



Habilitation à Diriger des Recherches

Spécialité : Eaux et Forêts
présentée à

L'UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques

par

Joelisoa RATSIRARSON

Ph.D. en Ecologie et Biologie Evolutive

Maître de Conférences de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques

ECOLOGIE DESCRIPTIVE ET FONCTIONNELLE : OUTILS ESSENTIELS POUR LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE

**CARACTERISATION DES ESPECES, SUIVI DE LA POPULATION ET ETUDE DES INTERDEPENDANCES AU SEIN DE LA
COMMUNAUTE NATURELLE A MADAGASCAR**

Document 2 : Synthèse des Travaux de Recherche

soutenu le Vendredi 11 mars 2011 devant la commission d'examen constituée de :

Président	:	RASOARAHONA Jean Roger E., Professeur, ESSA, Université d'Antananarivo Directeur de l'ESSA
Directeur et Rapporteur interne	:	RAMAMONJISOA Bruno S., Professeur, ESSA, Université d'Antananarivo Chef Département des Eaux et Forêts de l'ESSA
Rapporteur externe :		RICHARD Alison F., Professeur Emérite, Université de Yale (Etats Unis) ; Président Emérite de l'Université de Cambridge (Angleterre) ; Professeur Honoris Causa de l'Université d'Antananarivo
Examineurs	:	RAMANANKASINA Estelle, Professeur Emérite, ESSA, Université d'Antananarivo RAZANAKA Samuel, Professeur, Chercheur-Enseignant, Université d'Antananarivo, CNRE GOODMAN Steven M., Professeur, Chercheur-Enseignant, Université d'Antananarivo ; Senior Field Biologist, The Field Museum Chicago

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	4
RESUME	6
I- SYNTHÈSE DES TRAVAUX DE RECHERCHE	12
0- INTRODUCTION GÉNÉRALE	12
1- CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ	15
2- IMPORTANCE DE L'ÉCOLOGIE DESCRIPTIVE ET FONCTIONNELLE	17
21- <i>Caractérisation et Suivi écologique de la biodiversité</i>	17
22- <i>Suivi de la Dynamique des populations : Dypsis decaryi et Propithecus verreauxi verreauxi</i>	23
221 – <i>Dypsis decaryi</i> , un palmier horticole à distribution restreinte	24
222 - <i>Propithecus verreauxi verreauxi</i> , un lémurien vulnérable aux variabilités climatiques	30
23- <i>Etude des interdépendances au sein de la communauté naturelle</i>	36
231 – Relation de mutualisme entre les plantes et leurs pollinisateurs : cas de <i>Dypsis decaryi</i> et d' <i>Aloe divaricata</i>	36
232- Relation de compétition par l'envahissement d'une liane endémique <i>Cynanchum mahafalense</i>	39
233 – Interdépendances au sein du phytotélme de <i>Nepenthes madagascariensis</i>	41
3- CONCLUSION GÉNÉRALE	50
II- PERSPECTIVES	52
1- DÉFIS À RELEVÉ	52
2- PROGRAMMES ENVISAGÉS	52
21 - <i>Renforcement des capacités des parties prenantes</i>	52
22 – <i>Mobilisation des acteurs pour rompre leur isolement</i>	54
23 – <i>Axe de recherche orienté vers les défis liés à la survie de l'humanité</i>	54
3- STRATÉGIES DE MISE EN ŒUVRE	55
III- RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	56

REMERCIEMENTS

J'adresse mes remerciements les plus sincères à Madame et Messieurs les membres de la commission d'examen, d'avoir accepté de consacrer du temps pour juger ce travail, malgré leurs lourdes tâches et multiples responsabilités. J'exprime tout particulièrement ma reconnaissance à mon Directeur de Recherche, le Professeur Bruno RAMAMONJISOA, Chef de Département de l'ESSA Département Eaux et Forêts, pour son dévouement et son accompagnement pendant la préparation de ce travail.

Je tiens à témoigner ma gratitude :

- au Professeur Jean Roger E. RASOARAHONA, Directeur de l'ESS Agronomiques ;
- au Professeur Emérite Estelle RAMANANKASINA, de l'ESSA, Université d'Antananarivo ;
- au Professeur Emérite Alison F. RICHARD, Université de Yale (Etats Unis), Président Emérite de l'Université de Cambridge (Angleterre), Professeur Honoris Causa, Université d'Antananarivo ;
- au Professeur Steve M. GOODMAN, Chercheur-Enseignant de l'Université d'Antananarivo, Senior Field Biologist, The Field Museum of Chicago ;
- au Professeur Samuel RAZANAKA, Chercheur-Enseignant, ex-Directeur du CNRE
- au Professeur Titulaire Panja RAMANOELINA, ex-Directeur de l'ESS Agronomiques et ex-Ministre de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche ;
- au Professeur Jean Chrysostome RANDRIAMBOAVONJY, Enseignant-Chercheur à l'ESSA-Département Eaux et Forêts.

Je remercie chaleureusement mes collègues d'outre mer, pour leur soutien pendant ces longues années de recherche, en particulier Penelope BODRY-SANDERS, William BOND, Diane BROCKMAN, Frank CUOZZO, Robert DEWAR, Joanna DURBIN, Gebhard FITZ, Lisa GOULD, Roland de GOUVENAIN, Richard LAWLER, Sheila O'CONNOR, Jean Paul PADDACK, Alison F. RICHARD, Michelle SAUTHER, Marion SCHWARTZ, John SILANDER Jr., Robert W. SUSSMAN ainsi que tous mes collègues Enseignants et Chercheurs à l'ESSA, en particulier ceux du Département des Eaux et Forêts.

Ma reconnaissance va tout particulièrement à ma famille. La compréhension et la patience de Vololoniaina, de Heriniaina et de Joharisoa ont été une source de motivation pour mener à terme ce Mémoire. Leur affection m'a soutenue pendant les moments difficiles. Mon père, mes frères et sœurs ainsi que toute la grande famille ont été toujours à mes côtés et je les apprécie pour leur amour fraternel.

Je tiens également à remercier toute l'équipe de la Division 'Ecologie et Biodiversité' de l'ESSA-Forêts, notamment Rija ANDRIAMIALY, Ando N. RAKOTOZAFIARISON, Mamy RAMPARANY, Jeannin RANAIVONASY, Mia RAZAFIMAHEFA et Jacky YOUSOUF, avec toute l'équipe locale basée à Bezà Mahafaly (Edouard, Efitiria, Elahavelo, Enafa) et à Tampolo (Kamisy, Ramaro, Théogène, Viviane). Toute l'équipe a été toujours avec moi et a contribué énormément à la réalisation de ce travail, y compris la collecte, l'analyse ainsi que la publication des données pour les différents projets et programmes de recherche entrepris par la Division 'Ecologie et Biodiversité'.

Je ne saurais oublier l'importance de l'appui de toutes les responsables dans la Division Ecologie et Biodiversité de l'ESSA-Forêts à Antananarivo et sur le terrain (à Bezà Mahafaly et à Tampolo) qui se sont succédées, en particulier Jô ALIJIMY, Edidy ELLIS, Rigobert Jean EMADY, Henri RAFILOPOARIJAONA, Nirina RALISON, Ny Andry RANARIVelo, Jeannicq RANDRIANARISOA, Mad RANDRIANASOLO, Helian RATSIRARSON, Sylvia RAVELONJATOVO et Elysé RAZANAJAONARIVALONA, ainsi que tous les étudiants 5^{ème} Année de l'ESSA-Forêts qui ont participé au *Field school* sur les sites d'application de l'ESSA-Forêts.

La réalisation de nos recherches et de ce mémoire ne serait possible sans les appuis financiers et la confiance de nos partenaires, notamment la Fondation John D. et Catherine T. MacArthur ; la Fondation Liz Claiborne et Art Ortenberg ; la Fondation pour la Conservation des Lémuriens (LCF), la Fondation Tany Meva, l'Association Smile4 Madagascar, l'Association IdeaWild, le WWF Madagascar et la Fondation Margot Marsh.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Liste des Figures

Figure 1 : Localisation des zones d'études.....	14
Figure 2 : La forêt littorale de Tampolo	19
Figure 3 : Le palmier <i>Dypsis decaryi</i>	24
Figure 4 : Courbe de survie de la population de <i>Dypsis decaryi</i>	26
Figure 5 : Analyse de sensibilité de la population en fonction de la quantité des graines collectées	28
Figure 6 : Nombre de nouvelles feuilles produites chez <i>Dypsis decaryi</i> après deux expérimentations de défeuillaison.....	29
Figure 7 : Le sifaka <i>Propithecus verreauxi verreauxi</i>	30
Figure 8 : Structure des âges pour les mâles et les femelles dans la population de <i>Propithecus v. verreauxi</i> de Bezà Mahafaly.....	33
Figure 9 : Surfaces couvertes (ha) par l'envahissement de <i>Cynanchum mahafalense</i> à l'intérieur et à l'extérieur de la Réserve de Bezà Mahafaly.....	40
Figure 10 : <i>Nepenthes madagascariensis</i> en forme de Gobelet (a) et en forme de Trompette (b)	42
Figure 11 : Colonisation des arthropodes dans les urnes de <i>Nepenthes</i> en forme de Gobelet.....	46
Figure 12 : Colonisation des arthropodes dans les urnes de <i>Nepenthes</i> en forme de Trompette	47

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Mesures des attributs des individus dans la population de <i>Dypsis decaryi</i>	26
Tableau 2 : Nombre de femelles reproductrices et celles ayant un succès de reproduction selon leur âge, chez <i>Propithecus verreauxi</i>	31
Tableau 3 : Comparaison des variations saisonnières des poids corporels (en kg) chez <i>Propithecus verreauxi</i>	34
Tableau 4 : Comparaison des attributs entre les urnes en forme de Gobelet et les urnes en forme de Trompette de <i>Nepenthes madagascariensis</i>	44
Tableau 5 : Matrice de la chaîne trophique à l'intérieur des urnes de <i>Nepenthes madagascariensis</i>	48

GLOSSAIRE ET ACRONYMES

Glossaire

Bet-hedging : stratégie de survie d'une espèce vivant dans un environnement imprévisible, où l'investissement maternel pour la reproduction est réduit pour pouvoir survivre

Commensalisme : une interaction biologique naturelle entre deux êtres vivants par laquelle l'un profite de la nourriture ou de l'abri de l'autre, sans lui nuire ni le déranger. Le commensalisme est une exploitation non-parasitaire d'une espèce vivante par une autre espèce vivante.

Compétition : une interaction biologique indirecte entre deux espèces occupant une même niche écologique, vis-à-vis d'une ressource insuffisante.

Espèce clé : espèce peu abondante jouant un rôle essentiel dans la régulation des autres populations au sein d'une communauté naturelle ; de par les relations interspécifiques, la suppression d'une espèce clé entraîne une perte considérable de la biodiversité

Filet japonais : un filet de couleur noire utilisé pour capturer les animaux volants, principalement les oiseaux et les chauves-souris. Le filet le plus couramment utilisé mesure 6 m ou 12 m de long sur 2 m de haut environ. Une fois installé à l'aide d'une perche sur chaque extrémité, ce filet ressemble à un filet de volley-ball.

Fleurs entomophiles : fleurs principalement visitées et pollinisées par des insectes.

Fleurs ornithophiles : fleurs principalement visitées et pollinisées par des oiseaux.

Fleurs protandriques : les fleurs mâles (anthère) s'ouvrent et produisent du pollen avant la réceptivité des fleurs femelles (stigmate).

Highest hotspots : zones prioritaires et d'importance particulière en matière de conservation de la biodiversité.

Learning by doing : apprentissage par la pratique.

Mutualisme : une interaction biologique naturelle entre deux espèces, par laquelle elles retirent des bénéfices réciproques, obligatoires et indispensables à leur survie respective.

Phytotelme : microhabitat aquatique (temporaire ou permanent) contenu dans un récipient végétal. Le liquide accumulé est suffisant pour supporter la vie ou une partie du cycle de vie de nombreuses espèces animales.

Piège pitfall : piège sous forme de trous. Par exemple, un seau plastique de 15 l, enfoncé dans le sol pour capturer des reptiles, amphibiens et micromammifères.

Piège National : piège métallique de taille de 32" x 10" x 12" pour capturer des micromammifères de grande taille avec utilisation d'appâts.

Piège Sherman : piège en aluminium de taille de 2" x 2,5" x 6,5" avec un ressort en acier inoxydable pour capturer des petits micromammifères avec utilisation d'appâts.

Prédation : Une interaction biologique naturelle entre deux espèces par laquelle une espèce tue et mange une autre espèce.

Acronymes

HDR : Habilitation à Diriger des Recherches

ESSA-Forêts : Département des Eaux et Forêts de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques

RESUME

Les travaux de formation et de recherche que nous avons assumés au sein du Département des Eaux et Forêts de l'ESSA (ESSA-Forêts), depuis l'obtention de notre *Ph.D.* à l'Université de Connecticut (Etats Unis) en 1993, se sont focalisés sur le domaine de l'Ecologie, puis se sont diversifiés vers les diverses disciplines de la Conservation de la Biodiversité. En tant que Principal Responsable de la Division «Ecologie et Biodiversité» de l'ESSA-Forêts, nous avons pu coordonner un certain nombre de Projets de recherche, en partenariat avec des Institutions nationales et internationales et dont les zones d'interventions sont, entre autres, les sites d'application de l'ESSA-Forêts.

L'enseignement théorique, l'encadrement de travaux pratiques, la supervision et le suivi sur terrain des Mémoires de fin d'études des étudiants sont parmi les priorités de nos activités à l'ESSA-Forêts. En particulier sur des thèmes liés à la Gestion de la Faune et à la Conservation de la Biodiversité à Madagascar. Des méthodes actives d'enseignement où les étudiants eux-mêmes doivent se documenter et faire des présentations et discussions orales sont utilisées. D'abord centrées sur le thème de l'Ecologie, notamment l'Ecologie descriptive et fonctionnelle, nos activités de recherche se sont élargies vers les méthodes et gestions de suivi de la biodiversité et ensuite les types de gouvernance des zones protégées. Ayant eu l'opportunité d'acquérir des expériences professionnelles en dehors du cadre d'Enseignant, mais toujours liées avec la problématique environnementale, nous avons pu préparer, présenter plusieurs projets de recherche dont nous avons assuré la supervision de leur mise en œuvre.

Face à la crise actuelle de la Biodiversité, l'Ecologie est devenue un champ de recherche majeur dont l'objectif est d'abord de caractériser la diversité biologique (Ecologie descriptive) au niveau de l'espèce et de ses populations; mais surtout d'expliquer le fonctionnement et le rôle joués par les organismes dans la nature et leurs interactions avec les facteurs biotiques et abiotiques (Ecologie fonctionnelle). Les apports de connaissances fournis par les études écologiques sont essentiels et nécessaires pour concevoir des stratégies efficaces pour la Conservation de la Biodiversité.

Une grande partie de nos activités de recherche ont comme objets de mieux comprendre l'écologie des espèces endémiques de Madagascar (*Aloe divaricata*, *Nepenthes madagascariensis* et *Cynanchum madagascariensis*), rares (*Propithecus verreauxi verreauxi*) ou en danger (*Dypsis decaryi*). Les projets de recherche, dont nous sommes le principal Investigateur et Coordinateur, priorisent les zones représentatives de la diversité et d'endémisme de Madagascar, dont le Parc National d'Andohahelo et les sites d'application de l'ESSA-Forêts comprenant la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly (forêt xérophYTE du Sud) et l'Aire Protégée de Tampolo (forêt littorale de l'Est).

Deux inventaires ont été réalisés à deux dates différentes, pour caractériser la biodiversité de la forêt littorale de Tampolo, perturbée par les exploitations illicites des produits forestiers. A la suite d'un suivi écologique de sa biodiversité, les degrés de diversité et d'endémisme de la faune et de la flore de cette forêt restent relativement stables après quelques années ; ce qui justifie les efforts à continuer et à consolider pour la conservation de ce laboratoire naturel de l'ESSA-Forêts, cadre d'études indispensables pour les travaux pratiques des futurs Ingénieurs.

La recherche, menée depuis une quinzaine d'années sur la population de *Propithecus verreauxi verreauxi* dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly a permis de comprendre que les variations saisonnières des poids corporels sont les conséquences d'un milieu environnemental variable, et que les diminutions du taux de fertilité et du taux de survie dans la population en sont les résultats. Face aux fluctuations réelles mais non prévisibles des conditions climatiques affectant entre autres la disponibilité des ressources, les sifaka femelles préféreraient s'investir plus pour leur survie individuelle, et reporter pour plus tard les efforts de reproduction.

De même pour le palmier endémique *Dypsis decaryi*, cette espèce horticole privilégie la production de nouvelles feuilles, plus tôt que la production de fruits, lorsqu'elle se trouve dans des conditions abiotiques très pauvres (humidité et luminosité faibles). Cela pourrait être une des raisons de sa distribution très restreinte.

La biodiversité peut être considérée comme le moteur de l'écosystème, en d'autres termes, chaque espèce est importante dans le fonctionnement de l'écosystème. La nature et l'intensité des interactions entre les espèces déterminent la distribution et l'abondance des diverses espèces présentes au sein des communautés naturelles. La 'crise de pollinisation' (entraînant des pertes économiques considérables) qui se manifeste par une inefficacité des pollinisateurs (liée à la perte de la biodiversité) justifie l'étude des relations mutualistes entre les plantes et leurs agents pollinisateurs. Pour *Dypsis decaryi*, l'agent pollinisateur le plus efficace de ses fleurs est l'abeille *Apis mellifera*. Tandis que l'oiseau souimanga *Nectarinia souimanga* assure la pollinisation de *Aloe divaricata*.

Objet de suivi écologique dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly, *Cynanchum mahafalense*, une espèce de liane endémique envahit la forêt à cause de la protection totale de son habitat. En fait, face aux modifications de son milieu (présence de trouée), l'espèce entre en compétition avec les autres espèces et les exclut progressivement, à travers un développement en touffes massif et très rapide.

De telles relations de mutualisme et de compétition existent également entre la diversité d'espèces d'Arthropodes vivant au sein du microhabitat aquatique offert par les urnes de la plante carnivore *Nepenthes madagascariensis*. De plus, d'autres types de relations d'interdépendances comme le commensalisme et la prédation y sont observés.

Les études pour caractériser la biodiversité et comprendre son fonctionnement écologique sont essentielles pour la Conservation de la Biodiversité. Compte tenu de la diversification continue du monde vivant, ces thématiques de recherche sont à développer pour d'autres espèces et d'autres écosystèmes dans le temps et dans l'espace. En outre, nos questions de recherche seront plus orientées vers les défis liés à la survie de l'humanité, en particulier la gestion et la valorisation de la biodiversité en collaboration avec les communautés de base ainsi que les stratégies d'adaptation de la biodiversité et des populations humaines face au changement climatique.

Pour les années à venir, des programmes de renforcement de capacités au niveau de la communauté scientifique de l'ESSA-Forêts et au sein des sites d'application seront renforcés. Entre autres, par l'utilisation du TIC pour élargir les réseaux d'échanges avec le monde extérieur.

Mots clés : écologie descriptive, écologie fonctionnelle, biodiversité, pollinisation, phytotélme, Andohahela, Bezà Mahafaly, Tampo

FAMINTINANA

Niompana manokana teo amin'ny sehatry ny Haivoary ny asa fanofanana sy fikarohana nosahaniko teo anivon'ny Sampam-pianarana Ambony momba ny Rano sy ny Ala (Sekoly Ambony momba ny Fambolena sy ny Fiompiana ary ny Ala – ESSA Forêts) ka nipariaka tamin'ny lalam-piofanana maro rantsana eo amin'ny fiarovana ny Karazan-java-manana aina, hatramin'ny nahazoako ny mari-pahaizana ambony *Ph.D* tao amin'ny Anjerimanontolon'i Connecticut Etazonia, tamin'ny taona 1993. Afaka nandrindra karazana tetikasa momba ny fikarohana maromaro aho, amin'ny maha tompon'andraikitra voalohany momba ny fanapariahana ny « Haivoary sy Karazan-java-manana aina » izay niaraha-niasa tamin'ny andrimpifehezana teto amin'ny firenena sy iraisam-pirenena ; ary anisan'ny faritra niasana tamin'izany ireo sehatra fampiharana an'ny Sekoly Ambony momba ny Fambolena sy ny Fiompiana ary ny Ala (ESSA-Forêts).

Anisan'ny laharam-pahamehan'ny lahasako tamin'izany : ny fampianarana teorika, ny fitarihan-dalana ny asa fampiharana, ary ny fanaraha-maso sy ny fandrindrana ny firotsahana an-tsehatra amin'ny fanatontosan'ny mpianatra mpikaroka ny voka-pikarohany. Ary indrindra indrindra, ireo lohahevitra mifandraika amin'ny fitantanana ny Zavamaniry sy ny fiarovana ny Karazan-java-manana aina eto Madagasikara. Nilofosana ihany koa ny fomba fiasa mavitrika teo amin'ny fampianarana toy ny fanovozan-kevitra tamin'ny boky ary ny fanaovana famelabelarana sy adihevitra am-bava. Manaraka an'izany, nifantohana ny lohahevitra momba ny Haivoary, indrindra, Haivoary ara-pamariparitana sy ara-tsinjara asa, nivelatra tamin'ny fomba fiasa, fitantanana, fanaraha-maso ary koa ireo karazam-pitondrana Faritra Arovana ny asa fikarohana nataoko. Ankoatra an'izany, nanana ny tombon-dahy manokana ivelan'ny asa fampianarana ihany koa, amin'ny fahazoana traikefa eo amin'ny lafiny asa nefa mifandraika hatrany amin'ny hevitra mitondra ny fiarovana ny tontolo iainana izay nahafahana namolavola ny fanehoana ireo karazana tetikasam-pikarohana ka nosahaniko ny fanaraha-maso ny fanatontosana azy ireny.

Manjary sehatra lehibe iantefan'ny asa fikarohana ny Haivoary manoloana ny kirizy ankehitriny momba ny Karazan-java-manana aina, ka ny tanjona amin'izany, ny famakafakana ireo voary isan-karazany (Haivoary ara-pamariparitana) eo anivon'ny karazany sy ny vondrontarika ; kanefa, manazava indrindra ny sangodin'ireo kasinga sy ny anjara andraikiny ao anaty zavaboary ary ireo fifampiakoana eo amin'ny zava-mampiana sy tsy mampiana (Haivoary ara-tsinjara asa). Sarobidy ary tena ilaina mba hamolavolana ny paikady mahomby eo amin'ny fiarovana ny Karazan-java-manana aina ny eza-pahalalana rehetra norantovina tamin'ny fandinihana ny voary.

Anisan'ny ampahany goavana tamin'ny asa fikarohana nataoko ny fahafantarana tsara ny karazan-javaboary eto Madagasikara toy ireo : karazan-javamaniry tsy manam-paharoa *Aloe divaricata*, *Nepenthes madagascariensis* sy *Cynanchum madagascariensis*, karazam-biby mihalany tamingana *Propithecus verreauxi verreauxi* ary karazan-javamaniry tandindonin-doza *Dypsis decaryi*. Nitariaka sy nandrindra ireo tetikasam-pikarohana ny tenako izay nanao vaindohan-draharaha ny faritra ahitana taratra ny fahasamihafan'ny voary sy ny harena tsy manam-paharoa eto Madagasikara tao amin'ny : Valanjavaboary Andohaëla, ireo toerana fampiharana tantanin'ny ESSA-Forêts, toy ny Ala Tahiry Bezà Mahafaly (Ala maina Atsimo) sy ny Faritra Arovana an'i Tampolo (Ala moron-dranomasina Atsinanana).

Nisy angom-pikarohana roa notanterahina tamin'ny fotoana roa samy hafa mba hanasongadinana ireo karazan-java-manana aina ao amin'ny Ala moron-dranomasin'i Tampolo izay lasibatra ny mpitrandrak'ala tsy manara-dalàna. Araka izany, tsy nihen-danja intsony ny tahan'ny harena tsy manam-paharoa toa ny biby sy zavamaniry, taona vitsy taty aoriana ; vokatry ny fanaraha-maso ny zavaboary sy ny karazan-java-manana aina ; manaporofa izany fa, ireo ezaka rehetra natao niaravana ny ala dia mila hotohizana mba hiarovana ity toerana voajanahary ity sady antoky ny asa fanofanana, tena ilaina, ho fampiharan'asa an'ireo injeniera aty aoriana.

Ny fikarohana natao nandritra ny dimy ambin'ny folo taona tamin'ireo *Propithecus verreauxi verreauxi* tao amin'ny Ala Tahiry Bezà Mahafaly dia nahazoana nahafantatra ny fiovaovan-danja ara-bàtana arakaraka ny vanim-potoana, izay vokatry ny fiovaovan'ny toerana iainana sy ny fijotsoan'ny taham-pahavokarana sy taha-pahavelomana eo amin'ny vondrontarika. Manoloana izany fivadihan-javatra hita maso izany, kanefa tsy voavinavina mialoha ny toetoetry ny toetrandro izay mitondra akony eo amin'ny fisian'ny otrikarena dia misafidy mandany ny heriny hivelon-tena ireo sifaka vavy amin'ny fanataràna ny ezaka fananahana.

Toraka izany koa ny zavamaniry tsy manam-paharoa *Dypsis decaryi*, izay mirona amin'ny famokarana ravina kokoa io karazan-javamaniry haingon-tanàna io, toy izay hamoa ; rehefa tojo amin'ny fepetra, tsy mampiaina, tsy lavorary, (hamandoana sy tara-pahazavana marefo). Antony sy antoka iray ahafahan'ity zavamaniry ity tena mametra ny fianahany izany.

Azo heverina fa fanoitra ho an'ny rindranjavaboary ny karazan-java-manana aina ; manana anjara toerana lehibe eo amin'ny hetsipanodinana ny rindranjavaboary ny karazana voary tsirairay raha toa ka lazaina amin'ny fomba hafa. Ny toetra sy vaikan'ny fifampiakoana eo anivon'ireo karazana voary samihafa no mamaritra mazava tsara ny fianahana sy ny fahabetsahan'izy ireo eo anivon'ny fiaraha-miaina voajanahary. Manamarina ireo fandinihana ny rohim-pifandraisana misy eo amin'ny zavamaniry sy ireo mpitondra vovobony ny kirizy fifindram-bovobony (misy akony ratsy lehibe eo amin'ny lafiny toekarena) izay miseho amin'ny tsy fahombiazan'ny mpitondra vovobony (mifandraika amin'ny fahavoazan'ny karazan-java-manana aina). Mpitondra vovobony tena mahomby ho an'ny *Dypsis decaryi*, avy ao amin'ny felany ny bibikely tantely (*Apis mellifera*). Etsy andanin'izany kosa, miantoka ny fitondrana vovobony ho an'ny zavamaniry *Aloe divaricata* ny vorona soimanga *Nectarinia souimanga*.

