

LISTE DES ABREVIATIONS

- IUCN**: International Union for Conservation of Nature
- RN** : Route Nationale
- PNR** : Parc Nationale de Ranomafana
- TEAM** : Tropical Environmental Assessment Monitoring
- Centre Valbio** : Centre de Valorisation de la Biodiversité
- CBQ** : Circonférence de la base de la queue
- CMQ** : Circonférence de la moitié de la queue
- CP** : Circonférence de la Poitrine
- CH** : Circonférence de la hanche
- CB** : Circonférence du Biceps
- CC** : Circonférence de la Cuisse
- LC** : Longueur du corps (de la voûte crânienne à la base de la queue)
- MO** : Masse corporelle observée
- LQ** : Longueur de la queue
- LoT** : Longueur de la tête
- laT** : Largeur de la tête
- LTC** : Longueur totale du corps
- VC** : Volume du corps
- VT** : Volume de testicule
- TR** : Température rectale
- TS** : Température du site
- PL** : Pluviométrie
- MC** : Masse corrigée ou normée pour la longueur totale du corps (Scaled Mass Index, **SMi**)
- CC** : condition corporelle
- IG** : Indice de gabarit
- OPG** : Œuf ou oocyste par gramme de fèces
- RSP** : Richesse Spécifique
- ACP** : Analyse en Composante Principale
- MLGM**: Modèle linéaire général mixte (Generalized Linear Mixed Model, **GLMM**)
- CIA** : Critère d'Information d'Aikaike (Aikaike Information Criterion, **AIC**)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Signification du coefficient de corrélation r	27
Tableau 2 : Le type et le nom de variables disponibles dans cette étude	31
Tableau 3: Tableau synthétisant les différents paramètres et analyses statistiques utilisées dans cette étude	32
Tableau 4: Moyennes des œufs par gramme de fèces pour <i>Strongyloides</i> et <i>Hymenolepis</i> , Oocyste moyenne par gramme de fèces pour le <i>Coccidia</i> , nombre de poux moyens pour l'ectoparasite, Richesse spécifique moyenne de parasite.	43
Tableau 5: Résultats des analyses des prévalences d'infections parasitaires	45
Tableau 6: Modèle linéaire général mixte (MLGM) de facteur d'abondance parasitaire chez <i>Microcebus rufus</i>	48
Tableau 7 : Modèle linéaire général mixte (MLGM) sur la variation de richesse spécifique parasitaire chez <i>Microcebus rufus</i>	51
Tableau 8: Statistique descriptive des indices de condition corporelle	54
Tableau 9 : Modèle linéaire général mixte (MLGM) de la variation de l'IG chez <i>Microcebus rufus</i>	57
Tableau 10 : Modèle linéaire général mixte (MLGM) de la variation de MC chez <i>Microcebus rufus</i>	60
Tableau 11: Modèle linéaire général mixte (MLGM) de la variation de la CC chez <i>Microcebus rufus</i>	63

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation du site de capture au Parc National de Ranomafana 7

Figure 2: Climatogramme du Parc National de Ranomafana du 2005 à 2015 8

Figure 3: *Microcebus rufus* vue de profil et vue latérale..... 13

Figure 4: Lame Mac Master, quelques matériels utilisés pour l'analyse des parasites gastro-intestinaux..... 15

Figure 5: Installation du piège Sherman, relâchement des Microcèbes 17

Figure 6: Les différents points morphométriques mesurés 18

Figure 7: La séance de prise de données morpho-physiologiques 18

Figure 8: Détermination du sexe des individus Microcèbes, et observation de l'état physiologique de l'appareil génital 19

Figure 9: Espace de travail dans le laboratoire en parasitologie du Centre Valbio..... 20

Figure 10: Séance de préparation des matières fécales et analyse des parasites gastro-intestinaux..... 22

Figure 11: Recherche des ectoparasites dans la peau des individus capturés 22

Figure 12: Démarche à suivre pour la réalisation de l'analyse en composante principale 29

Figure 13: Variation du nombre de capture de *Microcebus rufus* mâle et femelle en fonction de a) l'année d'étude, b) site de capture 33

