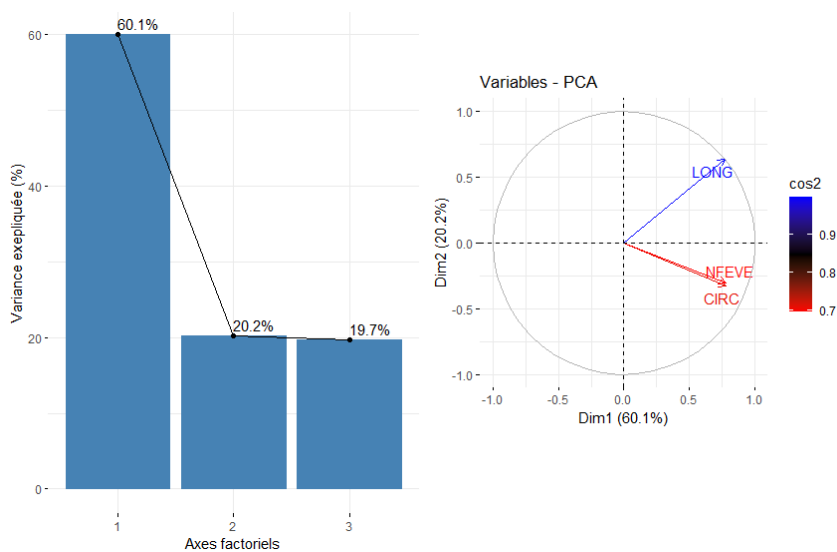


Fig. 6. Variance expliquée par les axes et cercle de corrélations avec les valeurs du cosinus carré (\cos^2)

Légende: LONG=Longueur des cabosses; CIRC= Circonférence des cabosses et NFEVE= Nombre des fèves par cabosse

La figure 6 montre que toutes les variables sont bien représentées sur les axes 1-2 car les valeurs de cosinus carré se rapprochent toutes de 1. La variable LONG est la mieux représentée avec une valeur du cosinus carré de 0,99 contre 0,70 pour la variable CIRC et 0,69 pour la variable NFEVE. Le tableau 2 montre la contribution de chaque variable à la construction des axes facteurs 1-2.

Tableau 2. Contribution des variables aux axes 1 et 2

Variables	Axe 1	Axe2
LONG	32,87	67,09
CIRC	33,54	17,65
NFEVE	33,57	15,25

Le tableau 2 montre que la longueur des cabosses (LONG) a plus contribué à la construction de deux axes par rapport à la circonférence des cabosses (CIRC) et le nombre des fèves par cabosse (NFEVE). Les résultats de la figure 7 montre que les coefficients de corrélations entre les variables sont positifs et significatifs mais restent tout de même faibles. Le nombre de fèves par cabosse est corrélée positivement à la longueur des cabosses ($r=0,397$) et à leur circonférence ($r=0,409$). Il existe également une corrélation positive et significative entre la longueur des cabosses et leur circonférence ($r=0,397$).