Tena zava-dehibe ny fanaraha-maso ny zavaboary ao amin'ny Ala Tahiry Bezà Mahafaly, noho ny fisian'ny karazam-bahy *Cynanchum mahafalense* izay mirongatra ao anaty ala vokatry ny fiarovana tanteraka ny Ala Tahiry. Araka izany, mifaninana amin'ny karazan-javamaniry hafa izy noho ny habaka misy azy, hany ka, mamono ireo zavamaniry manodidina azy amin'ny alalan'ny firoboroboany amin'ny fomba matevina sy malady. Misy koa io rohim-pifandraisana sy fifaninanana io eo amin'ny samy karazam-biby marotongotra miaina ao amin'ny habaka kely anaty rano izay miandrana amin'ny takobo-javamaniry homa-nofo *Nepenthes madagascariensis*. Fanampin'izany, hita taratra ao ihany koa ny fisian'ny karazana fifampiankinam-pifandraisana mifamelona sy mifampihinana.

Manana lanjany manokana ho an'ny fiarovana ny karazan-java-manana aina ny asa fandinihana mba hamotopotorana sy hahafantarana ny hetsipodinana ny zavaboary. Tsara hatrany raha halalinina amin'ireo karazana voary sy karazan-drindranjavaboary izany lohahevitra nobanjinina izany noho ny fianahana mitohy isan-karazany eo amin'ny tontolon'ny velona. Ankoatra an'izany, mametraka fanamby mifandraika amin'ny fitsimbinana ny ain'olombelona, ary indrindra indrindra ny fitantanana sy fampanjariana ireo karazan-java-manana aina mifototra amin'ny fiaraha-miasa amin'ny Vondrom-bahoaka Ifotony ary koa amin'ny paikadim-pandrindrana ny karazan-java-manana aina sy ny olombelona manoloana ny fiovaovan'ny toetrandro ny asa ifantohan'ny fikarohana ataonay.

Hohamafisina, amin'ny ho avy, ireo fandaharanasa mikasika ny fampivoarana ny fahasehana eo amin'ireo mpira-miasa siantifika ao amin'ny ESSA-Forêts sy eo amin'ireo toerana fampiharana. Ao anatin'izany rehetra izany, amin'ny alalan'ny fampiasana ny haitao avo lenta eo amin'ny lafiny torohay sy serasera no hampivelarana ny ambaindain'ny tambajotram-pifanakalozana amin'ny any ivelany.

Teny manan-danja : haivoary ara-pamariparitana, haivoary ara-tsinjara asa, karazan-java-manana aina, fifindram-bovobony, Andohahela, Bezà Mahafaly, Tampolo.

ABSTRACT

The training and research activities that I have been undertaking at the Department of Water and Forests of ESSA (ESSA-Forêts), since obtaining my *Ph.D.* degree in 1993, from the University of Connecticut (USA), focused on the field of Ecology, and have diversified into various disciplines in Biodiversity Conservation. As Principal Responsible of the Division "Ecology and Biodiversity" at ESSA-Forêts, I was able to coordinate a number of research projects in partnership with national and international Institutions. Most of these research works are located in the field sites of ESSA-Forêts, among other.

Lectures, supervision of practical work, supervision and follow up of Memoire for students are among the priorities of my activities at the ESSA-Forêts, especially on topics related to Wildlife Management and Biodiversity Conservation in Madagascar. Active methods of teaching are used, where students themselves must gather the necessary materials for the oral presentations and the discussions. Initially focused on the ecology, including descriptive and functional ecology, my research activities have expanded to method and management of biodiversity and then to the governance of protected areas. Having had the opportunity to gain work experience outside the framework of lecturer, but still linked with environmental issues, I was able to prepare, present more research projects which I have overseen their implementation.

With the current crisis of biodiversity, ecology has become a major research field whose aim is first to characterize the biological diversity (Descriptive Ecology) at species and population levels, but mainly to explain the function and the role of the organisms as well as the interactions with biotic and abiotic factors (Functional Ecology). The contributions of knowledge provided by ecological studies are essential for designing effective strategies for the Conservation of Biodiversity.

Most of my research activities have been focused on endemic (*Aloe divaricata*, and *Nepenthes madagascariensis*, *Cynanchum mahafalense*), rare (*Propithecus verreauxi verreauxi*) or endangered (*Dypsis decaryi*) species of Madagascar. Research projects, of which I am the principal investigator and coordinator, have been undertaken in representative areas with higher degree of diversity and endemism, including the Natinal Parc of Anadolahela and the biological field stations of ESSA-Forêts such as the Bezà Mahafaly Special Reserve (southern xerophytic forest) and the Tampolo Protected Area (eastern coastal forest).

Two inventories were conducted in two different times, to characterize the biodiversity of the littoral forest of Tampolo, disturbed by illegal harvesting of forest products. The degree of diversity and endemism of the flora and fauna of the remaining forest is relatively stable, after the second survey. This result justifies efforts to continue the conservation of this natural laboratory of ESSA-Forêts, field stations needed for applied work for future decision makers.

The research work we conducted over the past fifteen years on the population of *Propithecus verreauxi verreauxi* (sifaka) at the Bezà Mahafaly Special Reserve has shown that seasonal variations in body weights are the consequences of the variability of the environmental factors, in addition to decline of fertility and survival rates in the population. With the real fluctuations and unpredictable weather conditions, affecting among others the availability of vital resources, sifaka females prefer to invest more for their individual survival, and delay their breeding efforts later. Similarly for the endemic palm *Dypsis decaryi*, this horticulture species prefers to produce new leaves rather than fruits, in very poor abiotic conditions (low humidity and low light). This could be one of the reasons for its current distribution very limited.

Biodiversity can be considered to be the engine of the ecosystem, in other words, every species is important in the functioning of the ecosystem. The nature and intensity of species interactions determine the distribution and abundance of various species in natural communities. The 'pollination crisis' (resulting major economic losses) which is shown by the inefficiency of pollinators (related to the loss of biodiversity) justifies the study of mutualistic relationships between plants and their pollinators. For *Dypsis decaryi* flowers, *Apis mellifera* bee is the most efficient pollinator, while sunbird *Nectarinia souimanga* warrants the pollination of *Aloe divaricata* flowers.

Cynanchum mahafalense, an endemic vine species, has been monitored at Bezà Mahafaly Special Reserve, and invades the forest because of the total protection of its habitat. In fact, in response of its environment changes (more light), this species is in competition with other species, through a massive rapid development in tufts and exclude the other surrounding individuals.

Such relationships of mutualism and competition also exist between the diversity of arthropods living in the aquatic microhabitats of *Nepenthes madagascariensis* pitcher. In addition, other types of interdependence relationships such as commensalism and predation are also observed.

Studies to understand the ecological function of biodiversity are essential for the Conservation of Biodiversity. Given the continued diversification of the living world, such studies are to be developed to other species and other ecosystems in time and space. In addition, my future research questions will be more oriented to the challenges linked with human survival, particularly the management and enhancement of biodiversity in collaboration with grassroots communities and the coping strategies of biodiversity and human population to face the climate change issues.

For years to come, programs for capacity building for the scientific community of ESSA-Forêts and within the field sites will be considered. Among other activities, the use of ICT to expand networks of exchanges with the outside world will be prioritized.

Keywords: descriptive ecology, functional ecology, biodiversity, pollination, phytotelma, Andohahela, Bezà Mahafaly, Tampolo

I- SYNTHÈSE DES TRAVAUX DE RECHERCHE

0- Introduction générale

Reconnu à travers le monde comme étant '*sanctuaire de la nature*', Madagascar est considérée exceptionnelle grâce à son degré d'endémisme et de diversité biologique très élevés. Les pressions qui menacent continuellement l'intégrité de ses habitats naturels uniques ont classé Madagascar parmi les régions « *highest hotspots* » dans le monde, zones prioritaires des priorités en matière de conservation de la biodiversité (Mittermeier et al. 2004 ; 2010). Plus de 90 % de la couverture végétale naturelle a été déjà disparue, mais le niveau d'endémisme est très élevé au niveau des espèces, genres et familles par rapport aux autres zones « *hotspots* » dans le monde. Par exemple, Madagascar abrite plus de 170 espèces de palmiers dont cinq espèces seulement ne sont pas endémiques (Dransfield et Beentje 2003). La faune des primates de Madagascar est la plus diversifiée dans le monde avec 5 familles, 15 genres et 101 espèces et sous espèces, tous endémiques (Mittermeier et al. 2010).

La biodiversité assure une fonction cruciale dans la survie et le bien-être de l'humanité, à travers les biens et les services qu'elle fournit. Malheureusement, cette diversité biologique est gravement menacée, et la perte définitive d'espèces se poursuit à un rythme accéléré, principalement causée par des activités et des consommations abusives des hommes (Mittermeier et al. 2004 ; Primack et Ratsirarson 2005 ; Primack 2008). Le défi qui nous attend c'est de déterminer puis prendre les mesures qui s'imposent d'urgence pour alléger ces menaces et améliorer la résilience des êtres humains et de la nature.

L'étude écologique est la science des relations entre les organismes et leur environnement et est le thème central de la discipline de la conservation de la biodiversité. Les données et les informations essentielles issues des études écologiques, en particulier de l'écologie descriptive et l'écologie fonctionnelle, sont fondamentales pour pouvoir définir des stratégies réalistes et pertinentes afin d'assurer une meilleure conservation et restauration de la biodiversité.

L'écologie descriptive concerne la caractérisation de la biodiversité au niveau de l'espèce et de la population. L'inventaire biologique au niveau de l'espèce et l'étude de la dynamique au niveau de la population sont les composantes principales de cette étude écologique. L'étude de la dynamique est l'étude des processus qui influent sur la distribution et l'abondance des populations animales et végétales. Cette étude pourrait fournir des simulations de certains problèmes pratiques et élaborer des modèles de la pertinence écologique, en général.

L'écologie fonctionnelle étudie le rôle et la fonction des organismes isolés ou en interaction avec leur milieu, au niveau de la communauté naturelle. Ces fonctions se manifestent par des flux entrant ou sortant des organismes, mais aussi par des flux internes d'allocations des ressources à des processus tels que la croissance ou la reproduction. Les études portent sur les processus et les organismes à l'origine de ces flux ainsi que leurs interactions et réponses aux variations naturelles et anthropiques du milieu.

La **problématique générale** posée par l'ensemble de nos études concerne la disponibilité des données et des informations indispensables à intégrer dans les stratégies de conservation et de gestion de la biodiversité, afin d'améliorer leur pertinence et garantir des meilleurs résultats (éviter la perte – améliorer la capacité de résilience – développer l'adaptation aux changements brutaux de l'environnement) qui puissent réellement résoudre la crise actuelle de la biodiversité. Ainsi d'une part, décrire, étudier et évaluer la structure, le rôle et le fonctionnement des différents niveaux de manifestation de la biodiversité tels que : espèce, population et communauté dans un écosystème donné. Et d'autre part, analyser et comprendre le fonctionnement de leurs interactions avec l'environnement biotique et abiotique.

Dans le cadre de ce mémoire de HDR, la synthèse de mes activités de recherche est focalisée sur l'étude écologique (Ecologie descriptive et Ecologie fonctionnelle), domaine d'étude et de recherche important dans l'acquisition des connaissances essentielles à l'orientation efficace des stratégies liées à la conservation des écosystèmes et à la gestion de la biodiversité. En fait, ayant eu l'opportunité d'être formé dans le domaine de la Foresterie, et avoir parcouru un cursus universitaire et une carrière professionnelle axés sur les domaines de l'Ecologie et de l'Environnement, mes compétences d'Enseignant et de Chercheur se sont développées sur le thème de la Conservation de la Biodiversité.

A partir de la question 'comment les données fournies par l'Ecologie descriptive et l'Ecologie fonctionnelle contribuent à l'élaboration des stratégies de conservation à long terme ? ', deux **hypothèses de recherche** sont avancées. La première hypothèse stipule que «décrire la structure de l'écosystème permet de mieux caractériser ce qui existe et de diagnostiquer les contraintes qui pèsent sur la biodiversité». Ensuite, la deuxième hypothèse avance que «étudier et analyser les interactions écologiques au sein des communautés naturelles fournissent une base déterminante pour assurer l'intégrité de la biodiversité».

Pour la **méthodologie** adoptée, les études couvrent les différents niveaux de manifestation de la biodiversité : espèce, population, communauté et écosystème. Il est certainement justifié de devoir étudier les espèces endémiques et emblématiques de Madagascar, en l'occurrence *Dypsis decaryi*, *Aloe divaricata*, *Propithecus verreauxi*, *Cynanchum mahafalense*, *Nepenthes madagascariensis*. Les lieux d'études sont localisés dans des Aires Protégées et dans les sites d'application de l'ESSA-Forêts. Divers types d'écosystèmes caractérisent ces zones d'études réparties dans Madagascar, tels que la forêt littorale humide de l'est (forêt de Tampolo), la forêt xérophyte et la forêt galerie du sud-ouest (forêt de Bezà Mahafaly) et la forêt de transition du sud-est (forêt d'Andohahela) (Figure 1). A part les analyses de la bibliographie, des méthodes expérimentales ont été utilisées à savoir des captures, marquages, mesures, suivis, fouilles et des manipulations.

La synthèse des travaux de recherche est divisée en deux grandes parties. La première partie introduit les points essentiels de la discipline 'Conservation de la Biodiversité', notamment les aspects fortement liés à l'Ecologie descriptive et fonctionnelle. En deuxième partie intitulée 'Importance de l'Ecologie descriptive et fonctionnelle', est développée les recherches considérant successivement les différents niveaux de la biodiversité à savoir l'espèce, la population et la communauté naturelle. Dans cette deuxième partie, d'abord la Caractérisation et le suivi écologique de la Biodiversité (section 21) ; le Suivi de la dynamique de la population de deux espèces (*Dypsis decaryi* et *Propithecus verreauxi*) (22). Puis les relations d'interdépendance au sein de la communauté naturelle (section 23), avec successivement la Relation de mutualisme entre les plantes et leurs pollinisateurs (231), la Relation de compétition par l'envahissement de *Cynanchum mahafalense* (232) et les relations d'Interdépendance au sein du phytotelme de *Nepenthes madagascariensis* (233).

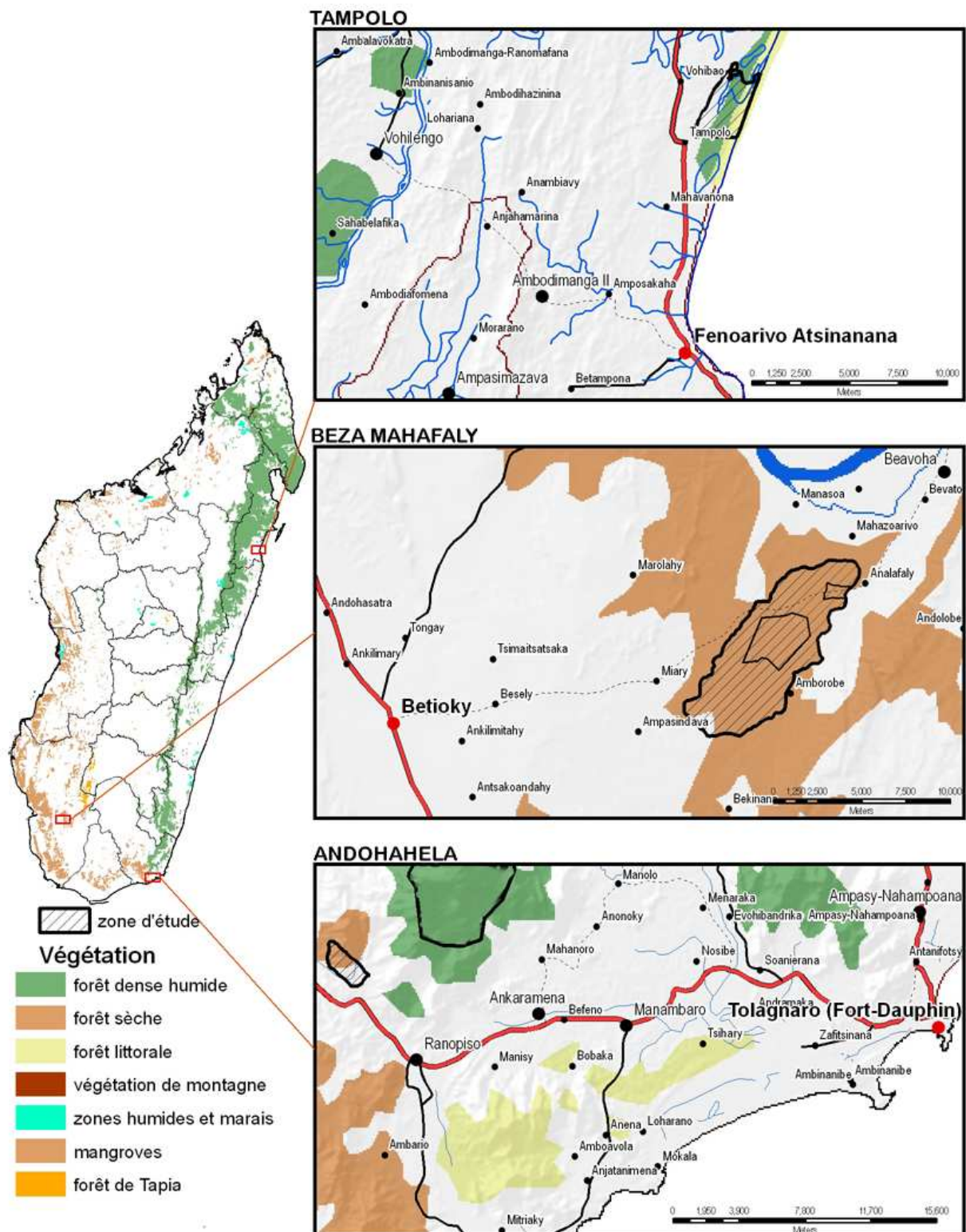


Figure 1 : Localisation des zones d'études
(Source : Adaptée de Moat et Smith 2007)

1- Conservation de la Biodiversité

Depuis que la vie est apparue sur la Terre il y a quelque 3,8 milliards d'années, la diversité biologique s'est progressivement construite selon des plans d'organisation qui atteignent un degré de complexité élevé, au cours du temps. La diversité biologique comprend l'ensemble des espèces vivantes, la variation génétique existante au sein des individus d'une même espèce, les populations et communautés biologiques au sein desquelles les espèces vivent, ainsi que leurs interactions avec les écosystèmes au niveau desquels elles évoluent.

Le nombre total d'espèces qui ont existé depuis l'origine de la vie est considérablement plus élevé que le nombre d'espèces qui existent actuellement. L'extinction est un processus normal et biologiquement programmé, même en absence des perturbations violentes d'origines naturelles ou anthropiques. A cette extinction de routine, dont le taux paraît assez constant dans le temps, se sont ajoutées cinq majeures extinctions de masse, probablement due à des phénomènes catastrophiques comme des éruptions volcaniques généralisées ou de la percussioin de la planète par un astéroïde géant. Ces crises ont entraîné la disparition de 50 à 95% de toutes les espèces. La cinquième et dernière en date est celle de la fin du Crétacé qui a exterminé les Dinosaures, il y a 65 millions d'années (Koch et Barnosky 2006).

De nos jours, le déclin continu de la biodiversité est d'une telle ampleur qu'on parle de sixième extinction de masse (Primack 2008). Cette dégradation de la biodiversité est une conséquence directe du 'changement global', en particulier d'origine anthropique, et comporte plusieurs composantes telles que la destruction et la fragmentation des habitats, les invasions biologiques, la surexploitation des ressources, les pollutions et les changements climatiques (Mace et al. 2005).

En fait, tous ces facteurs se conjuguent pour entraîner des extinctions de masses dont le taux est près de mille fois plus élevé que le taux naturel d'extinction. Au rythme de 5% par décennie, on craint que près de la moitié de la biodiversité actuelle disparaisse avant le milieu du 21^{ème} siècle (Burgman et al. 2007). Le taux de perte actuel de la biodiversité, le plus élevé dans l'histoire de la Terre, peut avoir des conséquences négatives sur le fonctionnement des écosystèmes et les services qu'ils rendent à l'humanité.

Ainsi, à la fin des années 1960, et dans ce contexte de crise d'extinctions massives, est née une nouvelle discipline scientifique : la Conservation de la Biodiversité. La Conservation de la Biodiversité est une science multidisciplinaire qui a évolué pour faire face à l'actuelle crise de la diversité biologique (Primack et Ratsirarson 2005 ; Primack 2008). La Conservation de la Biodiversité répond à trois principaux objectifs : d'abord de décrire et d'étudier la diversité du monde vivant; ensuite, de comprendre les interactions écologiques ainsi que les impacts des activités humaines sur les espèces, les communautés, et les écosystèmes; et enfin, de concevoir des approches pratiques multidisciplinaires pour préserver et restaurer la diversité biologique menacée.

La Conservation de la Biodiversité est une fusion des différentes disciplines scientifiques, qui allient des théories, des recherches fondamentales et appliquées, tout en développant des approches favorables à la sensibilisation et à l'éducation des parties prenantes (décideurs, praticiens, public, etc.). Ainsi, les disciplines telles qu'Ecologie, Biologie et Evolution, Taxonomie et Génétique, constituent les thèmes centraux de la Conservation de la Biodiversité. Mais également, les sciences humaines telles qu'Anthropologie, Sociologie, Géographie humaine, Science de l'Environnement (Droit, Economie, Politique) apportent des contributions essentielles car elles permettent une meilleure compréhension des éventuelles méthodes à utiliser pour encourager et éduquer la population humaine à préserver les habitats naturels et les espèces dans leur environnement.

La diversité biologique (ou la biodiversité) peut se définir sur trois niveaux différents : * au niveau de la variation génétique dans les espèces, aussi bien parmi les individus de la même population que entre les populations géographiquement éloignées ; * puis au niveau de l'espèce, comprenant l'ensemble des organismes unicellulaires en passant par les bactéries, jusqu'aux organismes plus complexes ; enfin, * la variation au sein des communautés biologiques à l'intérieur desquelles les espèces vivent, évoluent et interagissent.

Certaines « espèces clés » sont importantes dans la détermination de la capacité des autres espèces à persister dans la communauté naturelle. Ces espèces jouent le rôle régulateur de la population des autres espèces. Des ressources-clés, telles que les sources d'eau, les trous sur les troncs d'arbre, les nids/niches au creux des branches, les urnes (*phytotelmes*) des plantes carnivores peuvent occuper une partie infime de l'habitat. Pourtant, elles peuvent être cruciales à la persistance de beaucoup d'autres espèces dans une région.

Actuellement, on estime que plus de 99% des formes d'extinction des espèces sont imputables aux activités humaines. De plus, le taux d'extinction s'accélère et beaucoup d'espèces existantes sont encore en train de se disparaître. La dégradation, la fragmentation et la perte d'habitats constituent la plus grande menace de la diversité biologique. La fragmentation de l'habitat est le processus selon lequel un grand bloc d'habitat, correspondant à une vaste étendue, est en même temps réduit en surface et divisé en deux ou plusieurs fragments. La fragmentation de l'habitat peut impliquer la perte d'habitats et d'espèces restantes. Cette fragmentation crée des barrières au processus normal de dispersion, de colonisation, et de recherche de nourritures. Les conditions environnementales dans les fragments peuvent changer, et les espèces nuisibles et envahissantes risquent de gagner du terrain.

La perte de l'habitat étant la principale cause de la dégradation de la diversité biologique, préserver et minimiser les causes de perturbation des habitats naturels représentent la stratégie la plus efficace pour conserver la biodiversité et maintenir les types d'habitat ainsi que les étapes de succession dont un grand nombre d'espèces ont besoin.

Les espèces les plus vulnérables à l'extinction ont des caractéristiques particulières, telles qu'une distribution géographique très restreinte, les espèces ayant une faible résilience aux changements, une population de faible taille et une population décroissante (Primack 2008). Le point clé de la préservation d'une espèce rare ou en danger correspond souvent à la compréhension de son histoire naturelle. Savoir si une espèce en danger est stable, croissante, variable ou en phase de diminution se fait par le biais du suivi de ses populations.

Comme mes activités de formation et de recherche sont axées sur les thèmes de l'Ecologie et de la Biodiversité, nous avons publié un ouvrage de référence intitulé '*Principe de base de la Conservation de la Biodiversité*' (Primack et Ratsirarson 2005). Le but de cet ouvrage consiste à fournir des informations scientifiques qui pourraient être utilisées comme des références pour ceux qui voudraient mieux comprendre les éléments essentiels de la conservation de la biodiversité. L'ouvrage est composé de cinq chapitres (voir Primack et Ratsirarson 2005). Le premier chapitre consiste à décrire la Conservation de la biodiversité et la diversité biologique. Le deuxième chapitre traite les menaces de la biodiversité, les causes et les conséquences des pertes de la biodiversité. Le troisième et le quatrième chapitre abordent les stratégies pouvant être considérées pour la conservation, respectivement au niveau des espèces et celui des communautés naturelles. Le dernier chapitre présente les relations entre la conservation et le développement durable au niveau local, régional, national et international.

2- Importance de l'écologie descriptive et fonctionnelle

L'écologie est un des thèmes centraux de la Conservation de la Biodiversité. Le biologiste Allemand Ernst Haeckel l'a défini comme la science des relations des organismes avec le monde environnant. Au cours des quelques dernières décennies, l'écologie est devenue un champ de recherche majeur dont l'objectif est d'expliquer le fonctionnement des écosystèmes à l'aide des études variées issues de plusieurs disciplines.

En fait, définie comme l'Ecologie descriptive, la caractérisation de la biodiversité au niveau de l'espèce et de ses populations constitue le point de départ d'une étude écologique. Ensuite, l'approche fonctionnelle de la biodiversité (Ecologie fonctionnelle) est une branche de l'écologie qui s'intéresse plus particulièrement sur les principaux rôles joués par les organismes dans la nature et leurs interactions et influences aux facteurs biotiques et abiotiques, et vice versa. L'écologie fonctionnelle s'applique à tous les niveaux d'organisation des êtres vivants : de la cellule à la biosphère mais les principales cibles sont l'espèce, la population, la communauté et les écosystèmes. De nombreuses recherches réalisées ces dernières années ont pu mettre en évidence un effet positif du nombre d'espèces sur le fonctionnement de l'écosystème. Il semble cependant que, en plus du nombre d'espèces, ce soit l'identité des espèces et leurs caractéristiques fonctionnelles qui jouent un rôle prédominant.