Figure 14: Variation du nombre de capture de *Microcebus rufus* mâle et femelle en fonction de a) mois de capture, b) période de capture 34

Figure 15: Œuf de *Strongyloides sp.* Chez *Microcebus rufus* 36

Figure 16: Œuf de *Trichuris sp.* Chez *Microcebus rufus* 37

Figure 17: Œuf de *Trichostrongylus sp.* Chez *Microcebus rufus* 38

Figure 18: Œuf d'*Ascaris sp.* Chez *Microcebus rufus* 39

Figure 19: Œuf d'*Hymenolepis sp.* Chez *Microcebus rufus* 40

Figure 20: Oocystes de coccidé non identifié Chez *Microcebus rufus* 41

Figure 21: *Lemurpediculus verruculosus* trouvé Chez *Microcebus rufus*..... 41

Figure 22: Prévalence globale d'infection parasitaire chez les *Microcebus rufus* au Parc Nationale de Ranomafana..... 42

Figure 23: Diagramme de fréquence de la richesse spécifique parasitaire chez les *Microcebus rufus* au Parc Nationale de Ranomafana..... 44

Figure 24: Variation significative de l'abondance parasitaire au niveau de sexe de *Microcebus rufus* 49

Figure 25: Variation significative de l'abondance parasitaire au niveau des sites de capture de <i>Microcebus rufus</i>	50
Figure 26: Variation significative de la richesse spécifique de parasite au niveau de sexe de <i>Microcebus rufus</i>	52
Figure 27: Corrélation linéaire entre la masse corrigée et l'indice de gabarit chez <i>Microcebus rufus</i> durant l'année d'étude	55
Figure 28: Corrélation linéaire entre la condition corporelle et l'indice de gabarit chez <i>Microcebus rufus</i> durant l'année d'étude	56
Figure 29: Variation significative de l'indice de gabarit en fonction de l'interaction de l'année d'étude et le sexe du <i>Microcebus rufus</i>	58
Figure 30: Variation significative de l'indice de gabarit en fonction de l'interaction du sexe et le période de capture de <i>Microcebus rufus</i>	59
Figure 31: Variation de la masse corrigée pour la longueur du corps au cours de l'année d'étude	61
Figure 32: Variation significative de la masse corrigée en fonction du sexe et de la période de capture	62
Figure 33: Variation de la condition corporelle de la population de <i>Microcebus rufus</i> selon le facteur année d'étude.....	64
Figure 34: Variation significative de la condition corporelle des groupes de <i>Microcebus rufus</i> selon le site d'étude	65
Figure 35: Variation significative de la condition corporelle chez la population de <i>Microcebus rufus</i> selon l'interaction du facteur sexe et année d'étude.....	66

LISTE DES EQUATIONS

Équation 1: Calcul du volume approximatif du corps 18

Équation 2: Calcul du volume testiculaire des mâles de Microcèbes..... 19

Équation 3: Méthode de Calcul de Masse corrigée pour la taille ou Scaled Mass index 23

Équation 4: Calcul de condition corporelle (ou la différence entre MO et MC)..... 23

