



*Avahi cleesii* - © M. Dammhahn



*Propithecus deckenii* - © M. Dammhahn



*Microcebus myoxinus* - © M. Dammhahn



*Phaner pallescens* - © M. Dammhahn



*Microgale brevicaudata* - © Vahatra



*Setifer setosus* - © Vahatra

# Chapitre 14. Diversité des petits mammifères sur une formation de *tsingy* : cas de la forêt de Beanka, Région Melaky, Ouest de Madagascar

Voahangy Soarimalala<sup>1,2</sup>, Haridas H. Zafindranoro<sup>2,3</sup> & Steven M. Goodman<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Institut des Sciences et Techniques de l'Environnement, Université de Fianarantsoa, Madagascar

<sup>2</sup>Association Vahatra, BP 3972, Antananarivo 101, Madagascar

E-mail : vsoarimalala@vahatra.mg, sgoodman@vahatra.mg

<sup>3</sup>Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, BP 906, Antananarivo 101, Madagascar

E-mail : zafrosina@yahoo.fr

<sup>4</sup>Field Museum of Natural History, 1400 South Lake Shore Drive, Chicago, Illinois 60605, USA

E-mail : sgoodman@fieldmuseum.org

## Résumé

Les forêts sèches caducifoliées poussant sur *tsingy* et abritant des espèces particulières sont mal connues. Elles ont fait l'objet d'inventaires rapides pour évaluer la faune de petits mammifères de cet écosystème. La forêt de Beanka, Maintirano, a été visitée durant la saison sèche en 2009 et la saison humide en 2010 en utilisant deux techniques de piégeage dont les trous-pièges et les pièges standard.

Des analyses des relations entre le nombre d'individus capturés et les variables climatiques ainsi que les caractéristiques du sol ont été faites. L'indice de Sørensen a été calculé pour définir les affinités entre les forêts sur *tsingy* et celles se développant sur sable. En combinant toutes les données obtenues à partir des méthodes standardisées, un nombre total de neuf espèces de petits mammifères a été trouvé dans la forêt de Beanka dont six endémiques et trois introduites. Le taux de capture le plus élevé a été obtenu durant la saison humide. Les paramètres écologiques qui varient de manière significative avec le nombre d'individus sont les précipitations et la température minimale. Le rendement de piégeage est élevé avec l'augmentation de ces variables climatiques.

Les coefficients de similarité des sites considérés sont en général élevés entre les sites sur *tsingy* et ceux sur sable et ils sont regroupés dans les classifications. Les informations obtenues à partir

de cette étude démontrent l'intérêt de la forêt de Beanka qui abrite *Eliurus antsingy*, espèce typique et exclusive de la forêt sur *tsingy*.

**Mots clés** : petits mammifères, diversité spécifique, biogéographie, calcaire, karst, *tsingy*

## Extended abstract

In the western half of Madagascar, there are different dry deciduous forest formations that hold a variety of generally poorly known small mammal species. Amongst these forest types are zones resting on limestone substrate, often heavily eroded and forming karst landscapes. One special habitat in this zone includes a particular type of erosion, in which the limestone forms vertical pinnacles, known in Malagasy as *tsingy*. This forest type occurs intermittently in the western half of the island from the far north at Ankarana and Montagne de Français to the central west in the Bemaraha region. Between these isolated *tsingy* forests are blocks of dry deciduous forests resting on sandy substrates or other soils and, all together, these different *tsingy* forests form a habitat patchwork.

Herein we report on small mammal surveys conducted in the *tsingy* dry deciduous forests of Beanka, located in the central west and to the east of Maintirano, and in close vicinity to the village of Ambinda. Two sites were investigated, each surveyed at the end of the dry season in 2009 (17 to 30 October) and during the wet season of 2010 (8 to 22 January). Two different trapping techniques were used to conduct these surveys at each site: 1) pitfall traps (three separate lines, each 100 m long, and composed of 11 buckets separated by 10 m distance), largely destined for members of the endemic Family Tenrecidae, although introduced members of the Family Soricidae were regularly captured and 2) a combination of Sherman and National traps (in total one hundred traps per site in a ratio of 4:1, respectively) baited with peanut butter to capture rodents, including endemic Nesomyinae and introduced Muridae. Both trap devices were left in place at each site for six consecutive nights. Reference specimens were collected.

At each site, soil samples were collected during the October 2009 fieldwork in close vicinity to the

first bucket of each pitfall line and submitted for physical and chemical analyses. These data were used in a series of regression analyses to examine the relationships between the abundance of small mammals captured in the pitfall lines and physical and chemical aspects of soils. Further, an analysis was conducted on the relationship of capture success for the two different trap types and climatic information (daily minimum-maximum temperatures and rainfall) gathered during the survey periods.

Nine species of small mammals were documented in the Beanka Forest, which included three species of rodents, composed of two endemic taxa of the Subfamily Nesomyinae (*Eliurus antsingy* and *E. myoxinus*) and one introduced Muridae (*Rattus rattus*); four species of Tenrecidae, all endemic (*Tenrec ecaudatus*, *Setifer setosus*, *Microgale brevicaudata*, and *M. grandidieri*); and two species of introduced Soricidae shrews (*Suncus etruscus* and *S. murinus*). Amongst the Tenrecidae were two sister species of shrew tenrecs, *M. brevicaudata* and *M. grandidieri*, found for the first time in strict sympatry.

Seasonal differences were noted in trap capture rates and, to a lesser extent, the species represented. During the dry season, the pitfall capture rates were 3.5% for Site 1 and 10.6% for Site 2 and for the wet season these figures were 10.6% and 45.5% (respectively). *Tenrec ecaudatus* followed by *M. grandidieri* constituted the most commonly trapped species. For the small mammal traps during the dry season, capture rates were 3.0% for Site 1 and 1.7% for Site 2 and during the wet season, these figures were 1.5% and 4.0% (respectively). A significant proportion of the captured rodents were introduced *R. rattus*. *Suncus murinus* was captured on one occasion during the wet season.

An interpretation of the regression analyses indicated that certain physical properties of the soil samples, particularly clay and silt content, as well as pH, show a positive association with small mammal capture rates. In turn, soils with predominantly sandy content and higher percentage of carbon and nitrogen were negatively correlated with capture rates. A comparison of the different climatic variables segregated by season indicated two significant correlations: 1) the number of individuals captured in the pitfall traps and precipitation ( $F = 4.636$ ,  $P = 0.008$ ), and 2) the number of individuals captured in the pitfall traps and minimum temperature ( $F = 6.566$ ,  $P = 0.001$ ).

A biogeographical analysis was conducted to compare the small mammal fauna of the Beanka

Forest to other sites in western Madagascar surveyed with the same techniques and similar trapping intensity. These sites include those occurring in *tsingy* habitat (Bemaraha, Namoroka, and Beanka) and those on more sandy substrates (Masoarivo and Besalampy). Two different faunistic assemblages were identified: 1) sites on which the principal substrate was sand and 2) sites with the principal substrate was limestone *tsingy*. These results show that certain species such as *Eliurus antsingy*, which are only known from *tsingy* formations, appear capable of dispersing across sandy substrate forest habitats. A detailed phylogeographic study is needed to understand possible genetic differences between populations of this species in the forests of Bemaraha, Beanka, and Namoroka.