La société humaine dépend de ces diverses interactions. Ainsi, il est important d'avoir une meilleure compréhension du fonctionnement écologique car la rupture des différentes interactions au niveau des écosystèmes pourrait engendrer des menaces irréversibles et en cascades sur notre vie. De plus, l'émergence de nouveaux problèmes liés aux changements globaux parmi lesquels le déclin de la biodiversité, la multiplication des espèces envahissantes et d'autres menaces potentielles oblige les chercheurs à redéfinir leurs études et à se mobiliser pour apporter des solutions à ces nouveaux défis. Effectivement, la compréhension des caractéristiques de la biodiversité, de ses fonctions, mais aussi de ses dysfonctionnements (dégradation et perte des habitats, pollutions, perturbations dues au changement climatique, etc.) afin de trouver des solutions pratiques (stratégies et types d'aménagement et de gouvernance, restauration, etc.), est essentielle pour assurer la pérennité des services écologiques et du développement durable.

21- Caractérisation et Suivi écologique de la biodiversité

Depuis toujours, la qualité de la vie humaine est fortement conditionnée par la biodiversité, à travers les services et les biens, qu'elle assure au niveau de la planète toute entière. Connaître les caractéristiques de la biodiversité exige des connaissances et des quantifications de ses différentes composantes, entre autres, via des inventaires biologiques.

L'objectif principal d'un inventaire biologique (assimilé à un diagnostic écologique), est de connaître les différentes espèces vivant dans un site donné en vue d'identifier et de caractériser la diversité biologique d'un habitat donné. Cet inventaire devrait être toujours suivi après une période déterminée pour mieux comprendre le changement ou l'évolution dans le temps. En effet, la répétition dans le temps des inventaires, peut déterminer si une population est stable, croissante ou en phase de diminution. A mesure de répéter le recensement avec les mêmes méthodes et les mêmes périodes, les changements qui se produisent au sein de la population recensée peuvent être identifiés (Primack 1998). Les données provenant des recensements à long terme peuvent contribuer à discerner les tendances croissantes ou décroissantes de l'évolution d'une population.

L'inventaire biologique basé sur la récolte de données sur terrain est la méthode utilisée pour définir le statut d'une espèce rare et/ou en danger qui fait l'objet d'un programme de conservation particulier. Il consiste à répondre à des questions sur la caractérisation de la diversité ainsi que l'abondance des espèces présentes dans une population et un habitat donnés.

Nous avons entrepris des inventaires biologiques dans les forêts des 4 sites d'application de l'ESSA-Forêts, à savoir la forêt littorale de Tampolo (est de Madagascar), la forêt xérophyte de Bezà Mahafaly (sud-ouest de Madagascar), les forêts humides de Mandraka (zone centrale de Madagascar) et d'Ambohitantly (Hautes terres de Madagascar).

D'une part, les données recueillies lors de ces inventaires biologiques ont été exploitées pour l'élaboration des plans d'aménagement des sites d'études, et les interprétations des résultats ont ouvert d'autres opportunités y compris la continuation, la diversification des thèmes de recherche sur la biodiversité malgache, au sein des mêmes sites d'études, ou dans d'autres écosystèmes. D'autre part, les inventaires biologiques ont été menés pour développer et renforcer les formations pratiques des étudiants. En outre, la réalisation de ces inventaires a permis de promouvoir le partenariat de l'ESSA-Forêts avec les autres Institutions de recherche nationales et internationales. Et l'exercice a permis d'apprendre et de tester d'autres approches ainsi que des mises au point de méthodes d'inventaire pour d'autres types d'habitat et d'écosystème.

Dans ce mémoire, seuls les résultats de deux inventaires biologiques effectués successivement en avril 1997 et avril 2004 dans la forêt littorale de Tampolo sont présentés. Ces résultats ont été publiés dans la série des sciences biologiques du CIDST (Centre d'Information et de Documentation Scientifique et Technique) des Recherches pour le Développement (voir Ratsirarson et Goodman 1998 ; 2005).

La forêt littorale de Tampolo est située à 10 km au nord-ouest de Fenoarivo Atsinanana (Figure 2), entre le littoral est et la Route Nationale n° 5, reliant Toamasina à Maroantsetra. Elle se trouve à une altitude entre 5 et 10 m et s'étend sur 5 km le long de la côte est.

Les deux inventaires ont vu la participation active de plusieurs personnes ressources et des participants invités venant des Institutions Nationales et Internationales comme CNRE (Centre National de Recherche sur l'Environnement), la Direction Générale des Forêts, DRFP (Direction des Recherches Forestières et Piscicoles), ESSA-Forêts (École Supérieure des Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts), MBG (Missouri Botanical Garden), MNP (Madagascar National Parks), ORSTOM (Office de Recherche Scientifique des Terres d'Outre Mer), PBZT (Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza), WWF (World Wildlife Fund), PF (Peregrine Fund), Départements de Biologie Végétale et Biologie Animale de la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo, Université de Californie Davis, Field Museum de Chicago). Les personnes ressources ont été composées d'experts nationaux et internationaux de différentes disciplines y compris des Botanistes, des Mammalogistes, des Ornithologues, des Herpétologistes et des Entomologistes. En outre, d'autres participants (étudiants et chercheurs) ont été invités pour apprendre les techniques et les méthodologies nécessaires pour l'accomplissement d'un inventaire biologique.

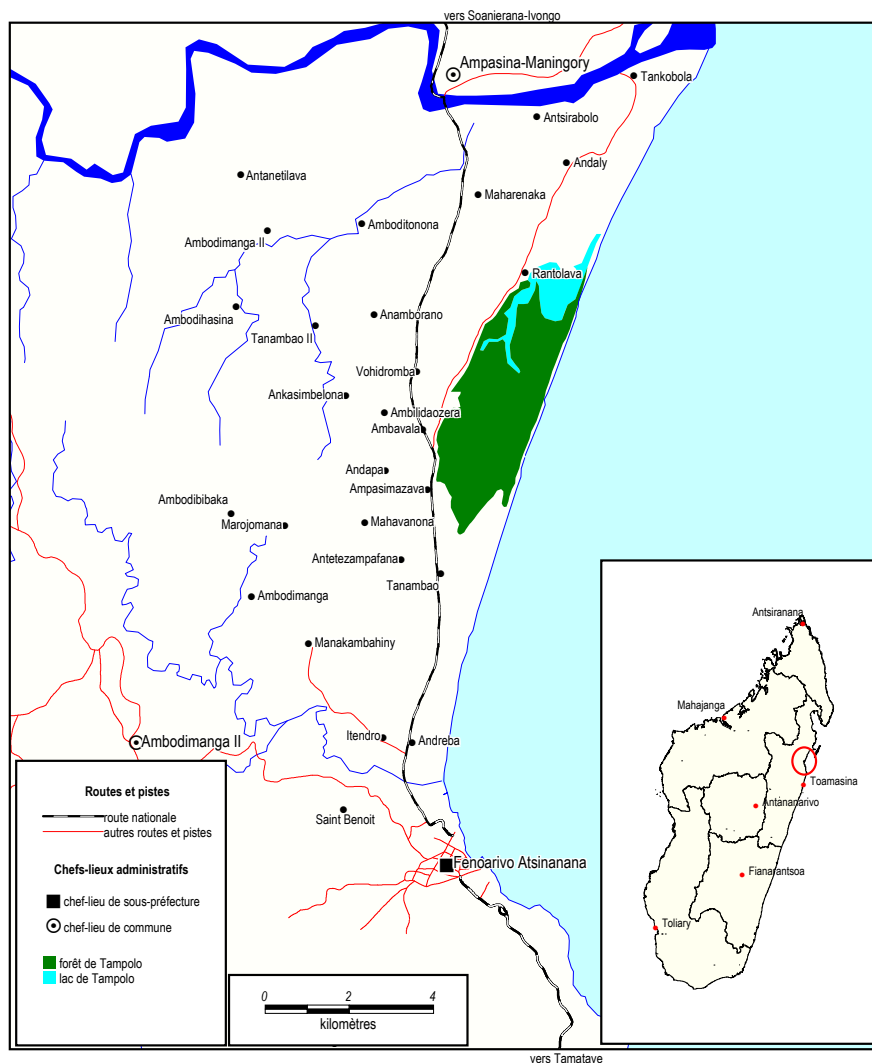


Figure 2 : La forêt littorale de Tampolo

a - Méthodologie

D'une manière générale, la collecte des informations et des données sur la faune a été faite :

- par des observations directes, assorties de remarques générales sur la structure globale de la population de chaque espèce (stades de développement, etc.), le comportement et les activités de l'animal, les caractéristiques (type et nature) de l'habitat fréquenté
- à travers l'utilisation des pièges pour la capture des animaux (micromammifères, reptiles, amphibiens, oiseaux, insectes)
 - *pitfalls* (des trous-pièges installés le long d'une ligne) pour les micromammifères, reptiles et amphibiens
 - pièges *Sherman* et *National* pour les micromammifères
 - *filet japonais* pour les chiroptères
- par une fouille systématique des lieux de refuge et d'habitat (sous la litière, bois ou tiges en décomposition, écorces desséchées, axes foliaires) et/ou par le piégeage à l'aide des trous-pièges *Mini-Winkler* pour les fourmis
- par la notation de la présence ou absence de l'espèce pour les Primates
- par le comptage des individus vus et/ou entendus (comptage par points) à des endroits fixes le long des transects définis ou la capture avec des filets pour les oiseaux.

L'inventaire de la flore a été basé sur 2 placettes permanentes de 1 ha chacune. Dans chaque placette permanente, tous les arbres ayant un dhp (diamètre à hauteur de poitrine ou diamètre à 1,30 m du sol) supérieur ou égal à 10 cm ont été numérotés en utilisant une plaquette en aluminium attachée sur l'arbre. Les paramètres dendrométriques, tels que le dhp et la hauteur totale de chaque arbre ont été mesurés et enregistrés. Des observations générales sur le comportement des individus complètent les informations récoltées. Un échantillon d'herbier a été confectionné pour chaque arbre étiqueté mais qui n'a pas pu être identifié sur le terrain.

De plus, une étude phénologique des plantes (disponibilité des feuilles, des fleurs et des fruits) a été réalisée pour un certain nombre d'espèces à valeurs économiques et écologiques. Au moins, 10 individus par espèce ont été sélectionnés et marqués pour être suivis, et les observations ont été faites tous les 15 jours. Les données peuvent aider, non seulement pour la détermination des périodes propices à la récolte des fruits, utiles pour l'installation des pépinières des projets de restauration d'habitats, mais aussi pour déterminer la période pendant laquelle ces ressources vitales sont disponibles. Le suivi phénologique se fait à l'œil nu ou à l'aide des paires de jumelle. Les stades de développement essentiellement observés sur chaque pied d'arbre sont : la feuillaison, la floraison et la fructification.

Chaque individu capturé pendant l'inventaire a été identifié et l'abondance relative de chaque espèce a été évaluée à partir du rendement de capture de l'ensemble des pièges. Pour les individus capturés mais encore inconnus, des spécimens (au maximum 5 par espèce) ont été préparés pour servir de références dans les collections et ultérieurement déposés dans la salle de collection du Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo.

b - Résultats

La forêt littorale de Tampolo, d'une superficie totale de 675 ha est divisée en 4 types : - la *forêt littorale moins dégradée* où la canopée reste encore plus ou moins fermée ; - la *forêt littorale dégradée*, caractérisée par la présence de nombreuses traces de coupes ; - la *forêt de marécage* où la forêt est trouvée dans les étangs plus ou moins temporaires ; - la *forêt d'enrichissement* où la formation est enrichie par des plantations d'espèces exotiques ou autochtones.

- Richesse spécifique en faune de la forêt littorale de Tampolo

Mammifères - En général, la forêt littorale de Tampolo a une faible richesse en mammifères si on la compare avec les autres forêts littorales de l'Est. Le recensement des primates a révélé 7 espèces de lémurien (Goodman et Rakotondravony 1998 ; Ratsirarson et Ranaivonasy 2002) dont 2 espèces diurnes (*Haplemur griseus griseus* et *Eulemur fulvus fulvus*) et 5 espèces nocturnes (*Daubentonia madagascariensis*, *Microcebus simmonsi*, *Cheirogaleus major*, *Avahi laniger* et *Lepilemur mustelinus*).

Le recensement des Afrosoricides a montré que la forêt de Tampolo abrite deux espèces endémiques (*Setifer setosus*, *Tenrec ecaudatus*) et une espèce introduite de Soricide (*Suncus murinus*) (Rakotondravony et al. 1998). L'espèce endémique *Setifer setosus* a été très abondante car 71 % des individus capturés ont été constitués par cette espèce. Pour les rongeurs, deux espèces ont été recensées : une espèce endémique (*Eliurus webbi*) et une autre espèce introduite (*Rattus rattus*). *Eliurus webbi* a été capturé dans des sites ayant un certain niveau de dégradation et semble être capable de survivre dans ces endroits. L'espèce introduite *Rattus rattus* est abondante dans tous les types d'habitats. Pour les chiroptères, deux espèces *Myzopoda aurita* et *Hipposideros commersoni* ont été capturées au filet (Rakotondravony et al. 1998).

Après le suivi de la biodiversité des mammifères, nous n'avons enregistré aucune différence entre les espèces de mammifères recensées en 2004 et celles de 1997 (voir Goodman et al. 2005). Notons qu'en 1876, Josef Peter Audebert a entrepris une mission scientifique le long de la côte est de Madagascar et a collecté des spécimens zoologiques (Dorr 1997). La région de Mahambo, une zone littorale au sud de Fenoarivo Atsinanana a été inventoriée pendant cette mission et la plupart des spécimens collectés a été déposée dans le Musée d'Histoire Naturelle de Leyde en Hollande.

A la base des examens de ces spécimens collectés par Audebert en 1876 et les inventaires récents dans la forêt littorale de Tampolo en 1997 et puis en 2004, on peut dire que les communautés de mammifères des forêts littorales n'ont pas beaucoup changé pendant les dernières 130 années (Soarimalala et Goodman 2005). La plupart des espèces de mammifères recensées par Audebert dans les années 1876 dans la forêt de Mahambo ont été recensées à Tampolo pendant les inventaires que nous avons entrepris en 1997 puis en 2004. Pourtant, pendant cette longue période de 130 ans, la superficie des forêts littorales de la région a été réduite considérablement (Ranaivonasy et al. 2003).

Actuellement, malgré l'état relativement dégradé de cette forêt de Tampolo, elle joue un rôle prépondérant pour maintenir la diversité des mammifères de la littorale orientale. Et il semble que les espèces de mammifères qui se trouvent dans les forêts littorales pourraient résister à un certain niveau de dégradation de leur habitat.

Reptiles et amphibiens - Un total de 39 espèces dont 14 amphibiens et 25 reptiles a été recensé lors de l'inventaire 2004 (Raselimanana 2005). C'est-à-dire, 4 espèces d'amphibiens (*Boophis goudoti*, *Mantidactylus biporus*, *M. tornieri* et *Plethodontohyla* sp.) et 4 espèces de reptiles (*Furcifer pardalis*, *Amphiglossus melanurus* et *A. stumpffi*) en plus par rapport à l'inventaire de 1997 (voir Raselimanana et al. 1998). Très peu de serpents ont été recensés en 2004, contrairement aux résultats de 1997. Cinq espèces parmi les 39 espèces recensées, dont un amphibien (*Stumpffia grandis*) et quatre lézards (*Amphiglossus akodabensis*, *A. frontoparietalis*, *A. melanurus* et *A. stumpffi*) n'étaient pas capturés que par la méthode de piégeage par les trous-pièges en 2004. En général, le rendement de piégeage en 2004 est très faible par rapport au résultat des captures en 1997. Ce faible taux de capture semble être lié d'une part aux conditions météorologiques marquées par des fortes pluies chaque soirée et presque toute la nuit en 2004 réduisant ainsi le rythme des activités des animaux ; et d'autre part aux difficultés d'accès dans le sous bois (envahi par la régénération) pour une meilleure détection des individus.

La forêt littorale de Tampolo constitue une zone importante en matière de conservation de reptiles et d'amphibiens. Par ailleurs, de par son isolement, de sa superficie et de la régénération naturelle de la forêt, elle constitue un foyer et un refuge pour les populations des espèces de basse altitude caractéristiques de la forêt littorale. En général, la richesse spécifique de l'herpétofaune de la forêt de Tampolo est parmi les plus élevées des forêts littorales.

Oiseaux - l'inventaire de la forêt de Tampolo en 2004 a montré que la forêt contient 53 espèces d'oiseaux, comprenant 4 espèces aquatiques et 35 espèces forestières. Parmi ces espèces, 80 % sont endémiques dont 40 % endémiques de Madagascar et 40 % endémiques de la région de l'Océan Indien. Pour chaque habitat recensé, les zones humides (lacs, ruisseaux, etc.) semblent être les moins riches en nombre d'espèces, ensuite la forêt de marécage contrairement à la forêt moins dégradée qui abrite une richesse spécifique plus élevée (41 espèces sur les 53 espèces recensées). La plupart des espèces recensées sont des espèces forestières, plus de 80 % des espèces endémiques ont été inventoriées dans la forêt moins dégradée, la forêt de marécage et dans la forêt d'enrichissement. Par contre, dans la forêt dégradée, le taux d'endémisme des espèces recensées est de 64 % (Raherilalao et al. 2005).

Une différence notable a été constatée si on compare le nombre d'espèces d'oiseaux recensé en 1997 avec celui de 2004. Cinquante six espèces ont été enregistrées en 1997 (Andrianarimisa et Goodman 1998), parmi lesquelles 11 espèces n'ont plus été recensées lors de l'inventaire de 2004 (Raherilalao et al. 2005). Ces 11 espèces sont : *Ardeola ralloides*, *Butorides striatus*, *Ardea purpurea*, *Dendrocygna viduata*, *Aviceda madagascariensis*, *Canirallus kioloides*, *Rostratula benghalensis*, *Tyto alba*, *Ninox superciliaris*, *Eurystomus glaucurus* et *Hartlaubius auratus*. Par contre, 8 espèces qui ont été enregistrées en 2004 n'étaient pas recensées en 1997, comme *Bubulcus ibis*, *Nycticorax nycticorax*, *Anas erythroryncha*, *Milvus migrans*, *Buteo brachypterus*, *Turnix nigricollis*, *Numida meleagris* et *Cisticola cherina* (Raherilalao et al. 2005). A l'issue de l'inventaire de 2004, on peut dire que la forêt de Tampolo abrite 64 espèces d'oiseaux, en supposant que les espèces recensées en 1997 mais non enregistrées en 2004 sont toujours présentes dans la forêt mais le mauvais temps pendant l'inventaire de 2004 expliquerait leur absence dans les données d'inventaire (Raherilalao et al. 2005).

Fourmis - La forêt littorale de Tampolo possède 70 à 90 espèces de fourmis. L'espèce introduite *Technomyrmex albipes* a été très abondante et trouvée partout, notamment dans les trouées au sein de la forêt ainsi que les habitats dégradés. *T. albipes* a occupé divers types de microhabitat, tels que des bois pourris sur le sol, des tiges de bois secs, des branches mortes suspendues ainsi que des nids d'oiseaux en cartons sur les canopées. Nous avons noté que les appâts utilisés dans les pièges pour capturer les petits mammifères, ont été infestés par les *T. albipes* dès les premières heures de piégeage, confirmant la capacité de *T. albipes* à trouver rapidement des nourritures. La capacité de tolérance de *T. albipes* vis-à-vis des habitats dégradés et de climat extrême est très développée, mettant le contrôle de son envahissement très difficile. L'espèce envahit et colonise facilement les habitats dégradés et arrive à dominer et probablement à exclure les espèces de fourmis autochtones. La richesse spécifique, la composition et la succession des autres espèces de fourmis peuvent être altérées par l'invasion de *T. albipes*. Cependant, l'abondance de cette espèce exotique est plutôt décroissante en 2004 par rapport aux résultats de l'inventaire en 1997.

- Richesse spécifique en flore de la forêt littorale de Tampolo

Quatre espèces de plantes à valeurs économiques ont été sélectionnées pour caractériser l'évolution de leur densité et distribution, à savoir : *Rhopalocarpus thouarsianus*, *Schizolaena rosea*, *Pentachlaena orientalis* et *Tinopsis tampolensis*. Le statut de chacune de ces espèces a été décrit sur la base de l'abondance des individus adultes et juvéniles ainsi que le degré d'exploitation par les villageois environnants. L'abondance a été estimée par le comptage des plantes adultes le long des transects mis en place en 1997. *Rhopalocarpus thouarsianus* et *Schizolaena rosea* sont abondantes dans la forêt surtout les catégories adulte et juvénile. L'abondance de *S. rosea* a été également confirmée par l'inventaire de 1997 (voir Birkinshaw et al. 1998). Par conséquent, aucune action de conservation spécifique n'a été recommandée pour ces espèces, à part le contrôle général de l'exploitation sélective et la lutte contre les feux. Par contre, les deux espèces *Pentachlaena orientalis* et *Tinopsis tampolensis* sont devenues rares dans la forêt littorale de Tampolo et requièrent ainsi des actions de conservation spécifiques.

L'inventaire des plantes a mis en évidence des changements dans la structure de la végétation entre 1997 et 2004, pouvant être expliqués par les impacts du cyclone et les exploitations illicites des bois. Nous avons noté une nette diminution de la densité des arbres et de la surface terrière, en particulier pour les arbres dans les classes de dhp entre 20 et 30 cm.

Aukoumea klaineana, une espèce introduite, a eu le taux de croissance le plus élevé dans la forêt de Tampolo. Il se peut que ce taux de croissance élevé à Tampolo soit lié à l'ouverture de la canopée et à la grande luminosité dans la forêt après le passage du cyclone Bonita aussi bien qu'aux effets des exploitations illicites, encore constatés dans la forêt.

L'inventaire des palmiers a révélé 11 espèces (Ratsirarson 1998). La plupart de ces espèces de palmier sont menacées par la surexploitation de leurs composantes (feuilles, troncs, tiges et fruits) afin de satisfaire les besoins quotidiens des villageois. Ces espèces sont également bien représentées dans les forêts humides de l'est (Dransfield et Beentje 2003). Deux espèces, en particulier le cocotier, sont généralement plantées aux alentours des villages.

c – Conclusion partielle

La biodiversité et les écosystèmes au sein desquels elle s'exprime assurent un grand nombre de biens et de services qui soutiennent la vie humaine. Identifier, répertorier, décrire et caractériser les espèces présentes dans un habitat donné sont autant d'étapes indispensables qui fournissent des informations écologiques essentielles (richesse spécifique, abondance relative, qualité et type d'habitat, etc.) pouvant servir de points de départ aux réflexions visant la Conservation de la Biodiversité.

Ensuite, par la répétition des inventaires biologiques dans le temps, ces bases de données et d'informations peuvent être vérifiées, précisées et mises à jour. Mais surtout ces répétitions permettent la mise en évidence des changements et des modifications au niveau de la diversité biologique. Par exemple, en comparant la biodiversité à Tampolo, à travers les données issues de deux inventaires réalisés à deux moments différents (1997 et 2004), on peut détecter les différents changements ainsi que les influences des facteurs naturels et anthropiques sur la biodiversité au cours du temps. La comparaison de nos deux inventaires a indiqué que la régénération naturelle de la forêt de Tampolo a été favorisée et la préservation de la forêt de Tampolo a eu un impact positif sur le maintien de la biodiversité (Ratsirarson et Goodman 2005).

Cependant, malgré les efforts de conservation déjà entrepris, la forêt de Tampolo est toujours menacée par les coupes illicites et sauvages des bois de valeur (bois d'œuvre et de construction). La collaboration avec la population locale, les autorités locales et régionales (Commune, Administration forestière, Forces de l'ordre) mérite d'être renforcée pour maîtriser les menaces et poursuivre la préservation de la forêt. La restauration de la forêt vise à promouvoir la remise en état des habitats dégradés par des enrichissements en espèces autochtones, à favoriser la régénération naturelle des essences principales (*Hintsia bijuga*, *Uapaca* sp.). Même si la faune de Tampolo est exposée à des pressions de chasse et de destruction de ses habitats, la forêt pourrait et devrait maintenir un niveau de diversité et d'endémisme important et représentatif des forêts littorales. Entre autres le maintien de la diversité des mammifères de la littorale orientale. Par ailleurs, un programme de relâchement d'espèces de vertébrés (lémuriens, oiseaux) dans la forêt pourrait être envisagé.

Afin d'assurer que les éléments de base nécessaires pour la conception des stratégies de Conservation de la Biodiversité soient acquis, les inventaires écologiques doivent être prolongés et complétés par un monitoring des espèces, des populations au sein de leur habitat. Ces données compléteront les analyses nécessaires pour évaluer la dynamique ainsi que les menaces (voire les risques d'extinction) qui pèsent sur les populations, avec des perspectives temporelles.

22- Suivi de la Dynamique des populations : *Dypsis decaryi* et *Propithecus verreauxi verreauxi*

Mieux comprendre la dynamique de la population d'une espèce, notamment lorsque cette espèce est qualifiée d'espèce-clé, rare, ou en danger, est nécessaire pour concevoir et élaborer la meilleure façon de gérer et de conserver cette espèce à l'intérieur et à l'extérieur de son habitat naturel (Soulé 1986 ; Caswell 2001).

Le suivi de la dynamique des populations consiste à collecter puis à analyser les paramètres essentiels du cycle de vie (taux de croissance, de fertilité, de mortalité, de survie, etc.) d'une espèce, au sein de ses populations. Les valeurs de ces paramètres sont susceptibles de varier dans l'espace et dans le temps, et ces fluctuations peuvent fournir des informations cruciales pour l'avenir de l'espèce.

Ainsi, le point-clé de la conservation d'une espèce rare ou en danger correspond à la compréhension de la dynamique de ses populations. Le suivi à long terme des populations est souvent proposé comme moyen pour évaluer la pérennité des communautés biologiques.

Pour les espèces ayant un cycle de vie plus complexe, des matrices de projection pourraient être utilisées avec succès pour les analyses de la dynamique de la population (Caswell 1989 ; 2001). Plusieurs études ont démontré leur efficacité pour examiner les effets des modifications affectant les paramètres du cycle de vie sur la stabilité, la croissance ou la déclinaison de la population (Silvertown et al. 1993).