Équation 5: Formule de la moyenne 24

Équation 6: Formule de l'écart-type 24

Équation 7: Formule de la covariance 25

Équation 8: Formule théorique de X^2 26

Équation 9: Formule théorique du test t de Student 26

Équation 10: Formule théorique du test F (analyse de variance) 27

Équation 11: Formule théorique de corrélation r de Pearson 27

Équation 12: Formule théorique de corrélation ρ de Spearman..... 28

Équation 13: Formule théorique de la régression linéaire 28

Équation 14: Formule théorique du modèle linéaire mixte général 30

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Fiche de collecte de données morpho physiologiques	I
Annexe 2: <i>Microcebus rufus</i> capturé selon le sexe, site, période, et année d'étude	II
Annexe 3: Résultat de corrélation (rho Spearman) entre les prévalences parasitaires, richesse spécifique.....	III
Annexe 4: Matrice de corrélation (Pearson) entre les abondances parasitaires, richesse spécifique.....	IV
Annexe 5: Résultat d'analyse d'ACP pour les abondances parasitaires	V
Annexe 6: Paramètres estimés à partir de MLGM pour évaluer la variation d'abondance parasitaire chez <i>Microcebus rufus</i>	VI
Annexe 7: Paramètres estimés à partir de MLGM pour évaluer la variation de richesse spécifique chez <i>Microcebus rufus</i>	VII
Annexe 8: Résultat d'ACP pour le calcul d'indice de gabarit (IG).....	VIII
Annexe 9: Matrice de corrélation entre les indices de condition corporelle, mesures d'infection parasitaires, température rectale, volume testiculaire.	IX
Annexe 10: Paramètres estimés à partir de MLGM pour évaluer la variation d'Indice de Gabarit chez <i>Microcebus rufus</i>	X
Annexe 11: Paramètres estimés à partir de MLGM pour évaluer la variation de la masse corrigée pour la taille (MC) chez <i>Microcebus rufus</i>	XI
Annexe 12: Paramètres estimés à partir de MLGM pour évaluer la variation de condition corporelle (CC) chez <i>Microcebus rufus</i>	XII
Annexe 13: statistique descriptives des variables morphométriques	XIII
Annexe 14: Pathologie, Mode de contamination, localisation et méthode de diagnostique des parasites gastro-intestinaux et ectoparasite de <i>Microcebus rufus</i>	XIII
Annexe 15 : Les Publications	XVI

TABLE DES MATIERES

RESUME	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES EQUATIONS	ix
LISTE DES ANNEXES	x
TABLE DES MATIERES	xi
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES	
I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1. APERCU GENERALE SUR LES PARASITES GASTROINTESTINAUX DES LEMURIENS	4
2. CONNAISSANCE SUR LA CONDITION CORPORELLE	5
II. SITES D'ETUDE.....	6
1. PRESENTATION DES SITES D'ETUDE.....	6
2. CLIMAT	7
3. ENVIRONNEMENT	8
a. Milieu abiotique	8
b. Milieu biotique	9
DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES	
I. MATERIELS BIOLOGIQUES.....	12
1. POSITION SYSTEMATIQUE DE <i>Microcebus rufus</i>	12
2. MORPHOLOGIE.....	12
3. BIOLOGIE, ECOLOGIE, PHYSIOLOGIE, STATUT DE CONSERVATION	13
II. MATERIELS DE TRAVAIL.....	14
1. POUR LA CAPTURE.....	14
2. POUR LA MENSURATION.....	14
3. POUR LA COLLECTE DE MATIERES FECALES	15
4. POUR L'ANALYSE DES PARASITES GASTRO-INTESTINAUX	15
III. METHODES D'ETUDES.....	15
1. METHODE DE CAPTURE.....	15

Table des Matières

a.	Lieu d'emplacement des pièges	16
b.	Protocole de capture	16
2.	METHODE DE TRAVAIL AU LABORATOIRE.....	17
a.	Collecte des données morpho-physiologiques	17
b.	Collectes des fèces et analyse des parasites gastro-intestinaux.....	19
3.	METHODE DE CALCUL DE CONDITION CORPORELLE DU <i>Microcebus rufus</i>	22
4.	ANALYSES STATISTIQUES	24
a.	Statistique descriptive	24
b.	Statistique analytique	25
TROISIEME PARTIE :		
I.	<i>MICROCEBUS RUFUS</i> CAPTURE.....	33
II.	PARASITOLOGIE	35
1.	LES PARASITES GASTRO-INTESTINAUX RENCONTRES CHEZ LE <i>MICROCEBUS RUFUS</i>	35
a.	Description et position systématique des différentes espèces de parasites trouvées	35
2.	STATISTIQUE DESCRIPTIVE SUR LES INFESTATIONS PARASITAIRES	42
a.	Prévalence globale.....	42
b.	Abondance parasitaire moyenne et richesse spécifique	42
3.	ANALYSE DES INFESTATIONS PARASITAIRES	44
a.	Analyse de prévalence parasitaire selon le sexe, site, période et année d'étude	44
b.	Corrélation entre les mesures d'infections parasitaires chez <i>Microcebus rufus</i>	46
4.	MODELISATION SUR LA VARIATION D'ABONDANCE, DE RICHESSE SPECIFIQUE DES PARASITES SELON LES FACTEURS SOCIO-ECOLOGIQUES	47
a.	Variation de l'abondance parasitaire.....	47
b.	Variation de la richesse spécifique des parasites.....	51
III.	ANALYSE DES CONDITIONS CORPORELLE DES <i>MICROCEBUS RUFUS</i>	53
1.	STATISTIQUE DESCRIPTIVE DES INDICES DE CONDITION CORPORELLE	53
a.	Indice de gabarit (IG)	53
b.	Masse corrigée pour la longueur du corps (MCi).....	53
c.	Condition corporelle (CC).....	54
2.	CORRELATION ET SIGNIFICATION ENTRE LES INDICES DES CONDITIONS CORPORELLES	55
a.	Corrélation entre MC et IG	55
b.	Corrélation entre IG et condition corporelle CC	56