**Key words:** small mammals, species diversity, biogeography, limestone, karst, *tsingy*

## Introduction

Le type d'habitat qui caractérise l'ensemble de la région sèche de Madagascar s'avère abriter un endémisme important pour différents groupes taxinomiques. Les conditions bioclimatiques qui coïncident dans les étages sec et subaride (Cornet, 1974) ainsi que les types de sols et la géologie particuliers de la région (Du Puy & Moat, 2003) se révèlent utiles pour prédire cette spécificité. Certaines espèces animales sont strictement inféodées à la forêt sèche malgache et leur distribution représente un bon exemple de la diversité régionale à l'intérieur des différentes formations végétales. Il y a des preuves solides pour prédire que la structure de la communauté des mammifères malgaches dans la forêt sèche est étroitement associée aux différents paramètres écologiques, tels le type d'habitat et les variables climatiques (Muldoon & Goodman, 2010). Basé sur les inventaires systématiques des petits mammifères, il y a une corrélation étroite entre les assemblages d'espèces (communautés) et la structure de végétation suivant des changements écologiques le long des réseaux hydrographiques occidentaux (Rakotomalala & Goodman, 2010).

Parmi les 15 espèces de petits mammifères endémiques connues dans la forêt sèche caducifoliée de l'Ouest, de l'extrême Sud-est de la région de Tolagnaro jusqu'au Nord-est dans la région de Daraina, 10 y sont inféodées dont cinq ont une répartition limitée à des zones relativement restreintes (Soarimalala, 2008 ; Soarimalala & Goodman, 2011). Par exemple, les forêts sèches caducifoliées

poussant sur des roches calcaires abritent des petits mammifères à distribution très particulière, à savoir deux espèces localement endémiques qui sont *Eliurus antsingy* et *Nesomys lambertoni* (Carleton *et al.*, 2001 ; Goodman & Schütz, 2003).

A quelques exceptions près, la grande majorité des petits mammifères indigènes de l'île sont sylvoles et tous sont endémiques. En général, les petits mammifères des forêts sèches caducifoliées de l'Ouest ont été moins étudiés que ceux des forêts humides de l'Est. Cela est particulièrement le cas dans certaines régions reculées, comme celles qui sont caractérisées par des formations forestières poussant sur les zones calcaires sculptées en lames ou aiguilles acérées par l'eau de pluie, souvent appelées *tsingy*. Au cours des dernières années, nous avons mené des inventaires des petits mammifères au Bemaraha, à Namoroka et à l'Ankarana, ainsi que dans la forêt de Beanka. A la faveur des informations acquises, il est actuellement possible de procéder à des analyses biogéographiques des communautés de petits mammifères de la forêt sèche occidentale. En outre, les inventaires de la forêt de Beanka ont été menés aussi bien en saison sèche qu'humide, ce qui donne un aperçu des différences saisonnières sur les espèces capturées et leurs abondances.

## Sites d'étude

La recherche s'est déroulée dans la forêt de Beanka, Région Melaky, 50 km à l'est de Maintirano. Deux sessions d'échantillonnage ont été réalisées dans deux sites différents. La première session a été réalisée du 17 au 30 octobre 2009 durant la saison sèche et l'autre du 8 au 22 janvier 2010 durant la saison humide.

**Site 1** : situé à 1,1 km E du village d'Ambinda, les recherches sont centrées autour des coordonnées géographiques 18°01'25"S, 44°30'08"E, à 220 m d'altitude. Ce site est principalement caractérisé par une végétation caducifoliée se développant sur une formation calcaire et sur un sol sablo-limoneux. La canopée est généralement ouverte et haute de 8 à 15 m. Elle est relativement ouverte à cause de l'exploitation humaine (abattage des arbres, enlèvement de bois mort et pâturage du bétail). La litière est mince et mal décomposée. Le point d'eau principal est constitué par la rivière de Kinahaingo qui est saisonnière et le long de laquelle se trouvent quelques flaques d'eaux quasi-permanentes.

**Site 2** : situé à 4,9 km S du village d'Ambinda, les recherches sont centrées autour des coordonnées

géographiques 18°03'45"S, 44°31'31"E, à 320 m d'altitude. Il est caractérisé par une végétation plus fermée avec des taxons sempervirents se développant sur un sol limono-argileux qui est un peu riche en matières organiques. Les grands arbres sont nombreux, la canopée est fermée et a une hauteur variant de 20 à 25 m sur le versant et sur le fond plat. La formation est plus ouverte dans les zones où la roche calcaire affleure (*tsingy*). La litière est relativement épaisse. Aucun point d'eau n'a été rencontré à part la rivière Kimanambolo située à quelques kilomètres du lieu d'échantillonnage. Peu de signes d'activités humaines, à l'exception de vieux pièges de lémuriens, ont été observés.

## Méthodologie

Les méthodes appliquées durant l'inventaire dans les deux sites d'étude de la forêt de Beanka sont identiques à celles qui ont été adoptées à Madagascar depuis plus de 20 ans afin de pouvoir procéder correctement à des comparaisons avec d'autres sites que nous avons visités.

Deux techniques de piégeage ont été adoptées (trous-pièges et pièges standard). Les pièges ont été laissés en place pendant six nuits, dans des milieux différents pour estimer les espèces de petits mammifères présentes et l'importance des différents microhabitats utilisés par ces animaux.

## Trous-pièges

La première technique de piégeage est constituée par trois lignes de trous-pièges [pit-falls en anglais] par site qui a été mis en place pour capturer des animaux vivants. Ils sont principalement destinés aux petits insectivores de la famille des Tenrecidae. Chaque ligne est composée de 11 seaux alignés. Chaque seau a une capacité de 12 l, 275 mm de profondeur interne et 220 mm de diamètre inférieur interne. Les seaux sont enterrés dans le sol jusqu'au niveau du bord supérieur et sont espacés de 10 m l'un de l'autre sur la ligne. Une bande plastique de 110 m de longueur environ et de 0,80 m de largeur est dressée sur une hauteur d'environ 0,70 m à partir du sol en passant par le diamètre de chaque seau. Elle est maintenue par des piquets. Cette bande plastique est recouverte dans sa partie inférieure (sur approximativement 10 cm) de litière forestière, de branches et tiges d'arbres morts et de sol ; la bande plastique sert à guider les animaux terrestres vers les seaux. Le fond de chaque seau est percé de plusieurs petits trous pour permettre à l'eau de pluie

de s'écouler. Un seau en place pendant 24 heures (de l'aube jusqu'à l'aube suivante) est considéré comme une nuit trou-piège. Les lignes de trous-pièges ont été installées exactement aux mêmes endroits pour les deux saisons différentes.

