

OUTILS POUR LA CARACTÉRISATION DES MILIEUX FORESTIERS ET DE LEUR DIVERSITÉ VÉGÉTALE

F. Andriamalala ⁽¹⁾, S. Ranaivoarimanana ⁽²⁾, F. A. Rakotomalala ⁽²⁾, E. Roger ⁽¹⁾, M. H. Faramalala ⁽¹⁾, H. Rabarison ⁽¹⁾, S. Rakotondraompiana ⁽²⁾, S. Rakotoniaina ⁽²⁾ & B. Riéra ⁽³⁾

(1) Département de Biologie et Ecologie Végétales, Université d'Antananarivo ;

(2) Laboratoire de Géophysique de l'Environnement et de Télédétection, Université d'Antananarivo ;

(3) UMR 71 79 CNRS-Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

Résumé

La végétation forestière de moyenne altitude de l'aire protégée de Zahamena (région Alaotra Mangoro, Madagascar) a fait l'objet d'un travail de recherche afin d'obtenir des données de structures forestières et de composition floristique. L'étude de cette végétation a été approchée par 10 transects de mesure d'indice foliaire ou LAI (Leaf Area Index) et par 8 parcelles de 20 m x 50 m. Les résultats font apparaître un changement de la structure forestière avec une diminution significative de la hauteur des arbres sur les hauts versants et crêtes. Sur tous les relevés, la distribution des individus par classes de diamètre présente une allure normale traduisant l'équilibre des peuplements. La surface terrière, la biomasse et le stock de carbone sont corrélés et varient respectivement entre 2,01 à 5,85 m²/0,1 ha, 7,84 à 41,04 m³/parcelle et de 15,67 à 82,08 t/ha. La densité des arbres de plus de 10 cm de diamètre (100 à 155 individus/0,1 ha) et la diversité floristique (Indice de Shannon : 3,03 à 4,98) sont plus élevées sur les hauts versants et crêtes. Les données floristiques montrent des différences dans l'importance des espèces.

Mots clés : forêt tropicale, surface terrière, biovolume, structure de la végétation, écologie, Zahamena, Madagascar.

1. INTRODUCTION

Madagascar compte parmi les centres de biodiversité les plus riches au monde : les niveaux de diversité et d'endémisme de tous les groupes taxonomiques principaux y sont exceptionnellement élevés (MITTERMEIER & al., 1997 ; MITTERMEIER & al., 1999). Des travaux de recherche ont été menés sur l'île depuis plusieurs années dans le but de préserver cette biodiversité. Pour toutes ces activités, des méthodologies adéquates sont nécessaires pour mener à bien les travaux. Ainsi, ces outils doivent permettre de fournir des informations pertinentes pour une meilleure connaissance de tous les aspects écologiques et physiologiques de la végétation.

Un premier aspect du présent article est de présenter quelques techniques pour caractériser les milieux forestiers. Le second aspect est de discuter les résultats issus d'une recherche menée dans la

forêt de Zahamena, Madagascar. On y trouve une forêt dense humide sempervirente. Les travaux de recherche ont été axés sur la partie occidentale de la forêt de Zahamena, en zone de moyenne altitude.

2. MATERIELS ET METHODES

1- Description de la zone d'étude

Le travail a été réalisé dans l'aire protégée de Zahamena qui se trouve à environ 20 km à l'est du Lac Alaotra et à 50 km à l'ouest de la côte orientale. Les sites d'étude sont localisés sur la partie ouest de l'aire protégée (du côté du Lac Alaotra), à proximité du village d'Andranomalaza (**Site 1** : Andringitra, 17° 38' 45'' S ; 48° 38' 86'' E) et d'Ankoso (**Site 2** : Ampialandrano, 17° 29' 21'' S ; 48° 45' 11'' E) appartenant respectivement aux communes rurales de Manakambahiny-Est et d'Antanandava. Dans les sites d'étude, l'altitude varie de 937 à 1417 m.