IV. ANALYSE DES EFFETS DES FACTEURS SOCIO-ECOLOGIQUES ET LES MESURES D'INFECTIONS PARASITAIRES SUR LES INDICES DE CONDITION CORPORELLE CHEZ LES <i>MICROCEBUS RUFUS</i>	57
1. EFFETS DES FACTEURS SOCIO-ECOLOGIQUES ET LES MESURES D'INFECTIONS PARASITAIRES SUR LA VARIATION DE L'INDICE DE GABARIT	57
2. EFFETS DES FACTEURS SOCIO-ECOLOGIQUES ET LES MESURES D'INFECTIONS PARASITAIRES SUR LA VARIATION DE LA MASSE CORRIGEE POUR LA TAILLE.....	60
3. EFFETS DES FACTEURS SOCIO-ECOLOGIQUES ET LES MESURES D'INFECTIONS PARASITAIRES SUR LA VARIATION DE LA CONDITION CORPORELLE.....	63
QUATRIEME PARTIE : DISCUSSIONS	
I. RESULTATS DE CAPTURE.....	67
II. ANALYSE D'INFECTIONS PARASITAIRES CHEZ <i>MICROCEBUS RUFUS</i>	68
III. ANALYSE DE CONDITION CORPORELLE CHEZ <i>MICROCEBUS RUFUS</i>	71
IV. ANALYSE DES EFFETS DES FACTEURS SOCIO-ECOLOGIQUES ET LES MESURES D'INFECTIONS PARASITAIRES SUR LES INDICES DE CONDITIONS CORPORELLES CHEZ LES <i>MICROCEBUS RUFUS</i>	73
CONCLUSION	68
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76
ANNEXES	I

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La connaissance de condition corporelle d'un animal est d'une importance considérable aussi bien dans beaucoup d'études écologiques que dans la détection de maladies (Coop et Holmes 1996 ; Alzaga *et al.*, 2008 ; Munyeme *et al.*, 2010)^{32, 4, 84}, elle sert aussi d'outil de la gestion des faunes (Ezenwa *et al.*, 2010)⁴¹, et constitue un indicateur important pour beaucoup de maladies infectieuses pouvant affecter l'aptitude d'un individu (Sheldon et Verhulst, 1996)¹¹⁶. Les animaux en mauvaise condition sont souvent chargés beaucoup de parasites qu'un individu en meilleure condition (Wilford *et al.*, 1986 ; Chapman *et al.*, 2006 ; Tompkins *et al.*, 2011)^{123, 27, 120}. En outre ils sont susceptibles aux infections parasitaires, entraînant à "de cercle vicieux" d'infections parasitaires continues et présentent une détérioration de santé (Beldomenico et Begon, 2010)¹⁴.