### Pièges standard

Ce système utilise deux types de pièges que sont les Sherman (22,5 x 8,6 x 7,4 cm) et les National (39,2 x 12,3 x 12,3 cm). Dans chaque site, un nombre total de 100 pièges standard a été mis en place pour capturer des animaux vivants, avec un ratio de 4 Sherman pour 1 National. Ils sont principalement destinés aux rongeurs. Au cours de la session de piégeage, chaque piège est numéroté séquentiellement, installé à un endroit fixe et marqué par un ruban coloré. Les lignes de pièges couvrent des microhabitats différents afin d'accroître la probabilité de capture des espèces présentant des exigences spécifiques. Près de 20 % des pièges ont été placés au-dessus du niveau du sol, sur des troncs d'arbre ou sur des lianes et les autres ont été disposés au niveau du sol (comme en dessous d'un tronc d'arbre incliné au sol, le long d'un tronc d'arbre tombé et au pied d'un arbre devant des terriers récents). Ces pièges ont été appâtés au beurre de cacahuète et l'appât était renouvelé toutes les après-midis pendant les six jours de piégeage. Tous les pièges ont été contrôlés deux fois par jour : à l'aube et en la fin d'après-midi. Une « nuit-piège » est définie par un piège ouvert pendant 24 heures (de l'aube jusqu'à l'aube suivante). Les différentes lignes de piège ont été installées le long des mêmes transects pour les deux saisons, mais ils ne sont pas forcément placés au même endroit.

### Spécimens

Une partie des petits mammifères capturés a été préparée en spécimens muséologiques sous forme de peaux et de crâne, ou de cadavres entiers préservés dans du formol. Des mensurations externes standard ont été réalisées sur chaque animal avant sa préparation en spécimens. Des échantillons de tissus ont été préservés dans de l'EDTA pour les études génétiques. L'identification des espèces est basée sur les spécimens déposés au Field Museum of Natural History (FMNH), Chicago, USA, et à l'Université d'Antananarivo, Département de Biologie Animale (UADBA), Antananarivo, Madagascar.

Dans chaque site, des échantillons de sol de 10 x 10 x 10 cm ont été prélevés près du premier seau des trois lignes de trous-pièges. Ces échantillons, qui comprenaient de la litière forestière, ont été stockés et séchés dans des pochons en tissus marqués et soumis au Laboratoire d'Analyse de Sol, Département d'Agriculture, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo pour les analyses (Annexe 14-I).

### Relation entre abondance relative et conditions environnementales

Des analyses de régression linéaire ont été réalisées pour tester une éventuelle corrélation entre l'abondance relative des petits mammifères capturés dans les trous-pièges et les caractéristiques physiques et chimiques du sol, à savoir, la texture, la teneur en azote et en carbone ainsi que le pH. Ensuite, une analyse de variance a été également appliquée pour savoir si le nombre d'individus capturés dans les deux types de pièges varie selon les variables climatiques telles que les températures minimales et maximales ainsi que les précipitations.

### Analyse biogéographique

Etant donné la position géographique intermédiaire de la forêt de Beanka (entre les forêts sur *tsingy* de Namoroka au nord et du Bemaraha au sud), une comparaison de la composition spécifique en petits mammifères de cette formation avec les autres forêts sèches situées dans la région mais sur substrat sableux a été faite pour comprendre l'importance du biotope unique des *tsingy*. Les données de ces sites sont basées sur les différents inventaires menés par Soarimalala, Goodman et leurs collaborateurs (voir Soarimalala, 2008). Depuis la publication de ce document, des changements ont eu lieu dans la taxonomie de petits mammifères de l'Ouest de Madagascar, et plus particulièrement pour le complexe *Microgale brevicaudata* (Olson *et al.*, 2009).

Basé sur la présence et l'absence des espèces forestières dans chaque site, l'indice de Sørensen a été calculé pour déterminer la similarité faunique entre les forêts sur *tsingy* et les autres forêts sèches. Ces indices ont ensuite été traités avec le logiciel SYSTAT 10.2 afin de produire des dendrogrammes basés sur les affinités de la communauté de petits mammifères des sites considérés.

## Résultats

### Richesse spécifique

Dans les deux sites inventoriés dans la forêt de Beanka, un total de neuf espèces de petits mammifères a été recensé. Ce sont quatre Afrosoricida (tous endémiques), deux Soricomorpha (tous introduits) et trois rongeurs (deux endémiques [Nesomyidae] et un introduit [Muridae]) (Tableau 14-1). Parmi les Afrosoricida et les Soricomorpha, *Microgale brevicaudata* et *Suncus etruscus* n'ont pas été trouvés dans le site 1. La systématique de certains individus du genre *Eliurus*, de la famille Nesomyidae, reste à confirmer par des techniques moléculaires. En se basant sur les caractères morphologiques, nous nous référons à *E. antsingy* et *E. myoxinus* pour les deux espèces différentes capturées à Beanka.

Quant aux rongeurs, les trois espèces fréquentent les deux sites inventoriés. Dans l'ensemble des deux sites, toutes les espèces de petits mammifères rencontrées durant la saison sèche ont aussi été trouvées en saison humide, mis à part l'espèce introduite *S. murinus*. Toutefois, lorsque les comparaisons sont limitées à un site donné, des différences notables dans les espèces capturées

ont été relevées entre les saisons, en particulier pour le site 1.

### Abondance relative

Durant la saison sèche, le taux de capture dans les trous-pièges est de 3,5 % pour le site 1 et 10,6 % pour le site 2 (Tableau 14-2). En saison humide, ces taux sont respectivement de 10,6 et 45,5 %. *Tenrec ecaudatus* suivi par *Microgale grandidieri* constituent les espèces les plus communément capturées. Une augmentation des individus capturés est nettement observée entre les saisons sèche et humide (Figure 14-1). *Suncus murinus* n'a été capturé qu'une seule fois durant la saison humide.

Concernant les pièges standard, les taux de capture sont respectivement de 3,0 et 1,7 % dans les sites 1 et 2 durant la saison sèche (Tableau 14-3). Si l'on exclut l'espèce introduite *Rattus rattus*, ces taux diminuent à 1,0 et 1,2 %, respectivement. Pendant la saison humide, le taux de capture est respectivement de 1,5 et 4,2 % pour les sites 1 et 2 (1,0 et 4,0 % en excluant *R. rattus*). Cette espèce introduite constitue l'espèce communément capturée durant les deux saisons (Tableau 14-2). Une augmentation des individus capturés est observée entre la saison

**Tableau 14-1.** Liste des espèces de petits mammifères capturés dans la forêt de Beanka.

Taxa	Site 1		Site 2	
	Saison sèche	Saison humide	Saison sèche	Saison humide
<b>Afrosoricida</b>				
Famille Tenrecidae				
Sous-famille Oryzoricinae				
<i>Microgale brevicaudata</i>	-	-	+	+
<i>Microgale grandidieri</i>	+	+	+	+
Sous-famille Tenrecinae				
<i>Setifer setosus</i>	-	+	+	+
<i>Tenrec ecaudatus</i>	-	+	+	+
<b>Soricomorpha</b>				
Famille Soricidae				
<i>Suncus etruscus</i> *	-	-	+	+
<i>Suncus murinus</i> *	-	-	-	+
<b>Nombre total d'espèces</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Rodentia</b>				
Famille Nesomyidae				
<i>Eliurus antsingy</i>	-	+	-	+
<i>Eliurus myoxinus</i>	+	+	+	+
Famille Muridae				
<i>Rattus rattus</i> *	+	+	-	+
<b>Nombre d'espèces de Rodentia</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Nombre d'espèces de Rodentia endémiques</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Nombre total d'espèces de petits mammifères autochtones</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Nombre total d'espèces de petits mammifères</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>9</b>

\* Espèce introduite.