La température moyenne annuelle se situe entre 15°C et 28°C. La température maximale peut atteindre 35°C. Elle est relativement basse en hiver et peut descendre jusqu'à 5°C la nuit. La pluviométrie annuelle varie de 1800 à 2000 mm et il n'existe que trois mois écosécs très marqués, du mois d'août au mois d'octobre (CONSERVATION INTERNATIONALE, 1999). Le climat est de type tropical humide caractérisé par deux étages bioclimatiques (CORNET, 1974) : un étage perhumide à hiver tempéré au-dessus de 800 m d'altitude et un étage perhumide chaud en dessous de 800 m d'altitude.

Le relief est composé de successions de collines aux pentes fortement accidentées. D'un point de vue géologique, les principales roches mères de la zone d'étude sont des granites, des gneiss et des schistes (BESAIRIE, 1974).

2. Méthodes

Dispositif expérimental

Les sites de relevé ont été choisis après analyse de cartes de végétation de la zone d'étude et prospection de terrain en tenant compte de la variation des types de forêt suivant la topographie. Après identification des sites de relevé, 8 parcelles de 20 m x 50 m (numérotées de 2 à 9) ont été réalisées en forêt dont 5 à Andringitra et 3 à Ampialandrano.

Mesures de LAI sur le terrain

Des mesures directes d'indice foliaire ("Leaf Area Index" ou LAI) ont été effectuées dans les parcelles et le long des pistes à Andringitra et à Ampialandrano en 2010 à l'aide d'un LAI-mètre

léger (COURNAC et al., 2002, 2003). Cette méthode a permis de distinguer les types de forêts dans les sites d'étude.

L'estimation détaillée de l'indice foliaire par télédétection optique fait l'objet de travaux complémentaires et est effectuée par un autre étudiant (RANAIVOARIMANANA et al., 2010). Les résultats y afférents ont servi de données intermédiaires dans le présent article.

Collecte de données écologiques sur le terrain

Des inventaires floristiques et structuraux ont été effectués dans les parcelles en comptant les individus de diamètre supérieur ou égal à 10 cm et en mesurant leur diamètre à hauteur de poitrine (dhp), leur hauteur maximale (Hmax) et la hauteur de leur fût (Hfût).

Cette méthode permet d'évaluer la richesse floristique, la diversité spécifique, la densité du peuplement, la distribution des individus par classes de diamètre ainsi que la surface terrière et le biovolume.

Analyse des données

La richesse floristique (effectif des familles, des genres et des espèces) est évaluée sur les 8 relevés dans des parcelles de 0,1 ha par station.

La diversité floristique a été quantifiée par l'indice de diversité proposé par Shannon et Weaver (1949).

La densité du peuplement représente le nombre d'individus ayant un dhp \geq 10 cm observés sur toute la surface de la parcelle. Elle est exprimée en nombre d'individus par hectare.

Les individus observés sur la parcelle ont été regroupés en classes de diamètre par intervalle de 10 cm.

La surface terrière de tous les arbres ayant un dhp \geq 10 cm observés dans la parcelle a été calculée à partir des valeurs de dhp.

Le potentiel en bois ou biovolume de la forêt est obtenu par la formule de Dawkins (1958) :

$$Vi = 0,53 Hfût_i \times Gi$$

où le biovolume de l'individu est calculé par le produit de la hauteur de son fût (Hfût) et sa surface terrière (Gi). Elle est exprimée en mètres cube par hectare.

L'indice de valeur d'importance (IVIr) est un indice dérivé de l'"Importance Value Index" de Curtis et McIntosh (1950) et de Pelissier (1995), qui ne prend en compte que la densité relative (Dr) et la surface terrière relative (Gr) des espèces. Il est obtenu par la formule suivante :

$$IVIr = (ni/N \times 100) + (gi/G \times 100)$$

où n_i est le nombre individus de l'espèce i , g_i la somme totale des individus de l'espèce i . Cet indice permet de classer les espèces par ordre d'importance et la somme maximale des $IVIr$ d'un échantillon est de 200.

3. RESULTATS

Les forêts étudiées sont de type dense humide. En effet, elles présentent un feuillage dense avec une canopée plus ou moins fermée. Les types de végétation étudiés sont localisés sur des stations variées à différentes altitudes et positions topographiques mais de même exposition. La Figure 1 représente les mesures de LAI obtenues le long des transects à Andringitra (Site 1) et à Ampialandrano (Site 2). Sur les parcelles 2 et 3, la voûte forestière est irrégulière. Le LAI présente une variabilité spatiale avec des valeurs moyennes comprises entre $LAI = 3,5$ et $LAI = 4$. Les relevés sur les parcelles 4, 5 et 6 présentent des formations végétales assez hautes. La voûte forestière est assez régulière malgré les quelques variations observées surtout au niveau de la parcelle 5.

