

Analyse floristique, diversité et structure des communautés forestières de Mahatsara, d'Ihofa et de Mantadia, dans la partie orientale de Madagascar

Rio R. Heriniaina^{1,2,3}, Rivoharifara Randrianarimanana⁴, Andrisoa S. Rabotovao^{1,2}, Omer J.-C. Andrianarimanana^{1,2}, Alfred Andriamamonjy^{1,2} & Hantanirina Rasamimanana^{1,2}

¹ Equipe d'Accueil Doctorale Sciences Expérimentales et Valorisation des Ressources Naturelles, BP 881, Ecole Normale Supérieure, Université d'Antananarivo, Antananarivo 101, Madagascar

E-mail : rioheriniaina@gmail.com, andrianariomer@yahoo.fr, rasamitovo@gmail.com, alfred.andriamamonjy@univ-antananarivo.mg, andrianariomer@yahoo.fr, rabotovaoandry@yahoo.fr

² Ecole Doctorale Gestion des Ressources Naturelles et Développement, Université d'Antananarivo, BP 175, Antananarivo 101, Madagascar.

³ Ecole des Sciences Agronomiques et Environnementales de Diego, BP O, Université d'Antsiranana, Antsiranana 201, Madagascar

E-mail : rioheriniaina@gmail.com

⁴ Mention Biologie et Ecologie Végétales, BP 906, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Antananarivo 101, Madagascar

E-mail : randriarhf7@gmail.com

Résumé

Cette étude présente une analyse comparative de la composition floristique et de la structure forestière de trois forêts humides de l'Est de Madagascar : Mahatsara, Ihofa et Mantadia. Les données ont été collectées à partir de 24 plots par site, chacun d'une dimension de 50 x 20 m. L'ensemble des plots a permis de recenser 9014 individus d'arbres d'un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) supérieur ou égal à 10 cm, appartenant à 218 espèces réparties dans plusieurs familles botaniques, notamment les Lauraceae, les Euphorbiaceae et les Myrtaceae. L'analyse de l'indice de similarité de Horn met en évidence des différences significatives dans la composition floristique entre les trois sites. Concernant la structure forestière, une différence significative du nombre de pieds par plot a été observée entre les trois sites. En revanche, la surface terrière et le biovolume n'ont pas révélé de différences statistiquement significatives entre les

sites. La distribution des diamètres à hauteur de poitrine (DHP) montre une forte proportion d'individus dans les petites classes de diamètre dans les trois sites. Mantadia présente le plus grand nombre d'arbres dans les classes de [10-20 cm[, [20-30 cm[et [30-40 cm[. Les classes supérieures [40-50 cm[et > 50 cm) sont faiblement représentées dans l'ensemble des forêts. En ce qui concerne la hauteur, la classe [8 ;16 m] domine dans tous les sites, tandis que les grands arbres (classes [16 ;32 m] et [32 ≥ m]) sont peu fréquents, traduisant une structure verticale relativement homogène et dominée par des arbres de taille moyenne.

Mots-clés : diversité d'espèces forestières, forêt humide, Mahatsara, Ihofa, Mantadia

Extended abstract

Madagascar is one of the world's leading biodiversity hotspots, hosting more than 90% endemic species within its flora and fauna. However, the island's forest cover continues to decline rapidly due to anthropogenic pressures. The eastern rainforests are among the richest ecosystems in terms of plant diversity but also the most threatened. Understanding their floristic composition and structural characteristics is crucial for effective conservation and forest management. This study presents a comparative analysis of the floristic composition, diversity, and forest structure of three humid forests located in the central-eastern region of Madagascar: Mahatsara, Ihofa, and Mantadia. These forests lie within the Ankeniheny-Zahamena corridor, a key biodiversity area that serves as a refuge for many endemic species, including *Indri indri*, Madagascar's largest living lemur.

Data collection was conducted from January to December 2022. At each site, 24 botanical plots of 50 x 20 m were established, yielding a total sampled area of 7.2 ha. Within these plots, all woody plants with a diameter at breast height (DBH) ≥ 10 cm were identified and measured. For each tree, the total height and vernacular name were recorded. These data were used to calculate standard forest metrics such as species abundance, density, basal area,

and biovolume, as well as diversity and similarity indices. The analysis also included the distribution of individuals across DBH and height classes to assess demographic and vertical forest structure.

A total of 9014 individuals belonging to 218 species, 120 genera, and 57 families were recorded across the three sites. The families Lauraceae, Euphorbiaceae, and Myrtaceae were dominant and played a key structural role in the forest canopy. The 10 most represented families accounted for over 50% of all individuals, with Lauraceae contributing around 8%, followed by Euphorbiaceae (7%) and Myrtaceae (6%). Ihofa exhibited the highest floristic richness (160 species), followed by Mahatsara (139 species) and Mantadia (120 species). Floristic similarity between sites, assessed using the Horn Similarity Index, showed values of 0.73 (Ihofa-Mahatsara), 0.78 (Mahatsara-Mantadia), and 0.81 (Ihofa-Mantadia), indicating moderate to high similarity but with statistically significant differences among all pairs. These differences likely reflect ecological and structural contrasts, local disturbance levels, and differences in forest management regimes. Ihofa, situated between the highly disturbed Mahatsara and the relatively intact Mantadia, serves as an intermediate system in terms of both composition and structure. Regarding forest structure, the mean number of stems per plot varied significantly among sites. In contrast, basal area (0.092-0.106 m²/plot) and biovolume (0.64-0.75 m³/plot) did not differ significantly between sites. The DBH distribution in all three sites displayed a typical reverse-J shape, indicating a predominance of young or small-diameter trees (10-30 cm) and a good potential for natural regeneration. Large trees (> 50 cm DBH) were rare, especially in Mahatsara, where selective logging and agricultural encroachment are more pronounced. The vertical structure was relatively homogeneous across the sites, dominated by trees in the 8-16 m height class, representing the middle canopy layer. Taller trees (16-32 m and > 32 m) were scarce. Mantadia contained slightly taller individuals, reflecting its lower human disturbance and longer regeneration time. In contrast, Mahatsara exhibited a truncated vertical profile, symptomatic of canopy fragmentation and reduced regeneration capacity.

Overall, the study highlights notable spatial variability in floristic composition and structural parameters between the three sites, despite their geographic proximity. Ihofa emerges as a moderately disturbed but functionally resilient forest, while Mahatsara shows clear signs of anthropogenic

degradation. Mantadia, though protected, still shares compositional affinities with the other two sites, emphasizing the ecological connectivity within the broader Ankeniheny-Zahamena corridor. These findings underscore the ecological importance of maintaining even small forest fragments such as Mahatsara as complementary habitats supporting biodiversity continuity. From a conservation perspective, these results reinforce the need to integrate community-managed forests like Mahatsara and Ihofa into national forest protection strategies. The dominance of key families such as Lauraceae and Myrtaceae, both ecologically and economically valuable, suggests that their sustainable management could enhance both biodiversity conservation and local livelihoods. To conclude with, this comparative study provides updated ecological data on three representative rainforests in eastern Madagascar. It reveals significant yet nuanced differences in floristic diversity and forest structure that reflect varying degrees of disturbance and management. The information generated contributes not only to the scientific understanding of forest ecology in the Andasibe-Mantadia region but also offers a foundation for long-term biodiversity monitoring, sustainable forest management, and species conservation planning in one of Madagascar's most critical ecological corridors.

Keywords: tree species diversity, rainforest, Mahatsara, Ihofa, Mantadia

Introduction

Madagascar est l'un des principaux pays hotspots de biodiversité de la planète (Myers *et al.*, 2000 ; Goodman & Benstead, 2005 ; Antonelli *et al.*, 2022) abritant 5 % de la biodiversité mondiale, avec 90 % de ses espèces endémiques à l'île. Pourtant, la surface forestière de la grande île diminue à une vitesse alarmante (Rafanoharana *et al.*, 2024). Par conséquent, Madagascar a été identifiée comme l'un des 24 fronts de déforestation dans le monde (Pacheco *et al.*, 2020). Selon Global Forest Watch, de 2002 à 2023, Madagascar a perdu 1,08 million d'hectares de forêts humides primaires, ce qui représente 22 % de la perte totale de la couverture arborée au cours de la même période.

La forêt dense humide de Madagascar est parmi la forêt riche en termes de diversité (WWF Madagascar, 2021). Actuellement, cette forêt est menacée par la déforestation et la dégradation de leur habitat (Vieilledent *et al.*, 2018 ; Hervé *et al.*, 2020 ;

Hending *et al.*, 2024 ; Narváez-Torres *et al.*, 2024). La région d'Andasibe-Mantadia, principalement composée de forêt dense humide sempervirente et abrite une biodiversité exceptionnelle (Goodman *et al.*, 2018) n'échappe plus à ces pressions. Cette forêt est très connue également par la présence des espèces emblématique telle que l'indri ou *Indri indri* (Bonadonna *et al.*, 2017). La conservation de ces espèces emblématiques et ces habitats remarquables dépend essentiellement de la connaissance de leurs habitats. La compréhension de ces habitats est une condition sine qua non pour garantir la viabilité de ces espèces vu que la superficie des forêts, qui constituent des habitats naturels, est de plus en plus menacée (Myers *et al.*, 2000 ; Ralimanana *et al.*, 2022). Dans ce contexte, une étude a été menée afin de caractériser les forêts au niveau de trois sites, à savoir Ihofa, Mahatsara et Mantadia. La question de recherche qui guide cette étude est la suivante : comment la structure floristique, la diversité et les caractéristiques forestières varient-elles entre les forêts de Mahatsara, d'Ihofa et de Mantadia ?