**Tableau 14-2.** Nombre d'individus capturés des captures petits mammifères dans les lignes de trous-pièges dans la forêt de Beanka.

Taxa	Saison sèche						Saison humide						Total par espèce
	Site 1			Site 2			Site 1			Site 2			
Saison	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
<b>Ligne de trous-pièges</b>	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	
<b>Nombre de nuits trous-pièges</b>	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	
<b>Afrosoricida</b>													
<i>Microgale brevicaudata</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	4
<i>Microgale grandidieri</i>	4	2	1	2	6	2	0	1	1	0	0	1	20
<i>Setifer setosus</i>	0	0	0	1	1	0	2	2	2	2	7	1	18
<i>Tenrec ecaudatus</i>	0	0	0	3	1	0	9	2	1	29	32	14	91
<b>Soricomorpha</b>													
<i>Suncus etruscus*</i>	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	1	0	5
<i>Suncus murinus*</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<b>Nombre total d'espèces</b>	1	1	1	5	4	1	2	3	4	3	3	4	
<b>Nombre d'individus capturés</b>	4	2	1	10	9	2	11	5	5	32	40	18	
<b>Taux de capture des petits mammifères par site</b>	3,5 %			10,6 %			10,6 %			45,5 %			

\*Espèce introduite.

**Tableau 14-3.** Résultats des captures des petits mammifères dans les pièges standard (Sherman et National) dans la forêt de Beanka.

Sites	Saison sèche				Saison humide				Total par espèce
	Site 1		Site 2		Site 1		Site 2		
Nombre de nuit-pièges	240	360	240	360	240	360	240	360	
<b>Afrosoricida</b>									
<i>Microgale grandidieri</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Setifer setosus</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	2
<i>Tenrec ecaudatus</i>	0	0	1	0	0	3	10	5	19
<b>Nombre d'individus d'Afrosoricida</b>	0	0	2	0	0	3	12	5	
<b>Taux de capture d'Afrosoricida</b>	0		0,3		0,5		2,8		
<b>Rodentia</b>									
<i>Eliurus antsingy</i>	2	1	1	0	3	2	1	4	14
<i>Eliurus myoxinus</i>	0	3	2	2	0	1	0	2	10
<i>Rattus rattus*</i>	7	5	1	2	0	0	0	1	16
<b>Nombre d'individus de Rodentia autochtones</b>	2	4	3	2	3	3	1	6	
<b>Nombre total d'individus de Rodentia</b>	9	9	4	4	3	3	1	7	
<b>Nombre total de petits mammifères endémiques</b>	6		7		6		24		
<b>Taux de capture de petits mammifères endémiques</b>	1,0 %		1,2 %		1,0 %		4,0 %		
<b>Nombre total de petits mammifères</b>	18		10		9		25		
<b>Taux de capture de petits mammifères</b>	3,0 %		1,7 %		1,5 %		4,2 %		

\* Espèce introduite.

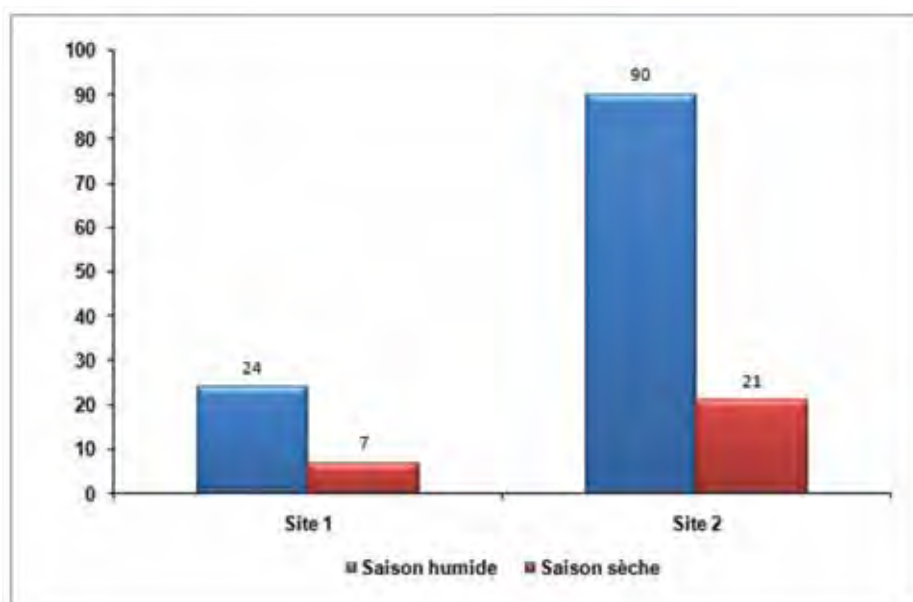
sèche et humide (Figure 14-2) sauf dans le site 1 où ils sont élevés durant la saison sèche.

### Abondance relative versus conditions environnementales

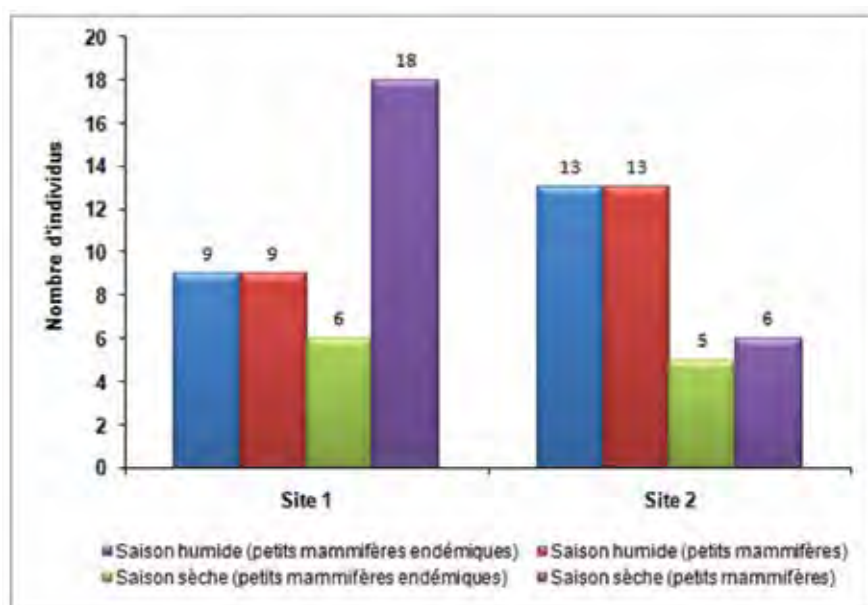
L'analyse de variance entre le nombre d'individus capturés dans les trous-pièges et les paramètres climatiques a montré que le nombre d'individus capturés varie significativement avec l'abondance de la précipitation et l'augmentation de la température

minimale suivant la variation de la saison (Tableau 14-4). Les individus capturés sont élevés avec l'augmentation de la pluie journalière. Pour les pièges standard, aucun paramètre climatique n'a été corrélé avec la variation du rendement de capture.