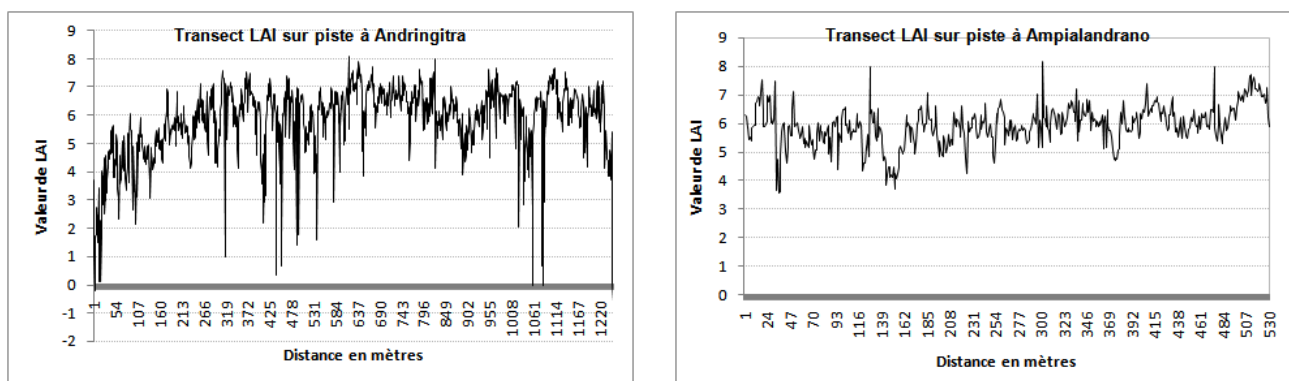


Figure 1 : Représentation de deux transects LAI faits à Andringitra et Ampialandrano

La flore de cette forêt compte 192 espèces réparties dans 86 genres et 50 familles dont les plus représentées sont les Lauraceae (10%), les Salicaceae (9,6 %), les Sapotaceae (6%) et les Myrtaceae 5,7%.

Le Tableau 1 suivant donne une synthèse des résultats obtenus dans les deux sites d'étude.

Tableau 1 : Synthèse des résultats obtenus dans les deux sites d'étude.

Parcelles	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Diamètre maximal (cm)	33,44	33,44	85,35	65,45	65,61	47,45	50,00	49,36
Diamètre moyen (cm)	14,34	16,51	21,01	20,73	22,28	15,06	17,84	17,39
Surface terrière G (m ² /0,1 ha)	2,01	3,67	5,01	4,44	5,85	4,22	3,66	3,61
Densité N	116	155	110	100	116	146	113	116
Hauteur maximale (m)	15,00	16,00	25,00	33,00	33,00	23,00	26,00	27,00
Hauteur moyenne (m)	7,80	9,88	15,99	14,67	17,54	11,99	13,07	15,18
Dx	-4,14	-2,89	-2,43	-2,24	-2,07	-2,34	-2,82	-2,45
Moyenne Lai	3,552	4,23	6,847	4,296	5,716	5,709	6,371	5,004
Lai Maximale	6,637	7,096	8,502	7,838	7,663	7,964	7,781	8,119
Lai Minimale	0,467	1,365	4,978	0,755	3,768	3,454	4,961	1,889
Ecartype Lai	4,363	4,052	0,642	5,009	2,754	0,901	0,656	0,903
Pente Lai	-0,01	-0,01	-0	-0,01	-0	-0,020	-0,015	-0,019
Diamètre des arbres moyens (cm)	16,00	21,60	25,26	23,76	27,29	23,17	21,59	21,44
Indice Shannon et Weaver	4,1573	4,97833	3,78789	3,02593	3,651304	4,86077	3,85184237	3,61181
Biomasse en m ³ /parcelle	7,84	18,11	40,07	32,52	41,04	25,27	23,92	27,39
Stock de Carbone / Ha	15,67	36,21	80,13	65,05	82,08	50,53	47,84	54,79

Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon et Weaver varient de 4,98 à 3,03. Les valeurs les plus fortes, relevées sur crête et haut versant s'expliquent aisément par l'effet de lisière et le milieu semi-ouvert.