Méthodes

Sites d'étude

Les sites d'étude qui ont servi de cadre de travail de recherche sont les forêts d'Ihofa, de Mantadia et de Mahatsara et qui se trouvent respectivement à 18 km, 8-14 km et 8-14 km du village d'Andasibe (Figure 1). Ces trois forêts appartiennent au corridor Ankeniheny-Zahamena (Andriambelo *et al.*, 2005). Ces sites d'étude se trouvent dans l'ancienne province de Toamasina, dans la région d'Alaotra Mangoro, District de Moramanga, entre les Communes rurales d'Andasibe et d'Ambatovola. La Commune rurale d'Andasibe, située à 137 km à l'Est d'Antananarivo suivant la route nationale numéro 2, est le village le plus proche de ces sites (Ballet & Randrianalijaona, 2011).

Description des sites entre janvier 2022 et décembre 2022 pendant la collecte des données

Mahatsara

Le site de Mahatsara situé entre les points kilométriques 9 et 14 le long de la route menant à Mantadia, est caractérisé par la présence de plusieurs lambeaux forestiers au sein d'une forêt très dégradée. Cette zone subit une forte interaction entre les activités humaines et l'écosystème forestier, comme en témoignent la présence de hameaux et de rizières à l'intérieur de la forêt. Le village de

Mahatsara, situé à environ 2 km à vol d'oiseau de cette forêt, comptait une population d'environ 500 habitants en 2019 (Heriniaina & Rakotomalala, 2020). Le centre du village se trouve aux coordonnées géographiques suivantes 18°51'45,36"S, 48°25'27,24"E. La forêt de Mahatsara est située à 8 km au Nord du village d'Andasibe, au sein de la Commune rurale d'Andasibe (Soarimalala *et al.*, 2019). Avec une superficie de 620 ha (Heriniaina & Rakotomalala, 2020), cette forêt est gérée par le VOI TAMAMMIFI en 2017 par un contrat de transfert.

Ihofa

Ihofa est situé à partir du point kilométrique 18 le long de la route menant à Mantadia. L'accès à cette zone se fait par une ancienne piste reliant Andasibe à Ihofa, longeant la bordure Est du Parc National de Mantadia. Faisant partie du corridor Mantadia-Zahamena, cette forêt présente un certain degré de fragmentation (Andriambelo *et al.*, 2005 ; Razafindratsima *et al.*, 2021). La rivière Ihofa traverse la forêt, influençant son hydrologie. Quelques villages se trouvent à proximité, mais les lambeaux forestiers y sont moins nombreux qu'à Mahatsara, et la forêt d'Ihofa est relativement peu dégradée. La gouvernance de cette zone est complexe, avec une coexistence de différents régimes de gestion, incluant des zones sous transfert de gestion et de ressources naturelles, des zones à gestion privée, ainsi que des espaces non protégés. La forêt d'Ihofa s'étend sur une superficie de 4385 ha, et la dénomination de la forêt vient de la présence de la rivière Ihofa qui traverse cette forêt. L'un des centres des placettes botaniques installées à Ihofa a été géoréférencé au point suivant : 48°26'40"S, 18°48'53"E.

Mantadia

Le Parc National de Mantadia a été créé en 1989 (Kshirsagar *et al.*, 2020 ; Casse *et al.*, 2022). Ce parc est sous la gestion du Madagascar National Parks suivant le décret numéro 89-011 du 11 janvier 1989. Il a subi une extension de limites en 2002 selon le décret numéro 2002-790 du 07 août 2002 (Goodman *et al.*, 2018). Le Parc National de Mantadia s'étale sur une superficie de 15 480 ha selon le décret en vigueur. L'un des centres des placettes botaniques établies à l'intérieur du parc a été géoréférencé au point suivant : 48°28'52"S, 18°28'36"E.

Plots botaniques

Les données sur la structure forestière et la composition floristique ont été collectées à l'aide des plots botaniques (Powzyk & Mowry, 2003) de 50 x 20 m (1000 m²) avec l'aide des guides spécialisés dans le domaine de la botanique. Ces plots, au nombre de 24 par site, ont été installés dans les zones les plus fréquentées par *Indri indri*. Au total, 72 plots botaniques ont été établis dans les trois sites. Dans chaque plot botanique, les données collectées sont : toutes les plantes vasculaires supérieures avec un diamètre à hauteur de poitrine (1,4 m du sol) supérieur à 10 cm, le nom vernaculaire et la hauteur totale des arbres. Les mesures de la hauteur des arbres ont été estimées visuellement par des observateurs expérimentés. Les données recueillies ont permis de calculer les éléments suivants : l'abondance d'espèces végétales, la densité des espèces végétales d'intérêt (ind/ha), la dominance des espèces végétales, les hauteurs moyennes des arbres, les différents paramètres de structure et de diversité.

Paramètres de diversité

Indice de similitude de Horn

L'indice de similitude de Horn est une mesure qui évalue la similarité entre communautés ou sites en fonction de la composition et de l'abondance des espèces (Brower *et al.*, 1990). Cet indice tient compte non seulement de la présence des espèces communes entre les sites, mais aussi de leur abondance relative, ce qui le rend particulièrement utile pour des comparaisons écologiques plus nuancées.

Sa formule est :

$$C_H = \frac{\sum_{i=1}^S p_{1i} \cdot p_{2i}}{\frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^S p_{1i}^2 + \sum_{i=1}^S p_{2i}^2 \right)}$$

Où S est le nombre total d'espèces communes entre les deux sites,

p_{1i} et p_{2i} sont les proportions relatives de l'espèce i dans les sites 1 et 2, respectivement (abondance d'une espèce divisée par l'abondance totale des espèces dans le site correspondant).

C_H varie entre 0 et 1.

- Une valeur proche de 1 indique une composition floristique très similaire en termes d'espèces et de leur abondance relative.

- Une valeur proche de 0 indique une composition très différente.

Paramètres de structure

Abondance

L'abondance d'une espèce correspond au nombre total d'individus d'une espèce donnée observés dans une zone spécifique (Rajoelison, 1997). Elle permet d'évaluer la dominance relative d'une espèce au sein d'une communauté ou d'un habitat.

Densité, surface terrière et biovolume

La densité fait référence au nombre d'arbres par unité de surface, généralement exprimée en tiges par hectare (tiges/ha). Elle donne une indication sur la compacité ou la densité de la végétation dans une forêt (Rajoelison, 1997). Elle est donnée par la formule :

$$D = \frac{\text{Nombres total d'essences recensées}}{\text{Surface échantillonnée}}$$

La surface terrière correspond à la section transversale de l'arbre au niveau du diamètre à hauteur de poitrine (DHP), généralement à 1,40 m du sol (Mbaiyetom *et al.*, 2021). Elle est exprimée en m²/ha et calculée selon la formule suivante :

$$G = \sum (\pi d^2 / 4)$$

Où :

- G = surface terrière (m²)
- D = diamètre à hauteur de poitrine (m)
- $\pi = 3,14$

Le biovolume est calculé à partir de la surface terrière et la hauteur moyenne des arbres. Une formule couramment utilisée est :

$$V = F \times G \times H$$

Où :

- F = facteur de forme (dépendant de l'espèce, souvent compris entre 0,4 et 0,6)
- G = surface terrière (m²/ha)
- H = hauteur moyenne des arbres (m)

Structure verticale

L'analyse verticale étudie la structure des hauteurs données par la distribution du nombre de tiges par classe de hauteur et renseigne sur la stratification verticale du peuplement (Rajoelison, 1997). De cette stratification peut découler le comportement des espèces arborescentes vis-à-vis de la lumière ou du tempérament sylvicole.

La stratification verticale de la population se définit par la répartition spatiale des individus dans les plots botaniques selon leur distribution par classe de hauteur. Les classes de hauteur considérées dans cette étude sont : [2 ; 4 m] ; [4 ; 8 m] ; [8 ; 16 m] ; [16 ; 32 m] et [32 ≥ m. Elles correspondent respectivement aux différentes strates de la forêt : strate inférieure, strate moyenne, strate supérieure et strate des espèces émergentes. Si le nombre d'individus diminue au fur et à mesure que la hauteur augmente, il existe une bonne stratification horizontale de la forêt, mais dans les autres cas, la stratification est perturbée.