Quant aux caractéristiques du sol (Figure 14-3, Tableau 14-5), l'analyse de régression linéaire montre que les corrélations calculées entre la teneur en argile, en limon et le pH du sol et les nombres d'individus capturés sont positives. Les corrélations



**Figure 14-1.** Nombre de petits mammifères capturés dans les trous-pièges suivant les lignes de pièges et la saison dans la forêt de Beanka.



**Figure 14-2.** Nombre de petits mammifères capturés dans les pièges standard suivant les lignes de pièges et la saison dans la forêt de Beanka.

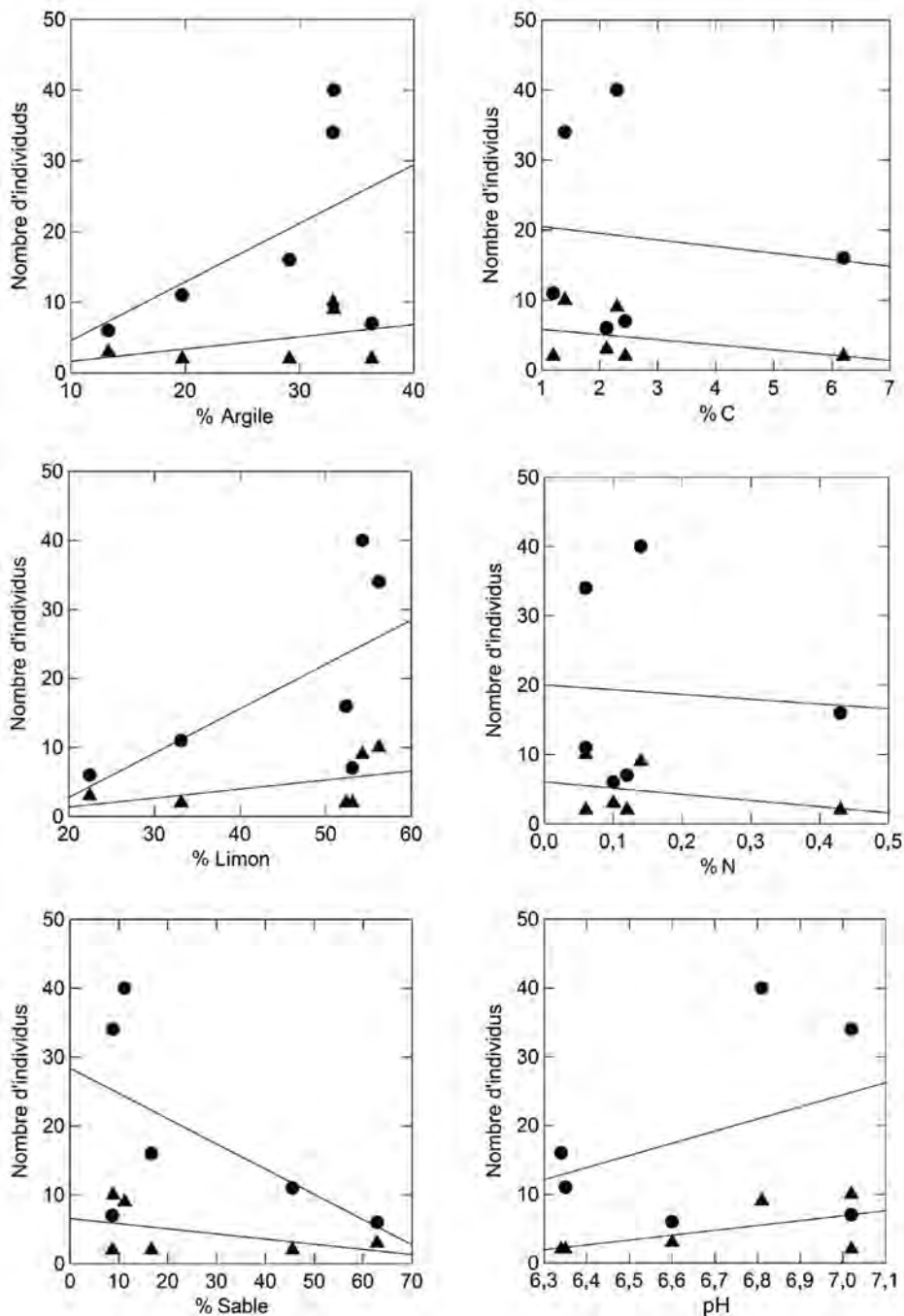
**Tableau 14-4.** Résultats d'analyse de variance entre les variables climatiques et le nombre d'individus capturés durant les saisons sèche et humide (combinées) dans les trous-pièges et pièges standard.

Variables	F	P
<b>Individus capturés dans les trous-pièges</b>		
Température minimale	6,566	0,001*
Température maximale	0,925	0,533
Précipitation journalière	4,636	0,008*
<b>Individus capturés dans les pièges standard</b>		
Température minimale	2,251	0,084
Température maximale	1,855	0,145
Précipitation	2,540	0,067

**Tableau 14-5.** Résultats d'analyse de régression des caractéristiques du sol en fonction du nombre d'individus capturés.

Variables	Saison humide		Saison sèche	
	r <sup>2</sup>	P	r <sup>2</sup>	P
% Sable	0,337	0,227	0,208	0,363
% Argile	0,262	0,299	0,168	0,280
% Limon	0,004	0,901	0,387	0,187
% C	0,014	0,823	0,128	0,487
% N	0,004	0,901	0,107	0,526
pH	0,142	0,462	0,337	0,227





**Figure 14-3.** Relation entre les caractéristiques du sol et les nombres de petits mammifères capturés dans les trous-pièges suivant les lignes de pièges dans la forêt de Beanka. Les résultats d'analyse de régression sont présentés dans le Tableau 14-5. Cercle plein = saison humide et triangle plein = saison sèche.

calculées entre le nombre d'individus capturés et la teneur en sable, le pourcentage du carbone et l'azote sont négatives.

### Relation biogéographique des petits mammifères de la forêt de Beanka avec les autres forêts sèches

En partant des résultats d'échantillonnages basés sur les mêmes efforts et le même protocole pour les captures des petits mammifères dans différents sites

de forêts sèches, y compris les sites sur *tsingy* et sur sol sableux (Tableau 14-6), l'analyse des relations biogéographiques a montré deux regroupements majeurs et un cas isolé (Indice de Sørensen, Tableau 14-7, Figure 14-4) :

- 1) le groupe des forêts sèches constitué par les sites de Masoarivo et Besalampy qui sont tous des forêts se développant sur sable.
- 2) le groupe des forêts sur *tsingy* constitué par le Bemaraha et Beanka.