Dans l'ensemble des relevés, la hauteur de la canopée varie de 15 à 33 m. La végétation la plus basse a été observée sur une crête à 1417 m d'altitude. Les émergents les plus hauts ont été relevés sur bas de pente à Andringitra, à 1376 m et à 1336 m d'altitude.

En outre, les individus de moins de 30 cm de diamètre sont en forte proportion. La distribution des individus par classe de diamètre montre un histogramme dont l'allure prend la forme classique en J inversé mais avec quelques variations. La densité des individus de $d_{hp} \geq 10$ cm est de 1000 à 1550/ha. La plus grande densité a été trouvée sur une crête ; les individus de diamètre < 20 cm ont contribué à cette forte densité.

La surface terrière varie entre 20,1 à 58,5 m² ha⁻¹ et le biovolume de 45,8 à 449,6 m³ha⁻¹. Le faible potentiel en bois a été mesuré sur une végétation basse de crête. Le biovolume le plus élevé a été constaté sur bas de pente, principalement à cause de la présence de quelques espèces à gros diamètres et également de la grande taille des arbres.

La biomasse et le stock de carbone varient respectivement de 7,84 à 41,04 m³/parcelle et de 15,67 à 82,08 t/ha. La plus petite valeur a été enregistrée sur une végétation basse de crête tandis que la plus forte valeur, au niveau d'une végétation assez haute sur bas versant.

Les variations de la courbe d'ajustement en classes de diamètres sont représentées sur la Figure 2.