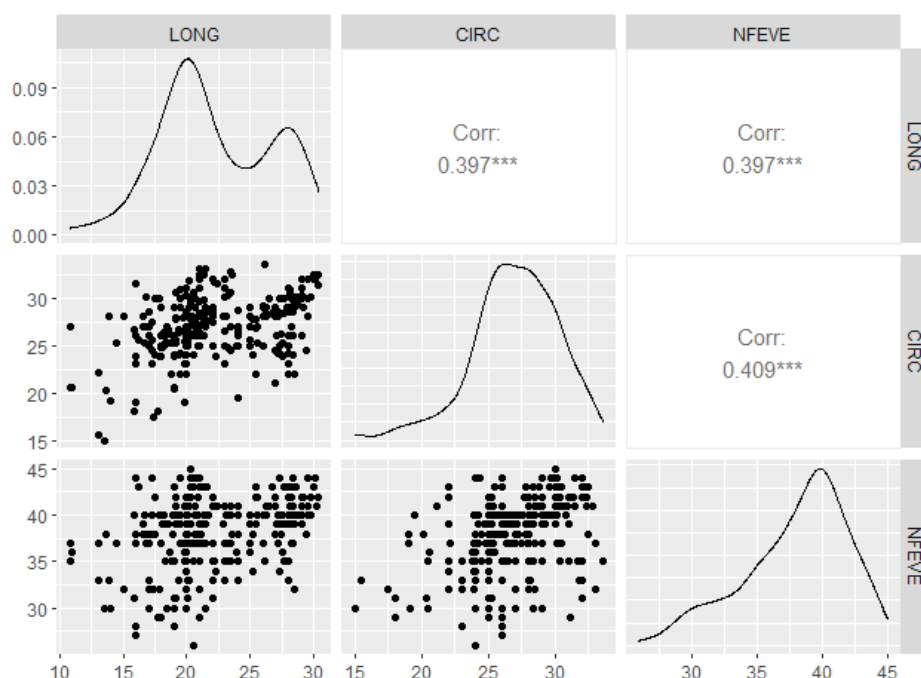


Fig. 7. Matrice de corrélation entre les paramètres observés

4. DISCUSSION

La tendance globale des résultats de cette étude montre que les agroforêts en base de cacaoyers avec un ombrage moyen présentent des valeurs du nombre des cabosses par tige, de la longueur des cabosses, de la circonférence des cabosses et du nombre des fèves par cabosse plus élevées que dans les agrosystèmes en plein soleil et fortement ombragés (figures 2, 3, 4 et 5). Ces résultats corroborent ces observations faites par d'autres chercheurs. La référence [36] a trouvé que le rendement en fèves de cacao était supérieur dans les plantations ombragées contrairement aux plantations en plein soleil en Papouasie Nouvelle Guinée sur deux types de matériel végétal au cours des années 2000 et 2001. Et ces auteurs mettent en avant l'intérêt d'un ombrage permanent pour maintenir la productivité élevée et stable. D'autres travaux comme ceux de [37] mentionnent que la présence de l'ombrage dans les systèmes agroforestiers complexes et mixtes réduit et retarde la floraison du cacaoyer. La référence [25] rapporte par ailleurs que le rendement en cacao (t/ha) était similaire en considérant des densités variables du cacao par rapport aux arbres d'ombrage dans 4 systèmes agroforestiers. En effet, les densités variables des tiges indiquent sur le degré d'ombrage dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers. Cette affirmation

corrobore les résultats de [38] qui avait constaté également que les arbres d'ombrage n'avaient pas un effet significatif sur le rendement en fèves des systèmes agroforestiers de cacao en Costa Rica et au Panama. Par ailleurs, [37] pense que le faible nombre de cabosses récoltées dans les systèmes agroforestiers complexes serait lié aux conditions environnementales (pluviométrie, humidité, densité d'arbres associés, etc.), qui influencent fortement la productivité d'un cacaoyer. Cette productivité peut être pratiquement nulle en cas d'ombrage trop important. En effet, l'ombrage modifie la quantité de lumière, les températures et les mouvements d'air dans la cacaoyère et affecte directement la photosynthèse, la croissance et le rendement du cacaoyer [39]. En outre, [38] affirme qu'un ombrage excessif crée un microclimat plus humide, ce qui favorise la prolifération de maladies telles que la pourriture brune, et réduit la production [40]. L'une des raisons qui militent en faveur de l'ombrage est que la longévité des cacaoyers est moindre dans les systèmes plein soleil que sous ombrage [41]. Les rendements des cacaoyers sous ombrage permanent sont inférieurs à ceux des cacaoyers sans ombrage. Les rendements pour des cacaoyers sous ombrage ont été évalués à différentes distances de *Terminalia ivorensis*. Il en ressort que les cacaoyers les plus proches des arbres d'ombrage ont obtenu des rendements inférieurs. Les rendements ont augmenté linéairement au fur et à mesure qu'on s'éloignait de l'arbre d'ombrage. Les chercheurs croient que la compétition entre les arbres d'ombrage et les cacaoyers, pour l'eau et les nutriments, n'est pas importante et que cette baisse des rendements est plutôt attribuée à une compétition pour la lumière [38].