Ainsi, les parasites jouent un rôle primordial dans les écosystèmes tropicaux et affectent non seulement l'écologie, l'évolution de l'interaction intra et interspécifique (Kappeler et Van Schaik, 2002 ; Kappeler *et al.*, 2015)^{70, 69}, mais aussi les régulations de la santé des espèces hôtes (Esch et Fernandez, 1993 ; Hudson *et al.*, 1998 ; Hochachka et Dhondt, 2000 ; Hudson *et al.* 2002 ; Loudon *et al.*, 2006)^{40, 61, 57, 60, 76}. Comprendre le fonctionnement des populations de parasites et la condition de l'hôte au sein des écosystèmes est crucial, tant dans la compréhension de leur comportement (Schwitzer *et al.*, 2010)¹¹⁴ que dans le but de décrypter le risque épidémiologique sur la santé (Silk, 1986 ; Sanchez-Villagra *et al.*, 1998 ; Gillespie et Chapman, 2008)^{117, 109, 49}.

Le concept de "condition corporelle" n'a cessé d'être approfondi par les biologistes et particulièrement par les écologistes ces dernières années. En effet, la mesure du stockage énergétique est devenue cruciale dans l'étude des mammifères (Krebs et Singleton, 1993 ; Schulte-Hostedde *et al.* 2001 ; Green, 2001)^{72, 113, 53}. Tous s'accordent à dire que la mesure directe de la graisse, est le meilleur procédé, qui est malheureusement nuisible pour les animaux. Progressivement, les recherches ont évolué et le procédé qui établit le rapport entre la masse et la taille est considéré comme celui qui est inoffensif. Ce procédé a été pratiqué sur diverses espèces animales, à part les primates. Cependant, les études sur le changement de la condition corporelle et l'effet des infections parasitaires sur la santé des primates demeurent des questions prioritaires en anthropologie biologique concernant les relations parmi les

comportements, l'anatomie, la plasticité physiologique (c'est-à-dire la faculté d'adaptation) et la survie des primates (Martinez-mota, 2015)⁷⁹.

Bien que des études sur la condition corporelle, l'alimentation, les parasites et la maladie ont été menées sur les singes en captivité et en milieu naturel (Chapman *et al.*, 2006, Altizer *et al.*, 2007)^{27, 3}, peu d'informations sont encore connus au sujet des indices de condition corporelle, les facteurs de risque d'infection parasitaire, ainsi la relation entre la condition corporelle et les parasites chez les primates prosimiens comme les lémuriens, particulièrement chez les espèces nocturnes. Ainsi, la collecte des données de bases descriptives et analytiques sur la condition corporelle et les infections parasitaires est importante dans la détermination des modèles d'état de santé et aidera dans la gestion efficace de la maladie et l'organisation de la conservation des espèces des lémuriens dans un site donné.

Le Parc National de Ranomafana (sud-est de Madagascar) est un site naturel, classé dans la catégorie A en matière de conservation (regroupant les aires protégées possédant une biodiversité exceptionnelle et un niveau supérieur de menace) donc il constitue un centre d'intérêt pour la recherche (Grenfell, 1995)⁵⁴. Il abrite 13 espèces des lémuriens à Madagascar. Parmi ces espèces nous avons choisi d'étudier un membre de la famille du Cheirogaleidae (*Microcebus rufus* : lémuriens souris roux). Pourquoi ce choix ? Cette espèce est la plus répandue et fait partie des lémuriens facilement adaptés à des forêts secondaires et à une végétation dégradée comme celles de Ranomafana, donc possible de rencontrer des différents types de parasites. Ensuite, elle est caractérisée par sa capacité de stabiliser la température corporelle (thermorégulation) ainsi que l'ensemble de ses fonctions physiologiques, selon les conditions environnementales et climatiques saisonnières. Ces rythmes biologiques constituent un avantage adaptatif puisqu'ils permettent d'harmoniser les rapports entre l'organisme et les variations cycliques de l'environnement. Ainsi, l'animal peut économiser une énergie considérable et contrebalancer les énergies qu'il dépense pendant l'activité nocturne. Ce phénomène entraîne des changements de la physiologie en général et aussi de l'apparence externe surtout au niveau de la queue dans laquelle l'animal stocke des graisses utilisées comme source d'énergie pendant la période où il est en torpeur ou en hibernation (Atsalis, 1998 ;1999)^{8, 9}. Alors c'est un bon modèle pour l'étude de condition corporelle et l'écologie d'infection parasitaire des lémuriens, selon les facteurs socio-

écologiques (sexe, année d'étude, site et période de capture, la pluviométrie et la température du site) présents en milieu naturel en vue de la gestion de conservation.