Structure démographique de la forêt

La structure démographique de la population se définit par la répartition spatiale des individus distribués par classe de diamètre à hauteur de poitrine. Cette structure est représentée sous forme d'un histogramme ayant comme axe des abscisses les classes de diamètre et comme axe des ordonnées le nombre d'individus. Les classes de diamètre considérées sont : classe I : [10-20 cm] ; classe II : [20-30 cm] ; classe III : [30-40 cm] ; classe IV : [40-50 cm] ; classe V : [40-50 cm] ; classe VI : [50-60 cm] ; classe VII : [60-70 cm] ; classe VIII :

[70-80 cm] ; classe IX : [80-90 cm] ; classe X : [90-100 cm] et classe XI : >100 cm.

Résultats

Structure floristique des forêts d'Ihofa, de Mahatsara et de Mantadia

Les données floristiques, collectées dans les zones fréquentées par l'indri sur un échantillon de 7,2 ha divisé en 72 plots, ont permis de relever 9014 individus répartis en 218 espèces. Ces espèces sont regroupées en 120 genres et 57 familles. Ces forêts sont dominées par la famille des Lauraceae. Cette dernière regroupe quelques espèces dont *Beilschmiedia* sp., *Cryptocarya aromatica*, *Cryptocarya* sp. 2, *Ocotea* sp. 8, *Ocotea cymosa*, *Potameia* sp., *Dalbergia baronii*, *Dalbergia chapelieri* et *Dalbergia* sp. Dans l'échantillon de surface inventorié à Ihofa, 3328 individus sont enregistrés. Cet effectif est constitué de 160 espèces réparties en 105 genres et 50 familles. Mahatsara compte 49 familles comprenant 96 genres et 139 espèces pour un total de 2361 individus, tandis que Mantadia regroupe 3325 individus avec 44 familles contenant 87 genres et 120 espèces (Tableau 1). Au total, 37 familles sont communes à tous les sites telles que Sapotaceae, Sarcolaenaceae, Rubiaceae, Monimiaceae, Lauraceae et Fabaceae.

Tableau 1. Caractéristiques floristiques de chaque site d'étude.

Site	Nombre de familles	Nombre de genres	Nombre d'espèces	Nombre de pieds
Ihofa	50	105	160	3328
Mahatsara	49	96	139	2361
Mantadia	44	87	120	3325

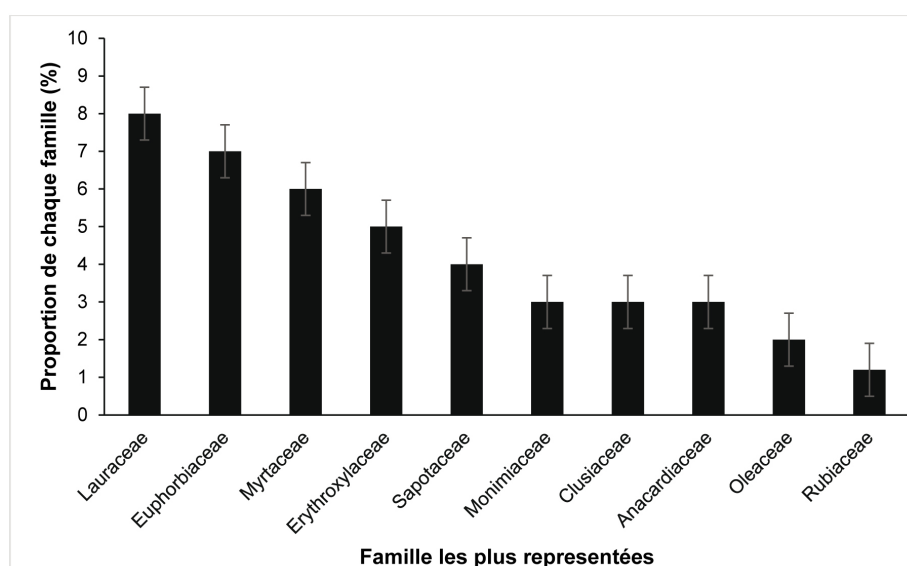


Figure 2. Liste des 10 familles les plus représentées au niveau des trois sites.

Tableau 2. Liste des 10 premières espèces forestières les plus représentées dans les trois sites.

Espèces les plus abondantes					
Ihofa	Effectif	Mahatsara	Effectif	Mantadia	Effectif
<i>Domohinea perrieri</i> (Euphorbiaceae)	412	<i>Ocotea</i> sp. 8 (Lauraceae)	112	<i>Eugenia</i> sp. (Myrtaceae)	304
<i>Chrysophyllum boivinianum</i> (Sapotaceae)	139	<i>Chrysophyllum boivinianum</i>	99	<i>Ocotea</i> sp. 8	235
<i>Cryptocarya</i> sp. 2 (Lauraceae)	138	<i>Eugenia</i> sp.	95	<i>Cryptocarya</i> sp. 2	201
<i>Erythroxylum</i> sp. (Erythroxylaceae)	134	<i>Domohinea perrieri</i>	92	<i>Erythroxylum</i> sp.	102
<i>Ocotea</i> sp. 8	109	<i>Erythroxylum</i> sp.	70	<i>Domohinea perrieri</i>	101
<i>Eugenia</i> sp.	107	<i>Rheedia madagascariensis</i> (Clusiaceae)	65	<i>Protorhus ditimena</i> (Anacardiaceae)	101
<i>Rheedia madagascariensis</i>	92	<i>Noronhia oblongifolia</i> (Oleaceae)	62	<i>Tambourissa</i> sp. (Monimiaceae)	94
<i>Eugenia emernensis</i>	71	<i>Cryptocarya</i> sp. 2	57	<i>Dombeya</i> sp. 1 (Monimiaceae)	87
<i>Protorhus ditimena</i>	69	<i>Gaertnera</i> sp. 2 (Rubiaceae)	51	<i>Noronhia oblongifolia</i> (Oleaceae)	81
<i>Macaranga ferruginea</i> (Euphorbiaceae)	57	<i>Canthium medium</i> (Rubiaceae)	50	<i>Protorhus thouvenotii</i>	75

La répartition en pourcentage des 10 familles de plantes les plus observées dans les sites montre l'importance relative de chaque famille (Figure 2). La famille des Lauraceae domine avec environ 8 % de la proportion totale, suivie par les Euphorbiaceae (7 %) et les Myrtaceae (6 %). Ces trois familles principales jouent vraisemblablement un rôle structurant majeur dans la végétation de l'écosystème étudié. Les Erythroxylaceae et les Sapotaceae occupent également une place notable (4-5 %), alors que d'autres familles, telles que Monimiaceae, Clusiaceae, Anacardiaceae et Oleaceae présentent des proportions plus modestes (2-3 %). Cette diversité floristique indique une hétérogénéité écologique, favorable à la biodiversité globale de l'habitat.

Concernant l'abondance des espèces, l'espèce la plus nombreuse à Ihofa est *Domohinea perrieri* ($n = 412$), tandis qu'*Ocotea* sp. 8. ($n = 112$) et *Eugenia* sp. ($n = 304$) sont les plus abondantes respectivement à Mahatsara et à Mantadia (Tableau 2). Parmi ces espèces les plus représentées dans le cortège floristique, cinq sur les 10 premières de chaque site sont communément abondantes : *Domohinea perrieri*, *Cryptocarya* sp. 2, *Erythroxylum* sp., *Ocotea* sp. 8 et *Eugenia* sp.

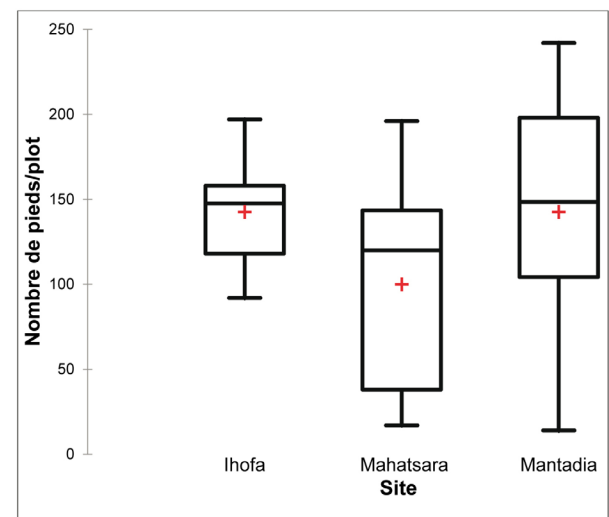
Analyse de similitude : Indice de Horn

Ihofa-Mahatsara ont un indice de 0,73, ce qui représente une similarité modérée à élevée, mais moins marquée que pour les autres paires. Ihofa-Mantadia présentent la similarité la plus élevée avec un indice de 0,81. Mahatsara-Mantadia ont un indice de similarité de 0,78. L'intervalle de Mahatsara-

Mantadia (0,68-0,88) chevauche celui de Ihofa-Mahatsara (0,63-0,83) et celui de Ihofa-Mantadia (0,71-0,91). Le chiffre 0,78 (Mahatsara-Mantadia) est plus proche de 0,81 (Ihofa-Mantadia) que de 0,73 (Ihofa-Mahatsara). Le test de permutation pour chaque comparaison montre les résultats ci-dessous :

- Ihofa-Mahatsara vs Ihofa-Mantadia : $df = 2$, $n = 9999$, $P = 0,001$
- Ihofa-Mahatsara vs Mahatsara-Mantadia : $df = 2$, $n = 9999$, $P = 0,004$
- Ihofa-Mantadia vs Mahatsara-Mantadia : $df = 2$, $n = 9999$, $P = 0,005$

Ces résultats indiquent une différence significative, c'est-à-dire qu'Ihofa, Mahatsara et Mantadia présentent des compositions floristiques différentes.