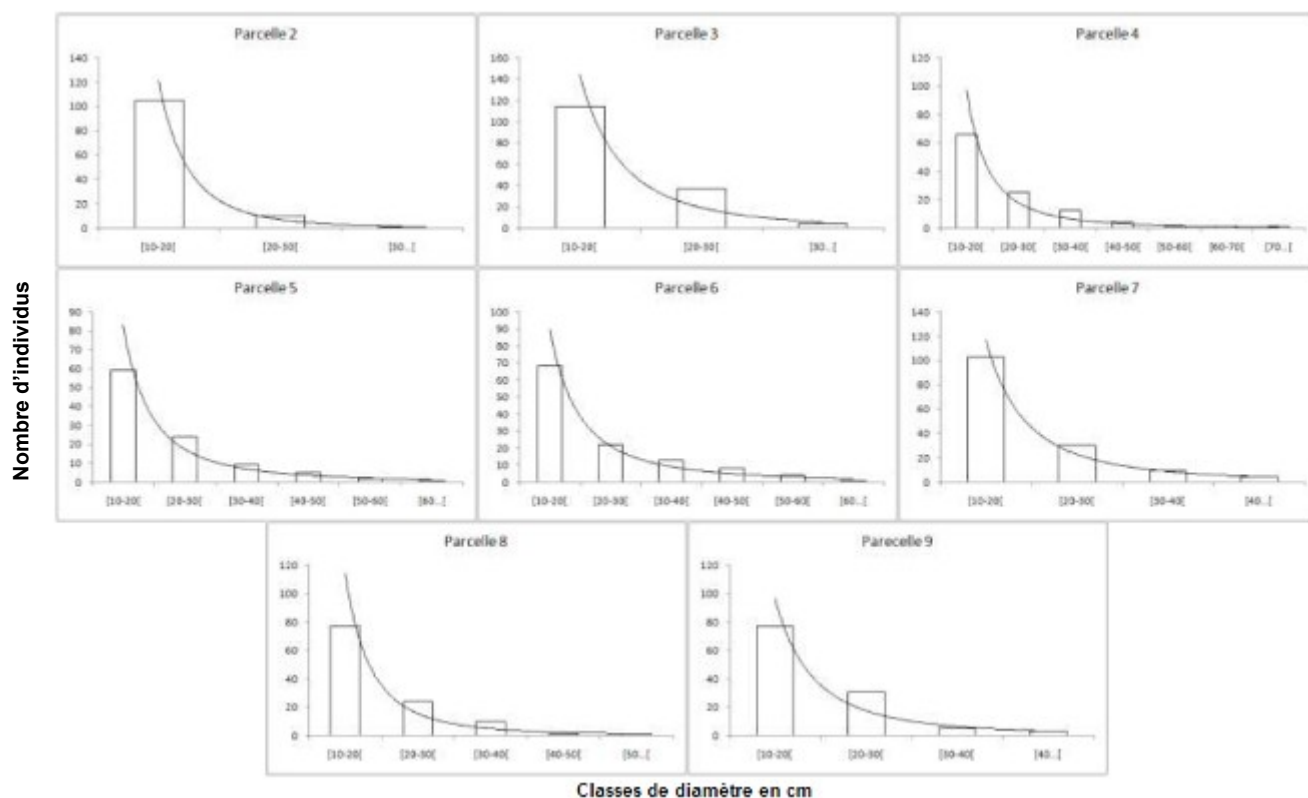


Figure 2 : Distribution des individus à dhp ≥ 10 cm par classes de diamètre dans les sites d'étude.

Le Tableau 2 donne les différences dans l'importance des espèces classées par ordre d'importance.

Tableau 2 : Les 10 premières espèces à dhp ≥ 10 cm classées par indice d'importance (IVIr) dans les relevés

Espèce	P2	P3	P4
<i>Hibiscus</i> sp	9,73		
<i>Callophyllum cf inophyllum</i>	5,99		
<i>Polyscias</i> sp2	5,72		
<i>Uapaca thoursii</i>	5,56		
<i>Memecylon longipetalum</i>	5,29		
sp 64	5,20		
<i>Vitex bojeri</i>	5,07	8,06	4,88
<i>Ludia</i> sp	7,18	8,19	
<i>Weinmannia</i> sp	11,03	19,07	
<i>Tarenna</i> sp	12,69	5,30	
<i>Memecylon cotinifolium</i>		11,66	
<i>Symphonia fasciculata</i>		10,83	
<i>Albizia mamea</i>		7,33	
<i>Ocotea</i> sp2		4,69	
<i>Anisophyllea fallax</i>		4,59	
<i>Chrysophyllum boivinianum</i>			15,99
<i>Khaya madagascariensis</i>			12,24
<i>Ocotea cymosa</i>			11,40
<i>Dombeya oblongifolia</i>			9,85
<i>Macaranga grillata</i>			7,49
<i>Canarium madagascariense</i>			6,96
<i>Ficus brachyclada</i>			5,20
<i>Cryptocarya accuminata</i>			5,15
<i>Eugenia</i> sp			5,12

Espèce	P4	P5	P6
<i>Macaranga grillata</i>	7,49		
<i>Ficus brachyclada</i>	5,20		
<i>Eugenia</i> sp	5,12		
<i>Vitex bojeri</i>	4,88		
<i>Chrysophyllum boivinianum</i>	15,99	7,09	29,63
<i>Cryptocarya accuminata</i>	5,15	14,30	11,40
<i>Ocotea cymosa</i>	11,40	10,31	13,22
<i>Khaya madagascariensis</i>	12,24	8,50	
<i>Dombeya oblongifolia</i>	9,85	22,79	
<i>Canarium madagascariense</i>	6,96	7,77	
<i>Bembicia axillaris</i>		29,23	
<i>Lasiodiscus perrieri</i>		18,15	
<i>Eugenia</i> sp		11,16	
<i>Memecylon cotinifolium</i>		8,55	
<i>Croton</i> sp		7,52	
<i>Albizia gummifera</i>			19,31
<i>Cryptocarya</i> sp			10,80
<i>Syzygium parkeri</i>			8,85
<i>Garcinia perrieri</i>			7,48
sp 20			6,60
<i>Macaranga obovata</i>			4,17