Les arbres d'ombrage dans les systèmes agroforestiers de cacao concurrencent les cacaoyers pour les nutriments et la lumière, qui peut avoir un effet sur les paramètres morphométriques de cabosses et des fèves et par conséquent affectés le rendement du cacaoyer à l'hectare [25]. Considérant les résultats de la figure 2, le nombre des cabosses initiés par tige est similaire que ce soit dans les plantations fortement ou moyennement ombragées ou encore sans plein soleil (sans arbres ombrage). En effet, [25] a constaté que le nombre moyen des cabosses par tige n'était pas statistiquement différent dans les systèmes agroforestiers avec et sans arbres ombrage ($p = 0,91$). Selon [38], les cacaoyers sans ombrage présentent une floraison considérablement plus intense et plus fréquente que les cacaoyers ombragés bien que d'autres paramètres comme les écartements des cacaoyers peuvent exercer une influence significative sur floraison. Car en fait, des études rapportent qu'à des écartements de 1,7 x 1,7 m, la floraison de cacaoyers avait significativement diminué par rapport aux écartements de 3 x 3 m. A plus, l'application des engrais affecte aussi le nombre de fleurs initié. Les résultats de Young (1984) repris par [38] montrent que suite à la chute des feuilles entraînant une diminution de l'ombrage, on observait que la production des fleurs augmentait au cours des premières poussées de floraison qui suivent. Mais, cet auteur estime que les types d'arbres d'ombrage sont le second facteur qui influence la floraison, le premier étant la pluviométrie. D'autres résultats obtenus au Ghana montrent qu'un grand nombre de bourgeons à fruits est apparu sur les cacaoyers ayant reçus des engrais et qui sont soumis à une ombre légère. Cependant, il faut garder à l'esprit que l'abondance des jeunes chérelles ne se traduit pas par une production proportionnelle des cabosses mûres, car le nombre de fruits arrivés à maturité est sérieusement réduit par le dessèchement des jeunes fruits [38]. S'intéressant aux coussinets floraux de cacaoyers, [37] a constaté que le nombre varie de $71,9 \pm 10,7$ coussinets floraux par cacaoyer à une hauteur inférieure à 2 m avec une différence entre les cacaoyers sans ombrage (81 coussinets floraux) et les cacaoyers sous ombrage (55 coussinets floraux). Comme dans cette étude, [37] a constaté que le nombre de chérelles produites était en moyenne de $31,3 \pm 4,9$ et cette valeur ne variait pas statistiquement quel que soit le système considéré. Il a trouvé que l'ombrage avait une influence sur la production des chérelles, avec une valeur moyenne de 16 chérelles pour les cacaoyers sans ombrage contre 10 pour les cacaoyers sous ombrage. Selon [42], l'ombrage léger ou modéré augmente très significativement le nombre de fleurs émises par arbre de cacaoyer, mais ne semble avoir aucune influence nette sur le nombre de fruits noués, à floraison constante. Ce nombre en effet dépend essentiellement des quantités de fleurs émises et le taux des nouaisons évolue saisonnièrement d'une façon parallèle dans ces deux conditions stationnelles types. Au cours des stades ultérieurs, aucune différence nette n'apparaît entre les fructifications des arbres subsistant ou non l'influence d'un ombrage modéré. On peut donc dire que le nombre de fruits sensiblement plus important à tous les stades chez les arbres sous ombrage modéré est dû à une abondance plus grande des floraisons [42]. La référence [43] a obtenu des résultats similaires à ceux de cette étude sur la culture de caféier (*Coffea* sp.) sous différents degrés d'ombrage. En effet, cet auteur a constaté que le rendement en café à l'échelle de la plante est négativement impacté par la quantité d'ombrage; lorsque les densités d'ombrage sont $> 25\%$, aucun fruit n'a été produit pour les deux systèmes agroforestiers. Par ailleurs, il a observé qu'aucune diminution de rendement n'est observée quand l'ombrage est faible ($\leq 25\%$) par rapport au plein soleil. Et que sous ombrage plurispécifique, la charge fruitière ne diffère pas significativement de celle obtenue en plein soleil (p -value= 0,99), bien que la tendance montre une diminution de la charge fruitière [43].