**Figure 3.** Distribution du nombre de pieds par plot suivant les sites d'étude.

Paramètres de structure des sites

La distribution du nombre de pieds par plot entre les sites d'Ihoha, Mahatsara et Mantadia révèle que le nombre moyen de pieds par plot varie suivant les sites (Figure 3). Ihoha présente une moyenne de $142,5 \pm 29,5$ pieds/plot. Mantadia présente une moyenne similaire de $142,6 \pm 68,2$ pieds/plot, tandis que Mahatsara affiche une moyenne nettement plus faible de $100,0 \pm 56,8$ pieds/plot. Ces résultats montrent que Mantadia présente la variabilité la plus élevée des nombres de pieds par plot. Le test de Kruskal-Wallis ($h = 7,53$, $df = 2$, $n = 72$, $P = 0,023$), qui indique une différence significative entre les sites. Le test post-hoc de Dunn avec correction de Bonferroni précise que seule la comparaison entre Ihoha et Mahatsara est significative (P corrigée = $0,033$).

A Ihoha, la surface terrière moyenne par plot est de $0,106 \pm 0,039$ m²/plot. En comparaison, Mahatsara affiche une moyenne légèrement plus faible de $0,092 \pm 0,029$ m²/plot. Mantadia présente une valeur intermédiaire de $0,096 \pm 0,033$ m²/plot (Figure 4). Le test de Kruskal-Wallis appliqué à la surface terrière n'a révélé aucune différence statistiquement significative entre les trois sites étudiés ($h = 1,60$, $df = 2$, $n = 72$, $P = 0,450$).

En ce qui concerne le biovolume, Ihoha se distingue légèrement avec une moyenne de $0,75 \pm 0,33$ m³ par plot, contre $0,64 \pm 0,26$ m³/plot à Mahatsara et $0,64 \pm 0,33$ m³/plot à Mantadia (Figure 5). La légère supériorité d'Ihoha en biovolume suggère une végétation plus développée en termes de volume total. A l'inverse, Mahatsara et Mantadia, qui présentent des valeurs similaires. Le test de Kruskal-Wallis appliqué au biovolume n'a indiqué aucune différence statistiquement significative entre les trois sites étudiés ($h = 3,19$, $df = 2$, $n = 72$, $P = 0,20$).

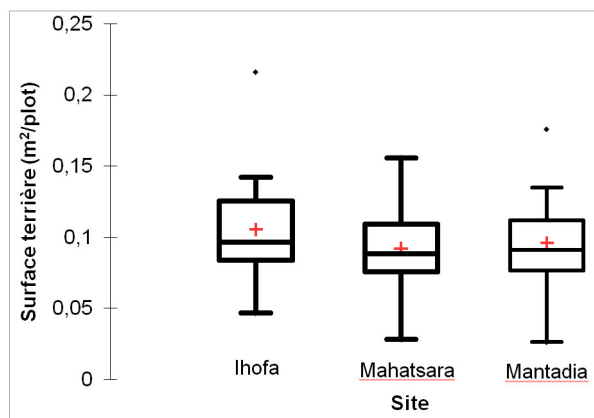


Figure 4. Distribution de la surface terrière par site.

Comparaison des forêts par classe de diamètre et hauteur des arbres

Les individus ayant une des classes de diamètre de]10-20 m],]20-30 m] et]30-40 m] sont les plus abondants dans la forêt d'Ihoha, de Mahatsara et de Mantadia (Figure 6). Les grands arbres sont peu nombreux comparés aux jeunes arbres. Les trois sites présentent une forte proportion d'individus dans les classes de petits diamètres.

- Ihoha semble avoir le plus grand nombre d'individus dans la classe de]10-20 m], suivi de Mantadia, puis de Mahatsara.
- Dans la classe de]20-30 m], Ihoha et Mantadia ont des valeurs élevées, avec Mantadia légèrement en tête, tandis que Mahatsara a un nombre d'individus plus faible. Les trois sites montrent une diminution du nombre d'individus à mesure que le diamètre augmente.
- Dans la classe de]30-40 m], Mantadia reste en tête en nombre d'individus, suivi d'Ihoha, avec Mahatsara encore plus bas.
- Pour la classe de diamètre de]40-50 m], une légère diminution du nombre d'individus par rapport à la classe précédente s'observe. Mantadia reste néanmoins le site présentant le plus grand nombre d'individus, suivi d'Ihoha, puis de Mahatsara.
- Au-delà de 50 cm de diamètre, le nombre d'individus est légèrement faible dans tous les sites.
- Quelques individus existent dans la classe de]50-60 m] à Mantadia et à Ihoha, mais aucun individu dans les classes plus élevées dans tous les sites.

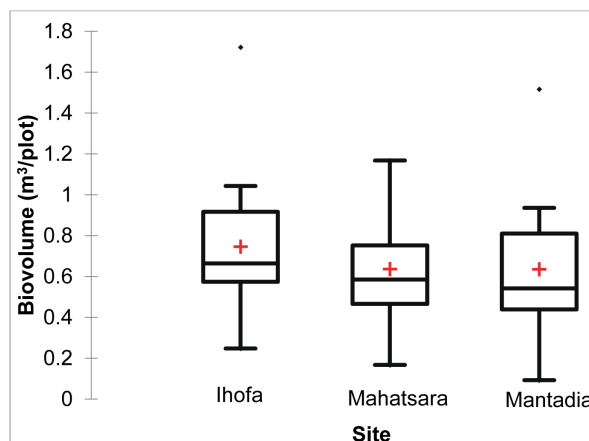


Figure 5. Distribution du biovolume par site.

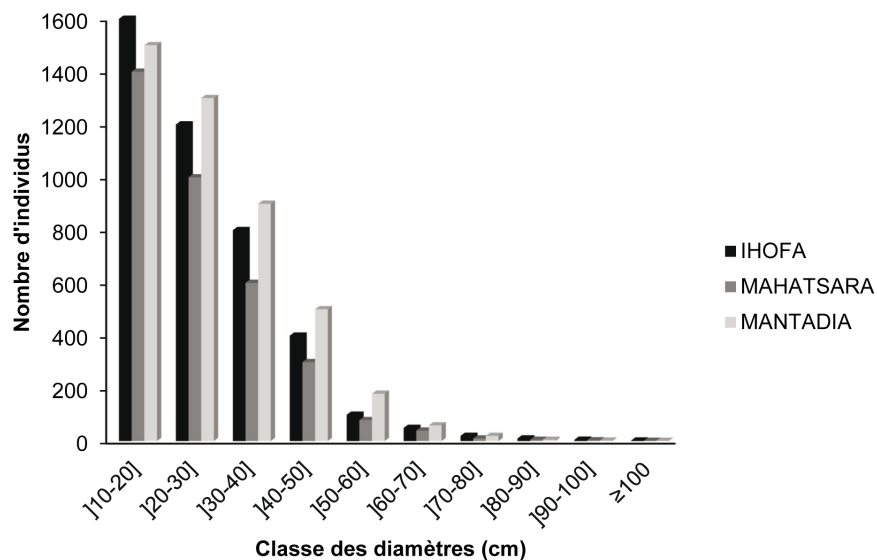


Figure 6. Comparaison des classes de diamètre des essences forestières dans 24 plots de 20 x 50 m² chacune.

Structure verticale des forêts

La classe de hauteur de [8-16 m] est dominante dans les trois sites, avec Ihoha enregistrant le plus grand nombre d'arbres (environ 2500), suivi de Mantadia (2000) et de Mahatsara (1500). Les classes de petites hauteurs ([2-4 m] et [4-8 m]) montrent une proportion relativement faible d'arbres, bien que

Mantadia présente une contribution légèrement plus élevée dans la classe [4-8 m]. En ce qui concerne les grandes classes de hauteur ([16-32 m] et ≥ 32 m), les arbres sont peu nombreux dans tous les sites, avec une légère prédominance dans les classes de grands arbres à Mantadia (Figure 7).

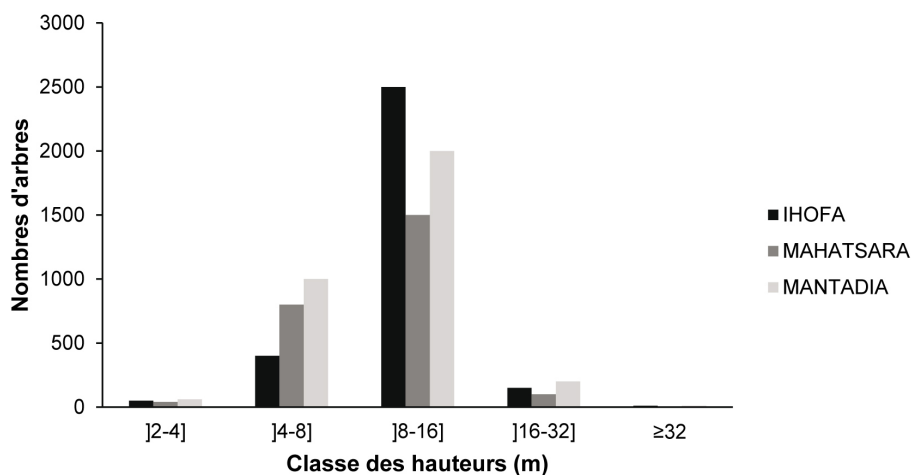


Figure 7. Comparaison par classe des hauteurs.