Le présent mémoire présente la dynamique de la population de deux espèces endémiques, rares et en danger de Madagascar. La première, une espèce de palmier *Dypsis decaryi* (Arecaceae) (voir Ratsirarson et al. 1996 ; Ratsirarson et Silander 1996 ; Ratsirarson 2003) et la seconde, une espèce de lémurien *Propithecus verreauxi verreauxi* (Indridae) (voir Richard et al. 2000 ; 2002 ; Lawler et al. 2009).

221 – *Dypsis decaryi*, un palmier horticole à distribution restreinte

Dypsis decaryi (Figure 3) est une espèce ayant une aire de répartition naturelle dans la partie sud-est de Madagascar. Cette espèce de palmier joue un rôle écologique et possède une valeur économique importante dans les types d'habitat où elle est distribuée. En effet, l'espèce a une valeur horticole très demandée dans le monde entier, compte tenu de l'arrangement de sa canopée en triangle (Ratsirarson 1993). Les fleurs sont disponibles tout au long de l'année et constituent une ressource importante pour la communauté naturelle, notamment pendant les périodes critiques où les autres ressources sont rares. Cependant, les feuilles sont collectées intensivement par les villageois, principalement utilisées pour la toiture des cases ; de même que les fruits, comme complément d'alimentation et source de revenus. L'élaboration des stratégies de gestion pérenne de *Dypsis* demande une meilleure compréhension des effets de la collecte des feuilles et des fruits sur la performance individuelle des plantes ainsi que sur la dynamique de ses peuplements.



Figure 3 : Le palmier *Dypsis decaryi*

a - Méthodologie

Le site d'étude est situé dans la troisième parcelle des trois parcelles non contiguës (25°01' S 46°09' E) du Parc National d'Andohahela, dans le sud de Madagascar. La troisième parcelle (Figure 1), d'environ 500 ha, a été créée en 1939 pour protéger la principale population de *Dypsis decaryi* (Ratsirarson 2003). Cette parcelle contient aujourd'hui la seule importante population au sein de l'aire de distribution de l'espèce, dans laquelle la régénération naturelle est préservée ainsi qu'une gamme complète de classes d'âge et de taille. Quelques régénérations réussies se développent dans des petites populations isolées de *Dypsis*, le long des cours d'eau éphémères de la deuxième parcelle du Parc. Ailleurs, des vestiges de populations existent mais les plantules et les juvéniles sont rares ou même absentes.

La moyenne des précipitations annuelles du site d'étude est de 800 mm, avec une saison sèche bien marquée (au maximum 7 mois : avril-octobre) et une température annuelle moyenne de 22°C (Fenn 2003). La canopée émergente est dominée par *Dypsis decaryi*, et l'étage supérieure de la canopée est composée principalement par des arbustes appartenant à des familles bien adaptées à la sécheresse (présence de latex, d'épines, des feuilles de petites tailles, des systèmes racinaires très développés), telles que les Apocynacées, Didieracées, Euphorbiacées, Leguminosacées et Rubiacées (Fenn 2003).

Trois placettes permanentes (A, B, C) de 0,9 ha chacune, ont été choisies à l'intérieur de l'Aire Protégée en fonction de la pente, de l'exposition du terrain et de la densité de l'espèce. A l'intérieur des placettes, tous les individus ont été marqués avec des étiquettes en aluminium numérotées et attachées sur le tronc. En vue d'une comparaison, des observations sur l'abondance de l'espèce hors Aire Protégée ont été faites également.

Pour caractériser les paramètres de la population, ont été enregistrés et estimés pour chaque individu :

- le nombre des feuilles - la hauteur du tronc visible - le diamètre à hauteur de poitrine du tronc et - le nombre total des cicatrices foliaires le long du tronc visible.
- l'âge (A) des individus pourvus de tronc a été estimé par la formule de Corner (1966)

$$A = ((N+n)/l + a)$$
où N = nombre total des cicatrices foliaires laissées sur le tronc,
n = le nombre de feuilles présentes
l = le taux de production de nouvelles feuilles
a = le temps nécessaire pour qu'une plantule puisse produire un tronc visible (valeur moyenne de a = 12 ans (Ratsirarson et al. 1996)).
- le nombre de fruits mûrs produits par adulte

La croissance de chaque individu a été déterminée à partir du nombre de nouvelles feuilles produites par an. La plus jeune feuille a été marquée au début de l'étude et le nombre des nouvelles feuilles produites a été enregistré à chaque recensement. Chaque nouvelle feuille produite par un individu (ayant un tronc visible) représente une croissance en hauteur évaluée à 2 cm en moyenne, et la croissance totale annuelle en hauteur pour chaque individu, a été estimée à partir du nombre total des nouvelles feuilles produites (Ratsirarson et al. 1996).

b - Résultats

- Croissance, reproduction et mortalité de *Dypsis decaryi*

Le taux de croissance du palmier, déterminé à partir du nombre de feuilles produites, est variable selon le stade de développement des individus. Les individus adultes produisent en moyenne quatre nouvelles feuilles par an, les juvéniles trois nouvelles feuilles et les plantules une seule feuille (Tableau 1). Pour les palmiers adultes, localisés dans des conditions moins favorables (humidité et lumière faibles), une seule nouvelle feuille est produite par an, alors que la production a pu atteindre jusqu'à 5 nouvelles feuilles pour les individus trouvés dans des endroits plus humides et bien exposés à la lumière.

Ensuite, le taux de croissance et le taux de reproduction de la population ont été calculés à partir des mesures faites sur l'ensemble des individus marqués. Pour projeter la croissance de la population, l'utilisation d'un modèle structuré en stades de développement est plus souvent préférable, en comparaison avec un modèle structuré en âges. Ce cas est d'autant plus vrai pour les plantes pour lesquelles des données exactes sur l'âge des jeunes individus ne sont pas disponibles.

Tableau 1 : Mesures des attributs des individus dans la population de *Dypsis decaryi*

Attributs	Mesures	Stades de développement		
		Adultes	Juveniles	Plantules
Nombre de feuilles	Moyenne $\pm$ Ecart type	15 $\pm$ 2	12 $\pm$ 3	3 $\pm$ 2
	Min-Max	9 - 23	4 - 18	1 - 5
	Nombre des individus mesurés	141	58	812
Hauteur du tronc (cm)	Moyenne $\pm$ Ecart type	320,00 $\pm$ 83,70	150,28 $\pm$ 70,46	-
	Min-Max	109 - 629	44 - 355	-
	Nombre des individus mesurés	220	58	-
Diamètre du tronc (cm)	Moyenne $\pm$ Ecart type	27,10 $\pm$ 4,46	19,48 $\pm$ 5,25	-
	Min-Max	14 - 38,10	9,70 - 37,02	-
	Nombre des individus mesurés	249	60	-
Age (ans)	Moyenne $\pm$ Ecart type	63 $\pm$ 23	25 $\pm$ 8	-
	Min-Max	30 - 204	15 - 35	-
	Nombre des individus mesurés	220	57	-
Nombre de nouvelles feuilles produites par an	Moyenne $\pm$ Ecart type	4,00 $\pm$ 0,51	3,00 $\pm$ 1,00	1,00 $\pm$ 0,98
	Min-Max	1 - 5	2 - 4	0 - 2
	Nombre des individus mesurés	220	58	812
Nombre de fruits produits par individu	Moyenne $\pm$ Ecart type	263 $\pm$ 279	-	-
	Min-Max	0 - 1293	-	-
	Nombre des individus mesurés	249	-	-

Dans la population, huit stades de développement ont été identifiés et définis en fonction de la longueur moyenne des feuilles pour les plantules, de la hauteur du tronc visible pour les juvéniles et les adultes.

La courbe de survie de la population résume le nombre d'individus qui survit en fonction des stades successifs de développement (Caswell 1989 ; 2001). La population de *D. decaryi* existante dans le PN d'Andohahela a montré une courbe de cycle de vie où les stades précoces (graines, plantules S1 et plantules S2) ont un taux de mortalité très élevé (Ratsirarson et al. 1996). Ce taux de mortalité reste élevé pour les juvéniles (plantules S3 et juvéniles J1), pour se stabiliser au stade adulte (juvéniles J2 et adultes A1, A2, A3) (Figure 4).

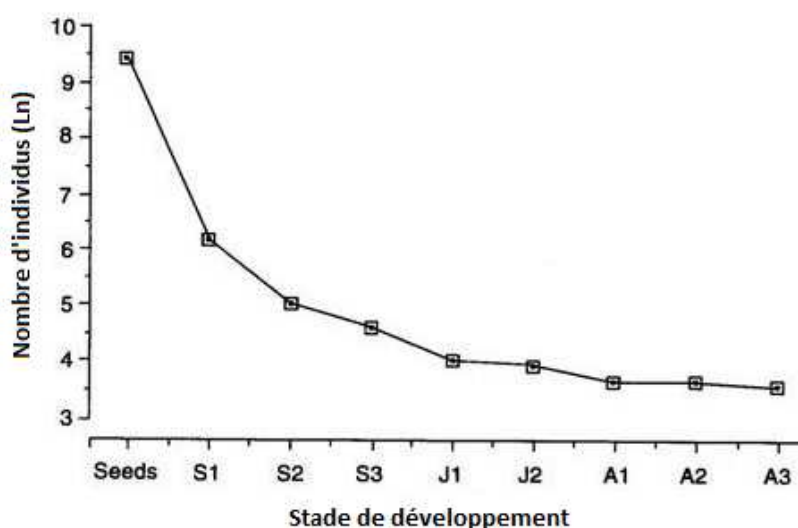


Figure 4 : Courbe de survie de la population de *Dypsis decaryi*

Seeds : graines produites ; plantules **S1** (longueur moyenne des feuilles < 15 cm) ; plantules **S2** (longueur moyenne des feuilles entre 15 et 60 cm) ; plantules **S3** (longueur moyenne des feuilles > 60 cm) ; juvéniles **J1** (hauteur du tronc visible < 80 cm) ; juvéniles **J2** (individus immatures, hauteur du tronc visible > 80 cm) ; adultes **A1** (adultes, hauteur du tronc visible < 200 cm) ; adultes **A2** (adultes, hauteur du tronc visible entre 200 et 350 cm) ; et adultes **A3** (adultes, hauteur du tronc visible > 350 cm).

Les données de trois années d'études (1990-1993) ont été synthétisées sous forme de matrices de transition pour chacune des trois placettes permanentes. Les plantes reproductrices pendant l'année t produisent, ou des graines qui vont germer et produire des plantules l'année suivante $t + 1$, ou des graines qui vont mourir (problèmes de dormance des graines).

Un modèle linéaire de croissance, $X(t+1) = A * X(t)$ (Caswell (2001)), a été utilisé pour les estimations du taux de croissance et de reproduction de la population. La valeur propre dominante λ_m , déduite de la matrice de transition liée au modèle linéaire sus mentionné, représente le taux de croissance de la population, et dont la valeur a été déterminée en utilisant le logiciel RAMAS/Stage (Ferson 1991). Notons que l'hypothèse sur la linéarité et sur l'invariance du temps excluent les effets de changement de la densité et des conditions environnementales sur la croissance de la population.

Les résultats de l'étude de la dynamique des trois placettes combinées ont indiqué que la population de *Dypsis decaryi* a été soit stable, soit croissante à l'intérieur de l'Aire Protégée ($\lambda_m \approx 1$). Par contre, en dehors de la zone protégée, l'extinction de l'espèce est probable compte tenu qu'il y avait très peu ou pas de régénération de plantules et de juvéniles à l'extérieur de l'Aire Protégée. Et même si les individus adultes semblent être résistants aux actions des feux, les plantules et les juvéniles y sont très sensibles. La distribution très limitée des stades plus jeunes semble être liée aux pressions dues aux activités anthropiques, particulièrement la culture sur brûlis et le surpâturage.

- Contraintes liées à la dissémination des graines de *Dypsis decaryi*

Le taux de mortalité important des individus d'âges précoces pourrait être lié à la prédation des graines (entre autres par le coléoptère scolytide *Lanurgus* sp. et le lémurien nocturne *Microcebus murinus*), puis à la consommation des herbivores, ainsi qu'aux dégâts liés à la chute des feuilles âgées des adultes, étouffant les jeunes plantes (Ratsirarson et al. 1996). Même au stade adulte, le risque de mortalité reste non négligeable, dû probablement aux actions des herbivores (tel le coléoptère rhinocéros *Oryctes pyrrhus*) ou aux conditions de sécheresse extrêmes, un aléa climatique fréquent au sein de l'aire de distribution de *Dypsis decaryi*.

Dans le Parc National d'Andohahela (Parcelle 3), la distribution locale des adultes de *D. decaryi* a été caractérisée par un groupement en masses. Le développement des plantules tend à être localisé sous les pieds adultes. La distance moyenne de dispersion des graines a été estimée à 2,78 m, par rapport au pied mère (Ratsirarson et Silander 1997). Les graines dispersées semblent être secondairement déplacées par les eaux de ruissellement, l'effet de la pesanteur ou par les différents types de vertébrés y compris les lémuriens (*Lemur catta*, *Microcebus murinus*), les perroquets (*Coracopsis vasa* et *C. nigra*), et les potamochères (*Potamocheilus larvatus*). Les graines viables ne sont pas déplacées loin des plantes mères. D'après nos observations directes, les lémuriens et les perroquets consomment le mésocarpe des fruits et laissent tomber les graines indemnes à côté des plantes mères (Ratsirarson et Silander 1997). Par contre, les potamochères ingèrent les fruits entiers, ainsi les graines se retrouvent dans leurs crottes. Or les graines qui passent à travers leur système digestif ne pourraient pas germer (Ratsirarson et Silander 1997). L'étude a montré que la distribution de cette espèce de palmier est relativement limitée dans l'espace ; et cette restriction pourrait être liée à la faible disponibilité des disséminateurs des graines.

La mégafaune disparue, tels que les lémuriens géants (Megaladapidae) et les oiseaux éléphants (Aepyornithidae) qui, en transportant les graines de *D. decaryi* sur des distances relativement grandes, pourrait être parmi les agents disséminateurs des graines pour ce palmier.

Des subfossiles de lémuriens disparus (*Megaladapis edwardsii*, *Hadropithecus stenognathus*, *Archaeolemur majori* et *Pachylemur insignis*) et des fragments de coquille d'œufs d'oiseaux éléphants (*Mullerornis* sp.) ont été découverts dans la grotte d'Andrahomana, près de la deuxième parcelle du PN d'Andohahela (Walker 1967 ; Burney et al. 2008).

Ces animaux disparus auraient été probablement frugivores (Dewar 1984), et les fruits de *D. decaryi* pourraient faire partie de leur principal régime alimentaire. Le domaine vital de ces animaux disparus, vraisemblablement plus étendu que celui des espèces actuelles, pourrait faciliter la dissémination des graines à des distances beaucoup plus importantes. De plus, les disséminateurs des graines disparus auraient pu jouer un rôle significatif dans la réduction du niveau de prédation des graines, car la prédation est typiquement plus intense sous les pieds mères qu'ailleurs (Howe et al. 1985 ; Ratsirarson et al. 1996 ; Ratsirarson et Silander 1997 ; Ratsirarson 2003).

- Impacts de la collecte des graines chez *Dypsis decaryi*

Les pratiques courantes de la collecte des graines ont été rapportées comme étant parmi les principales causes des menaces sur le palmier *Dypsis decaryi* (Ratsirarson et Silander 1997). Afin de caractériser les impacts sur le taux de croissance de la population, lorsque les valeurs des paramètres du cycle de vie sont modifiées, une analyse de sensibilité a été faite. Ainsi, les effets de la collecte des graines, avec différentes intensités par rapport à la quantité totale des graines produites ont été analysés.

Une matrice de transition modifiée a été construite, en considérant le nombre des fruits produits comme valeur du coefficient de fécondité. La valeur propre λ_m de la matrice a été estimée, donnant un résultat égal à 1,01651 (Ratsirarson et al. 1996). Une analyse de sensibilité a été entreprise pour déterminer la proportion des graines que l'on pourrait collecter sans avoir un impact négatif sur le taux de croissance λ_m . Le coefficient de fécondité de la matrice a été réduit successivement à un certain pourcentage (de 10 à 99,9%), et les valeurs propres λ_m y correspondantes ont été déterminées. La Figure 5 indique que le taux de croissance de la population (λ_m) commence à descendre en dessous de 1, quand la collecte des graines est réduite en dessous de 95 % des graines produites (Ratsirarson et al. 1996).

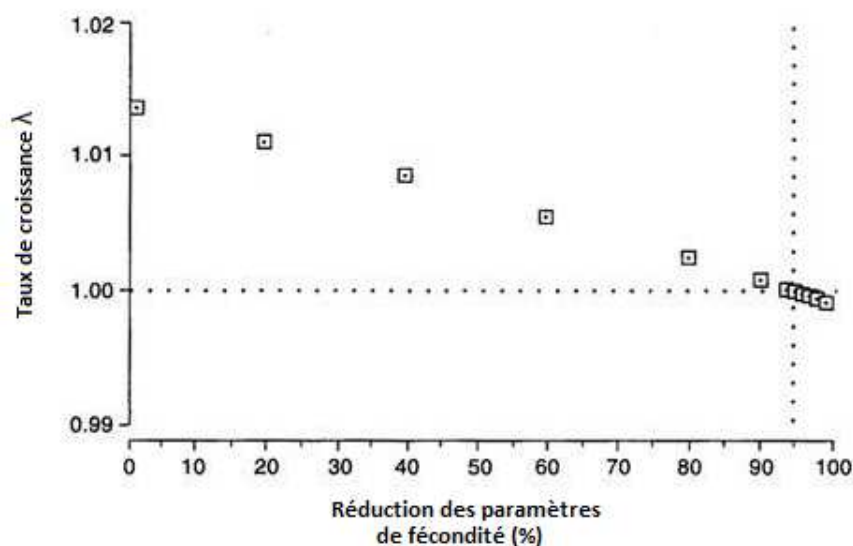


Figure 5 : Analyse de sensibilité de la population en fonction de la quantité des graines collectées
Les points carrés (□) représentent l'évolution du taux de croissance λ de la population en fonction de la quantité des graines collectées. En pointillé, la ligne horizontale correspond à la stabilité de la population où $\lambda = 1$, tandis que la ligne verticale est la réduction du pourcentage de graines pour lequel λ commence à être inférieur à 1.

Pour assurer la pérennité de la population de *D. decaryi*, la recommandation déduite de l'analyse de sensibilité, propose que la collecte des graines doive être limitée à moins de 95% des graines produites dans la nature.

- Effets de l'exploitation des feuilles chez *Dypsis decaryi*

Parmi les autres pressions qui pèsent sur la population de *D. decaryi* est également la collecte massive des feuilles, principalement exploitées pour les besoins en construction des paysans riverains. Une série d'expérimentation visant à déterminer les effets de la défeuillaison (couper et enlever les vieilles feuilles avec une machette) a été réalisée. Avant l'expérimentation, le nombre de feuilles, la hauteur et le diamètre du tronc des individus ont été notés, puis trois niveaux de défeuillaison ont été expérimentés : 25%, 50% et 100%, chacun sur 25 individus. Le taux de croissance (nombre de nouvelles feuilles produites), et le taux de reproduction (nombre de fruits produits) de chaque individu marqué ont été mesurés et suivis. Ensuite, la même série d'expérimentation a été répétée un an plus tard.

L'expérimentation de défeuillaison a montré que le taux de croissance des adultes n'a pas été affecté par l'enlèvement des feuilles chez *D. decaryi*. Au contraire, les individus dont toutes les feuilles ont été complètement coupées (100 %), ont produit plus de feuilles que les individus subissant des niveaux de défeuillaison plus bas (à 25 % et à 50 %) (Ratsirarson et al. 1996). Et les différences entre le témoin (aucune feuille n'a été coupée, 0 %) et le traitement 25 % mais aussi entre le témoin et le traitement 50 % ne sont pas significativement différentes (Figure 6).

Après la répétition de la défeuillaison un an plus tard, la production de nouvelles feuilles par les individus du niveau 100 % est significativement différente (et toujours plus élevée) de celle des individus à 50 % et à 25 %. Cependant, ces nouvelles feuilles sont de plus petites tailles. La défeuillaison à 100 % a eu un impact positif sur la croissance du palmier mais un effet négatif sur la reproduction. En outre, l'expérimentation de défeuillaison a montré que la collecte des feuilles ne devrait pas excéder 25 % du nombre des feuilles de chaque individu, pour assurer une croissance et une reproduction soutenables de la population (Ratsirarson et al. 1996).

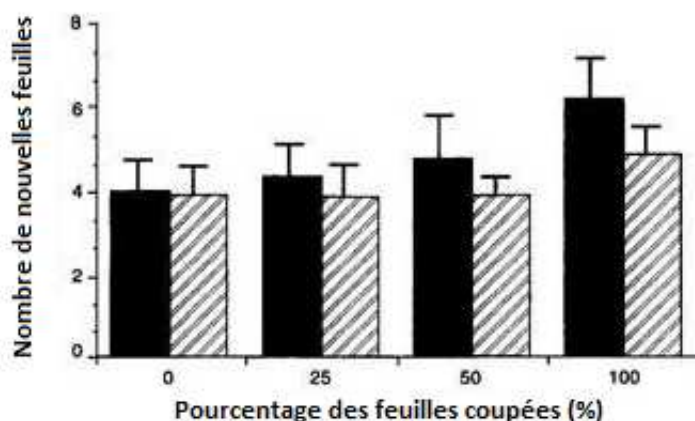


Figure 6 : Nombre de nouvelles feuilles produites chez *Dypsis decaryi* après deux expérimentations de défeuillaison

Première (en noir) et deuxième (en hachurée) réalisée un an après

c – Conclusion partielle

L'étude de la population de *Dypsis decaryi*, un palmier à valeur horticole et endémique de Madagascar, a montré que l'aire de distribution naturelle de l'espèce est relativement restreinte dans le sud-est malgache. Cette distribution limitée est liée d'abord aux actions de prédation, dont les graines et les juvéniles localisées à côté des plantes mères sont les principales victimes. Mais également, en dépit de sa protection légale (*D. decaryi* est citée dans l'Annexe de CITES), les graines sont abusivement collectées et exportées pour le commerce international, compte tenu de sa valeur horticole.

Un autre facteur non négligeable serait la faible disponibilité ou même la disparition des principaux disséminateurs de ses graines, dont parmi eux serait la mégafaune actuellement éteinte.

En outre, la destruction et la fragmentation des habitats naturels de *Dyopsis*, combinées avec des conditions de sécheresse devenues de plus en plus fréquentes et sévères, accentuent le rétrécissement de son aire de distribution déjà très limitée. D'ici quelques décennies, la survie de l'espèce serait incertaine, d'autant plus que les peuplements à l'extérieur de la zone protégée sont de très faible taille.

Compte tenu des résultats de l'étude relative aux conditions exigées pour la survie de ce palmier, la reforestation des zones dégradées (en particulier en dehors de l'aire protégée), en utilisant *D. decaryi*, s'avère nécessaire et urgente. En partenariat avec les communautés riveraines et les autorités locales, les facteurs de dégradation de l'habitat (culture sur brûlis) et des peuplements (collecte abusive des graines et des feuilles) devraient être maîtrisés.

Il est certainement justifié de mener des études de suivi sur plusieurs années sur des espèces animales emblématiques de Madagascar tels que les lémuriens.

222 - *Propithecus verreauxi verreauxi*, un lémurien vulnérable aux variabilités climatiques

Propithecus verreauxi verreauxi (ou sifaka) est une espèce de lémurien diurne, folivore, arborescente et vit en groupe (Figure 7). Son aire de distribution se répartit dans le sud et le sud-ouest de Madagascar. Une étude sur la dynamique de la population des sifaka, afin de caractériser la biologie et les stratégies de survie de l'espèce, a été entreprise dans la Réserve Spéciale de Beza Mahafaly (sud-ouest de Madagascar). Les résultats de recherche se basent sur des données collectées pendant plus d'une quinzaine d'années.



Figure 7 : Le sifaka *Propithecus verreauxi verreauxi*

a - Méthodologie

L'étude de suivi de la population des sifaka dans la première parcelle de la Réserve Spéciale de Beza Mahafaly a commencé en novembre 1984. Tous les ans, des individus sont capturés en utilisant une sarbacane munie d'une seringue imbibée de produit anesthésiant (Telazol), éventuellement marqués s'ils ne le sont pas encore (d'un collier coloré et codé avec une étiquette numérotée). Ensuite, ces individus sont mesurés (poids, taille, etc.), puis relâchés dans la nature pour rejoindre leur groupe. Comme les nouveaux nés ne sont capturés qu'après un an d'âge, les individus non marqués sont en général, les animaux âgés d'un an, mais de temps en temps ce sont des individus adultes immigrants qui n'ont pas encore d'étiquette. Une description complète de la méthode de capture a été présentée dans Richard et al. (2000, 2002).

Pour l'analyse des données, les femelles ont été classifiées selon leur âge et leur statut reproducteur. En particulier, nous avons distingué les femelles matures qui ont eu une progéniture en une année donnée et celles qui ne l'ont pas été. Les classes sont 1 an, 2 ans, les femelles de 3 ans ou plus qui vont se reproduire, les femelles qui se reproduisent, ayant une progéniture âgée d'un an, et les femelles précédemment reproductrices mais n'ayant pas de progéniture en une année donnée.

b - Résultats

La population à l'intérieur et aux alentours immédiats de la première parcelle de la Réserve a une taille autour de 500 individus, dont 80-90 % ont été marqués. Il y a approximativement une cinquantaine de groupes sociaux dans cette population.

Il n'y a pas de dimorphisme sexuel entre les mâles et les femelles adultes. En général, 45 à 48 % des individus marqués sont des femelles. Vraisemblablement, la migration des mâles dans la Réserve n'aurait pas changé la structure de la population, c'est-à-dire que dans cette population, les mâles semblent avoir un taux d'immigration et d'émigration similaires.

- Fluctuations de la reproduction chez *Propithecus v. verreauxi*

Les sifaka mâles commencent à avoir des testicules apparents à 18 mois, mais ils ne sont sexuellement actifs qu'à partir de 4 ans. Les sifaka mâles deviennent sexuellement actifs à un âge plus précoce par rapport aux femelles, ce qui n'est pas conforme au cas général des mammifères. A partir de 12 ans, la proportion des mâles qui survit dans la population est plus faible par rapport aux femelles.