Les résultats de cette étude (figure 5) montrent que les plantations de cacaoyers fortement ombragées sont caractérisées par un nombre faible des fèves par cabosse. Les valeurs moyennes du nombre des fèves par cabosse dans les plantations fortement ombragées, dans les plantations moyennement ombragées et dans celles en plein soleil valent respectivement $36,50 \pm 4,37$, $38,96 \pm 3,49$ et $38,53 \pm 3,51$. Ces valeurs moyennes sont similaires à celles obtenues par [37] qui rapporte que le nombre de fèves par cabosse varie de 11 à 83 avec un nombre moyen de fèves par cabosse est de $39,6 \pm 9,9$. Contrairement à nos résultats où nous avons observé une différence significative entre les agrosystèmes, cet auteur a trouvé le nombre des fèves par cabosse ne varie pas significativement selon le système agroforestier considéré soit 40,6 pour les systèmes simples, 38,7 pour les systèmes mixtes et 39,5 pour les systèmes complexes. En Côte

d'Ivoire, [44] a trouvé que le nombre des fèves dans les échantillons collectés à Petit Bouaké est de 43 fèves contre 42 à Petit Bondoukou. Ces valeurs moyennes obtenues en Côte d'Ivoire sont proches de celles obtenues dans notre zone d'étude.

In fine, les conclusions de nombreux travaux et rapportées par [26] ont confirmé que l'exigence en lumière est variable suivant l'âge des cacaoyers, les arbres adultes demandant un ensoleillement plus intense que les jeunes. Par ailleurs, ces besoins en luminosité croissent avec l'amélioration de la nutrition en éléments assimilables du sol; sur terrain très riche ou convenablement fumé, les cacaoyers donneront leur maximum sans aucun ombrage. Corrélativement dans un sol médiocre, où les soins culturaux se bornent à l'entretien, à l'exclusion de tout apport, le plein ensoleillement, entraînant un déséquilibre entre la fonction chlorophyllienne, maximale dans ce cas et l'absorption minérale insuffisante, aboutit à la décrépitude progressive de la plantation. Chez les jeunes arbres, pour la première année, les arbres recevant 25 % seulement de luminosité sont ceux qui poussent le mieux; la seconde année recevant 50 % de luminosité sont les plus beaux et cela à mesure que l'augmentation de l'auto-ombrage devient apparente. Par contre, chez les arbres en fructification, sans engrais, on observe une chute de rendement avec les cacaoyers exposés à 75 % et 100 % de luminosité, l'ombrage en quelque sorte supplée à l'engrais: avec engrais la production maximale est atteinte aux environs de 75 % de luminosité. En conclusion, D.B. Murray indique que « l'on doit considérer l'ombrage comme une sorte d'amortisseur de l'influence du milieu défavorable, destiné à pallier les conditions néfastes, mais non comme un facteur indispensable au développement du cacao en milieu idéal » [26].

5. CONCLUSION

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) constitue une culture en pleine expansion dans le territoire de Lubero. La qualité des cacaos marchands provenant dans ce territoire occupe une place de plus en plus importante sur le marché mondial bien que la production reste encore faible et confrontée à de nombreuses conflualités de la part de groupes armés principalement les *Allied Democratic Forces* (ADF Nalu) et des milices maï maï. Cette étude a permis de comparer l'influence du degré d'ombrage dans les systèmes agroforestiers sur les paramètres morphométriques des cabosses de cacaoyer. Les résultats de cette étude montrent que les systèmes agroforestiers moyennement ombragés présentent des valeurs élevées du nombre des cabosses par tige, du nombre des fèves par cabosse, de la longueur des cabosses et de la circonférence des cabosses. Bien que dans la littérature, tous les chercheurs comme agriculteurs prônent les agroforêts à cacao, il existe cependant divers systèmes agroforestiers et il serait judicieux de faire le choix de celui pouvant conduire à une production durable véritable. Avant d'en arriver à une implantation de l'un ou l'autre des systèmes à l'échelle nationale, plusieurs éléments restent à évaluer scientifiquement. Des recherches devront répondre à plusieurs questions parmi lesquelles: quels sont les services et quelles sont les valeurs économiques y afférentes dont bénéficieront les paysans, de ces systèmes agroforestiers ? En d'autres termes, quel est le système qui en associant le maximum de biodiversité aux cacaoyers, pourrait compenser éventuellement l'improductivité ou la baisse du rendement des paysans ? Il faut donc trouver un compromis entre production de cacaoyer et services écosystémiques; ce qui permettra de démontrer définitivement, que les systèmes agroforestiers à cacao s'inscrivent bel et bien dans un cadre de développement durable. Comme perspective, l'initiative de la promotion des systèmes agroforestiers dans le territoire de Lubero devraient faire objet d'études approfondies sur leur rentabilité économique, car l'introduction/la promotion d'arbres dans les exploitations agricoles, présente également de nombreux inconvénients pour l'agriculteur, hormis la compétition des arbres avec les cacaoyers.