Discussion

Structure floristique des forêts d'Ihoha, de Mahatsara et de Mantadia

Schmidt et Alonso (2005) recommandent de promouvoir l'inventaire biologique dans le corridor Mantadia-Zahamena. C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente étude, visant à combler les

lacunes de connaissances sur la flore de la région d'Andasibe-Mantadia, située au sein du corridor Ankeniheny-Zahamena. En ce qui concerne les familles, les Lauraceae, les Euphorbiaceae, les Myrtaceae, les Erythroxylaceae, les Sapotaceae, les Monimiaceae et les Rubiaceae sont parmi les familles

les plus représentées au niveau des trois sites. Ces familles dominantes ont été recensées et observées par l'équipe ayant réalisé un inventaire rapide dans le corridor Ankeniheny-Zahamena il y a 10 ans (Andriambelo *et al.*, 2005). Ce sont des familles caractéristiques des forêts tropicales humides et peuvent être impliquées dans la structuration de l'écosystème en tant qu'espèces dominantes du couvert forestier (Yenilougo *et al.*, 2019). Cette diversité floristique au niveau de la famille indique une hétérogénéité écologique, favorable à la biodiversité globale de l'habitat.

Relatif à la richesse spécifique de chaque site, une différence marquée s'observe dans la richesse spécifique entre Ihofa (160 espèces), Mahatsara (139 espèces) et Mantadia (120 espèces). Cette variation pourrait s'expliquer en partie par la disposition des plots inventoriés au sein de ces sites. Les plots ont été choisis dans le territoire de *d'Indri indri*, ce qui pourrait influencer la diversité des espèces observées. A titre de comparaison, un inventaire rapide mené dans le corridor Ankeniheny-Zahamena par Andriambelo *et al.* (2005) a recensé 460 espèces, un chiffre nettement supérieur à celui obtenu dans la présente étude. Cet écart peut s'expliquer par des différences méthodologiques et par le nombre de sites échantillonnés. En effet, l'étude d'Andriambelo *et al.* (2005) couvrait cinq sites (Mantadia, Ihofa, Andriantantely, Didy et Sandranantitra), avec pour

objectif principal de dresser un inventaire global de la flore, tandis que notre inventaire s'est limité à trois sites. Et la présente étude s'est concentrée uniquement sur les espèces présentes dans les zones fréquentées par les groupes de lémuriens étudiés. Cette approche ciblée explique en partie les variations observées dans le nombre d'espèces recensées. De plus, le protocole adopté reposait sur des plots de 50 × 20 m, alors que l'étude d'Andriambelo *et al.* (2005) a utilisé trois lignes de transect superposées, chacun présentant des largeurs distinctes de 4, 10 et 20 m. En outre, la variation altitudinale entre les sites pourrait également jouer un rôle dans la composition des espèces, en influençant les conditions microclimatiques et la répartition des espèces.

A Mantadia, cette étude a permis d'identifier 120 espèces réparties en 87 genres et 44 familles. Cette richesse est faible par rapport aux 388 espèces et 90 familles mentionnés par (Goodman *et al.*, 2018). Les données fournies par Missouri Botanical Garden (2010) a révélé 101 familles à Mantadia (Phillipson *et al.*, 2010). La différence entre cette étude et celles de ces auteurs réside dans l'étendue des secteurs étudiés. Goodman *et al.* (2018) ont fourni des informations sur une zone plus large, couvrant probablement plusieurs types d'habitats ou une plus grande diversité de groupes floristiques, contrairement à cette étude qui se concentre uniquement sur les zones fréquentées par les groupes d'indris observés.

Tableau 3. Comparaison des sites Mahatsara-Ihofa-Mantadia avec d'autres forêts humides des aires protégées de Madagascar

Site	Superficie (ha)	Nombre d'individus	Nombre de familles	Nombre de genres	Sources
Mahatsara	620	2361	49	96	Cette étude
Ihofa	4 385	3328	50	105	Cette étude
Mantadia	15 480	3325	44	87	Cette étude
Ambatovy-Analamay	7076	7747	151	629	Phillipson <i>et al.</i> (2010)
Parc National de Mantadia	15 480	1157	101	302	Données botaniques du Missouri Botanical Garden (2010)
Réserve Spéciale d'Anjanaharibe-Sud	32 090	1758	111	317	Données botaniques du Missouri Botanical Garden (2010)
Parc National de Makira	371 217	3329	123	406	Données botaniques du Missouri Botanical Garden (2010)
Parc National de Marojejy	60 050	3441	145	574	Données botaniques de Gautier (2002) et Rakotondrainibe (2002)
Parc National de Masoala	230 000	4668	137	508	Données botaniques du Missouri Botanical Garden (2010)
Parc National de Zahamena	64 370	3205	120	453	Données botaniques du Missouri Botanical Garden (2010)

De plus, l'étude de Phillipson *et al.* (2010) a pris en compte les fougères et leurs alliées, ce qui indique que leur analyse couvrirait un éventail plus large de plantes, tandis que cette étude se limite à l'analyse des plantes ligneuses. A Mahatsara et à Ihofa, 139 et 160 espèces ont été respectivement recensées. De manière générale, le nombre d'espèces recensées dans ces deux sites est élevé et diversifié. La comparaison de la richesse floristique de Mantadia, d'Ihofa et de Mahatsara avec celle des autres formations humides de Madagascar montre que ces forêts présentent un nombre de familles et de genres bien plus faible que les forêts humides des aires protégées (Tableau 3). Par exemple, le Parc National de Marojejy compte 145 familles et 574 genres, soit près de six fois plus de genres et trois fois plus de familles que Mahatsara. Comparés aux aires protégées de Madagascar tels que Anjanaharibe-Sud ou Masoala, ces trois sites présentent une richesse apparente plus faible. Cependant, cette différence s'explique principalement par la taille restreinte des surfaces inventoriées, correspondant aux habitats utilisés par l'indri pour ses déplacements, son alimentation ou son repos. Ces résultats montrent que la faible richesse mesurée dans ces sites ne reflète pas la diversité globale des forêts, mais surtout celle des microhabitats exploités par l'indri.

Analyse de similitude : Indice de Horn

Le résultat révèle que les valeurs de l'indice de Horn mettent en évidence des différences significatives entre les trois sites, suggérant ainsi que leurs compositions floristiques sont distinctes. La différence peut être expliquée au niveau de l'abondance relative de certaines espèces au sein d'un site donné. Ces différences peuvent être également liées à des facteurs écologiques tels que la dégradation forestière, la variation climatique locale ou l'altitude (Tahinarivony, 2023), la pluviométrie, le type de sol ou d'autres conditions environnementales communes aux sites (De Govenain & Silander, 2003 ; Havyarimana *et al.*, 2013). Ces trois sites sont proches les uns des autres. Des études antérieures ont montré que la proximité géographique favorise souvent une forte similarité de composition floristique, comme observé dans la forêt Atlantique tropicale au Panama (Eisenlohr *et al.*, 2013 ; Garibaldi *et al.*, 2014 ; Bao *et al.*, 2017). Cependant, les résultats de cette étude diffèrent de ces conclusions et s'alignent davantage avec d'autres recherches, suggérant que la proximité géographique ne constitue pas un facteur déterminant de la similarité floristique. C'est

notamment le cas d'études menées en Catalogne, Espagne (Pino *et al.*, 2009), qui ont mis en évidence que d'autres facteurs, tels que la fragmentation des habitats ou les conditions écologiques locales, peuvent jouer un rôle plus important pour expliquer la dissimilarité des espèces dans des sites proches.

Paramètres de structure des sites : nombre de pieds/plot, surface terrière et biovolume

Les résultats indiquent une différence significative du nombre de pieds par plot entre Mahatsara, Ihofa et Mantadia. Le site de Mantadia se caractérise par une forte variabilité du nombre de pieds par plot. Cette situation peut s'expliquer par le mode de gouvernance en place sur le site étudié, qui favorise la protection des zones et des essences forestières qui s'y trouvent. Mantadia, en tant qu'aire protégée, bénéficie d'un niveau de protection qui limite la pression sur les espèces végétales. De plus, les plots ont été installés dans la partie Est du parc, qui est mieux préservée des activités anthropiques par rapport à la partie Ouest. Ihofa et Mahatsara sont soumis à la fragmentation forestière et à diverses activités anthropiques telles que la coupe sélective, la production de charbon de bois et l'exploitation forestière. Ces pressions peuvent réduire la densité des grands arbres, en particulier à Mahatsara, et altérer la structure globale de la forêt. Cette situation se traduit par un état de dégradation marqué, avec des arbres plus clairsemés et/ou de plus petite taille.