Espèce	P7	P9	P2	P4
<i>Homalium albiflorum</i>	18,01			
<i>Dombeya oblongifolia</i>	12,43			9,85
<i>Scolopia madagascariensis</i>	10,42			
<i>Weinmannia</i> sp	9,09		11,03	
<i>Faucherea</i> sp1	8,01			
<i>Melanophylla modestei</i>	6,65			
<i>Noronhia emarginata</i>	6,53			
<i>Cryptocarya thouvenotii</i>	6,01			
<i>Ocotea floribunda</i>	13,63	8,70		
<i>Abrahamia sericea</i>	5,74	8,97		
<i>Ilex mitis</i>		20,14		
<i>Allophylus trichodesmus</i>		15,12		
<i>Abrahamia grandidieri</i>		12,85		
<i>Syzygium bernieri</i>		10,31		
<i>Erythroxylum excelsum</i>		8,59		
<i>Homalium planiflorum</i>		7,78		
<i>Dalbergia</i> sp		7,18		
<i>Canarium madagascariense</i>		7,17		6,96
<i>Memecylon longipetalum</i>		5,68	5,29	

La présence des *Hibiscus* sp. dans la parcelle 2 témoigne l'effet de lisière et d'un milieu plus ou moins ouvert en sommet de colline et donc avec une sécheresse relative. La présence de *Tarenna* sp.

correspond aussi à des milieux semi-ouverts. Les espèces telles que *Vitex bojeri*, *Ludia* sp., *Weinmannia hildebrandii* et *Tarenna* sp. sont communes aux parcelles 2 et 3.

Les relevés des parcelles 7, 8 et 9 sont caractérisés par quelques espèces qui prédominent telles que *Homalium albiflorum*, *Ocotea floribunda*, *Pandanus* sp., *Scolopia madagascariensis*, *Weinmannia hildebrandii*, *Ilex mitis*, *Allophylus trichodesmus*, *Abrahamia grandidieri* et *Syzygium bernieri*. Les espèces comme *Ocotea floribunda* et *Abrahamia sericea* sont des espèces communes pour les parcelles 7 et 9.

Le calcul de l'« importance value index » montre que beaucoup d'espèces sont communes pour les parcelles 4, 5 et 6. Ce sont des espèces caractéristiques de milieux forestières : *Chrysophyllum boivinianum*, *Cryptocarya accuminata*, *Ocotea cymosa*, *Dombeya oblongifolia* et *Canarium madagascarense*.

4. DISCUSSION

Comme le montrent les valeurs de LAI mesurées sur le terrain, des changements de structure forestière apparaissent au fur et à mesure que l'altitude augmente. L'analyse des courbes de LAI a permis d'identifier les différents sous types de forêt.

Au niveau des paramètres biométriques, les données confirment des tendances déjà observées dans d'autres forêts humides de l'est de Madagascar (RAKOTOMALAZA & al., 1999 ; TAHIRINIRAINY, 2010), à savoir une augmentation de la surface terrière jusqu'aux altitudes moyennes et une diminution au-delà et une augmentation de la densité des individus à $d_{hp} \geq 10$ cm avec l'altitude.

La composition floristique des forêts confirme l'apparition des *Weinmannia* sp. et des *Tambourissa* sp., taxons caractéristiques des forêts de moyenne altitude de l'est de Madagascar décrites par Perrier de la Bathie (1921) et Humbert (1955 ; 1965).

5. CONCLUSION

Les relevés effectués dans la forêt de moyenne altitude de Zahamena ont permis de mettre en évidence les caractéristiques principales de la zone d'étude. Les mesures de LAI ont permis d'établir rapidement les types forestiers. Sur tous les relevés, des variations ont été observées suivant la variation de l'altitude. La surface terrière et le volume en bois sont plus importants sur les bas et mi-versants que sur la crête et le haut versant. Ces résultats corroborent avec les valeurs d'estimation de biomasse et du stock de carbone.

Le niveau de détermination des herbiers est à compléter ; il a quand même donné des résultats significatifs sur l'évaluation de la richesse et de la composition floristique de la zone d'étude. La densité et les valeurs de l'indice de Shannon et Weaver diminuent en allant de la crête vers le bas de pente.