REFERENCES

- [1] A. M. Henao Ramírez, T. de la Hoz Vasquez, T. M. Ospina Osorio, L. A. Garcés, and A. I. Urrea Trujillo, "Evaluation of the potential of regeneration of different Colombian and commercial genotypes of cocoa (*Theobroma cacao* L.) via somatic embryogenesis," *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 229, no. July 2017, pp. 148–156, 2018, doi: 10.1016/j.scienta.2017.10.040.
- [2] W. Tezara et al., "Does griollo cocoa have the same ecophysiological characteristics as forastero?," *Bot. Sci.*, vol. 94, no. 3, pp. 563–574, 2016, doi: 10.17129/botsci.552.
- [3] G. Entuni, H. Nori, R. Edward, and A. K. B. M. Jaafar, "Evaluation of the bean qualities of cocoa clones after propagated from somatic embryogenesis culture," *Asia-Pacific J. Sci. Technol.*, vol. 25, no. 4, pp. 1–8, 2020, doi: 10.14456/apst.2020.31.
- [4] S. P. Akoa, P. E. Onomo, J. M. Ndjaga, M. L. Ondobo, and P. F. Djocgoue, "Impact of pollen genetic origin on compatibility, agronomic traits, and physicochemical quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans," *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 287, no. 2021, p. 110278, 2021, doi: 10.1016/j.scienta.2021.110278.
- [5] B. I. Adji et al., "IDENTIFICATION DES PRATIQUES ET TYPES DE SYSTEMES AGROFORESTIERS A BASE DE CACAOYERS (*Theobroma cacao* L.) DANS LES TROIS PRINCIPALES ZONES DE PRODUCTION DE CACAO EN COTE D'IVOIRE," *Agron. africaine*, vol. 3, no. 32, pp. 323–342, 2020.
- [6] M. J. Guiltinan, J. Verica, D. Zhang, and A. Figueira, "Chapter 6 Genomics of *Theobroma cacao*, 'the Food of the Gods,'" *Genomics Trop. Crop Plants*, pp. 145–170, 2008, doi: 10.1007/978-0-387-71219-2_6.