Quant à la surface terrière, le résultat n'a révélé aucune différence statistiquement significative entre les trois sites étudiés. Ce résultat suggère que la structure ligneuse globale, en termes de surface terrière, est relativement homogène d'un site à l'autre. Cette homogénéité peut s'expliquer par plusieurs facteurs comme (1) une histoire de perturbation similaire (par exemple, exploitation forestière ancienne). En effet, ces sites ont été des anciens sites d'exploitation des minerais de graphite de la Société Arsène Louys à partir de 1940. La même année, l'Etablissement René Izouard est venu accroître l'extraction (Ballet & Randrianalijaona, 2011). (2) Une ressemblance dans la composition floristique dominante, notamment en ce qui concerne les espèces de grand diamètre comme *Domohinea perrieri* et *Ocotea* sp. 8 ou encore (3) une structure forestière déjà altérée de manière équivalente sur l'ensemble des sites, ce qui masque les différences. Toutefois, l'absence de différence significative ne signifie pas l'absence de différences écologiques. Il est possible que d'autres

paramètres forestiers (diversité, biovolume, richesse spécifique, stratification) présentent des variations plus marquées. De plus, les écarts-types montrent la variabilité des mesures d'un plot à l'autre. Elle reste modérée dans tous les cas, ce qui indique que la structure forestière est assez homogène à l'intérieur de chaque site.

Le test de Kruskal-Wallis appliqué au biovolume n'a pas mis en évidence de différence statistiquement significative entre les trois sites étudiés. Cela suggère que la quantité de matière ligneuse présente par unité de surface est relativement similaire à Ihofa, Mahatsara et Mantadia. Cette absence de différence pourrait refléter une structure forestière comparable entre les sites, soit en raison d'une histoire écologique similaire (ancienneté de la régénération, intensité des perturbations passées), soit en raison d'une résilience forestière équivalente. Elle pourrait également indiquer que les grands arbres producteurs de volume sont présents en proportions analogues. Toutefois, les écarts-types relativement élevés observés dans les trois sites indiquent une variabilité intra-site non négligeable, ce qui peut réduire la puissance du test statistique et masquer d'éventuelles différences réelles. Par ailleurs, des différences localisées (par exemple dans la stratification ou dans la distribution des classes de diamètre) peuvent ne pas être captées par une analyse globale du biovolume. Comme pour la surface terrière, le biovolume seul ne rend pas compte de la structure verticale et de la connectivité.

Classes de diamètre

La plupart des individus dans les trois sites sont concentrés dans les classes de petits diamètres (10-30 cm). Cela pourrait indiquer des populations dominées par des arbres jeunes ou de petite taille, ou des espèces qui restent de petite taille à maturité. Mantadia semble avoir le plus grand nombre d'individus dans toutes les classes, indiquant une densité potentiellement plus élevée et/ou des conditions favorables pour une diversité de tailles d'arbres. Mahatsara, en revanche, a constamment moins d'individus dans chaque classe de diamètre. Le faible nombre d'individus dans les classes de grands diamètres (50 cm et plus) dans les trois sites peut refléter une faible proportion d'arbres adultes de grande taille, ou une dynamique de régénération où les arbres plus grands sont rares, potentiellement en raison de facteurs comme la perturbation humaine. Historiquement, Ihofa et Mantadia sont des anciennes mines d'exploitation de minerai

de graphite (Rakotondrainibe, 2006) ce qui peut expliquer la rareté des grands arbres.

En comparant les trois sites, le nombre d'essences décroît proportionnellement avec la classe de DHP. Celui entre 10 cm à 20 cm est le plus important. En effet, plus le DHP augmente, plus le nombre d'individus diminue, c'est-à-dire que cette forêt est encore en phase de régénération, d'où la forme « J renversé » de la répartition des individus selon le DHP. En d'autres termes, les peuplements forestiers des trois types d'habitats présentent une santé normale, et il existe encore une bonne régénération dans cette forêt (Puig, 2001 ; Bouko *et al.*, 2007 ; Souleymane *et al.*, 2023). En effet, selon Gamane (2020), ce type de structure révèle une bonne dynamique avec un recrutement régulier de la population juvénile dans les différentes classes de diamètre. Yaovi *et al.* (2021) ont obtenu ce même résultat dans la forêt classée du Kouqui, au Burkina Faso, ce qui exprime d'ailleurs une bonne santé et une stabilité écologique de la végétation.

Classes de hauteur

Ihofa présente une forte concentration dans la classe de]8-16 m], ce qui pourrait indiquer un peuplement plus dense et homogène en taille, avec une majorité d'arbres de taille intermédiaire. Mantadia a une distribution plus équilibrée avec des individus dans toutes les classes de hauteur, surtout dans les classes inférieures]4-8 m]) et intermédiaires (]8-16 m]), ce qui peut indiquer une structure plus variée. Mahatsara montre moins d'arbres dans chaque classe de hauteur, en particulier dans les classes plus élevées, reflétant une fragmentation de la forêt.

Le faible nombre d'arbres dans la classe de]2-4 m], indique que les arbres de très petite taille sont rares dans ces communautés, ou que les jeunes individus dans cette classe de hauteur sont peu nombreux. Dans la classe de]4-8 m], Mantadia a une plus grande représentation d'arbres de taille intermédiaire par rapport aux deux autres sites. La dominance des arbres dans la classe de hauteur de]8-16 m] indique que la plupart des arbres dans ces sites sont de taille moyenne, ce qui peut indiquer un stade de croissance mature mais pas encore de grande taille. La majorité des arbres dans les trois sites se trouvent dans cette classe de hauteur de]8-16 m], ce qui reflète une dominance d'arbres de taille moyenne. Cette distribution est typique de forêts où la canopée n'est pas très haute, et où les arbres atteignent un stade mature sans dépasser de très grandes hauteurs. Pour la classe de hauteur

de [16-32 m], le résultat montre que les arbres de grande taille sont présents mais peu nombreux, probablement en raison de la perturbation humaine ou des limitations environnementales. En plus, ces sites sont d'anciennes mines d'exploitation (Rakotondrainibe, 2006). Cela peut expliquer le faible nombre d'arbres de grande taille. Les études de D'Amico et Gautier, (1999) et De Gouvenain et Silander (2003) corroborent les résultats de cette étude. Les formations de forêts humides malgaches sont généralement basses par rapport aux normes mondiales (Pollock, 1985). L'hypothèse de Leigh (1988) selon laquelle les canopées relativement courtes des forêts denses humides de Madagascar sont le résultat de perturbations fréquentes par les cyclones. En outre, les sols, le climat, et l'isolement biogéographique peuvent avoir une influence importante sur la hauteur des arbres (De Gouvenain & Silander, 2003).

Mantadia, Ihofa et Mahatsara abritent certaines de dernières forêts tropicales de basse et de moyenne altitude de Madagascar. Les résultats de cette étude mettent en évidence une richesse spécifique élevée en plantes dans ces zones, confirmant les observations d'Abraham *et al.* (1996), qui soulignaient déjà la richesse exceptionnelle des forêts orientales malgaches. Toutefois, face à la pression croissante, à la dégradation progressive et à la fragmentation accrue, ces écosystèmes, pourtant remarquablement riches en biodiversité, sont aujourd'hui gravement menacés. Il est donc fortement recommandé de considérer ces régions comme des priorités absolues pour la conservation. Par ailleurs, la mise à jour régulière des données écologiques est essentielle pour combler les lacunes d'information concernant ces trois sites et d'autres sites appartenant au corridor Ankeniheny-Zahamena afin de trouver des stratégies efficaces pour protéger toutes les forêts humides orientales restantes. Cette étude réaffirme ainsi l'importance cruciale de maintenir ces zones parmi les priorités de conservation à Madagascar.

Conclusion

Les inventaires floristiques réalisés dans cette étude ont permis de renforcer nos connaissances sur la biodiversité et notamment la flore dans des zones encore peu explorées comme Mahatsara, ou rarement inventoriées telles qu'Ihofa. Même dans des sites protégés comme le Parc National de Mantadia, les travaux d'inventaire floristique demeurent limités (Goodman *et al.*, 2018), soulignant ainsi la

pertinence et l'importance de cette recherche pour une meilleure compréhension de la flore régionale. L'analyse floristique a permis de recenser un total de 9014 individus appartenant à 218 espèces, parmi lesquelles *Domohinea perrieri*, *Cryptocarya* sp. 2, *Erythroxylum* sp., *Ocotea* sp. 8 et *Eugenia* sp. figurent parmi les plus abondantes. Toutefois, certaines limites doivent être soulignées, notamment des incertitudes taxonomiques concernant plusieurs espèces non identifiées avec précision. Par exemple, les espèces des genres *Ocotea* sp. 8. et *Cryptocarya* sp. 2. n'ont pu être déterminées au niveau spécifique, ce qui pourrait affecter l'exactitude des estimations d'abondance et nuire à la comparabilité entre les sites étudiés. Les familles des Lauraceae, des Euphorbiaceae et des Myrtaceae se révèlent les plus représentées en termes d'abondance, témoignant de leur rôle écologique central dans ces écosystèmes forestiers. L'indice de similarité de Horn met en évidence une dissimilarité dans la composition floristique entre Mahatsara, Ihofa et Mantadia, suggérant une variabilité écologique entre ces sites. Sur le plan structural, une différence significative du nombre de pieds par plot a été observée entre les trois forêts, tandis qu'aucune différence n'a été détectée pour la surface terrière et le biovolume. La distribution des diamètres selon une courbe en J inversé indique un bon potentiel de régénération naturelle. De plus, la majorité des individus se concentrent dans la classe de hauteur de 8 à 16 m, traduisant une certaine homogénéité dans la structure verticale des forêts étudiées. Dans l'ensemble, ces résultats reflètent une dynamique forestière positive, bien que les pressions anthropiques persistantes constituent toujours une menace pour la pérennité de ces écosystèmes.