Chaque année, les sifaka ont une saison d'accouplement limitée de 6 à 8 semaines à partir de mi-janvier. Le fait que les jeunes mâles arrivent à s'accoupler avec les vieilles femelles aide à expliquer l'importance du choix des partenaires par les femelles. En outre, il y a une compétition locale intense entre les femelles.

Dans la population, moins de la moitié des femelles (13 sur 27) ont pu donner naissance pour la première fois à l'âge de 6 ans. De même, moins de la moitié des femelles âgées de 7 ans ont eu un succès de reproduction (les nouveau-nés survivent après leur première année de vie) (Tableau 2).

Tableau 2 : Nombre de femelles reproductrices et celles ayant un succès de reproduction selon leur âge, chez *Propithecus verreauxi*

Age (ans)	Nombre de femelles qui ont donné naissance*	Nombre de femelles ayant un succès de reproduction*
3	2 sur 50	0 sur 50
4	2 sur 41	0 sur 41
5	7 sur 35	2 sur 34
6	13 sur 27	5 sur 22
7	13 sur 21	7 sur 16
8	15 sur 20	8 sur 15
9	15 sur 16	9 sur 11

* femelles suivies depuis l'âge de 3 ans

En 1990 (une année où le taux de fertilité moyen de la population était élevé par rapport à celui des autres années), 2 femelles âgées de 3 ans ont donné naissance sur les 50 femelles suivies, mais aucun nouveau-né n'a survécu après leur première année. Après l'âge de 6 ans, le succès de reproduction s'améliore, car la majorité des femelles de 6 à 11 ans ont donné naissance à une progéniture qui survit au-delà de leur première année.

Dans la tranche d'âges de 10 à 20 ans, la fertilité reste plus ou moins stable puis diminue peu à peu. À partir de 18 ans, la fertilité des femelles commence à décliner, avec une importante disparité entre les individus de même âge (Richard et al. 2002). Un certain nombre de femelles âgées de 20 ou 21 ans continuent d'avoir une reproduction active, et leur reproduction est comparable à celle des femelles de 7 ans. Et même des femelles de 22 ans ont montré le taux de fertilité le plus élevé. Parmi les plus vieilles femelles (âge > 24 ans, n=4), un individu de 28 ans a encore donné naissance.

L'âge spécifique des femelles pour donner naissance avec un succès de reproduction (un enfant qui arrive à survivre après la première année), suit de près l'âge spécifique de la fertilité des femelles, à l'exception des plus jeunes et des plus vieilles femelles. Les femelles plus jeunes (< 6 ans) et plus vieilles (> 24 ans) ont un faible taux de succès de reproduction. Parfois, des femelles n'ont pas réussi à donner naissance pendant quelques années mais d'autres individus ont donné une progéniture chaque année, même pendant 9 années successives.

- Caractéristiques de survie chez *Propithecus v. verreauxi*

Le taux de mortalité est particulièrement élevé pendant la première année de vie des sifaka. En moyenne, 52 % des nouveaux nés arrivent à survivre pendant la première année, avec une variabilité notable d'une année à une autre. On ne connaît pas la spécificité de cette mortalité selon le sexe, car il est difficile d'identifier avec fiabilité le sexe des jeunes de moins de 1 an, c'est-à-dire avant leur capture. Le taux de mortalité des animaux reste relativement faible avant 18 ans, pour devenir de plus en plus élevé après cet âge (Richard et al 2002).

Les jeunes femelles ont un taux de mortalité plus élevé que les jeunes mâles. Mais, à partir de l'âge de 12 ans, les femelles montrent un taux de mortalité plus faible que les mâles.

Les causes de mortalité des nouveaux nés n'ont pas été bien identifiées. Il est possible que ce taux de mortalité des animaux très jeunes soit lié aux ressources disponibles très limitées mais aussi aux attaques des prédateurs. Le comportement d'infanticide est très rare ou même absent chez *Propithecus verreauxi verreauxi*, en contraste avec *Propithecus diadema edwardsi* chez qui ce comportement est beaucoup plus fréquent (Erhart et Overdoff 1998). De même, pour les juvéniles et les adultes, les raisons principales de la mortalité sont également difficiles à expliquer mais la combinaison des impacts de la limitation des ressources, de la prédation et l'existence des épidémies pourrait être les causes probables. Le taux de fertilité n'a aucun lien avec le taux de mortalité (voir Richard et al. 2002 ; Lawler et al. 2009).

L'importance du rôle des prédateurs sur la régulation de la population des sifaka dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly n'est pas très claire. Il a été rapporté que le fosa (*Cryptoprocta ferox*) a joué un rôle non négligeable sur la prédation des adultes et des juvéniles de *Propithecus v. verreauxi* dans la forêt de Kirindy, à l'ouest de Madagascar (Dollar et al. 2007), ainsi que pour *Propithecus diadema edwardsi* dans la forêt humide de Ranomafana à l'est de l'île (Wright 1998 ; Karpanty et Wright 2007). Même si le fosa est rare à Bezà Mahafaly, il pourrait jouer un rôle significatif sur la prédation des sifaka. En outre à Bezà Mahafaly, une évidence du rôle de la prédation des chats sauvages (*Felis sylvestris*) sur *Propithecus v. verreauxi* a été décrite par Brockman et al. (2008). Entre autres, les traces de morsure sur le squelette des victimes, le comportement de prédation de ces chats lors des rencontres avec un groupe de sifaka, et le comportement de *Propithecus* en leur présence. Karpanty et Goodman (1999) ont mentionné leurs observations relatives à la prédation de l'oiseau de proie *Polyboroides radiatus* sur *Propithecus verreauxi* à Behaloka et à Berenty (extrême sud-est de l'île). Néanmoins, aucune prédation similaire n'a pas été observée à Bezà Mahafaly, même si cet oiseau de proie y est présent.

- Effets des variabilités climatiques chez la population de *Propithecus v. verreauxi*

Trois années successives caractérisées par de très faibles précipitations ont abouti à une période de sécheresse aigue en 1991-1992. Cette période a été associée avec une fertilité très faible des sifaka. En effet, seulement 27 % des femelles âgées de 3 ans ou plus ont donné naissance, alors que ce pourcentage est en général de 48 %. De plus, un tiers des nouveaux nés (donc moins de 33 %) ont survécu, en comparaison avec 52% correspondant aux années normales. La proportion des femelles de 6 ans ou plus ayant un succès de reproduction, a baissé de 11 % pendant cette période de sécheresse aigue. Par ailleurs, entre 1992 et 1993, le taux de mortalité des mâles et des femelles de 2 ans ou plus a montré un pic, estimé à 20 % pour les individus marqués. La majorité de ces décès a eu lieu vers la fin de la saison sèche de 1992, après que les pluies étaient déjà rares au début de l'année. Egalement pour l'autre espèce de lémurien présente à Bezà Mahafaly, Gould et al. (1999) ont noté que le taux de survie de *Lemur catta* dans toutes les classes d'âges a été sévèrement réduit pendant cette période d'extrême sécheresse.

La structure des âges des individus mâles et celle des femelles marqués et suivis est présentée par la Figure 8a (année 1994) et la Figure 8b (année 1999). Pour les deux années, les jeunes sont plus nombreux que les adultes et les vieux, mais la structure des âges ne montre pas une forme pyramidale, caractéristique d'une structure stable. En outre, les mâles sont plus nombreux que les femelles pendant leur jeune âge mais le nombre des femelles devient beaucoup plus important dans les classes d'âges plus vieux. La comparaison de la taille totale de la population en 1994 avec celle de 1999 a donné un taux annuel de croissance de la population évalué à 3,5 %.

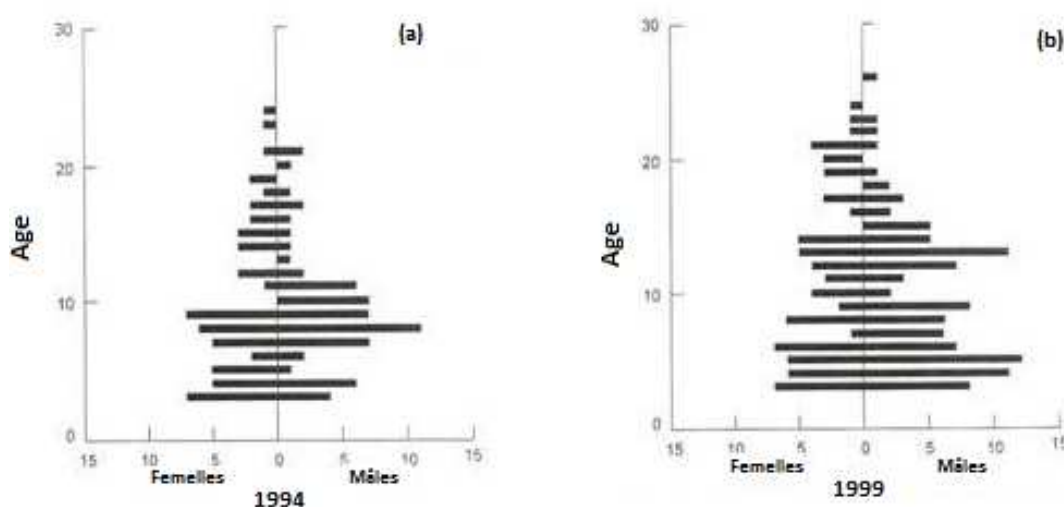


Figure 8 : Structure des âges pour les mâles et les femelles dans la population de *Propithecus v. verreauxi* de Bezà Mahafaly
(a) en 1994 et (b) en 1999

Les disparités notées au sein des mêmes classes d'âges, relatives à la composition et au nombre des mâles et femelles dans la population, d'une année à une autre, supposeraient que les modifications des conditions climatiques ont un impact significatif sur les caractéristiques et la dynamique de la population des sifaka de la Reserve Spéciale de Bezà Mahafaly.

Effectivement dans le sud-ouest de Madagascar, la saison sèche est relativement longue (environ 8 mois). Pendant cette période critique, très peu de plantes produisent des feuilles, des fleurs et des fruits qui constituent les principales ressources vitales des lémuriens folivores comme les sifaka. Et la disponibilité des jeunes feuilles, des fleurs et des fruits est positivement corrélée avec les quantités des précipitations annuelles à Bezà Mahafaly (Sauther 1998 ; Ratsirarson et al. 2001).

Ensuite, au début de la saison des pluies, d'ailleurs très courte (novembre-février), il y a un boom de production de feuilles et de fleurs. Puis, les sifaka s'accouplent vers la fin de la saison des pluies, les femelles donnent naissance au milieu de la saison sèche et le sevrage des jeunes se passe pendant la saison des pluies de l'année suivante (Richard et al. 2000, 2002).

Vraisemblablement, les impacts de la sécheresse sur le taux de fertilité et de survie pourraient expliquer les modifications de la structure des âges de la population, devenue non régulière, des années après la sécheresse. Entre autres, le nombre faible des individus dans la classe d'âges de 7 ans recensé en 1999, car ces individus sont nés pendant la sécheresse de 1992, où le taux de mortalité a été élevé.

Les données issues des mensurations de poids des individus suivis chaque année ont montré des variations de poids corporels assez importantes, avec des fluctuations saisonnières. En général, l'augmentation du poids corporel commence juste après le début de la saison des pluies. Six mois après, les adultes atteignent un poids maximum, c'est-à-dire au début de la saison sèche (avril-juin), puis une perte de poids significative ($p < 0,01$) survient à la fin de la saison sèche (juillet-octobre) (Tableau 3).

Tableau 3 : Comparaison des variations saisonnières des poids corporels (en kg) chez *Propithecus verreauxi*

	Poids moyen du corps (kg) $\pm$ écart-type (n=nombre d'individus mesurés)		
Type de saison	Mâles	Femelles	Valeur de p
Saison des pluies (novembre-février)	2,92 $\pm$ 0,32 (n=40)	2,91 $\pm$ 0,29 (n=35)	ns
Début de la saison sèche (avril-juin)	2,99 $\pm$ 0,38 (n=23)	3,07 $\pm$ 0,25 (n=17)	ns
Fin de la saison sèche (juillet-octobre)	2,73 $\pm$ 0,30 (n=43)	2,54 $\pm$ 0,30 (n=40)	<0,01

ns : non significatif

Les résultats du test T indiquent que les poids des mâles et des femelles à la fin de la saison sèche sont significativement plus faibles par rapport à leur poids pendant les deux autres saisons (saison des pluies et début de la saison sèche).

Ces pertes de poids saisonnières sont beaucoup plus prononcées chez les femelles adultes (plus de 5 ans) que chez les mâles. Et pendant la saison d'accouplement, ce sont les femelles avec des poids plus élevés qui auraient plus de chance à donner naissance pour la saison suivante (Richard et al. 2000). Effectivement chez les sifaka (comme pour la plupart des lémuriens), le calendrier reproductif s'aligne avec la saison pendant laquelle les ressources sont plus disponibles. Et généralement, le succès de reproduction dépend de la capacité des mères à accumuler et à stocker des masses corporelles pour la préparation de leur grossesse et de leur lactation.

- Evolution de la stratégie de survie chez *Propithecus v. verreauxi*

Selon l'utilisation des réserves corporelles en rapport avec la reproduction, les animaux peuvent être classés en «*capital breeder*» (reproducteur sur épargne) ou en «*income breeder*» (reproducteur sur revenu) (Stearns 1989). Un «*capital breeder*» va stocker ses réserves corporelles pour combler d'abord ses besoins énergétiques et seulement plus tard les mobiliser pour des efforts de reproduction, tandis qu'un «*income breeder*» utilise tout de suite ses réserves à la fois pour ses besoins énergétiques et de reproduction. A la suite de l'étude de suivi de la population des sifaka dans la RS de Bezà Mahafaly, le sifaka pourrait adopter le comportement d'un 'reproducteur sur épargne' (Richard et al. 2000 ; 2002).

En outre, après des études relatives aux stratégies de survie des espèces animales, Stearns (1976) a identifié des traits de caractères liés à l'histoire de vie propre à une espèce et qu'il a appelé stratégie de *bet-hedging*. Ensuite, il a analysé le fonctionnement de la relation entre la *bet-hedging* et les paramètres de fertilité et de mortalité des individus, lorsque ceux-ci évoluent dans un environnement soumis à des fluctuations importantes donc difficiles à évaluer et à contrôler. La théorie avance que, pour pouvoir rester en vie dans un milieu non prévisible, l'investissement maternel destiné à la reproduction devrait être réduit au minimum afin d'assurer une survie plus longue (diminuer le risque de mortalité précoce de la mère) et augmenter la probabilité de se reproduire plusieurs fois dans le futur. Un tel comportement est considéré comme une stratégie de vie efficace parce qu'il fournirait un avantage sélectif aux organismes vivant ou se développant dans un environnement imprévisible. En effet, chaque investissement de reproduction impose des coûts aux parents, ce qui peut diminuer leur probabilité de survie et ainsi compromettre leur reproduction future.

Les sifaka sont vraisemblablement des *bet-hedgers* par excellence. Les femelles sifaka donnent naissance pour la première fois à un âge plus avancé et elles vivent plus longtemps, par rapport aux autres mammifères appartenant à d'autres Ordres. Par ailleurs, elles peuvent donner naissance même à des âges plus vieux et continuent à se reproduire plus longtemps, en comparaison à d'autres espèces de Primates (Richard et al. 2000 ; 2002).

c – Conclusion partielle

L'étude et le suivi de la population de *Propithecus verreauxi verreauxi* pendant une quinzaine d'années, dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly, ont permis de caractériser la biologie et les stratégies de survie de cette espèce.

Au cours des dernières années, la population des sifaka a du faire face aux aléas climatiques du sud-ouest de Madagascar, devenus plus sévères (une saison sèche de plus en plus longue, des précipitations très faibles) avec des fluctuations non prévisibles. Ainsi, ces aléas climatiques ont modifié la productivité de l'habitat et changé la quantité et la qualité des ressources vitales disponibles, de plus en plus faibles et incertaines. Ce qui entraîne des impacts significatifs sur la performance (poids corporel), le taux de survie et le succès de reproduction des sifaka.

Pour faire face aux contraintes imposées par les fluctuations imprévisibles de leur habitat, le sifaka se comporterait en 'reproducteur sur épargne', avec un investissement réduit pour les besoins de reproduction (stratégie *bet-hedging*).

Un des points essentiels à intégrer dans les stratégies de conservation de *Propithecus verreauxi verreauxi* consiste à continuer les efforts de protection de son habitat naturel. Entre autres, les initiatives pour atténuer les effets négatifs du changement climatique doivent être entreprises, en limitant d'une manière significative la déforestation (causée principalement par la culture sur brûlis), et en multipliant la restauration des habitats dégradés. La réussite de ces initiatives ne peut être assurée qu'avec une collaboration étroite avec les communautés de base.

Comprendre la complexité du rôle et du fonctionnement de chaque espèce, ainsi que ses interactions avec l'environnement biotique et abiotique est un des objectifs de l'écologie fonctionnelle. Et l'incorporation de ces données de la biodiversité dans les prises de décisions devait permettre une meilleure base pour la Conservation de la Biodiversité.

23- Etude des interdépendances au sein de la communauté naturelle

231 – Relation de mutualisme entre les plantes et leurs pollinisateurs : cas de *Dypsis decaryi* et d'*Aloe divaricata*

La pollinisation des plantes à fleurs fournit des services importants, possède une valeur économique et joue un rôle écologique inestimable pour les bénéfices de la vie humaine (Crane et Walker 1984 ; Williams 1994 ; Daily 1997 ; Ghazoul 2005 ; Klein et al. 2007). La réussite de la pollinisation est essentielle pour que les fleurs puissent être fécondées afin de se reproduire, donner des fruits et des graines et se pérenniser dans le futur. Cependant, les relations de mutualisme (à bénéfices partagés) entre les plantes à fleurs et leurs agents pollinisateurs sont de plus en plus menacées par les activités humaines à travers les perturbations des habitats (perte et fragmentation des écosystèmes), les changements au niveau de l'utilisation des sols (cultures sur brûlis, cultures mono spécifiques), les pratiques de l'agriculture moderne (utilisation intensive des produits chimiques comme les pesticides, herbicides et fertilisants) et la colonisation des espèces envahissantes (Buchmann et Nabhan 1996 ; Palmer et al. 2004).

Récemment, des constats négatifs sur la diminution du nombre et de l'efficacité des pollinisateurs (Ingram et al. 1996 ; Ghazoul 2005) concrétisent les menaces qui pèsent sur des milliers de végétaux, en particulier sur les plantes destinées à des fins alimentaires, médicales et industrielles (Cane 1997 ; Allen-Wardell et al. 1998). En effet, la rupture des relations de mutualisme entre les plantes et leurs pollinisateurs entraînerait probablement des impacts irréversibles menaçant la viabilité de plusieurs populations naturelles (Bond 1994 ; Kearns et Inouye 1993). Par exemple, lorsque la taille de la population d'une espèce tombe en dessous d'un seuil critique, cette population n'arrivera plus à attirer ses pollinisateurs et sera incapable de se pérenniser, même à moyen terme. Actuellement, les cas d'extinction d'espèces végétales liés à une pollinisation très limitée sont rarement documentés, néanmoins la survie des populations des espèces rares chez qui les visites des pollinisateurs efficaces se font rares, devrait être assurée (Walker et Powell 1999).

L'Ecologie de la pollinisation de deux espèces endémiques de Madagascar est présentée dans le cadre de ce mémoire. La première espèce est le palmier *Dypsis decaryi* (Arecaceae) dont la dynamique de la population a été déjà présentée (221). La seconde est *Aloe divaricata* (Liliaceae), une plante endémique du sud-ouest de Madagascar.

Pour les deux espèces, les caractéristiques des fleurs pouvant jouer un rôle dans les stratégies d'attraction des agents pollinisateurs potentiels ont été étudiées, ainsi que le comportement des visiteurs et le taux de succès de production des fruits.

a - Méthodologie

Dypsis decaryi – L'étude a été entreprise dans la troisième parcelle du Parc National d'Andohahelo dans le sud est de l'île. La capacité des insectes pour transporter les grains de pollen a été mesurée en comptant le nombre de grains de pollen attachés sur leur corps après leur visite. Pour déterminer le nombre de grains de pollen déposés par les visiteurs sur le stigmate, des stigmates frais et réceptifs ont été exposés à des insectes visiteurs, puis les grains de pollen déposés sur ces stigmates ont été comptés. Le type et l'abondance des insectes visiteurs ont été notés. L'estimation de la distance parcourue par les visiteurs pour transférer les grains de pollen a été réalisée pour mieux comprendre les caractéristiques de la dispersion des grains de pollen (Kearns et Inouye 1993). En particulier, nous avons examiné l'impact des contraintes liées à la disponibilité des grains de pollen et l'accès en eau sur le taux de production des fruits.

Aloe divaricata - L'étude a été faite à Bezà Mahafaly dans le sud ouest de Madagascar. Une manipulation d'exclusion des visiteurs avec 3 niveaux a été utilisée pour déterminer leur efficacité relative pour la pollinisation (Ratsirarson 1995) : (i) exclusion complète, pour laquelle aucun visiteur n'a été permis à accéder aux fleurs permettant une évaluation de l'autofécondation de l'individu ; (ii) exclusion des oiseaux, en couvrant l'inflorescence toute entière avec un grillage fin de 1 cm de maille, permettant l'exclusion des oiseaux tout en facilitant l'accès des insectes, et (iii) sans exclusion c'est-à-dire aucune manipulation (témoin), permettant aux oiseaux et aux insectes d'accéder aux fleurs. La réceptivité des stigmates a été estimée en transférant à la main des grains de pollen sur les stigmates à différents stades de développement (trois stades en fonction de l'humidité et de la couleur du stigmate), puis le succès de la production des fruits a été suivi (Bertin 1982). Le volume du nectar produit a été quantifié avec une micropipette et sa concentration en sucres mesurée par un réfractomètre portable.

b – Résultats

- *Dypsis decaryi*, un palmier à fleurs entomophiles

Dypsis decaryi présente une production continue et asynchrone des fleurs tout au long de l'année. Ainsi, le pollen et le nectar de cette espèce sont des ressources disponibles pour les pollinisateurs des fleurs pendant les périodes critiques où les autres ressources deviennent rares.

Le palmier *Dypsis decaryi* commence à produire des fleurs quand l'individu atteint 2 m de hauteur, et âgé approximativement de 30 à 35 ans. L'inflorescence de ce palmier est monoïque, protandrique (les fleurs mâles s'ouvrent avant les fleurs femelles) et principalement visitée par des insectes. Aussi bien les fleurs mâles en anthèse que les fleurs femelles réceptives dégagent un parfum délicieux et produisent une infime quantité de nectar ($< 2 \mu\text{l}$) (voir Ratsirarson et Silander 1996a). La production de grains de pollen se fait en une journée ($< 24 \text{ h}$), puis les fleurs mâles tombent de l'inflorescence. La réceptivité des fleurs femelles se fait seulement après la chute de toutes les fleurs mâles, et elle dure 2 jours. Les fruits deviennent mûrs 3 mois après la fécondation (Ratsirarson et Silander 1996a).

Les visiteurs sont composés principalement par des insectes, tels que guêpes, abeilles, coléoptères et mouches. Ils sont attirés par le parfum délicieux émanant des fleurs, des grains de pollen et du nectar. Ces insectes se distinguent par leur taille et leur comportement ainsi que par d'autres caractéristiques ayant une influence sur leur efficacité respective de polliniser les fleurs de *Dypsis decaryi*. Les abeilles *Apis mellifera* sont les pollinisateurs les plus efficaces de *Dypsis decaryi* même si d'autres insectes visitent les fleurs. Ces abeilles, en nombre plus important par rapport aux autres visiteurs, ont une meilleure capacité à transporter les grains de pollen vers les stigmates. En explorant les fleurs du palmier à la recherche de nectar, les abeilles se frottent aux étamines, récoltant involontairement des grains de pollen qu'elles vont transférer par la suite chez une autre fleur (Ratsirarson et Silander 1996a).

Le taux de production des fruits est très faible, probablement associé à une faible disponibilité des grains de pollen et en ressource en eau. Cependant, la production des fruits est améliorée quand la pollinisation se fait à la main et le nombre des fruits est beaucoup plus abondant pour des individus localisés dans des microhabitats plus humides (Ratsirarson et Silander 1996a ; Ratsirarson 2003).

- *Aloe divaricata*, une plante à fleurs ornithophiles

Aloe divaricata est distribuée dans le sud et le sud-ouest de Madagascar. C'est une espèce présentant une valeur ornementale et des vertus médicinales. Ses fleurs sont hermaphrodites et protandriques (les fleurs mâles s'ouvrent avant les fleurs femelles). Les fleurs d'*Aloe divaricata* sont visitées principalement par les oiseaux soimanga (*Nectarinia souimanga*) et les abeilles (*Trigona* sp.) (Ratsirarson 1995).

La durée de vie d'une fleur est de 16 heures, depuis l'ouverture de la fleur jusqu'au fanage des pétales et sépales. La production des grains de pollen et la réceptivité des stigmates se passent au même moment pour une inflorescence. Les fruits produits pour des fleurs recouvertes par une moustiquaire montrent la possibilité d'autofécondation. Cependant, le taux de production des fruits est faible, même si les fleurs sont auto compatibles. Les anthères produisent du pollen pendant 2 heures après l'ouverture de la fleur. Une fleur mâle contient déjà $15 \pm 7,5 \mu\text{l}$ de nectar, une heure après son ouverture. La production de grains de pollen dure 5 heures, suivi d'un changement de couleur des anthères et du raccourcissement des filaments. Le style, localisé au milieu de la fleur, continue à s'allonger après que les anthères deviennent brunâtres et les filaments raccourcis. Le stigmate est réceptif pendant près de 10 heures (Ratsirarson 1995).

Le taux de production des fruits pour les fleurs chez qui l'accès des oiseaux a été exclu est significativement plus faible par rapport aux fleurs visitées à la fois par les oiseaux et les abeilles.

Les oiseaux souimanga (*Nectarinia souimanga*) sont les pollinisateurs les plus efficaces d'*Aloe divaricata* même si des abeilles (*Trigona* sp.) visitent également les fleurs (Ratsirarson 1995). La morphologie des fleurs, y compris leur forme tubulaire, la couleur rouge et la quantité de nectar sécrété pendant la journée correspondent aux syndromes des fleurs pollinisées par les oiseaux du paradis (Nectarinidae) et les oiseaux-mouches ou colibri (Trochilidae). Le rôle des abeilles *Trigona* sp. pour la pollinisation d'*A. divaricata* n'est pas significatif (Ratsirarson 1995). D'autres insectes, comme les fourmis (Formicidae), ont été observés à la recherche de nectar à l'intérieur des fleurs tubulaires d'*A. divaricata*. Mais ces fourmis ne semblent pas être des pollinisateurs efficaces, car ils nettoient fréquemment leur corps et enlèvent ainsi les grains de pollen qui s'y attachent. De plus, ces fourmis sécrètent des substances à la surface de leur corps, qui inhiberaient la fertilité des grains de pollen. Les primates ne jouent aucun rôle à la pollinisation d'*A. divaricata*. En fait, *Lemur catta* a été observé ingérant l'inflorescence toute entière (Ratsirarson 1995).