- [7] J. Kim, K. W. Lee, and H. J. Lee, "Cocoa (*Theobroma cacao*) Seeds and Phytochemicals in Human Health," *Nuts Seeds Heal. Dis. Prev.*, pp. 351–360, 2011, doi: 10.1016/B978-0-12-375688-6.10042-8.
- [8] A. B. Bennett, "Out of the Amazon: *Theobroma cacao* enters the genomic era," *Trends Plant Sci.*, vol. 8, no. 12, pp. 561–563, 2003, doi: 10.1016/j.tplants.2003.10.004.
- [9] J. E. Kongor, M. Hinneh, D. Van de Walle, E. O. Afoakwa, P. Boeckx, and K. Dewettinck, "Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile - A review," *Food Res. Int.*, vol. 82, no. 2016, pp. 44–52, 2016, doi: 10.1016/j.foodres.2016.01.012.
- [10] F. Y. Daramola, S. B. Orisajo, A. P. Malan, and M. Marais, "Molecular characterization of *Helicotylenchus multicinctus* and *H. Dihystera* (Tylenchida: Haplolaimidae) from *Theobroma cacao* in Nigeria," *Zootaxa*, vol. 4778, no. 2, pp. 343–356, 2020, doi: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4778.2.6>.
- [11] L. D. P. Barrientos, J. D. T. Oquendo, M. A. G. Garzón, and O. L. M. Álvarez, "Effect of the solar drying process on the sensory and chemical quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivated in Antioquia, Colombia," *Food Res. Int.*, vol. 115, no. 2018, pp. 259–267, 2018, doi: 10.1016/j.foodres.2018.08.084.
- [12] J. Liabeuf, "Les tendances actuelles de la recherche cacaoyère et les acquis récents dans l'amélioration de la production du cacao," *J. d'agriculture Tradit. Bot. appliquée*, vol. 26, no. 3, pp. 247–266, 1979, doi: <https://doi.org/10.3406/jatba.1979.3804>.
- [13] J. Y. Fang, A. Wetten, and P. Hadley, "Cryopreservation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) somatic embryos for long-term germplasm storage," *Plant Sci.*, vol. 166, no. 3, pp. 669–675, 2004, doi: 10.1016/j.plantsci.2003.11.002.
- [14] Z. Konate, A. A. Assiri, F. G. Messoum, A. Sekou, and M. Camara, "Antécédents culturels et identification de quelques pratiques paysannes en replantation cacaoyère en Côte d'Ivoire," *Agron. Africaine*, vol. 27, no. 3, pp. 301–314, 2016.
- [15] W. Vanhove et al., "Impact of insecticide and pollinator-enhancing substrate applications on cocoa (*Theobroma cacao*) chermelle and pod production in Côte d'Ivoire," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 293, no. February, 2020, doi: 10.1016/j.agee.2020.106855.
- [16] A. Assiri et al., "Comparaison de deux techniques de replantation cacaoyère sur antécédents culturels non-forestiers en Côte d'Ivoire," *African Crop Sci. J.*, vol. 23, no. 4, p. 365, 2015, doi: 10.4314/acsj.v23i4.6.
- [17] C. T. L. Djuideu, H. D. B. Bisseleua, S. Kekeunou, and F. C. Ambele, "Rehabilitation practices in cocoa agroforestry systems mitigate outbreaks of termites and support cocoa tree development and yield," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 311, no. 2021, p. 107324, 2021, doi: 10.1016/j.agee.2021.107324.
- [18] E. Tollens, "Les défis : Sécurité alimentaire et cultures de rente pour l'exportation – Principales orientations et avantages comparatifs de l'agriculture en R.D. Congo," *Work. Pap.*, vol. Département, no. 86, pp. 2–76, 2004, [Online]. Available: <http://www.agr.kuleuven.ac.be/aee/clo/wp/tollens2004a.pdf>.
- [19] Anonyme, ACCOMPAGNER LES ORGANISATIONS DE LA PLACE DES PRODUCTEURS AU SEIN DES CHAINES DE VALEUR : L'exemple des filières cacao au Cameroun, en Indonésie, à Madagascar et en République Démocratique du Congo. 2018.
- [20] S. Kibriya, J. King, and E. Price, "Conflict Resistant Agribusiness in Democratic Republic of Congo," *Int. Food Agribus. Manag. Rev.*, vol. 17, no. Special Issue B, pp. 75–80, 2014.
- [21] B. T. Vroh, N. E. J. Abrou, Z. B. Gone Bi, and C. Adou Yao, "Système agroforestier à cacaoyers en Côte d'Ivoire: connaissances existantes et besoins de recherche pour une production durable," *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, vol. 7, no. 1, pp. 99–109, 2019.
- [22] S. O. Dahunsi, A. T. Adesulu-Dahunsi, and J. O. Izebere, "Cleaner energy through liquefaction of Cocoa (*Theobroma cacao*) pod husk: Pretreatment and process optimization," *J. Clean. Prod.*, vol. 226, no. 2019, pp. 578–588, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.112.
- [23] E. Sanial, "L'appropriation de l'arbre, un nouveau front pour la cacaoculture ivoirienne? Contraintes techniques, environnementales et foncières," *Cah. Agric.*, vol. 27, no. 5, p. 55005, 2018, doi: 10.1051/cagri/2018036.
- [24] A. A. Assiri et al., "Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire," *J. Anim. Plant Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 55–66, 2009, [Online]. Available: <http://www.biosciences.elewa.org/JAPS>.
- [25] W. Vanhove, N. Vanhoudt, and P. Van Damme, "Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantation," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 219, no. 2016, pp. 14–25, 2016, doi: 10.1016/j.agee.2015.12.005.
- [26] E. M. Lavabre, "Etude sur l'ombrage du Cacaoyer," *J. Agric. Trop. Bot. Appl.*, vol. 6, no. 12, pp. 685–690, 1959, doi: <https://doi.org/10.3406/jatba.1959.2586>.
- [27] L. Kasay, "Dynamisme Démono-Géographique et mise en valeur de l'Espace en milieu équatorial d'altitude : Cas du Pays Nande au Kivu Septentrional, Zaïre," Thèse Doctorat en Géographie, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, 1988.
- [28] D. Kujirakwinja, G. Bashonga, and A. Plumptre, Etude socio-économique de la zone nord ouest du Parc National des Virunga (région de Lubero-Butembo-Beni), WWF, WCS. « Programme de renforcement des capacités de gestion de l'ICCN et appui à la réhabilitation d'aires protégées en RDC », Feuille technique n°2, 2007.
- [29] K. E. Vyakuno, "Pression anthropique et aménagement rationnel des hautes terres de Lubero en R.D.C. Rapports entre société et milieu physique dans une montagne équatoriale. Tome I et II," Université de Toulouse II-Le Mirail, 2006.