**Tableau 14-6.** Distribution des espèces de petits mammifères dans différents sites de forêt sèche. Les sites sur sols sableux sont présentés en caractères gras et ceux sur calcaire *tsingy* sont en gras et soulignés.

Espèces	Masoarivo <sup>1</sup>	Besalampy <sup>1</sup>	Namoroka <sup>1</sup>	Bemaraha <sup>1</sup>	Beanka
<i>Microgale brevicaudata</i>	+	+	-	+	+
<i>Microgale grandidieri</i>	-	-	+	+	+
<i>Setifer setosus</i>	+	+	+	+	+
<i>Tenrec ecaudatus</i>	+	+	+	+	+
<i>Eliurus antsingy</i>	-	-	+	+	+
<i>Eliurus myoxinus</i>	-	+	-	+	+
<i>Nesomys lambertoni</i>	-	-	-	+	-
<b>Nombre total d'espèces de petits mammifères par localité</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>6</b>

<sup>1</sup>Soarimalala (2008).**Tableau 14-7.** Indices de Sørensen calculés à partir de la présence et de l'absence des espèces dans différents sites de forêts sèches. Les sites sur sols sableux sont présentés en caractères gras et ceux sur calcaire *tsingy* sont en gras et soulignés.

Sites	Masoarivo	Besalampy	Namoroka	Bemaraha	Beanka
<b>Masoarivo</b>	1,000				
<b>Besalampy</b>	0,857	1,000			
<u>Namoroka</u>	0,571	0,500	1,000		
<u>Bemaraha</u>	0,545	0,727	0,727	1,000	
<u>Beanka</u>	0,667	0,800	0,800	0,923	1,000

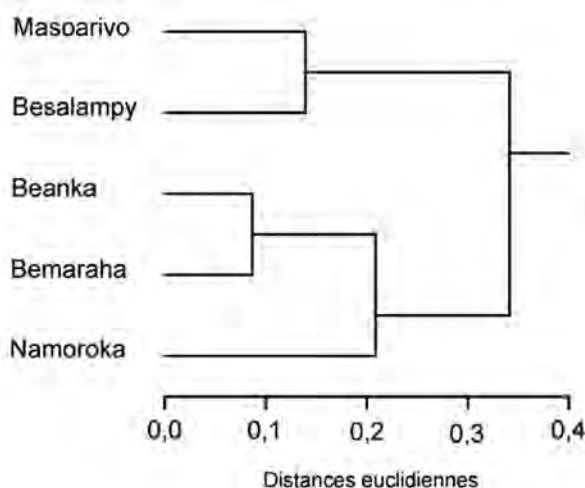
3) la forêt sur *tsingy* de Namoroka qui se détache de l'ensemble des sites considérés.

## Discussion

### Richesse spécifique

En général, les espèces de petits mammifères de la forêt de Beanka sont typiques des forêts sèches de l'Ouest malgache. Le site 2 a une richesse spécifique plus élevée (neuf espèces) que le site 1 (sept espèces). Les espèces absentes dans le site 1 sont *Microgale brevicaudata* et *Suncus etruscus*,

ce dernier étant introduit à Madagascar. L'absence de ces espèces dans le site 1 pourrait être liée à leur faible abondance. Il est aussi possible que l'absence de *M. brevicaudata* dans le site 1 soit associée aux caractéristiques du sol (Annexe 14-I) qui limite probablement l'abondance de la faune endogée, principale source de nourriture de ce genre (Soarimalala & Goodman, 2003). La texture du sol limono-argileux dans le site 2, plus riche en matières organiques, pourrait favoriser cette espèce

**Figure 14-4.** Dendrogramme de similarité faunique (Indice de Sørensen) des petits mammifères de la forêt de Beanka et des autres sites de forêts sèches occidentales.

par rapport à la texture sablo-limoneuse pauvre en matières organiques dans le site 1.

Dans l'ensemble, la richesse spécifique de la forêt de Beanka, avec six espèces autochtones de petits mammifères, est relativement élevée en comparaison avec les autres forêts sèches de l'Ouest (3-4 espèces ; Tableau 14-6). L'exception est le Bemaraha avec sept espèces autochtones. En plus des six espèces natives trouvées dans la forêt de Beanka, une espèce pourrait être présente dans cette zone forestière de *tsingy* : *Nesomys lambertoni*. Cette espèce a une distribution limitée dans le Parc National du Bemaraha. Les spécimens type de cette espèce ont été récoltés dans la région forestière de Maintirano (Grandidier, 1928), au nord de cette aire protégée et dans la région de Beanka. Une zone forestière qui n'est pas sur *tsingy* calcaire s'étend à quelques kilomètres à l'est de Maintirano. Elle se situe entre la limite nord du Massif du Bemaraha et la limite sud du Massif de Beanka. Une description détaillée de ce rongeur avec l'indication du nom vernaculaire qu'il porte dans la région du Bemaraha (*kibojenjy*), a été donné aux populations locales de la région de Beanka, mais il semble qu'ils ne connaissaient pas cet animal. Plus d'investigations méritent d'être conduites afin de confirmer la présence de cette espèce considérée comme en danger ou EN (IUCN, 2012).

La présence des espèces introduites (*S. murinus*, *S. etruscus* et *Rattus rattus*) dans la forêt de Beanka montre la capacité de ces animaux à coloniser des habitats forestiers. *Rattus rattus* et *S. murinus* sont plus fréquents dans le site 1 que dans le site 2 : ceci est probablement lié à la pression anthropique plus élevée et la proximité du village d'Ambinda du premier site. Le taux de capture le plus élevé de *R. rattus* pendant la saison sèche pourrait être lié à la disponibilité alimentaire. En outre, une étude sur l'interface entre les savanes herbeuses et la forêt menée dans la région de Beanka a indiqué que quelques espèces se trouvant dans l'écotone s'adaptent bien aux conditions non forestières (voir Randriandimbimahazo, 2013). *Suncus etruscus* est bien présente dans cette zone, et ceci confirme que cette espèce est largement savanicole.

### Particularité et relations biogéographiques

Compte tenu de la présence d'*Eliurus antsingy* dans les forêts sur *tsingy* du Bemaraha et de Namoroka (Carleton *et al.*, 2001 ; Goodman *et al.*, 2009) et la localisation de la forêt de Beanka entre ces deux parcs, la présence de cette espèce dans celle-ci n'est

pas étonnante. Toutefois, étant donné l'isolement de ces trois zones sur *tsingy*, particulièrement les blocs du Bemaraha et de Namoroka, les relations génétiques entre ces trois populations d'*E. antsingy* doivent être examinées en détail car elles pourraient avoir des conséquences sur la taxonomie du genre. Rappelons la récente description d'*E. carletoni* (Goodman *et al.*, 2009), une espèce sœur avec *E. antsingy*, qui a été décrite à partir d'échantillons collectés à l'Ankarana, une autre forêt sur *tsingy* située à 800 km au nord du complexe du Bemaraha-Beanka. Dans le cas de la fragmentation des habitats développés sur une zone calcaire au Sud-est de l'Asie, une différenciation génétique très élevée a été observée à l'intérieur de la population d'un genre de petits mammifères (Latinne *et al.*, 2011, 2012). Une comparaison génétique entre les populations du genre *Eliurus* en tenant compte des distances entre chaque bloc forestier sur *tsingy* pourrait fournir une information sur l'existence ou non d'un isolement par la distance (Rousset, 1997).