Vraisemblablement, la pollinisation d'*A. divaricata* est largement dépendante de l'intervention de *Nectarinia souimanga*. Par contre, la dépendance de *Nectarinia souimanga* sur le nectar d'*A. divaricata* n'a pas encore été clarifiée.

c – Conclusion partielle

L'identification des visiteurs des fleurs, surtout ceux pouvant être considérés comme pollinisateurs efficaces et la compréhension du rôle écologique qu'ils jouent pour le succès de la fructification des plantes est utile pour pouvoir définir des stratégies appropriées à un éventail d'espèces mutualistes.

Apis mellifera sont les pollinisateurs les plus efficaces de l'espèce de palmier *Dyopsis decaryi*. La production de nectar pendant la journée, la couleur jaune des fleurs, le parfum délicieux dégagé par les fleurs mâles et femelles, la durée assez étendue des fleurs en anthèse ainsi que le système protandrique de la reproduction de *D. decaryi* correspondent au syndrome de pollinisation des abeilles. Pour *Aloe divaricata*, l'agent pollinisateur le plus efficace de ses fleurs est l'oiseau souimanga (*N. souimanga*). La morphologie tubulaire de la fleur, sa couleur rouge et la quantité de nectar sécrété pendant la journée correspondent au syndrome de pollinisation de *N. souimanga*.

L'étude écologique de la pollinisation a illustré l'importance d'une meilleure compréhension de la dépendance mutuelle entre les plantes et les agents pollinisateurs de leurs fleurs, compte tenu de l'interconnexion des relations mutualistes entre ces espèces. Ainsi, les stratégies de conservation et de gestion de la population d'*A. divaricata* doivent prendre en compte à la fois les caractéristiques de la population d'*A. divaricata* et celles de *N. souimanga*, mais également le fonctionnement de leurs interactions au sein de l'environnement dans lequel les deux espèces évoluent (Ratsirarson et Silander 2003). De même pour le cas de *D. decaryi*, car sa pérennité est fortement ajustée à ses interconnexions avec la population d'*Apis mellifera*.

D'autres types d'interactions existent au sein des communautés biologiques, comme les relations de compétition. Souvent, les conditions de compétition entre espèces sont soumises à des modifications continues. Ainsi, certaines espèces accèdent au statut de dominantes, alors que d'autres passent à celui des dominés.

232- Relation de compétition par l'envahissement d'une liane endémique *Cynanchum mahafalense*

En général, les études faites sur les causes et les conséquences des menaces sur la biodiversité ont été axées sur des facteurs anthropiques. Les pressions liées à des facteurs naturels semblent avoir été négligées, en particulier les menaces liées à l'envahissement des espèces (Bingelli 2003). Pourtant, l'envahissement des espèces a été identifié comme une des causes principales de la déclinaison de la diversité biologique dans le monde (Mack et al. 2000 ; Mooney et Hobbs 2000 ; Pimentel et al. 2005). De plus, la plupart des espèces envahissantes identifiées appartiennent à des espèces introduites.

A la suite des études de suivi relatives à des communautés végétales dans un habitat protégé, une étude sur le phénomène d'envahissement a été initiée afin de caractériser les causes et les impacts de l'envahissement d'une espèce de liane endémique.

Cynanchum mahafalense (Asclepiadaceae), une espèce de liane endémique de Madagascar pourrait être qualifiée d'espèce envahissante du fait de sa prolifération considérable, modifiant rapidement l'écosystème qu'elle colonise (Ratsirarson et al. 2001).

a - Méthodologie

Le lieu d'étude a été la Réserve Spéciale (RS) de Bezà Mahafaly, région du sud-ouest malgache (Ratsirarson et al. 2001 ; Ratsirarson 2008). Deux zones de suivi ont été délimitées, l'une à l'intérieur de la Parcelle n°1 (protégée par du fil de barbelé) de la RS, et l'autre à l'extérieur de la RS.

Des observations générales et continues des caractéristiques écologiques et biologiques de *Cynanchum mahafalense* (Asclepiadaceae) ont été faites, sur des individus localisés et marqués dans les deux zones de suivi. Le recensement intégral de la population de *C. mahafalense* à l'intérieur des deux zones a été préalablement fait, via le comptage de tous les individus. Ensuite, la projection verticale des aires couvertes par l'envahissement des individus a été estimée.

Les paramètres écologiques tels que la morphologie, le mode de reproduction et de propagation, les conditions requises (lumière et humidité) pour la croissance et le développement ont été notés et suivis.

b - Résultats

- Développement massif et rapide favorisé par la lumière

Cynanchum mahafalense est une liane endémique du sud-ouest de Madagascar. L'espèce se développe dans des habitats ouverts et montre une stratégie '*wait and see*' (attendre les conditions favorables puis agir) dans le sous bois non perturbé. Puis, dès l'ouverture de la canopée, elle démarre un développement en touffes massif et très rapide. Notamment, cette liane s'entortille autour des arbres hôtes et les étouffe progressivement. Son envahissement colonise complètement la végétation aux alentours en formant un rideau épais, empêchant le fonctionnement photosynthétique du système foliaire des arbres hôtes, et entraînant graduellement la dégénérescence de ces derniers. L'espèce est capable de se reproduire sexuellement ou par voie végétative. Ses graines sont facilement disséminées par le vent (Ratsirarson et al. 2001 ; Ratsirarson 2005).

- Nécessité d'un niveau de perturbation intermédiaire pour le maintien de la communauté naturelle

Les résultats ont montré qu'à l'intérieur de la première zone de suivi (Parcelle n°1 de la RS de Bezà Mahafaly) qui est un habitat protégé par un fil de fer barbelé depuis plus de vingt ans, le degré de couverture de *C. mahafalense* est beaucoup plus important, comparé à celui de la zone non protégée (extérieur de la Réserve) (Figure 9). De même, le nombre des arbres hôtes morts étouffés par l'envahissement de *Cynanchum mahafalense* est beaucoup plus élevé à l'intérieur de la zone protégée qu'à l'extérieur (Ratsirarson 2005).

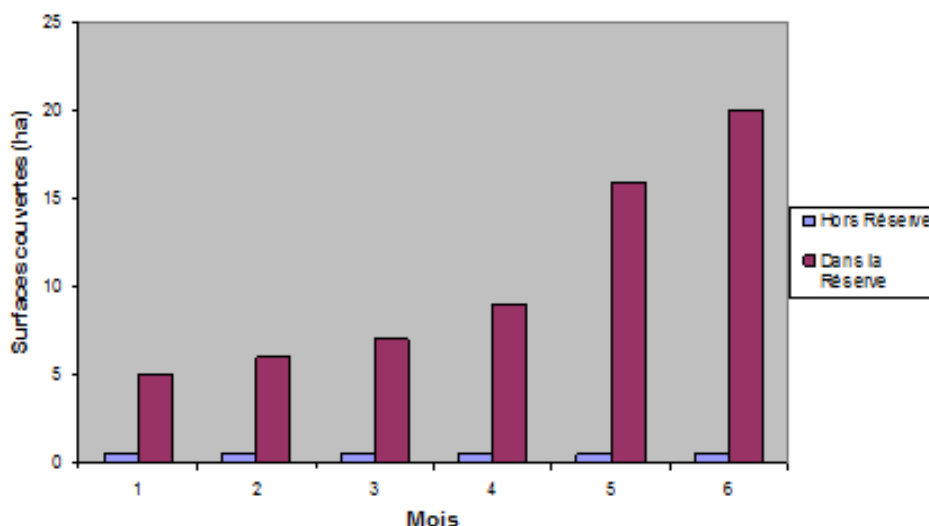


Figure 9 : Surfaces couvertes (ha) par l'envahissement de *Cynanchum mahafalense* à l'intérieur et à l'extérieur de la Réserve de Bezà Mahafaly

En fait, *C. mahafalense* est une espèce fourragère appréciée par les zébus (*Bos taurus*). Comme la première zone de suivi (Parcelle n°1 de la RS de Bezà Mahafaly) est une zone protégée par un fil de fer barbelé, l'exclusion du bétail a favorisé le développement de la liane, et d'où son degré d'envahissement plus élevé. En d'autres termes, le pâturage des zébus aurait limité et même contrôlé le développement de *C. mahafalense*, ce qui est le cas dans la zone de suivi située hors de la zone protégée.

Sur le site archéologique à proximité de la RS de Bezà Mahafaly, ont été recensés des fossiles des lémuriens géants (*Megaladapis* spp., *Palaeopropithecus* spp.), espèces disparues actuellement. Ces lémuriens herbivores auraient pu considérer cette liane, qui est endémique, parmi leurs fourrages préférés (Godfrey et Jungers 2003). Et la consommation faite par les lémuriens aurait pu jouer un rôle significatif dans le contrôle de l'envahissement de *C. mahafalense* jadis.

Des études expérimentales ont montré que le déracinement manuel est le meilleur moyen de contrôler l'envahissement de cette espèce. Cette éradication manuelle est possible, en particulier si l'envahissement est encore au stade précoce. Cependant, ce type de contrôle demande des ressources (humaines et financières) beaucoup plus importantes ainsi qu'un suivi régulier et continu. En général, le contrôle des espèces envahissantes est beaucoup plus facile lorsqu'il est entrepris aux stades précoces de leur développement (Mack et al. 2000 ; Leung et al. 2002).

c - Conclusion partielle

Les impacts de l'envahissement de *Cynanchum mahafalense*, pourtant une espèce endémique, ont entraîné des changements dans la structure et la dynamique de l'habitat protégé. Un contrôle mécanique par déracinement manuel des individus a dû être initié, mais ce contrôle est faisable seulement s'il est fait très tôt et à temps, avant le développement en touffes de la liane.

Le pâturage du bétail, considéré dans ce cas comme un facteur de perturbation, est un processus de maîtrise, capable de limiter la colonisation et l'envahissement massif et rapide de *C. mahafalense* (Ratsirarson et al. 2001 ; Ratsirarson 2005).

L'étude a indiqué qu'il est aussi impératif d'identifier les facteurs naturels qui pourraient menacer le maintien de la biodiversité, en particulier dans les habitats totalement protégés. C'est le cas de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly, entourée par du fil de fer barbelé depuis plus de vingt ans. Les résultats ont également montré que l'absence totale de perturbation au niveau de l'habitat, pourrait être aussi nuisible au bon fonctionnement de l'écosystème pour le long terme.

Par conséquent, les stratégies favorables à la protection totale et complète des Aires Protégées devraient être revues ou ajustées avec précaution (Ratsirarson et al. 2001). Et que dans certains habitats, l'intégrité de la biodiversité devrait s'accompagner d'un certain niveau de perturbation. Cette approche rejoint l'hypothèse de Connell (1978), selon laquelle une perturbation de niveau intermédiaire est utile pour une meilleure gestion de la biodiversité à long terme (Sousa 1984). C'est à dire que, la coexistence des espèces devrait être maintenue dans un état de non-équilibre et qu'aucun puissant concurrent ne doit dominer complètement le système. Pour notre étude, le niveau intermédiaire de perturbation a été assuré par les actions des herbivores (principalement *Bos taurus*), et dont le résultat est la maîtrise de l'envahissement de *C. mahafalense* dans la zone en dehors de l'Aire Protégée.

L'ensemble des espèces présentes dans un habitat donné et l'ensemble des interactions qu'elles entretiennent entre elles et avec le milieu physique font partie du réseau complexe de l'écosystème. En particulier, les différentes interactions biotiques déterminent la distribution et l'abondance des diverses espèces présentes au sein des communautés naturelles.

233 – Interdépendances au sein du phytotelme de *Nepenthes madagascariensis*

Madagascar est le premier endroit au monde où on a découvert les plantes carnivores appartenant au genre *Nepenthes*. Le centre de distribution de *Nepenthes* est localisé dans la région Indo-Malay, et dont Madagascar est la limite occidentale de sa distribution (Beaver 1983, 1985). *N. masoalensis* et *N. madagascariensis* sont les deux espèces endémiques de Madagascar et elles sont distribuées le long de la côte est.

Le phytotelme est un microhabitat aquatique contenu dans un récipient végétal (Frank et Lounibos 1983). Le liquide accumulé, parfois dilué par l'eau des pluies, bien que généralement en faible quantité, est suffisant pour supporter la vie ou une partie du cycle de vie de nombreuses espèces animales (Naeem 1990). Au point de vue de la recherche, les phytotelmes sont particulièrement intéressants, car leur petite taille facilite les observations et les manipulations. Mais également par leur richesse en espèces, les phytotelmes offrent des opportunités pour les études relatives aux rôles et aux fonctionnements des individus présents dans ces microhabitats aquatiques. Les principaux types de phytotelme (voir Kitching 2001) comprennent les extrémités des feuilles, les réservoirs des Broméliacées et des Pandanacées, les cavités des troncs d'arbre, les entrenœuds des bambous et les urnes de certaines plantes carnivores telles que le *Nepenthes*.

Des investigations sur les interactions écologiques de la communauté biologique présente au sein des urnes de *N. madagascariensis* ont été entreprises, dans un site d'études localisé au nord de Tolagnaro au sud-est de Madagascar (voir Ratsirarson et Silander 1996b).

Notre étude a consisté à déterminer les attributs et le fonctionnement des urnes en relation avec la microfaune vivant à l'intérieur de *N. madagascariensis*. Et les relations écologiques telles que la prédation, la compétition, le commensalisme et le mutualisme entre les diverses espèces de la microfaune présente à l'intérieur des urnes ont été caractérisées.

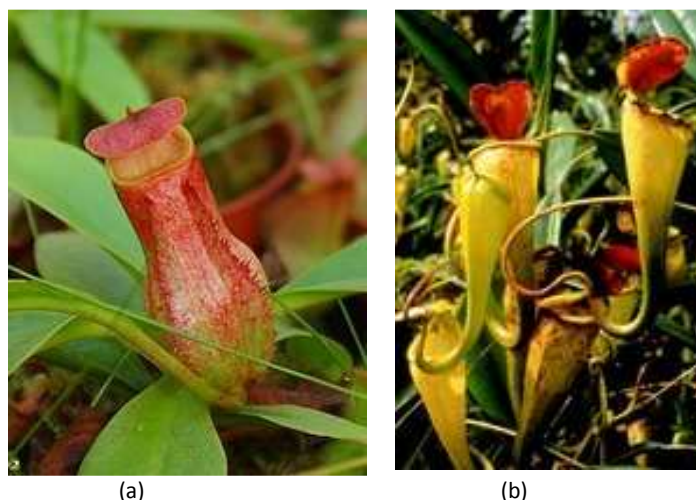


Figure 10 : *Nepenthes madagascariensis* en forme de Gobelet (a) et en forme de Trompette (b)

a - Méthodologie

La durée de vie d'une urne a été déterminée en marquant 60 individus non ouverts et en suivant leur longévité.

Morphologiquement, les urnes de *Nepenthes* se présentent sous deux formes différentes selon l'âge de la plante. Les plantes juvéniles produisent des urnes courtes ayant une forme de Gobelet (Figure 10a) qui se trouvent plutôt au niveau du sol, et associées avec les tourbes de *Sphagnum magellanicum*. A l'âge adulte, les plantes produisent des urnes longues et étroites ayant une forme de Trompette (Figure 10b) qui sont grimpantes. Afin de caractériser les différences entre les deux types d'urnes, 52 urnes en forme de Gobelet (âgées de 7 à 14 jours) et 53 urnes en forme de Trompette (âgées de 30 à 40 jours) ont été mesurées. Ces mensurations concernent : la capacité volumétrique totale de l'urne, le volume du liquide à l'intérieur, la hauteur de l'urne par rapport au sol et pour chaque espèce d'arthropodes identifiée, le nombre d'individus vivant à l'intérieur de l'urne.

Le volume de l'urne adulte (en forme de Trompette) a été mesuré en utilisant la formule d'un cône. La capacité de l'urne juvénile (en forme de Gobelet) a été calculée en utilisant la forme de deux cylindres qui se joignent. Le contenu de l'urne a été retiré par succion et le volume du liquide a été estimé à l'aide d'un tube à essai gradué. Les contenus des urnes ont été placés dans des boîtes de pétri et le nombre d'individus vivant pour chaque espèce a été compté avec un microscope de dissection.

Dix insectes appartenant à 5 espèces, qui visitent les urnes ont été observés et suivis pendant plus de 30 minutes chacun. Ceci en vue de comprendre les stratégies utilisées par *N. madagascariensis* pour attirer les insectes vers les urnes, ainsi que les facteurs provoquant la chute des insectes dans les urnes. Par ailleurs, les larves des insectes contenues dans les urnes ont été collectées et élevées jusqu'à l'état adulte, pour être identifiées.

La dynamique de la colonisation des urnes a été examinée pendant toute leur durée de vie, en marquant 15 urnes en forme de Gobelet et 15 urnes en forme de Trompette, nouvellement ouvertes.

Pour caractériser la sélection des lieux de ponte des moustiques, 30 récipients (verres en papier) ont été utilisés. Les 10 premiers ont été remplis d'eau, 10 autres avec le liquide provenant des urnes en forme de Gobelet et 10 avec le liquide des urnes en forme de Trompette. Ces 30 récipients ont été laissés sur le sol à côté des urnes en développement. Après 4 jours, les récipients ont été collectés afin d'y examiner les larves et les œufs.

Des observations relatives au comportement alimentaire des organismes vivant dans les urnes ont été faites dans la nature mais aussi au laboratoire. Ainsi, les interactions trophiques au sein du microhabitat ont pu être établies, présentées dans les résultats sous forme de matrice de corrélation.

Pour le traitement des données, des analyses de variances ont été utilisées pour comparer les attributs de deux types d'urne, et des analyses de corrélation pour déterminer la nature des relations d'une part entre les attributs des urnes et l'abondance des arthropodes, et d'autre part entre les différentes espèces d'insectes résidents.

b - Résultats

- Attributs et fonctionnement du phytotelme de *Nepenthes madagascariensis*

La production du liquide à l'intérieur des urnes commence avant même leur ouverture. Puis la production du liquide continue, souvent dilué par l'eau des pluies après l'ouverture des urnes. Les urnes de *Nepenthes* possèdent des glandes nectariennes et des glandes digestives (Ratsirarson et Silander 1996b). Les glandes nectariennes servent à produire du nectar utilisé pour attirer les visiteurs. Ces glandes sont localisées aux alentours de l'ouverture (péristome) et dans la partie interne du couvercle de l'urne. Les glandes digestives, situées sur la partie inférieure de l'urne, secrètent du liquide et des enzymes (tels que des protéases, lipases, estérases, et phosphatases) à l'intérieur de l'urne. Ces enzymes faciliteraient la décomposition et la digestion des insectes capturés (Juniper et al. 1989). Ces glandes digestives jouent également un rôle important pour digérer les matières en décomposition contenues dans le liquide des urnes. Une partie des proies (les insectes piégés) dans les urnes est consommée par la plante carnivore et une autre partie sert de nourritures aux organismes vivants dans le phytotelme (Beaver 1983, 1985).

Les plantes juvéniles de *N. madagascariensis* ayant des urnes en forme de Gobelet ont besoin de 9 mois pour devenir adultes et produire des urnes en forme de Trompette (Ratsirarson et Silander 1996b). Les urnes de *Nepenthes* constituent un habitat temporaire pour les arthropodes et l'habitat reste fonctionnel pendant environ 3 mois (Ratsirarson et Silander 1996b).

Les insectes visiteurs des urnes de *Nepenthes* sont attirés par la coloration rouge et jaune très brillante et attirante des urnes, mais aussi par la présence du nectar sucré secrété autour de l'ouverture des urnes ainsi que par l'odeur spécifique dégagée autour de l'ouverture. Ce type de stratégie, utilisé par *Nepenthes* pour attirer les insectes visiteurs ressemble à celui adopté par les fleurs pour séduire les insectes pollinisateurs (Joel 1988 ; Ratsirarson et Silander 1996b).

Les deux formes d'urnes de *N. madagascariensis* ont des attributs différents. Même si la capacité volumétrique de l'urne en forme de Trompette est beaucoup plus élevée que celle de l'urne en forme de Gobelet, le volume du liquide à l'intérieur de l'urne en forme de Gobelet est significativement plus important que celui de l'urne en forme de Trompette (Tableau 4).

Tableau 4 : Comparaison des attributs entre les urnes en forme de Gobelet et les urnes en forme de Trompette de *Nepenthes madagascariensis*

Attributs des urnes	Moyenne $\pm$ ET		Valeur de p
	Gobelet	Trompette	
Hauteur de l'urne au dessus du sol (m)	0,02 $\pm$ 0,06	0,74 $\pm$ 0,36	0,0001
Volume de l'urne (cm ³)	28,78 $\pm$ 21,34	41,81 $\pm$ 19,97	0,0017
Volume du liquide (ml)	12,65 $\pm$ 7,08	8,47 $\pm$ 4,11	0,0003
Nombre de larves des moustiques (<i>Uranotaenia belkini</i>)	5,77 $\pm$ 4,87	0,00 $\pm$ 0,00	0,0001
Nombre de larves des moustiques (<i>Uranotaenia bosseri</i>)	0,75 $\pm$ 1,78	2,06 $\pm$ 3,26	0,012
Nombre des mites (<i>Creutzeria</i> sp.)	10,46 $\pm$ 9,11	29,96 $\pm$ 19,48	0,0001
Nombre de larves des moucheron (Chloropidae)	1,38 $\pm$ 1,78	9,81 $\pm$ 5,41	0,0001

ET = Ecart-type

Valeur de p = valeur de signification pour le test d'égalité entre les deux formes (à comparer avec la probabilité de 0,05)

Les urnes de *N. madagascariensis* sont visitées par différents types d'insectes. En 30 mn, un insecte peut visiter plusieurs urnes pour la récolte de nectar. Puis avec le temps, ces insectes deviennent progressivement étourdis et désorientés, pour finalement tomber à l'intérieur des urnes. Une fois que l'insecte est tombé dans le liquide, en quelques secondes seulement, il est immobilisé.

L'abondance des diverses espèces d'arthropodes à l'intérieur des urnes est indépendante de la capacité volumétrique des urnes ainsi que la hauteur de celles-ci par rapport au sol. Cependant, une corrélation positive a été trouvée entre l'abondance d'*Uranotaenia belkini* avec le volume de liquide à l'intérieur des urnes en forme de Gobelet.

- Interdépendances de la microfaune vivant au sein du phytotelme de *Nepenthes madagascariensis*

Même si le liquide à l'intérieur de l'urne est toxique pour la plupart des invertébrés, un grand nombre d'espèces vivent et résident à l'intérieur des urnes de *Nepenthes madagascariensis* (Ratsirarson et Silander 1996b). Divers insectes tels que des Hyménoptères, Diptères, Coléoptères, Arachnides, Orthoptères et Lépidoptères constituent les proies les plus communes dans les urnes. Ces proies sont digérées par l'urne et les éléments nutritifs sont utilisés pour la croissance de la plante carnivore. Le type et le nombre de proies capturées varient d'une urne à l'autre.

En effet, les membres de la microfaune vivant dans le phytotelme dépendent directement ou indirectement des insectes piégés dans les urnes. Les espèces comprennent (voir Ratsirarson et Silander 1996b) :

- des espèces de microorganismes (bactéries, protozoaires) non identifiées qui constituent la nourriture de base des insectes du phytotelme ;
- des mites (*Creutzeria* sp.) qui sont des espèces benthiques et détritvres. Leur colonisation dans les urnes est étroitement associée (association phorétique) avec une espèce de moucheron (famille des Chloropidae), car ils se déplacent vers les autres urnes en s'agrippant sur le thorax de ces moucheron adultes, lesquels émergent du liquide. Ces mites ont été plus nombreux dans les urnes en forme de Trompette par rapport aux urnes en forme de Gobelet (voir Tableau 4) ;

- des larves de moucheron (famille de Chloropidae) qui sont trouvées dans la partie supérieure de l'urne. Ces larves ont apprécié les matières organiques mortes ou en décomposition et ont attiré par les proies récemment noyées. Les urnes en forme de Trompette ont abrité plus de moucheron que les urnes en forme de Gobelet (voir Tableau 4) ;

- deux espèces de moustiques : *Uranotaenia belkini* et *U. bosseri*. L'espèce *U. belkini* a eu un comportement de prédateur. En effet, *U. belkini* a été observée, mettant à mort puis consommant des individus de *U. bosseri*. Notamment, *U. belkini* a été trouvée uniquement dans les urnes en forme de Gobelet (voir Tableau 4). alors que *U. bosseri* a été présente dans les deux formes d'urnes. D'après l'étude de Grjebine (1979), en plus de *Uranotaenia belkini* et *U. bosseri*, il a trouvé deux autres espèces de moustiques, à savoir *Uranotaenia damasei* et *U. brunhesi*. Et les espèces *U. belkini* et *U. damasei* ont été recensées dans les urnes en forme de Gobelet tandis que *U. bosseri* et *U. brunhesi* dans les urnes en forme de Trompette. Cependant, *U. damasei* et *U. brunhesi* sont apparemment très rares (Grjebine 1979) ;

- plusieurs espèces d'araignées ont été associées aux urnes de *Nepenthes madagascariensis*. L'espèce *Thyena* sp. (Salticidae) (visite plus fréquente chez les urnes en forme de Trompette) a construit son nid sous le péristome (ouverture) de l'urne, tandis que *Peucetia* sp. (Oxyopidae) et *Theridion decaryi* (Theridiidae) ont tissé leurs toiles près de l'entrée de l'urne. Ces araignées ont attrapé les insectes visiteurs à la recherche de nectar, mais également elles se nourrissaient des insectes résidants, émergeant du liquide à l'état adulte. L'araignée *Thyena* sp. a été observée rarement sur les urnes en forme de Gobelet mais elle est très fréquente sur les urnes en forme de Trompette. Une espèce d'araignée-crabe (Thomisidae) non identifiée a été vue, descendre dans l'urne, plonger et rester dans le liquide pendant quelques minutes puis s'en sortir. Cette espèce d'araignée crabe a été observée en prenant des proies fraîchement noyées dans le liquide du phytotélme ;

- occasionnellement, des prédateurs terrestres tels des Mantidae (*Polyspilota aeruginosa*, Dictyoptera) et des libellules (Odonata) ont été observés à la chasse des insectes visiteurs mais aussi des insectes devenus adultes et qui émergeaient du liquide de l'urne ;

- des fourmis prédatrices (*Tetraponera sahlbergi*, Formicidae), utilisant les trous des tiges sénescents de *Nepenthes* comme fourmilières ;

- des lézards (*Phelsuma anasy* Gekkonidae) ont été observés, défendant leur territoire et consommant non seulement les insectes visiteurs des urnes mais aussi le nectar produit à l'entrée des urnes ;

- des grenouilles (*Heterixalus tricolor*, Hyperoliidae) ont occupé et utilisé comme abri provisoire les urnes.