Les différents résultats obtenus ont permis d'affirmer que les méthodes utilisées permettent de caractériser le milieu. Dans une vision d'évaluation environnementale pour la gestion des ressources naturelles, ces résultats s'avèrent intéressantes pour orienter les prises de décisions.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- BESAIRIE, H., 1974. Carte géologique de Madagascar au 1/1 000 000, trois feuilles en couleur. Service géologique d'Antananarivo.
- 2- CONSERVATION INTERNATIONALE, 1999. Monographie de Zahamena. Antananarivo, 71p.
- 3- CORNET, A., 1974. Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar. Notice explicative n°55. ORSTOM. Paris, France. 28p.
- 4- COURNAC, L. DUBOIS, M. A., CHAVE J. & RIERA, B. 2002. Fast determination of light availability and leaf area index in tropical forests. *Journal of Tropical Ecology*, 18 : 295-302.
- 5- COURNAC, L.; DUBOIS, M A.; RIERA, B. 2003. Rapids methods for characterizing forest structure in Madagascar, pp. 96-103. in *The Natural History of Madagascar*, Goodman, S. & Benstead, J. (Eds).
- 6- CURTIS, J.T. & R.P. MCINTOSH., 1950. The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. *Ecology* 31: 434-455.
- 7- DAWKINS, H.C., 1959. The management of natural tropical high forest to Uganda. Commonwealth forestry. Institute University of Oxford. England. 155p.
- 8- HUMBERT, H., 1955. Les territoires phytogéographiques de Madagascar. *Année biol.*, Ser. 3, 31 : 439-448.
- 9- HUMBERT, H., 1965. Description des types de végétation *In* : HUMBERT, H. & COURSDARNE, G. (eds.) ; *Notice de la carte de Madagascar*. Travaux de Section Scientifique et Technique de l'Institut Français de Pondichéry 6 : 46-78. Institut Français de Pondichéry
- 10- HUMBERT, H., et COURSDARNE, G., 1965. Carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques. Institut Français du Pondichéry.
- 11- KOECHLIN, J., GUILLAUMET J. L., et MORAT P., 1974. Flore et végétation de Madagascar. J. Cramer, Vaduz, 687p.

- 12- MITTERMEIER, MEYERS, N., GOETTSCH-MITTERRMEIER, C., et ROBLES GIL, P., 1999. Hotspots. Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. CEMEX, Mexico. 430p.
- 13- MITTERMEIER, R., ROBLES GIL, P. et GOETTSCH-MITTERRMEIER, C., 1997. Megadiversity. Earth's biologically wealthiest nations. CEMEX, Mexico. 5012p.
- 14- NZIENGUI, M. ; NEZRY, E. ; RIERA, B. ; RUDANT, J.-P. et ROPIVIA, M.-L., 2007. Estimation de l'indice foliaire des couverts forestiers du Gabon par Télédétection Optique.
- 15- PELISSIER, R., 1995. Relations entre l'hétérogénéité spatiale et la dynamique de renouvellement d'une forêt dense humide sempervirente (Forêt d'Uppangala – Ghâts Occidentaux de l'Inde). Université Claude Bernard, Lyon I.
- 16- PERRIER DE LA BÂTHIE, H., 1921. La végétation malgache. Annales du musée colonial de Marseille, série 39, pp 1-268.
- 17- RAKOTOMALAZA, P. J. et MESSMER, N., 1999. Structure and floristic composition of vegetation in the Réserve Naturelle Intégrale d'Andohahela, Madagascar. *In* : GOODMAN, S. M. (ed.) A floral and faunal inventory of the Réserve Naturelle d'Andohahela, Madagascar : With reference to elevation variation. *Fieldiana : Zoology*, new series 94 : 51-96.
- 18- RANAIVOARIMANANA, S., RAKOTOMALALA, F. A., ANDRIAMALALA, F., RAKOTONDRAOMPIANA, S., RAKOTONIAINA, S., FARAMALALA, M. H., ROGER, E. et RIERA, B., 2010. Corrélation entre l'indice foliaire ou Leaf Area Index (LAI) et les paramètres de l'image SPOT 5 de l'aire protégée de Zahamena, Madagascar. *In* : Acte de Colloque international sur "L'évaluation environnementale pour la gestion des ressources naturelles", 14 et 15 octobre 2010, Université d'Antananarivo (à paraître).
- 19- SHANNON, C.E. & WEAVER, 1949. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois, Press, Urbana.
- 20- TAHIRINIRAINY, D. D., 2010. Caractérisation écologique et analyse structurale d'une forêt dense humide de basse altitude en vue d'un suivi de la végétation selon la méthode de la parcelle permanente. Cas de la RNI de Betampona, Madagascar. Mém. DEA, Départ. Biologie et Ecologie Végétales, Fac. Sciences, Université d'Antananarivo. 77p.