- [30] O. Mirembe, "Echanges transnationaux, réseaux informels et développement local : une étude au Nord-Est de la République Démocratique du Congo," Thèse de doctorat en sciences sociales, Université Catholique de Louvain, 2005.
- [31] A. Kassambara, ggpubr: "ggplot2" Based Publication Ready Plots. R package version 0.4.0. <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>, 2020.
- [32] S. Le, J. Josse, and F. Husson, "FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis," J. Stat. Softw., vol. 25, no. 1, pp. 1–18, 2008, doi: 10.18637/jss.v025.i01.
- [33] A. Kassambara and F. Mundt, factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>, 2020.
- [34] H. Wickham, ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.
- [35] R Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2021.
- [36] P. Bastide, D. Paulin, and P. Lachenaud, "Influence de la mortalité des cacaoyers sur la stabilité de la production dans une plantation industrielle," Tropicicultura, vol. 26, no. 1, pp. 33–38, 2008.
- [37] V.-P. G. Kouadio, B. T. A. Vroh, K. B. Kpangui, A. S. F. Kossonou, and C. Y. Adou Yao, "Incidence de l'ombrage sur les caractères phénotypiques du cacaoyer en zone de transition forêt-savane au centre de la Côte d'Ivoire," Cah. Agric., vol. 27, no. 5, p. 55001, 2018, doi: 10.1051/cagri/2018031.
- [38] M. Boulay, "Etude De La Phénoeogie De Différents Hybrides De Cacaoyer Associés à Six Espèces D'Arbre D'Ombrage," Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M. Sc.), Université de Laval, 1998.
- [39] P. Zuidema, A. Leffelaar, W. Gerritsma, K. Mommer, and N. Anten, "A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application," Agric. Syst., vol. 82, no. 2005, pp. 195–225, 2005.
- [40] G. Mossu, Le cacaoyer, Maisonneuv. 1990.
- [41] Y. Ahenkorah, G. Akrofi, and A. Adri, "The end of the first cacao shade and manurial experiment at the Cacao Research Institute of Ghana," J Hort Sci, vol. 49, pp. 43–51, 1974.
- [42] Boyer, "Étude écophysiological du développement de cacaoyers cultivés au Cameroun. Café, Cacao et thé.," vol. 88, no. 1, p. 30, 1974.
- [43] M. Cabon, "Effet de l'ombrage sur le microclimat, la fertilité du sol et la production du caféier au Costa Rica," Mémoire de Fin d'Etudes, Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage, 2015.
- [44] D. E.-O. KOUASSI, "Etude de la diversité agro-morphologique du matériel végétal utilisé par les planteurs de cacao [(*Theobroma cacao* L.), Malvaceae] de la région de la Nawa en Côte d'Ivoire," Mémoire de Master de Biologie et Protection des végétaux, Université Nangui Abrogoua, 2014.