Une autre particularité de Beanka est la présence en syntopie de *Microgale brevicaudata* et *M. grandidieri* dans le site 2 (Goodman *et al.*, 2011). Cette dernière a été récemment décrite et est connue de quelques sites dans la partie centrale de l'Ouest de l'île (Olson *et al.*, 2009). Ces deux formes, représentent des espèces sœurs, sont morphologiquement similaires et certains indices basés sur des échantillons collectés dans les forêts sèches occidentales jusqu'en 2006 ont montré un chevauchement des distributions sur le plan altitudinal, mais aucun signe de sympatrie directe n'avait été observé. L'observation de ces deux espèces souligne l'importance de la poursuite des inventaires biologiques dans les zones forestières mal connues de Madagascar afin de mieux comprendre la distribution des organismes.

L'analyse de similarité (Figure 14-4) entre les forêts sèches sur *tsingy* (le Bemaraha, Beanka et Namoroka) et sur sable à proximité (Masoarivo et Besalampy) a montré que le regroupement de Masoarivo et de Besalampy est sûrement dû à la présence des espèces de la sous-famille des Tenrecinae (*Setifer* et *Tenrec*) ou du rongeur de la sous-famille des Nesomyinae (*E. myoxinus*) qui sont à large distribution. L'association du Bemaraha et de Beanka découle de la présence d'espèces plus spécialisées, telles que *E. antsingy* et *M. grandidieri*. La présence d'*E. antsingy* à Beanka confirme sa distribution qui est inféodée à la formation sur *tsingy*. Le détachement de Namoroka de l'ensemble des

sites est dû à l'absence de *M. brevicaudata* et d'*E. myoxinus*.

Des recherches plus approfondies devraient être réalisées pour confirmer l'absence de *M. grandidieri* à Masoarivo et à Besalampy, sachant qu'un grand nombre de *M. brevicaudata* a été capturé dans ces forêts (Soarimalala, 2008). Ainsi, à part Namoroka, *M. grandidieri* se trouve également à Kirindy CNFEREF et sur la rive du fleuve d'Onilahy où les forêts s'installent sur un sol dominé par du sable. Toutefois, il serait encore plus important de faire plus d'analyses sur le type de sol sableux préféré par cet animal. Un endroit idéal pour cette analyse est la forêt de Beanka où *M. grandidieri* vit en syntopie avec *M. brevicaudata*.

### Influence des conditions environnementales

L'évolution dans le même sens du nombre d'individus capturés dans la forêt de Beanka et la teneur en limon et en argile, ainsi que le pH du sol permet de prédire que l'élévation du pourcentage de ces deux paramètres physiques du sol et le pH presque basique ont une relation avec l'augmentation du nombre des petits mammifères capturés. Plus précisément, le sol à texture limono-argileux favorise un accroissement de l'abondance des Afrosoricida. L'évolution dans le sens opposé de la teneur en C, en N et en sable et le nombre d'individus capturés pourrait indiquer l'intolérance de ces animaux face à l'enrichissement en matières organiques et en sable. Ces résultats semblent en contradiction avec l'écologie de ces animaux : en effet, leurs ressources alimentaires dépendent surtout de la faune endogée qui devrait être plus abondante avec l'enrichissement en matières organiques. Il nous paraît important de procéder à des recherches approfondies pour confirmer cette constatation, car les résultats rapportés ici ne sont que fragmentaires et le nombre d'échantillons de sol analysés est très faible (1 seul/ligne de trous-pièges).

La comparaison du nombre d'individus capturés dans les trous-pièges et des variables climatiques comme les précipitations et la température minimale montre des corrélations significatives. Il est évident que les Afrosoricida sont plus actifs quand les précipitations sont abondantes, particulièrement dans les forêts sèches pendant la saison des pluies. A cela s'ajoute l'effet de la saison qui correspond également à la période de post-reproduction des animaux. Les captures de *M. grandidieri* dans les forêts galeries le long de la rivière Onilahy à proximité de Sept Lacs montrent un excellent exemple de cette

situation. Les inventaires ont été menés durant neuf périodes différentes de juillet 2001 à septembre 2002 durant les saisons chaude-pluvieuse et froide-sèche (Emmett *et al.*, 2003). Neuf des dix *M. grandidieri* ont été capturés pendant la période des pluies sporadiques (janvier-mars). En effet, les activités des Afrosoricida dépendent de l'abondance de leurs proies qui augmente durant la saison de pluie.

En revanche, le nombre d'individus capturés dans les pièges standard ne montre pas de différences significatives en fonction des précipitations ni des températures, mis à part pour *Tenrec ecaudatus*. Pour les frugivores/granivores, le facteur qui peut influencer la variation de l'abondance des rongeurs est la disponibilité des graines et des fruits. De ce fait, l'étude de la phénologie des plantes est importante pour savoir si la période de capture coïncide bien avec la période de fructification. La disponibilité élevée des ressources alimentaires pourrait influencer les activités des rongeurs et diminuer l'attrait des appâts placés dans les pièges.

### Perspectives

L'inventaire des petits mammifères dans la forêt de Beanka a révélé l'importance biologique de ce bloc forestier. Tout d'abord, il abrite une population importante d'*Eliurus antsingy* qui a une distribution limitée aux massifs du Bemaraha et de Namoroka. Une étude génétique moléculaire sur cette espèce est nécessaire pour pouvoir comparer la distance génétique de ces populations isolées afin de maximiser l'importance de la conservation des habitats sur *tsingy* en préservant non seulement les espèces mais aussi la diversité intraspécifique. Ensuite, la présence en syntopie de *Microgale brevicaudata* et *M. grandidieri* représente un intérêt en termes d'utilisation de niche écologique bien séparée pour deux espèces morphologiquement similaires.

Parmi les couvertures forestières restantes à Madagascar, les forêts de *tsingy* sont bien représentées dans le système des aires protégées et bien préservées des activités anthropiques par leur accès difficile et leur sol inexploitable pour l'agriculture. Il est néanmoins important d'avoir plus d'informations pour améliorer les plans d'aménagement pour les animaux sujets à l'exploitation. En effet, *Tenrec ecaudatus* présente une abondance élevée dans cette forêt malgré un degré de chasse élevé par la population locale à proximité de la forêt. La chasse est intense surtout durant la période de soudure qui coïncide avec

la période d'activité de ces animaux. Une chasse excessive pourrait entraîner un déclin de la densité de ces animaux. Une étude plus approfondie dans la forêt de Beanka permettrait de connaître le taux de renouvellement de leur population et ensuite de développer un programme d'exploitation rationnel. L'élevage de cette espèce en captivité ne posant pas de problèmes, il nous paraît intéressant d'envisager et de promouvoir cette solution.