La préservation des forêts de Mantadia, d'Ihofa et de Mahatsara est essentielle pour maintenir la biodiversité unique des forêts humides de Madagascar, reconnues comme des réservoirs critiques d'espèces endémiques. Compte tenu de la pression anthropique croissante, il est impératif que ces zones figurent au cœur des futures stratégies nationales de conservation. Leur protection renforcerait non seulement la résilience des écosystèmes face aux changements environnementaux, mais contribuerait également aux engagements internationaux de Madagascar en matière de conservation de la biodiversité. Intégrer ces sites dans les priorités gouvernementales garantirait la pérennité des services écosystémiques vitaux pour les communautés locales et la planète.

Remerciements

Nous sommes infiniment reconnaissants envers les principaux bailleurs de cette étude : Russell Training Grant fellowship et Edge Fellowship. Nous tenons à remercier vivement le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable de Madagascar d'avoir délivré l'autorisation de recherche. Nous adressons également nos sincères remerciements aux guides locaux, et plus particulièrement à Armand Randrianantenaina et Harson Randrianjatovo qui ont fourni des efforts considérables sur le terrain lors de la collecte des données. Nous sommes également reconnaissants envers Joerg Ganzhorn et Steven Goodman pour leur apport constructif dans la version précédente de l'article.

Références bibliographiques

- Abraham, J. P., Rakotonirina, B., Randrianasolo, M., G., Vololoniaina, J. & Leigh Jr. E. G. 1996. Tree diversity on small plots in Madagascar: A preliminary review. *Revue d'Ecologie*, 51: 93-116.
- Andriambelo, L. H., Andrianarisata, M., Randrianjaka, M. L., Razakamalala, R. & Ranaivojavona, R. 2005. La diversité floristique du corridor Mantadia-Zahamena, Madagascar. Dans *Une évaluation biologique rapide du corridor Mantadia-Zahamena, Madagascar*, eds. J. Schmidt, & L. Alonso, pp. 33-60. *RAP Bulletin of Biological Assessment*, Conservation International, Washington, DC.
- Antonelli, A., Smith, R. J., Perrigo, A. L., Crottini, A., Hackel, J., Testo, W., Farooq, H., Torres Jiménez, M. F., Andela, N., Andermann, T., Andriamanohera, A. M., Andriambololonera, S., Bachman, S. P., Bacon, C. D., Baker, W. J., Belluardo, F., Birkinshaw, C., Borrell, J. S., Cable, S., Davis, A. P., Dessein, S., Dodsworth, S., Eiserhardt, W. L., Eriksson, J. S., Faurby, S., Forest, F., Govaerts, R., Haevermans, T., Hamon, N., Janssens, S. B., Jönsson, K. A., Klitgård, B. B., Koutroumpa, K., Larridon, I., Morat, P., Müller, J. V., Norup, M. F., Parnell, J. A. N., Rabarimanarivo, M., Rabarivola, C. J., Rabehevitra, D., Rabeson, P., Rado, Z. C., Rakotonasolo, F., Rakotonirina, N., Rakotonirina, J. C., Rakotozafy, L. M. A., Ralimanana, H., Ralison, J. M., Ramarosandratana, A. V., Ranaivojaona, A., Rasolohery, A., Rasolofoson, D., Ravololomanana, N., Razanatsima, L. N., Rebelo, A. G., Salmona, J., Schatz, G. E., Svenning, J. C., Wilson, E. O., Wurz, Y., Zanden, M. J. V., Zizka, A. & Vorontsova, M. S. 2022. Madagascar's extraordinary biodiversity: Evolution, distribution, and use. *Science*, 378: 6623.
- Ballet, J. & Randrianalijaona, M. 2011. Vulnérabilité, insécurité alimentaire et environnement à Madagascar. *Afrique Contemporaine*, 237: 93-108.
- Bao, F., Leandro, T. D., Rocha, M. D., Santos, V. S. D., Stefanello, T. H., Arruda, R., Pott, A. & Damasceno-Júnior, G. A. 2017. Plant species diversity in a Neotropical wetland: Patterns of similarity, effects of distance, and altitude. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90: 85-97.
- Bonadonna, G., Torti, V., Sorrentino, V., Randrianarison, R. M., Zaccagno, M., Gamba, M., Tan, C. L. & Giacoma, C. 2017. Territory exclusivity and intergroup encounters in the indris (Mammalia: Primates: Indridae: *Indri indri*) up on methodological tuning. *The European Zoological Journal*, 84: 238-251.
- Bouko, S. B., Sinsin, B. & Soulé, G. B. 2007. Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité des forêts claires et savanes du Bénin. *Tropicultura*, 25: 193-199.
- Brower, J. E., Zar, J. H. & Von Ende, C. N. 1990. *Field and laboratory methods for general ecology*. Brown Publishers, Dubuque.
- Casse, T., Razafintsalama, M. H. & Milhøj, A. 2022. A trade-off between conservation, development, and tourism in the vicinity of the Andasibe-Mantadia National Park, Madagascar. *SN Social Sciences*, 12: 1-28.
- D'Amico, C. & Gautier, L. 1999. Etude d'une parcelle de forêt dense de base altitude dans la Réserve Spéciale de Manongarivo (Nord-ouest de Madagascar). Document de Travail No. 7. Rapport non publié. Projet Ecologie Politique et Biodiversité, Antananarivo.
- De Gouvenain, R. C. & Silander Jr, J. A. 2003. Do tropical storm regimes influence the structure of tropical lowland rain forests? *Biotropica*, 35: 166-180.
- Eisenlohr, P. V., Alves, L. F., Bernacci, L. C., Padgurschi, M. C. G., Torres, R. B., Prata, E. M. B., Dos Santos, F. A. M., Assis, M. A., Ramos, E., Rochelle, A. L. C., Martins, F. R., Campos, M. C. R., Pedroni, F., Sanchez, M., Pereira, L. S., Vieira, S. A., Gomes, J. A. M. A., Tamashiro, J. Y., Scaranello, M. A. S., Bonacin, G. A., Alves, M. C., Alves, R. C., Nogueira, J. P. C., Martins, S. C., Francoso, R. D. & Joly, C. A. 2013. Delimitation of site units for vegetation monitoring and research in the Brazilian Atlantic forest. *Biodiversity and Conservation*, 22: 3205-3214.
- Gamane, M. 2020. Dynamique spatio-temporelle et potentiel du stock de carbone aérien des écosystèmes forestiers du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, Ouagadougou.
- Garibaldi, C., Nieto-Ariza, B., Macia, M. J. & Cayuela L. 2014. Soil and geographic distance as determinants of floristic composition in the Azuero Peninsula (Panama). *Biotropica*, 46: 687-695.
- Gautier, L. 2002. Liste commentée des phanérogames de la Réserve Spéciale de Manongarivo, Madagascar. Dans *Inventaire floristique et faunistique de la Réserve Spéciale de Manongarivo (NW Madagascar)*, eds. L. Gautier & S. M. Goodman. *Boissiera*, 59: 105-239.
- Goodman, S. M. & Benstead, J. P. 2005. Updated estimates of biotic diversity and endemism for Madagascar. *Oryx*, 39: 73-77.