Selon la forme des urnes, les interactions entre les diverses espèces sont de différentes sortes. Dans les urnes en forme de Gobelet, une relation significative et négative a été trouvée entre l'abondance de deux espèces de moustiques, *U. belkini* et *U. bosseri*. Ce résultat reflète du comportement de prédation observée de la première espèce vis-à-vis de la deuxième. Une interaction positive a été trouvée entre le nombre de mites (*Creutzeria* sp.) et celui des moucheron, ce qui confirme l'association phorétique entre ces deux microorganismes (Ratsirarson et Silander 1996b).

Pour les urnes en forme de Trompette, une interaction négative a été trouvée entre l'abondance d'*U. bosseri* et celle des moucheron. Les observations ont montré que ces deux espèces avaient le même comportement saprophagique (se nourrissant des cadavres d'insectes) et pourraient entrer en compétition vis-à-vis de ces ressources. Cependant, la colonisation d'*U. bosseri* se faisait longtemps après celle des moucheron.

L'abondance des arthropodes dans les urnes en forme de Trompette n'a pas été en relation ni avec la capacité volumétrique des urnes, ni avec leur niveau au dessus du sol, et non plus avec la quantité du liquide à l'intérieur des urnes (Ratsirarson et Silander 1996b).

En outre, la chronologie de la colonisation des urnes par les arthropodes (qui se fait après leur ouverture) est différente entre les deux formes d'urnes. Pour les urnes en forme de Gobelet (Figure 11), les œufs de moucheron ont été trouvés dès le 1^{er} jour d'ouverture des urnes (Figure 11A), puis les premières larves ont été observées entre le 7^{ème} et le 14^{ème} jour d'ouverture (Figure 11B). Les mites ont été observés dès le 2^{ème} jour d'ouverture (Figure 11C). Les larves d'*Uranotaenia belkini* ont été notées dès le 2^{ème} jour d'ouverture des urnes (Figure 11D). Il n'y avait pas de larves d'*U. bosseri* dans les urnes en forme de Gobelet.

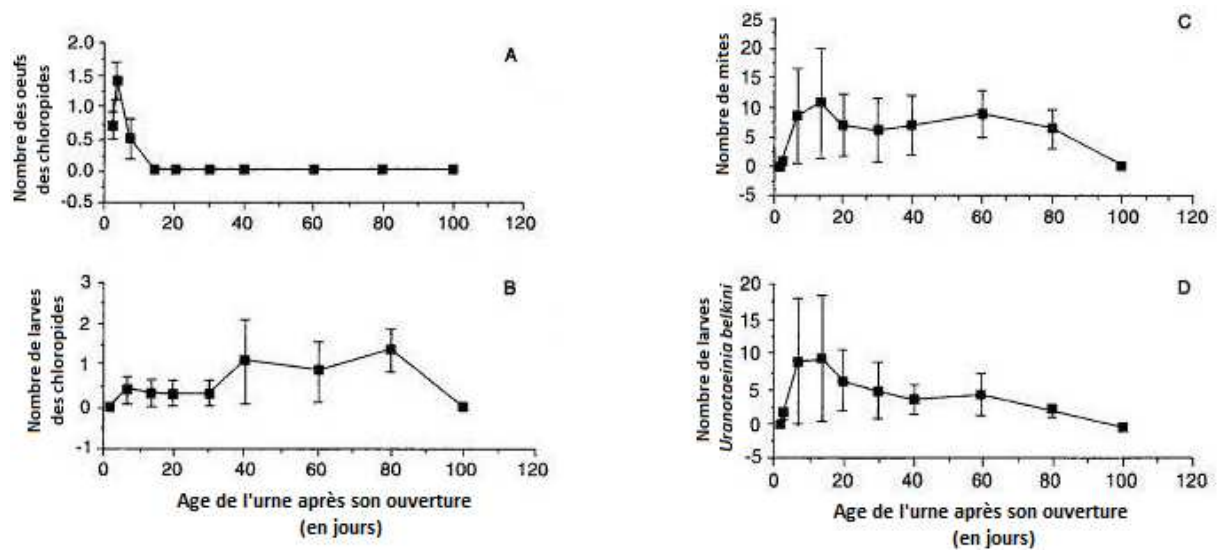


Figure 11 : Colonisation des arthropodes dans les urnes de *Nepenthes* en forme de Gobelet (A : œufs des chloropides, B : larves des chloropides ; C : mites (*Creutzeria* sp.) ; D : larves de *Uranotaenia belkini*)

Dans les urnes en forme de Trompette (Figure 12), les œufs de moucheron ont été observés à partir du 2^{ème} jour d'ouverture (Figure 12A), puis les premières larves de moucheron ont été visibles entre le 3^{ème} et le 7^{ème} jour d'ouverture (Figure 12B). Les mites ont été vues entre le 2^{ème} et le 3^{ème} jour d'ouverture des urnes (Figure 12C). La colonisation des moustiques (*U. bosseri*) a été reportée vers le 30^{ème} et le 40^{ème} jour d'ouverture (Figure 12D). Cette colonisation tardive pourrait avoir comme cause l'attente des conditions plus favorables à l'intérieur des urnes, assurant mieux le développement des larves de moustiques (Ratsirarson et Silander 1996b).

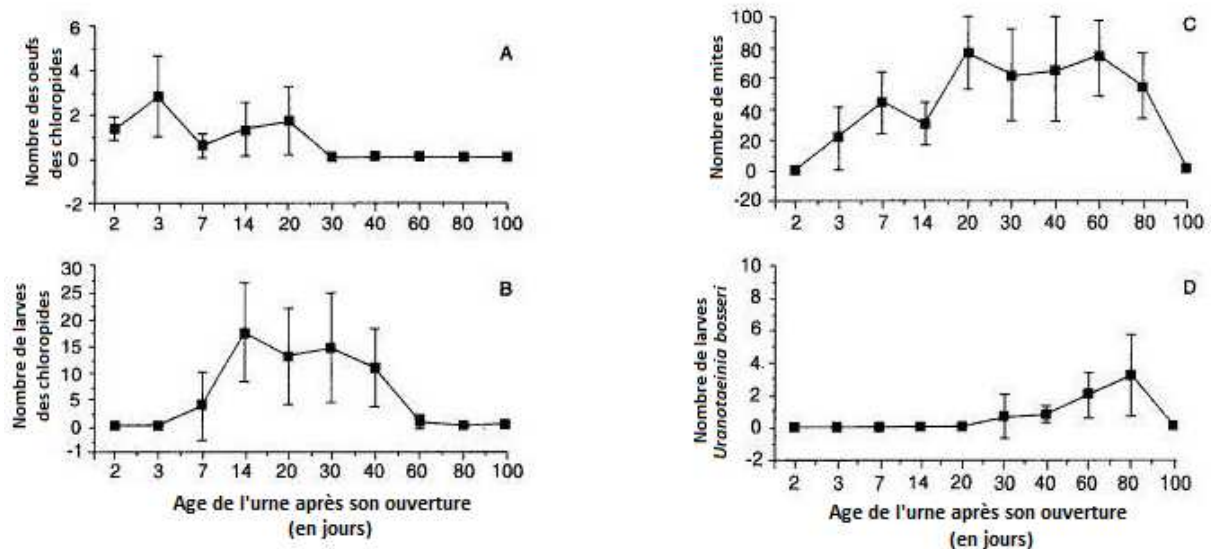


Figure 12 : Colonisation des arthropodes dans les urnes de *Nepenthes* en forme de Trompette
(A : œufs des chloropides ; B : larves des chloropides ; C : mites (*Creutzeria* sp.) ; D : larves d'*Uranotaenia bosseri*)

Pour la sélection des lieux de ponte, des choix ont été observés selon la forme des urnes. Le moustique *Uranotaenia belkini* a pondu ses œufs dans le liquide des urnes en forme de Gobelet, indépendamment des caractéristiques et attributs des urnes en forme de Gobelet (capacité en volume, volume du liquide, hauteur). *U. belkini* a sélectionné comme lieu de ponte les récipients contenant du liquide venant des urnes en forme de Gobelet. Les récipients remplis par de l'eau ou par le liquide des urnes en forme de Trompette ont été ignorés (Ratsirarson et Silander 1996b). Par ailleurs, on a noté qu'aucune ponte d'*U. bosseri* a été constatée en dehors des urnes (uniquement les urnes en forme de Trompette).

Remarquons que des observations qui ont été faites dans les autres microhabitats remplis d'eau, se trouvant à côté de la population de *Nepenthes madagascariensis* comme les bractées de *Ravenala madagascariensis*, de *Pandanus* ou d'autres phytothelmes, n'ont pas révélé aucune espèce d'*Uranotaenia*.

Le réseau trophique de la microcommunauté associée avec *Nepenthes madagascariensis* est présenté sous forme de matrice de corrélation (méthode de Warren et Lawton 1987) (Tableau 5). Les interactions ont été obtenues à partir des études expérimentales ainsi que des observations sur le terrain. La matrice reflète les interactions entre les prédateurs (en première ligne, notés de 1 à 10) et les ressources (en première colonne, notés de 1 à 10). Les chiffres à l'intérieur de la matrice sont soit 0 (sans interaction), ou soit 1 (exemple : le prédateur 2 consomme la ressource 1).

La communauté vivant à l'intérieur des urnes de *Nepenthes* ne contient pas de producteurs primaires. La principale source d'énergie des organismes vivant à l'intérieur des urnes vient des proies noyées à l'intérieur de ces urnes (Ratsirarson et Silander 1996b).

Tableau 5 : Matrice de la chaine trophique à l'intérieur des urnes de *Nepenthes madagascariensis*

1 : insectes en vie, visiteurs des urnes ; **2 :** prédateurs terrestres vivant autour des urnes (araignées, libellules, mantes) ; **3 :** insectes récemment noyés ; **4 :** larves de moucheron (Chloropidae) ; **5 :** microorganismes (bactéries, protozoaires) ; **6 :** débris organiques ; **7 :** mites (*Creutzeria* sp.) ; **8 :** larves d'*Uranotaenia belkini* ; **9 :** larves d'*Uranotaenia bosseri* ; **10 :** fourmis (*Tetraponera sahlbergi*).

	Prédateurs									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Ressources 6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Au sein du microhabitat, la principale ressource a été formée par les matières en décomposition provenant des insectes récemment noyés dans les urnes (Ressource 3), car ils ont été consommés par la majorité des prédateurs : larves de moucheron (Chloropidae) (Prédateur 4), microorganismes (bactéries, protozoaires) (Prédateur 5), larves d'*Uranotaenia belkini* (Prédateur 8) et les larves d'*U. bosseri* (Prédateur 9), et des fourmis *Tetraponera sahlbergi* (Prédateur 10).

Les prédateurs terrestres, constitués par les araignées (Araneae), libellules (Odonata) et mantes (Dictyoptera) ont eu comme proies les insectes visiteurs, mais ils ont attaqué également les moucheron, et les deux espèces de moustiques : *Uranotaenia belkini* et *U. bosseri*, qui viennent d'émerger à la surface du liquide.

L'espèce de fourmis, *Tetraponera sahlbergi* (Formicidae) a été identifiée comme le principal prédateur des organismes habitant le phytotelme. Effectivement, en faisant des trous dans la partie inférieure des urnes, le liquide s'échappait et la fourmi avait accès à tout le contenu des urnes (insectes noyés, larves de moucheron, débris organiques, mites et larves de moustiques). La prédation de cette fourmi a été évaluée comme importante car au moins 70% des urnes ont été trouvées trouées. Cependant, ce type de prédation a été très rare chez les urnes en forme de Gobelet.

c- Conclusion partielle

Les urnes de *Nepenthes madagascariensis*, morphologiquement différentes selon leur âge, possèdent des attributs non similaires. Une diversité d'espèces d'insectes, attirée par la couleur, l'odeur et le nectar des urnes, vient s'associer au sein du microhabitat fourni par ces urnes. Pendant la collecte du nectar, les insectes visiteurs apparaissaient être désorientés, finissaient par tomber et y être noyés. Mais, le type et l'abondance des insectes noyés variaient selon les deux formes des urnes. *Nepenthes madagascariensis* est localisée dans des sols stériles et sa survie dépend des insectes capturés et noyés dans les urnes.

Plusieurs espèces d'arthropodes ont complété leur cycle de vie aquatique à l'intérieur du phytotelme de *Nepenthes*. Ces espèces, qui vivent à l'intérieur ou aux alentours des urnes de *Nepenthes*, dépendent étroitement des différentes interactions écologiques entre eux (mutualisme, commensalisme, compétition, prédation) pour leur survie. Les mites (*Creutzeria* sp), par exemple, profitent des moucheron adultes (Chloropidae) qui émergent du liquide pour pouvoir se disperser. De même, les larves d'*Uranotaenia belkini* ont un comportement de prédateur vis à vis de *U. bosseri* pour

survivre. Plusieurs prédateurs terrestres vivant aux alentours des urnes profitent également des insectes visiteurs ainsi que des insectes qui émergent de l'urne en état adulte pour se nourrir. Cependant, ces différents types de prédateurs peuvent avoir des relations de compétition entre eux pour pouvoir survivre.

Compte tenu des interactions vitales entretenues entre les espèces, entre les espèces et le milieu environnant, les stratégies visant le maintien de l'intégrité de la biodiversité devraient considérer des actions basées sur le maintien du fonctionnement de ces interactions, en plus des interventions au niveau des espèces et/ou des populations.

3- Conclusion générale

Avec la diversification continuelle de ses constituants, la biodiversité doit être considérée comme un réseau complexe d'interactions dynamiques. La compréhension de la structure, du fonctionnement et des interactions multiples de chacune des espèces, des populations et des communautés naturelles est cruciale pour déterminer les éléments essentiels à tenir compte dans la conception, l'élaboration et la mise en œuvre des stratégies de la Conservation de la Biodiversité à court, moyen et long terme.

De plus, les approches pratiques multidisciplinaires, préconisées pour la Conservation de la Biodiversité doivent être basées sur un certain nombre de principes tels que : la diversité des espèces devrait être préservée, l'extinction des espèces principalement provoquée par les activités humaines devrait être évitée, les interactions écologiques complexes au sein des communautés naturelles devraient être maintenues et l'évolution de nouvelles espèces devrait se poursuivre.

La caractérisation de la structure de la diversité biologique à travers des inventaires biologiques est une étape incontournable pour identifier les espèces présentes, leur abondance relative, leur habitat et leur organisation. Les deux inventaires écologiques successifs de la forêt littorale de Tampolo, réduite au statut de vestige, ont mis à la disposition des gestionnaires, des descriptions essentielles sur la structure floristique et faunistique. Ces informations de base ont été exploitées pour les décisions relatives aux plans d'enrichissement et de restauration de la biodiversité de Tampolo aussi bien pour le court et le moyen terme qu'à long terme.

L'aire de distribution naturelle du palmier endémique *Dypsis decaryi* est très restreinte, limitée au sud-est malgache. Le suivi d'un certain nombre de populations dans la Parcelle n°3 du Parc National d'Andohahela a montré que la pérennité de ce palmier horticole est en jeu. D'une part par la destruction de son habitat et la collecte abusive de ses feuilles et de ses fruits affectant la croissance et la viabilité des individus. Et d'autre part, par l'inexistence d'une régénération naturelle suffisante due aux actions de prédation importantes, en particulier vis-à-vis des graines et des plantules. Pour une gestion durable de l'espèce, le niveau de collecte recommandé est de moins de 95% pour les graines et moins de 25% pour les feuilles produites.

L'étude de suivi pendant plusieurs années sur la population de *Propithecus verreauxi verreauxi* dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly, a permis de constater des changements conséquents tels que la diminution du taux de fertilité et du taux de survie dans la population, probablement suites aux variations de la qualité et de la quantité du régime alimentaire (feuilles, fleurs, fruits) des sifaka, d'ailleurs fortement liées aux facteurs abiotiques (en particulier précipitations). Pour faire face à ces contraintes d'un environnement fluctuant et non prévisible, la stratégie de survie des sifaka s'orienterait vers un âge de première reproduction relativement tardif mais une capacité de donner naissance plus longtemps (stratégie dite *bet-hedging*) en tant que 'reproducteurs sur épargne'.

En outre, la préservation de la diversité biologique est tributaire du maintien des relations d'interdépendance entre les espèces. De telles relations comprennent le mutualisme, tel montré par l'étude de l'écologie de la pollinisation des fleurs de *Dypsis decaryi* et d'*Aloe divaricata*. De par les différentes caractéristiques (couleur, parfum, nectar, pollen) des fleurs du palmier *Dypsis decaryi*, l'abeille (*Apis mellifera*) est le visiteur le plus important (en nombre et en efficacité) de ses fleurs. Tandis que pour l'espèce endémique *Aloe divaricata*, ses fleurs sont visitées principalement par l'oiseau souimanga (*Nectarinia souimanga*). Les résultats de l'écologie de la pollinisation illustrent que la compréhension des relations de dépendance des plantes avec leurs pollinisateurs, et vice versa, est cruciale pour cibler l'ensemble des actions de conservation à entreprendre pour un maintien à long terme de la biodiversité. Actuellement, la diminution constatée de l'efficacité des pollinisateurs entraînerait d'une part des extinctions locales des espèces de plantes à fleurs et d'autre part des pertes économiques considérables (chute des rendements en céréales liée à la crise des abeilles) menaçant la survie humaine.

De plus, les relations écologiques au sein d'un habitat donné sont dynamiques et toutes les espèces ne répondent pas de la même façon aux fluctuations de l'environnement. Dès l'ouverture de la canopée, la vitesse de croissance de *Cynanchum mahafalense*, une liane endémique de Madagascar, est tellement importante que l'espèce envahit et étouffe ses arbres hôtes. Dans les conditions où des facteurs de contrôle tels que le pâturage des animaux herbivores (zébus) sont exclus, l'impact de l'envahissement de *Cynanchum mahafalense* a entraîné des changements dans la structure et la dynamique de l'habitat protégé contre les pressions d'origine anthropique. Et cette colonisation rapidement envahissante devient une des sources de menace pour l'intégrité de la biodiversité présente. Ce résultat indique que, dans certains cas spécifiques, les stratégies visant la protection totale et complète des Aires Protégées à long terme, devraient être ajustées par des études écologiques plus approfondies des facteurs naturellement présents à l'intérieur des communautés biologiques.

Par ailleurs, les différentes interactions biotiques déterminent la distribution et l'abondance des diverses espèces présentes au sein d'une communauté naturelle. Une diversité d'espèces d'insectes, attirées par la couleur, l'odeur et le nectar des urnes de la plante carnivore *Nepenthes madagascariensis*, vient s'associer au sein du microhabitat de ce phytotélme. Les diverses relations de mutualisme, de commensalisme, de compétition et de prédation caractérisent les rapports entre la plante carnivore et ses visiteurs, et entre les différents insectes qui vivent à l'intérieur et aux alentours des urnes.

Comme le montre la présente synthèse, la contribution de l'Ecologie à la réussite d'une meilleure Conservation de la Biodiversité est essentielle, par la caractérisation des espèces, le suivi des populations et l'analyse du fonctionnement écologique de la biodiversité et de ses diverses interactions. Pourtant, beaucoup reste à faire car d'une part, couvrir tous les niveaux de la diversité biologique, l'ensemble des communautés biologiques et des écosystèmes d'autres types et d'autres régions sont des exigences à considérer pour garantir l'adéquation des stratégies à l'ensemble du réseau écosystémique.

Et d'autre part, continuer et approfondir les études écologiques sur la richesse biologique de Madagascar reste primordial pour plusieurs raisons. A part les inventaires écologiques menant à la découverte de nouvelles espèces, des investigations écologiques sur les capacités de résilience de la biodiversité face aux changements globaux sont devenues urgentes actuellement.

Toutefois, en plus des études écologiques de l'ensemble des éléments de la biodiversité, considérer les autres dimensions que doivent intégrer les plans stratégiques de la Conservation est plus que nécessaire. En effet, la Conservation de la Biodiversité est une thématique de recherche multidisciplinaire, et y inclure d'autres dimensions telles que les aspects économiques ou la dimension humaine est primordial.

C'est dans cette optique que nos autres thèmes de recherche se sont orientés vers des questions relatives à l'intégration des populations riveraines dans le processus des stratégies de la Conservation de la Biodiversité, depuis leur conception jusqu'à leur mise en œuvre et leur évaluation. Dans le futur, notre domaine de recherche s'élargira vers les défis liés à la survie de l'humanité, en particulier la gestion et la valorisation de la biodiversité en collaboration avec les communautés de base ainsi que les stratégies d'adaptation de la biodiversité et des communautés de base face au changement climatique.

II- PERSPECTIVES

1- Défis à relever

Aujourd'hui, après une dizaine d'années d'expériences professionnelles, nous sommes amenés à faire un certain nombre de constats, que nous formulons ici en termes de défis à relever par la communauté scientifique malgache :

(a)- l'isolement et l'insularité de la communauté scientifique malgache sont des obstacles pour l'épanouissement des chercheurs malgaches. Ces faits entretiennent un manque d'informations à jour et un frein pour la large diffusion des résultats de recherche. Or la recherche, en particulier pour le thème de la Conservation de la Biodiversité (une science multidisciplinaire, en perpétuelle métamorphose), se nourrit d'échanges continuels de données, de méthodes et de résultats des autres chercheurs à travers un va et vient permanent au sein de la communauté scientifique élargie.

Ainsi, pour pouvoir avancer, les scientifiques ont besoin d'être en contact régulier avec le monde extérieur et de s'imprégner de nouvelles idées, de nouvelles approches et techniques sinon les connaissances existantes deviennent très vite obsolètes. D'autant plus que, une thématique de recherche appliquée telle la Conservation de la Biodiversité, a comme objectif principal de trouver des solutions face à une crise réelle, urgente et de dimension mondiale (par exemple : le changement climatique). Alors, le cloisonnement des chercheurs est loin d'être une facilitation à la résolution de cette crise.

(b)- l'accès très limité à des ressources matérielles et financières pour un accomplissement optimum des engagements de formation et de recherche. A Madagascar, les ressources financières venant de l'Etat pour renforcer les capacités en formation et en recherche des scientifiques sont jusqu'ici négligeables, voire inexistantes. Néanmoins, des opportunités existent à travers les appels d'offre des partenaires financiers et qui invitent les chercheurs des pays en développement à soumettre des projets de requête de financement. Même si ces requêtes sont très concurrentielles, les compétences et le savoir faire des candidats nationaux pourraient être à la hauteur des exigences.

(c)- parfois, malgré des compétences réelles et prouvées, les chercheurs malgaches ont des difficultés pour sortir de 'l'ombre' de leurs collègues étrangers. Une des raisons de la persistance de ce problème est que, souvent, les scientifiques malgaches sont mieux écoutés s'ils travaillent en étroite collaboration avec des experts étrangers et que ceux-ci jouent le rôle de 'protecteur et référence'. Même les autorités nationales n'accordent pas une confiance méritée aux chercheurs malgaches sans lien avec des scientifiques internationaux.

(d)- la disponibilité des résultats de recherche faites à Madagascar fait souvent défaut. Bien entendu, ces résultats sont utiles et utilisables pour les Malgaches, d'autant plus que les connaissances de ces résultats peuvent éviter des répétitions inutiles et coûteuses.

2- Programmes envisagés

Compte tenu de ces défis, nous envisageons de concrétiser les programmes ci après pour les années à venir.

21 - Renforcement des capacités des parties prenantes

Pour le futur de la Conservation de la Biodiversité à Madagascar, les scientifiques devraient prendre le 'lead'. Le renforcement des capacités des parties prenantes, en particulier pour les enseignants et les chercheurs, apporte une contribution significative afin qu'ils soient des vrais leaders dans leurs domaines et dans leur pays. Les compétences en leadership jouent un rôle catalyseur pour le futur de la biodiversité de Madagascar, et devraient être un moteur pour le développement durable.

Pour les cinq années à venir, les projets de renforcement de capacités pour les activités d'enseignement et de recherche au sein de la Division 'Ecologie et Biodiversité' du Département des Eaux et Forêts de l'ESSA vont être priorités. En particulier, nous allons continuer nos efforts sur le renforcement des compétences de l'équipe de l'ESSA-Forêts ainsi que celles de ses sites d'application (Bezà Mahafaly, Tampolo, Ambohitantely, Mandraka).

a) – Renforcement des capacités des scientifiques

Nous jugeons utile de considérer en priorité le renforcement des capacités des scientifiques en leadership. Un leader doit être toujours actif et montrer comme modèle, capable de motiver et de changer les autres. Chaque chercheur devrait être un agent de changement et de transformation du monde scientifique à Madagascar, notamment pour une meilleure Conservation de la Biodiversité.

Compte tenu des ressources financières inexistantes à la portée des enseignants-chercheurs, nous trouvons que des formations pour renforcer leurs compétences à concevoir et à rédiger des projets de recherche finançables devraient être priorités.

Puisque les chercheurs ayant des publications scientifiques sont plus reconnus et ont plus de chances à recevoir des projets financés, la formation des chercheurs pour écrire et publier les résultats de leurs recherches au niveau du monde scientifique mondiale est essentielle.