## Remerciements

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à la Direction de la Conservation de la Biodiversité et du Système des Aires Protégées d'avoir délivré l'autorisation de recherche, à Biodiversity Conservation Madagascar (BCM) et à toute l'équipe à Beanka dirigé par Roger Randalana, ainsi qu'aux villageois d'Ambinda pour leur accueil chaleureux et leur aide précieuse pendant le travail sur le terrain. La Fondation Vontobel a généreusement financé ce projet. Sincères remerciements à Jörg Ganzhorn et Jean-Marc Duplantier pour leurs commentaires et critiques constructifs sur le manuscrit.

## Références bibliographiques

- Carleton, M. D., Goodman, S. M. & Rakotondravony, D. 2001.** A new species of tufted-tailed rat, genus *Eliurus* (Muridae: Nesomyinae), from western Madagascar, with notes on the distribution of *E. myoxinus*. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 114: 972-987.
- Cornet, A. 1974.** *Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar*. Notice explicative n°55, ORSTOM, Paris.
- Du Puy, D. J. & Moat, J. 2003.** Using geological substrate to identify and map primary vegetation types in Madagascar and the implications for planning biodiversity conservation. In *The natural history of Madagascar*, eds. S. M. Goodman & J. P. Benstead, pp. 51-67. The University of Chicago Press, Chicago.
- Emmett, D. A., Fanning, E. & Olsson, A. 2003.** The proposed Parc Regional de Belomotse: Biodiversity survey and conservation evaluation. Frontier Madagascar Environmental Research, Report 6. [http://www.frontier.ac.uk/publications/capability/FMER\\_Report6\\_2003.pdf](http://www.frontier.ac.uk/publications/capability/FMER_Report6_2003.pdf).
- Goodman, S. M. & Schütz, H. 2003.** Specimen evidence of the continued existence of the Malagasy rodent *Nesomys lambertoni* (Muridae: Nesomyinae). *Mammalia*, 67: 445-449.
- Goodman, S. M., Raheriarisena, M. & Jansa, S. A. 2009.** A new species of *Eliurus* Milne Edwards, 1885 (Rodentia: Nesomyinae) from the Réserve Spéciale d'Ankarana, northern Madagascar. *Bonner Zoologisches Beiträge*, 56: 133-149.
- Goodman, S. M., Zafindranoro, H. H. & Soarimalala, V. 2011.** A case of the sympatric occurrence of *Microgale brevicaudata* and *M. grandidieri* (Afrosoricida, Tenrecidae) in the Beanka Forest, Maintirano. *Malagasy Nature*, 5: 104-108.
- Grandidier, G. 1928.** Description d'une nouvelle espèce de *Nesomys*, le *N. lambertoni*, G. Grand. *Bulletin de l'Académie Malgache*, nouvelle série, 11: 95-99.
- IUCN. 2012.** IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Downloaded on 11 May 2013.
- Latinne, A., Waengsothorn, S., Herbreteau, V. & Michaux, J. R. 2011.** Evidence of a complex phylogeographic structure for the threatened rodent *Leopoldamys neilli*, in Southeast Asia. *Conservation Genetics*, 12: 1495-1511.
- Latinne, A., Waengsothorn, S., Rojanadilok P., Eiamampai, K., Sribuarod, K. & Michaux, J. R. 2012.** Combined mitochondrial and nuclear markers revealed a deep vicariant history for *Leopoldamys neilli*, a cave-dwelling rodent of Thailand. *Plos One*, 7: 1-10.
- Muldoon, K. M. & Goodman, S. M. 2010.** Ecological biogeography of Malagasy non-volant mammals: Community structure is correlated with habitat. *Journal of Biogeography*, 37: 1144-1159.
- Olson, L. E., Rakotomalala, Z., Hildebrandt, K. B. P., Lanier, H. C., Raxworthy, C. J. & Goodman, S. M. 2009.** Phylogeography of *Microgale brevicaudata* (Tenrecidae) and description of a new species from western Madagascar. *Journal of Mammalogy*, 90: 1095-1110.
- Rakotomalala, Z. & Goodman, S. M. 2010.** Diversité et remplacement longitudinal des espèces de petits mammifères dans les forêts des bassins versants des fleuves de l'Ouest de Madagascar. *Revue d'Ecologie*, 65: 343-358.
- Randriandimbimahazo, R. 2013.** Etude écologique des communautés de Vertébrés et d'Invertébrés terrestres dans un écotone savane-forêt sèche à Beanka, Maintirano. Mémoire de DEA, Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Rousset, F. 1997.** Genetic differentiation and estimation of gene flow from F-statistics under isolation by distance. *Genetics*, 145: 1219-1228.
- Soarimalala, V. 2008.** Les petits mammifères non-volants des forêts sèches malgaches. Dans Les forêts sèches de Madagascar, eds. S. M. Goodman & L. Wilmé. *Malagasy Nature*, 1: 106-134.
- Soarimalala, V. & Goodman, S. M. 2003.** The food habits of Lipotyphla. In *The natural history of Madagascar*, eds. S. M. Goodman & J. P. Benstead, pp. 1203-1205. The University of Chicago Press, Chicago.
- Soarimalala, V. & Goodman, S. M. 2011.** *Les petits mammifères de Madagascar*. Association Vahatra, Antananarivo.

**ANNEXE 14-I.** Résultats des analyses de sol dans les trois lignes de trous-pièges installés dans la forêt de Beanka. Pourcentage en carbone = C, pourcentage en nitrogène = N et rapport C/N, taux‰ en acide phosphorique assimilable =  $P_2O_5$  ; pourcentage en monoxyde de potassium =  $K_2O$  et de magnésium = MgO et Capacité d'Echanges Cationique Totale = CECT. 'Me' indique que l'extractif utilisé a été Mehlich-3.

Site	Nombre de ligne de trou-piège	Sable %	Argile %	Limon %	Couleur	Structure	Texture
1	1	45,6	19,7	33,1	Marron	Massive	Sablo limoneuse
1	2	62,9	13,3	22,5	Marron foncé	Grumeleuse	Sablo limoneuse
1	3	8,7	36,3	53,1	Noir	Massive	Limono argileuse
2	4	8,8	32,9	56,2	Noir	Massive	Limono argileuse
2	5	11,2	33,0	54,3	Marron	Grumeleuse	Limono argileuse
2	6	16,7	29,1	52,4	Rouge tacheté de noir	Grumeleuse	Limono argileuse

**Annexe 14-I (suite)**

Site	Nombre de ligne de trou-piège	pH	C %	N %	C/N	$P_2O_5$ ‰	$K_2O$ me %	MgO me %	CECT me %
1	1	6,4	1,2	0,06	20,0	0,06	0,08	0,06	7,4
1	2	6,6	2,1	0,10	21,2	0,06	0,07	0,05	6,4
1	3	7,0	2,4	0,12	20,3	0,05	0,07	0,05	9,8
2	4	7,0	1,4	0,06	23,3	0,08	0,08	0,07	9,4
2	5	6,8	2,3	0,14	16,4	0,12	0,10	0,07	13,2
2	6	6,4	6,2	0,43	14,4	0,13	0,12	0,08	14,4