- Goodman, S. M., Raherilalao, M. J. & Wohlhauser, S. (eds.) 2018. *Les aires protégées terrestres de Madagascar : Leur histoire, description et biote. Tome II. Le Nord et L'Est de Madagascar*. Association Vahatra, Antananarivo.
- Havyarimana, F., Bigendako, M. J., Masharabu, T. & Bogaert, J. 2013. Diversité et distribution d'abondances des plantes d'un écosystème protégé dans un paysage anthropisé : Cas de la Réserve Naturelle Forestière de Bururi, Burundi. *Tropicultura*, 31: 3-12.
- Hending, D., Randrianarison, H., Andriamavosoloarisoa, N. N. M., Ranohatra-Hending, C., Cotton, S., Holderied, M. & McCabe, G. 2024. Effects of forest fragmentation on the dietary ecology and activity of a nocturnal lemur community in north west Madagascar. *American Journal of Primatology*, 86: e23569
- Heriniaina, R. & Rakotomalala, S. 2020. *Renforcement des capacités de la communauté locale pour la sauvegarde des lémuriens*. Rapport d'activités non publié. ONG Guides d'Andasibe, Moramanga.
- Hervé, D., Randriambanona, H., Ravonjimalala, H. R., Ramanankierana, H., Rasoanaivo, N. S., Baohanta, R. & Carrière, S. 2020. Perceptions des fragments forestiers par les habitants des forêts tropicales humides malgaches. *Bois & Forêts des Tropiques*, 345: 45-64.
- Kshirsagar, A. R., Applebaum, J. W., Randriana, Z., Rajaonarivelo, T., Rafaliarison, R. R., Farris, Z. J. & Valenta, K. 2020. Human-dog relationships across communities surrounding Ranomafana and Andasibe-Mantadia National Parks, Madagascar. *Journal of Ethnobiology*, 40: 483-498.
- Leigh Jr., E. G. 1988. Importance de la faune et de la flore de Madagascar pour la théorie de l'évolution. Dans *L'équilibre des écosystèmes forestiers de Madagascar : Actes d'un séminaire international*, eds. V. Barre, J. Sayers & L. Rakotovo, pp. 155-179. IUCN, Gland.
- Mbaiyetom, H., Avana Tientcheu, M. L., Tchamba Ngankam, M. & Woukoku Taffo, J. B. 2021. Diversité floristique et structure de la végétation ligneuse des parcs arborés de la zone soudanienne du Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15: 68-80.
- Missouri Botanical Garden. 2010. Tropicos.org. <http://www.tropicos.org>, consulté le 22 mars 2025.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B. & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
- Narváez-Torres, P. R., Guthrie, N. K., Brichieri-Colombi, T. A., Razafindravelo, C. P., Jacobson, Z. S., Tera, F., Rafidimanana, D. V., Rahasivelo, Z., Petersen, M. A., Ramangason, H., Randall, L., McPherson, J. M., Frasier, C. L., Moehrensclager, A., Holmes, S. M., Louis Jr., E. E. & Johnson, S. E. 2024. Losing lemurs: Declining populations and land cover changes over space and time. *American Journal of Primatology*, 87: e23615.
- Pacheco, P., Mo, K., Dudley, N., Shapiro, A., Aguilar-Amuchastegui, N., Ling, P. Y., Anderson, C. & Marx, A. 2020. Les fronts de déforestation : Facteurs et dynamiques de la déforestation mondiale. Rapport non publié, WWF, Gland.
- Phillipson, P. B., Lowry, P. P., Andriamahefarivo, L., Antilahimena, P. & Birkinshaw, C. 2010. Floristic inventory of the Ambatovy Analamay mine site and comparison to other sites in Madagascar. In *Biodiversity, exploration, and conservation of the natural habitats associated with the Ambatovy project*, eds. S. M. Goodman & V. Mass. *Malagasy Nature*, 3: 44-76.
- Pino, J., Font, X., De Cáceres, M. & Molowny-Horas, R. 2009. Floristic homogenization by native ruderal and alien plants in north-east Spain: The effect of environmental differences on a regional scale. *Global Ecology and Biogeography*, 18: 563-574.
- Pollock, J. 1985. Etat de conservation et distribution des lémuriens dans les forêts de l'Est de Madagascar. Dans *Priorités en matière de conservation des espèces à Madagascar*, eds. I. Tattersall & R. Sussman. IUCN, Gland.
- Powzyk, J. A. & Mowry, C. B. 2003. Dietary and feeding differences between sympatric *Propithecus diadema diadema* and *Indri indri*. *International Journal of Primatology*, 24: 1143-1162.
- Puig, H. 2001. *La forêt tropicale humide*. Editions Belin, Paris.
- Rafanoharana, S. C., Andrianambinina, F. O. D., Rasamuel, H. A., Waeber, P. O., Wilmé, L. & Ganzhorn, J. U. 2024. Projecting forest cover in Madagascar's protected areas to 2050 and its implications for lemur conservation. *Oryx*, 58: 155-163.
- Rajoelison, G. 1997. Etude d'un peuplement : Analyse sylvicole. Rapport non publié, Département des Eaux et Forêts, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Rakotondrainibe, F. 2002. Liste commentée des ptéridophytes de la Réserve Spéciale de Manongarivo, Madagascar. Dans *Inventaire floristique et faunistique de la Réserve Spéciale de Manongarivo (NW Madagascar)*, eds. L. Gautier & S. M. Goodman. *Boissiera*, 59: 81-104.
- Rakotondrainibe, T. 2006. Contribution à l'étude géographique d'une exploitation minière : Le cas du graphite d'Andasibe (côte centre-est malgache). Mémoire de Maîtrise, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Ralimanana, H., Perrigo, A. L., Smith, R. J., Borrell, J. S., Faurby, S., Rajaonah, M. T., Randriamboavonjy, T., Vorontsova, M. S., Cooke, R. S. C., Phelps, L. N., Sayol, F., Andela, N., Andermann, T., Andriamanohera, A. M., Andriambololona, S., Bachman, S. P., Bacon, C. D., Baker, W. J., Belluardo, F., Birkinshaw, C., Cable, S., Canales, N. A., Carrillo, J. D., Clegg, R., Clubbe, C., Crottini, A., Damasco, G., Dhanda, S., Edler, D., Farooq, H., De Lima Ferreira, P., Fisher, B. L., Forest, F., Gardiner, L. M., Goodman, S. M., Grace, O. M., Guedes, T. B., Hackel,

- J., Henniges, M. C., Hill, R., Lehmann, C. E. R., Lowry, P. P., Marline, L., Matos-Maraví, P., Moat, J., Neves, B., Nogueira, M. G. C., Onstein, R. E., Papadopoulos, A. S. T., Perez-Escobar, O. A., Phillipson, P. B., Pironon, S., Przelomska, N. A. S., Rabarimanarivo, M., Rabehevitra, D., Raharimampionona, J., Rajaonary, F., Rajaovelona, L. R., Rakotoarinivo, M., Rakotoarisoa, A. A., Rakotoarisoa, S. E., Rakotomalala, H. N., Rakotonasolo, F., Ralaiveloarisoa, B. A., Ramirez-Herranz, M., Randriamamonjy, J. E. N., Randrianasolo, V., Rasolohery, A., Ratsifandrihamanana, A. N., Ravololomanana, N., Razafiniary, V., Razanajatovo, H., Razanatsoa, E., Rivers, M., Silvestro, D., Testo, W., Torres Jiménez, M. F., Walker, K., Walker, B. E., Wilkin, P., Williams, J., Ziegler, T., Zizka, A. & Antonelli, A. 2022. Madagascar's extraordinary biodiversity: Threats and opportunities. *Science*, 378: 6623.
- Razafindratsima, O. H., Raoelinjanakolona, N. N., Heriniaina, R. R., Nantenaina, R. H., Ratolojanahary, T. H. & Dunham, A. E. 2021. Simplified communities of seed-dispersers limit the composition and flow of seeds in edge habitats. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9: 655441.
- Schmidt, J. & Alonso, L. E. 2005. *Une évaluation biologique rapide du corridor Mantadia-Zahamena, Madagascar*. RAP Bulletin of Biological Assessment, Conservation International, Washington, DC.
- Soarimalala, V., Randriamanana, J., Razafindramasy, O., Radonirina, O., Razakafamantanantsoa, A., Randrianarisata, M., Benjamina, G., Raharinirina, D., Nantenaina, J., Raharisoa, D., Rakotovao, F., Rafanoharana, J. & Goodman, S. M. 2019. Les rats dans le monde rural du Centre-est et du Centre-Sud de Madagascar : Dommages causés et systèmes de contrôle. *Malagasy Nature*, 13: 125-151.
- Souleymane, S., Salfo, S., Souleymane, S., Comlan, R. Y. & Mipro, H. 2023. Diversité et structure démographique de la flore ligneuse de la forêt classée de Bansié dans la province du Tuy, Burkina Faso. *Afrique Science*, 23: 27-41.
- Tahinarivony, J. A. 2023. Typologie des habitats en fonction du gradient altitudinal : Cas du Parc National de Marojejy. In A floral and faunal inventory of the Parc National de Marojejy: Altitudinal gradient and temporal variation, eds. S. M. Goodman & M. J. Raheirilalao. *Malagasy Nature*, 17: 102-135.
- Vieilledent, G., Grinand, C., Rakotomalala, F. A., Ranaivosoa, R., Rakotoarijaona, J.-R., Allnutt, T. F. & Achard, F. 2018. Combining global tree cover loss data with historical national forest cover maps to look at six decades of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Biological Conservation*, 222: 189-197.
- WWF Madagascar. 2021. Les forêts précieuses de Madagascar. Rapport non publié. WWF International, Antananarivo.
- Yaovi, C. R., Hien, M., Kabore, S. A., Sehoubo, Y. J. & Somda, I. 2021. Utilisation et vulnérabilité des espèces végétales et stratégies d'adaptation des populations riveraines de la Forêt Classée du Kou (Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15: 1140-1157.
- Yenilougo, S., Doudjo, O. N., Koffi, M. & Adama, B. 2019. Analyse de la diversité floristique de quelques îles aménagées du barrage de Buyo (Côte d'Ivoire). *European Scientific*, 15: 165-182.