Faciliter l'accès à la technologie d'information et de communication (TIC) est indispensable pour rompre l'isolement des chercheurs malgaches. Le TIC est un des moyens efficaces pour améliorer les qualités de l'enseignement supérieur et de la recherche universitaire. En collaboration avec la Faculté des Sciences, nous avons reçu un appui venant de la Fondation MacArthur pour renforcer le système TIC à l'ESSA-Forêts. Un laboratoire avec une vingtaine d'ordinateurs est disponible au sein de l'ESSA-Forêts, avec connexion (avec ou sans fil) sur le net (internet et intranet). La manipulation du TIC par la connexion par internet, qui facilite la préparation des cours pour les enseignants ou des travaux indépendants (recherche bibliographique, présentation orale, rédaction des rapports), pour les étudiants va être développée. En outre, ce développement facilitera la pertinence et les opportunités pour l'ESSA-Forêts à mettre en œuvre le système de Licence-Master's-Doctorat (LMD). Le développement des modules de formation (déjà en cours pour le Programme DEA de l'ESSA-Forêts) en un système de crédits va être renforcé. A l'ESSA-Forêts, nous allons également initier des cours en ligne, en mettant à la disposition des étudiants les références, les présentations et les discussions en ligne.

b) – Renforcement des sites d'application de l'ESSA-Forêts

Particulièrement pour une Institution comme ESSA-Forêts, dotée de sites d'application (des vrais laboratoires en grande nature), leur développement dans les années à venir, va être considéré. Ces sites sont des lieux d'initiation aux différentes méthodologies de recherche, des lieux d'application des cours théoriques (pour les travaux pratiques, *field school*) ainsi que des cadres d'expérimentation pour la maîtrise de la multidisciplinarité d'une Conservation de la Biodiversité plus pratique. De plus, les résultats des travaux pratiques peuvent être exploités pour l'identification de thèmes de recherche à mener au sein des sites et aussi pour l'aménagement futur de ces sites.

L'organisation, le contenu et la réalisation des *field school* et travaux pratiques des étudiants sur les sites de l'ESSA-Forêts vont être améliorés. Un projet de requête de financement pour la prise en charge des formations pratiques et l'amélioration des infrastructures pédagogiques existantes est priorisé.

En tant que centres d'éducation, les sites vont être dotés : d'infrastructures d'accueil (dortoir, cafeteria, bibliothèque, laboratoire de recherche, salle de classe, salle d'exposition ou Musée) pour les étudiants et pour les chercheurs, des aires de démonstration de gestion de ressources naturelles (riziculture, pépinière, apiculture, etc.).

Intégrer des stratégies de marketing et d'entrepreneuriat dans les approches à développer pour le renforcement des capacités des sites d'application est nécessaire, pour que la gestion de ces sites puisse se pérenniser à travers leurs propres fonds et qu'ils soient des centres de formation et de recherche reconnus au niveau régional, national et international.

22 – Mobilisation des acteurs pour rompre leur isolement

L'efficacité des stratégies de gestion et de conservation de la biodiversité ne peut être assurée que par des acteurs bien formés, rodés et informés sur les réalités à Madagascar et dans le monde entier. Aussi bien les enseignants et chercheurs que les futurs ingénieurs doivent se mobiliser et rompre leur isolement. Les échanges d'expériences et d'informations jouent un rôle très important dans une communauté scientifique active. Pour les années à venir, nous souhaitons rester un Agent de changement en encourageant les acteurs de se communiquer et d'élargir leurs propres expertises.

a) – Acteurs bien formés et bien rodés

Des liaisons plus étroites entre les contenus des enseignements et les résultats de recherche (un pool d'informations mises à jour) doivent être développées. De même que les larges diffusions des publications scientifiques. Les communications orales et affichées des chercheurs dans des conférences et des congrès internationaux sont à renforcer. Les collègues sont à encourager à publier les résultats de leurs recherches dans des revues de notoriété internationale. En outre, nous avons envisagé de relancer la publication des revues scientifiques de l'ESSA telles que Akon'ny Ala et Terre Malgache.

b) – Acteurs bien informés

La mise en œuvre d'un projet dont l'objectif est la facilitation de la connexion des acteurs (chercheurs, étudiants, villageois) aux ressources documentaires sera parmi nos futures activités. Déjà soumis à la Fondation Elsevier est un projet de renforcement de capacités de la bibliothèque de l'ESSA-Forêts, en matière de documentation liée à la conservation de la biodiversité et au changement climatique. Le Projet Renforcement des TIC (Projet RICT) à l'ESSA-Forêts, appuyé par la Fondation MacArthur, que nous coordonnons en collaboration avec la Faculté des Sciences est une initiative à développer et à élargir.

Pour les sites d'application (Tampolo et Bezà Mahafaly), la mise à jour des objets et des informations exposés au Centre d'éducation et au Musée sera envisagée. En fait, les éléments exposés devront être en cohérence avec les besoins et le niveau d'assimilation et d'appropriation des cibles, notamment les enfants, les jeunes et les communautés locales.

Pour que les acteurs soient bien informés, leur mise en réseau à travers des visites et des échanges avec le monde extérieur devrait être renforcé.

23 – Axe de recherche orienté vers les défis liés à la survie de l'humanité

Pour les projets de recherche proposés, nous souhaitons y impliquer des étudiants en préparation de leur Mémoire de Fin d'Etudes, de Mémoire DEA et de Thèse de Doctorat. Les thèmes proposés vont être focalisés sur l'importance de la conservation de la biodiversité et les défis liés à la survie de l'humanité. Ce sont :

- la gestion, la conservation et la valorisation de la biodiversité, en collaboration avec les communautés de base. En particulier pour la forêt littorale de l'est et la forêt xérophyte du sud-ouest. Nous allons intégrer les données socio-économiques avec les données biologiques et écologiques par l'utilisation du Système d'Information Géographique.

- le suivi écologique de la biodiversité à des échelles plus larges (*scaling up*). En effet, la caractérisation de la diversité biologique devra être étendue à des échelles plus larges tant temporelles que spatiales. La compréhension de l'évolution de la distribution et de la densité de la diversité biologique est indispensable pour pouvoir cerner les menaces. Les analyses des menaces (approche prédictive) sont à considérer et les zones prioritaires à conserver mieux ciblées. Cette extension de suivi de la biodiversité sera à prioriser dans la partie est et le sud-ouest de Madagascar, compte tenu des menaces continues qui pèsent sur les communautés naturelles de ces régions.

- l'importance des menaces liées au changement climatique est à étudier du fait des capacités de résilience limitées des communautés humaines de base et de la biodiversité à s'adapter au changement climatique. Les études sur les impacts du changement climatique sur la biodiversité et sur les modes de vie des paysans à Madagascar sont jusqu'à maintenant très limitées. Désormais, le thème lié aux impacts du changement climatique va être considéré, telles que les stratégies d'adaptation (autres activités génératrices de revenus, agriculture de conservation) et les stratégies pour atténuer les effets négatifs (entre autres la reforestation, la restauration des habitats dégradés) du changement climatique.

3- Stratégies de mise en œuvre

La génération malgache actuelle doit être consciente qu'elle seule est le principal moteur des différentes actions pour sauvegarder la biodiversité unique de Madagascar. *Learning by doing* pourrait être une bonne stratégie d'actions.

Le renforcement des activités en partenariat avec les autres Institutions de formation et de recherche est également indispensable pour mener à bien ces programmes proposés. L'étroite collaboration avec les acteurs locaux (communautés de base) mais aussi avec les acteurs/décideurs nationaux et internationaux est plus que nécessaire. Les collaborations sud-sud vont être développées en plus du renforcement des partenariats nord-sud. L'ESSA-Forêts est maintenant en train de développer des opportunités de collaboration avec des Universités africaines.

La soumission de divers projets en vue des requêtes de financement auprès des Fondations privées nationales et internationales (Tany Meva, MacArthur, Ortenberg, etc.) est à stimuler, puisque les appuis financiers et matériels sont toujours bénéfiques pour nos activités de formation et de recherche. Les expériences ainsi que les relations de confiance que nous avons entretenues avec ces Fondations privées sont parmi nos atouts pour concrétiser nos perspectives.

III- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Andrianarimisa, A. et S. M. Goodman. 1998. Les oiseaux. *Dans Inventaire Biologique de la Forêt Littorale de Tampolo (Fenoarivo Atsinanana)*. J. Ratsirarson et S. M. Goodman (Eds.). *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n° 14. Pp : 157-181. CIDST Antananarivo.

Allen-Wardell G., et al. 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of crop yields. *Conservation Biology* 12 : 8–17.

Beaver, R. A. 1983. The communities living in *Nepenthes* pitcher plants: fauna and food webs. *In* *Phytotelmata: Terrestrial Plants as Hosts for Aquatic Insect Communities*. J. H. Frank and L. P. Lounibos (Eds.). Pp 1-159. Plexus, New Jersey.

Beaver, R. A. 1985. Geographical variation in food web structure in *Nepenthes* pitcher plants. *Ecological Entomology* 10 : 242-248.

Bertin, R. I. 1982. Floral biology, hummingbird pollination and fruit production of trumpet creeper (*Campsis radicans*, Bignoniaceae). *American Journal of Botany* 69 (1) : 122-134.

Binggeli, P. 2003. Introduced and invasive plants. *In* *The Natural History of Madagascar*. S. M. Goodman and J. P. Benstead (Eds.). Pp : 257-268. The University of Chicago Press, Chicago.

Birkinshaw, C., H. Ralimanana, J. Ranaivo, R. Ranaivojaona, R. Randrianaivo, H. Ravololonanahary et R. Razakamalala. 1998. La forêt de la station forestière de Tampolo: présence et abondance des espèces végétales, structure de la forêt et degré de coupe illicite. *Dans Inventaire Biologique de la Forêt Littorale de Tampolo (Fenoarivo Atsinanana)*. J. Ratsirarson et S.M. Goodman (Eds.). *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n° 14. Pp : 19-63. CIDST Antananarivo.

Bond, W. J. 1994. Do mutualism matters? Assessing the impact of pollinator and disperser disruption on plant extinction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 344 : 83-90.

Brockman, D. K., L. R. Godfrey, L. J. Dollar and J. Ratsirarson. 2008. Evidence of invasive *Felis silvestris* predation on *Propithecus verreauxi* at Bezà Mahafaly Special Reserve, Madagascar. *International Journal of Primatology* 29 : 135–152.

Buchmann S. L. and G. P. Nabhan. 1996. *The Forgotten Pollinators*. Island Press, Washington DC.

Burgman, M. A., D. Keith, S. D. Hopper, D. Widyatmoko and C. Drill. 2007. Threat syndromes and conservation of the Australian flora. *Biological Conservation* 134 : 73-82.

Burney, D. A., N. Vasey, L. R. Godfrey, Ramilisonina, W. L. Jungers, M. Ramarolahy and L. Raharivony. 2008. New findings at Andrahomana cave, southeastern Madagascar. *Journal of Cave and Karst Studies* 70 (1) : 13-24.

Cane, J. H. 1997. Lifetime monetary value of individual pollinators: the bee *Habropoda laboriosa* at rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*). *Acta Horticulture* 446 : 67–70.

Caswell, H. 1989. *Matrix Population Models*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Caswell, H. 2001. *Matrix Population Models: Construction, Analysis, and Interpretation*. Second Edition. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

- Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science* 199 : 1302-1310.
- Corner, E. J. H. 1966. The Natural History of Palms. Weinfeld and Nicholson, London.
- Crane E. and P. Walker. 1984. Pollination Directory for World Crops. International Bee Research Association Bucks, UK.
- Daily G. C. 1997. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington DC.
- Dewar, R. E. 1984. Recent extinctions in Madagascar: the loss of subfossil fauna. *In* Quaternary extinctions: a prehistoric revolution. P. Martin and R. G. Klein (Eds.). Pp : 574-593. University of Arizona Press, Phoenix, Arizona.
- Dransfield, J. and H. Beentje. 2003. Arecaceae, Palms. *In* The Natural History of Madagascar. S. M. Goodman and J. P. Benstead (Eds.). Pp : 448-457. The University of Chicago Press, Chicago.
- Dollar, L. J., J. U. Ganzhorn and S. M. Goodman. 2007. Primates and other prey in the seasonally variable diet of *Cryptoprocta ferox* in the dry deciduous forest of western Madagascar. *In* Primate anti-predator strategies. S. L. Gursky and K. A. I. Nekaris (Eds.). Pp : 63-77. Springer, New York.
- Dorr, L. J. 1997. Plant collectors in Madagascar and the Comoro Islands. Royal Botanical Gardens, Kew.
- Erhart, E. M and D. J. Overdoff. 1998. Infanticide in *Propithecus diadema edwardsi*: an evaluation of the sexual selection hypothesis. *International Journal of Primatology* 19 (1) : 73-81.
- Fenn, M. 2003. Learning conservation strategies: a case study of the Parc National Andohahela. *In* The Natural History of Madagascar. S. M. Goodman and J. P. Benstead (Eds.). Pp : 1494-1501. The University of Chicago Press, Chicago.
- Ferson, S. 1991. RAMAS/Stage generalized stage based modeling for population dynamics. Exeter Software. Setauket, New York.
- Frank, J. H. and L. P. Lounibos. (Eds.) 1983. Phytotelmata: Terrestrial Plants as Hosts for Aquatic Insect Communities. Plexus, New Jersey.
- Ghazoul, J. 2005. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology and Evolution* 20 (7) : 367-373.
- Godfrey, L. R. and W. L. Jungers. 2003. Subfossil lemurs. *In* The Natural History of Madagascar. S. M. Goodman and J. P. Benstead (Eds.). Pp : 1247-1252. The University of Chicago Press, Chicago.
- Goodman, S. M. et D. Rakotondravony. 1998. Les lémuriens. *Dans* Inventaire Biologique de la Forêt Littorale de Tampolo (Fenoarivo Atsinanana). J. Ratsirarson et S. M. Goodman (Eds.). *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n° 14. Pp : 213-222. CIDST Antananarivo.
- Goodman, S. M., V. Soarimalala et J. Ratsirarson. 2005. Aperçu historique de la population des mammifères des forêts littorales de la province de Toamasina. *Dans* Suivi de la Biodiversité de la Forêt Littorale de Tampolo. J. Ratsirarson et S. M. Goodman (Eds.). *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n° 22. Pp : 61-68. CIDST Antananarivo.

Gould, L., R. W. Sussman and M. L. Sauther. 1999. Natural disasters and primate populations: the effect of a two year drought on a naturally occurring population of ring tailed lemurs (*Lemur catta*) in south-western Madagascar. *International Journal of Primatology* 20: 69-84.

Grjebine, A. 1979. Les moustiques des *Nepenthes* de Madagascar. Espèces nouvelles du genre *Uranotaenia* Lynch Arribalzaga (Diptera, Cuculidae). *Annales de la Société Entomologique de France* 15 : 53-74.

Howe, H. F., E. W. Schupp and L. C. Westley. 1985. Early consequences of seed dispersal for a neotropical tree *Virola surinane*nsis. *Ecology* 66 : 781-791.

Ingram M., G. C. Nabhan and S. L. Buchmann. 1996. Impending pollination crisis threatens biodiversity and agriculture. *Tropinet* 7 : 1.

Joel, D. M. 1988. Mimicry and mutualism in carnivorous pitcher plants (Sarraceniaceae, Nepenthaceae, Bromeliaceae). *Biological Journal of the Linnean Society* 35 : 185-197.

Juniper, B. E., R. J. Robins and D. M. Joel. 1989. The Carnivorous Plants. Academic Press, New York.

Karpanty, S. K. and S. M. Goodman. 1999. Diet of Madagascar harrier-hawk, *Polyboroides radiatus*, in southeastern Madagascar. *Journal of Raptor Research* 4 : 313-316

Karpanty, S. K., and P. C. Wright. 2007. Predation on lemurs in the rainforest of Madagascar by multiple predator species: Observations and experiments. In *Primate Anti-predator Strategies*. S. L. Gursky and K. A. I. Nekaris (Eds.). Pp : 77-99. Springer, New York.

Kearns, C. A. and D. W. Inouye. 1993. Techniques for Pollination Biology. University Press of Colorado, Boulder, Colorado.

Kitching, R. L. 2001. Food webs in phytotelmata. Bottom-up and top-down explanations for community structure. *Annual Review of Entomology* 46 : 729-760.

Klein, A. M., B. E. Vaissière, J. H. Cane, I. S. Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen, T. Tscharntke. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceeding of the Royal Society of London* 274 (1608) : 303-313.

Koch P. L. and A. D. Barnosky. 2006. Late quaternary extinctions: State of the debates. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37 : 215-250.

Lawler, R., H. Caswell, A. F. Richard, J. Ratsirarson, R. E. Dewar and M. Schwartz. 2009. Demography of Verreaux's sifaka in a stochastic rainfall environment. *Oecologia* 161 : 491-504.

Leung, B., D. M. Lodge, D. Finnoff, J. F. Shogren, M. A. Lewis and G. Lamberti. 2002. An ounce of prevention or a pound of cure : bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceeding of the Royal Society of London* 269 (1508) : 2407-2413.

Mace, G. M. and 35 others. 2005. Biodiversity. In *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*. R. Hassam, R. Scholes and N. Ash (Eds.). Volume 1. Pp : 77-122. Island Press, Washington DC.

Mack, R. N., D. Simberloff, W. M. Lonsdale, H. Evans, M. Clout and F. A. Bazzaz. 2000. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. *Ecological Applications* 10 : 689-710.

Mittermeier, R. A., P. R. Gil, M. Hoffmann, J. Pilgrim, T. Brooks, C. G. Mittermeier, J. Lamoreux and G. A. B. Da Fonseca. 2004. Hotspots Revisited. Cemex, Mexico City.

Mittermeier, R. A., E. E. Louis, Jr. M. Richardson, C. Schwitzer, O. Langrand, A. B. Rylands, F. Hawkins, S. Rajaobelina, J. Ratsimbazafy, R. Rasoloarison, C. Roos, P. M. Kappeler and J. Mackinnon. 2010. Lemurs of Madagascar. Third Edition. Tropical Field Guide Series. Conservation International, Washington DC.

Moat, J. and P. Smith. (Eds.). 2007. Atlas of the Vegetation of Madagascar. Royal Botanical Kew. London.

Mooney, H. A. and R. J. Hobbs. 2000. Invasive Species in Changing World. Island Press, Washington DC.

Naeem, S. 1990. Resource heterogeneity and community structure: a case study in *Heliconia imbricata* phytotelmata. *Oecologia* 84 : 29-38.

Palmer, M., E. Bernhardt, E. Chornesky, S. Collins, A. Dobson, C. Duke, B. Gold, R. Jacobson, S. Kingsland, R. Kranz, M. Mappin, M. L. Martinez, F. Micheli, J. Morse, M. Pace, M. Pascual, S. Palumbi, O. J. Reichman, A. Simons, A. Townsend and M. Turner. 2004. Ecology for a crowded planet. *Science* 304 : 1251-1252.

Pimentel, D., R. Zuniga and D. Morrison. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52 : 273-288

Primack, R. B. 1998. Essentials of Conservation Biology. Second Edition. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Primack, R. B. et J. Ratsirarson. 2005. Principe de Base de la Conservation de la Biodiversité. ESSA-CITE Antananarivo.

Primack, R. B. 2008. A Primer of Conservation of Biology. Forth Edition. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts.

Raherilalao, M. J., S. M. Goodman et R. J. Emady. 2005. Suivi des oiseaux. Dans Suivi de la Biodiversité de la Forêt Littorale de Tampolo. J. Ratsirarson et S. M. Goodman (Eds.). *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n° 22. Pp : 89-103. CIDST Antananarivo.

Rakotondravony, D., S. M. Goodman, J-M. Duplantier et V. Soarimalala. 1998. Les petits mammifères. Dans Inventaire Biologique de la Forêt Littorale de Tampolo (Fenoarivo Atsinanana). J. Ratsirarson et S. M. Goodman (Eds.). *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n° 14. Pp : 197-212. CIDST Antananarivo.

Ranaivonasy, J., J. Ratsirarson, B. Ramamonjisoa, D. Rasolofomampianina, J-A Rakotoarisoa, R. E. Dewar et J. A. Silander, Jr. (Eds.) 2003. Dynamique de la Couverture Forestière de la Région d'Analanjirifo (Madagascar) : Aspects Historiques, Ecologiques et Socio-économiques. *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n°20, CIDST, Antananarivo.

Raselimanana, A., D. Rakotomalala et F. Rakotondraparany. 1998. Les reptiles et amphibiens: diversité et conservation de l'herpetofaune. Dans Inventaire Biologique de la Forêt Littorale de Tampolo (Fenoarivo Atsinanana). J. Ratsirarson et S. M. Goodman (Eds.). *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n° 14. Pp : 183-222. CIDST Antananarivo.

Raselimanana, A. 2005. Suivi de l'herpetofaune. *Dans* Suivi de la Biodiversité de la Forêt Littorale de Tampolo. J. Ratsirarson et S. M. Goodman (Eds.). *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n° 22. Pp : 105-120. CIDST Antananarivo.

Ratsirarson, J. 1993. Importance économique et menace sur le palmier trièdre de Madagascar : *Neodypsis decaryi*. *Akon'ny Ala* 2 : 24-25.

Ratsirarson, J. 1995. Pollination ecology of *Aloe divaricata* Berger (Liliaceae) : an endemic plant species of southern Madagascar. *South African Journal of Botany* 61 (5) : 249-252.

Ratsirarson, J. 1998. Les palmiers. *Dans* Inventaire Biologique de la Forêt Littorale de Tampolo (Fenoarivo Atsinanana). J. Ratsirarson et S. M. Goodman (Eds.). *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n° 14. Pp : 101-106. CIDST Antananarivo.

Ratsirarson, J. 2003. *Dypsis decaryi*. In The Natural History of Madagascar. S. M. Goodman and J. P. Benstead (Eds.). Pp: 457-459. The University of Chicago Press, Chicago.

Ratsirarson, J. 2005. Envahissement d'une liane endémique (*Cynanchum mahafalense*) dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. Communication affichée. Forum de la Recherche 31 mars-1 avril 2005, MENRES, Toamasina.

Ratsirarson, J. 2008. La Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. *Dans* Paysages Naturels et Biodiversité de Madagascar. S. M. Goodman (Eds.). Pp : 639-650. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

Ratsirarson, J. and J. A. Silander, Jr. 1996a. Reproductive biology of a threatened Madagascar triangle palm *Neodypsis decaryi*, Jumelle. *Biotropica* 28 (4) : 737-745.

Ratsirarson, J. and J. A. Silander, Jr. 1996b. Structure and dynamics in *Nepenthes madagascariensis* pitcher plant micro-communities. *Biotropica* 28 (2) : 218-227.

Ratsirarson, J., J. A. Silander, Jr. and A. F. Richard. 1996. Conservation and management of a threatened Madagascar palm species: *Neodypsis decaryi*, Jumelle. *Conservation Biology* 10 (1) : 40-52.

Ratsirarson, J. and J. A. Silander, Jr. 1997. Factors affecting the distribution of a threatened Madagascar palm species *Dypsis decaryi*, Jumelle. *Principes* 41 (2) : 100-111.

Ratsirarson, J. and J. A. Silander. 2003. Pollination ecology of endemic, keystone plant species in the dry forests of southwestern Madagascar. In The Natural History of Madagascar. S. M. Goodman and J. P. Benstead (Eds.). Pp : 272-275. The University of Chicago Press, Chicago.

Ratsirarson, J et S. M. Goodman. (Eds.) 1998. Inventaire Biologique de la forêt littorale de Tampolo (Fenoarivo Atsinanana). *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n°14. CIDST Antananarivo.

Ratsirarson, J. et S. M. Goodman. (Eds.). 2005. Suivi de la biodiversité de la forêt littorale de Tampolo. *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n°22. CIDST Antananarivo.

Ratsirarson, J., A. J. Randrianarisoa, E. Ellis, R. J. Emady, Efitroarany, J. Ranaivonasy, E. H. Razanajaonarivalona et A. F. Richard. 2001. Bezà Mahafaly: Ecologie et réalités socio-économiques. *Recherches pour le Développement, Série Sciences Biologiques* n°18. CIDST Antananarivo.

Ratsirarson, J. et J. Ranaivonasy. 2002. Ecologie des lémuriens dans la forêt littorale de Tampolo. *Lemur News* 7 : 26-30.

- Ratsirarson, J., V. H. Rakotozafy et A. Andrianarimisa. 2006. Perte et fragmentation des écosystèmes. Module pédagogique adapté au contexte Malagasy. REPC-Madagascar. Dans <http://www.repc-md.org/modules.php>. American Museum of Natural History, New York.
- Richard, A. F., R. E. Dewar, M. Schwartz and J. Ratsirarson. 2000. Mass change, environmental variability and female fertility in wild *Propithecus verreauxi*. *Journal of Human Evolution* 39 : 381-391.
- Richard, A. F., R. E. Dewar, M. Schwartz and J. Ratsirarson. 2002. Life in the slow lane? Demography and life histories of male and female Sifaka (*Propithecus verreauxi verreauxi*). *Journal of Zoology* 256 : 421-436.
- Sauther, M. L. 1998. Interplay of phenology and reproduction in ringtailed lemurs: implications for ring-tailed lemur conservation. *Folia Primatologia* 69 : 309-320.
- Silvertown, J., M. Franco, I. Pisanty, and A. Mendoza. 1993. Comparative plant demography. Relative importance of life-cycle components to the finite rate of increase in woody and herbaceous perennials. *Journal of Ecology* 81 : 465-476.
- Soarimalala, V. et S. M. Goodman. 2005. Les micro-mammifères (Rodentia et Lipotyphla) non volants. Dans Suivi de la biodiversité de la forêt littorale de Tampolo. J. Ratsirarson et S. M. Goodman (Eds.). *Recherches pour le Développement, Série Sciences biologiques* n°24. Pp. 77-87. CIDST Antananarivo.
- Soulé, M. E. (Ed.). 1986. Conservation biology : The Science of Scarcity and Diversity. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Sousa, W. P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15 : 353-391.
- Stearns, S. C. 1976. Life history tactics: a review of the ideas. *Quarterly Review in Biology* 51 : 3-47.
- Stearns, S. C. 1989. Trade-offs in life-history evolution. *Functional Ecology* 3 : 259-268.
- Walker, L. C. 1967. Locomotor adaptations in recent and fossil Madagascar lemurs. *Ph. D. Thesis*. University of London, London.
- Walker, L. R. and E. A. Powell 1999. Regeneration of the Mauna Kea silversword *Argyroxiphium sandwicense* (Asteraceae) in Hawai. *Biological Conservation* 89 (1) : 61-70.
- Warren, P. H. and J. H. Lawton. 1987. Invertebrate predator-prey body size relationships: an explanation of upper triangular food webs and patterns in food web structure. *Oecologia* 74 : 231-235.
- Williams I. H. 1994. The dependences of crop production within the European Union on pollination by honey bees. *Agricultural Zoological Review* 6 : 229-257
- Wright, P. C. 1998. Impact of predation risk on the behaviour of *Propithecus diadema edwardsi* in the rain forest of Madagascar. *Behaviour* 135 : 483-512.