En effet, le but de cette étude est d'examiner les indices de condition corporelle, l'infection parasitaire et l'effet synergique des facteurs socio-écologiques et l'infection parasitaire sur la condition corporelle. L'analyse des caractères morpho-physiologiques et l'examen de matières fécales semblent être des méthodes les plus puissantes pour atteindre ce but. Dans ce cas, les objectifs spécifiques sont de calculer les paramètres qui déterminent la condition corporelle de cette espèce, de rechercher les parasites qui l'infecte, de déterminer les rapports entre les indices de condition physique et les mesures d'infection parasitaire, puis de modéliser les effets des facteurs sexe, site, saison, année d'étude ainsi que les facteurs environnementaux comme la pluviométrie et la température de la zone sur la condition corporelle.

Ces objectifs nous amènent à avancer les hypothèses suivantes :

H1 : Les indices de la condition corporelle sont associés positivement,

H2 : Les mesures d'indice corporel varient en fonction du sexe, saison, site et année d'étude

H3 : Les mesures d'infection parasitaire varient en fonction du sexe, saison, site et année d'étude

H4 : Les facteurs socio-écologiques, environnementaux, et les mesures d'infection parasitaire interagissent sur la condition corporelle de *Microcebus rufus*.

Les résultats attendus sont les suivants :

- Les relations possibles entre les différents paramètres étudiés
- La description morpho-physiologiques de *Microcebus rufus* selon les facteurs socio-écologiques
- L'implication de l'étude de l'infection parasitaire et indice de condition corporelle à l'état de santé de l'animal considéré
- L'état de santé et le degré adaptatif de *Microcebus rufus* dans le Parc National pendant les périodes d'études déterminées.

PREMIERE

PARTIE :

GENERALITES

I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

L'analyse documentaire est d'une importance capitale pour la réalisation des travaux scientifiques (avant et après les collectes de données) et c'est un guide pour rédiger un article scientifique. En effet, les publications, les revues scientifiques et les ouvrages ont offert des renseignements et des représentations utiles sur cette étude.

1. APERÇU GÉNÉRAL SUR LES PARASITES GASTROINTESTINAUX DES LÉMURIENS

D'après les revues documentaires, plusieurs chercheurs ont effectué des études sur les parasites des lémuriens à Madagascar. Parmi eux, quelques auteurs se focalisaient principalement sur l'identification et description des parasites gastro-intestinaux comme dans les travaux de Baer (1935)¹², Chabaud et Choquet (1955)²⁰, Chabaud et Brygoo (1956)¹⁹, Chabaud et Petter (1958, 1959)^{21, 22}, Chabaud *et al.* (1961a, 1961b, 1964, 1965)^{24, 26, 23, 25}, Petter *et al.* (1972)⁹⁴. Le résumé de ces recherches antérieures a révélé que 20 espèces sont considérées comme d'authentiques parasites des lémuriens malgaches. Quelques-uns de ces parasites sont très fréquents chez les lémuriens. A savoir : *Lemurostrongylus* sp., *Pararabdonema longistriata*, *lemuricola* sp., *Callistura* sp., *Enterobius lemuris* sp., *Ascaris* sp., *Subulura* sp., *Trichuris lemuris* sp.

L'état actuel des connaissances sur les parasites de lémuriens a été synthétisé par Irwin et Raharison en 2009⁶⁵. On a pu mettre en évidence la présence de 27 espèces d'helminthes dont 22 espèces de nématodes, trois espèces de plathelminthes et deux espèces d'acanthocéphales, ainsi que de 12 espèces de protozoaires affectant les lémuriens dans leur milieu naturel (Rasambainarivo, 2013)¹⁰⁴. Toutefois, on connaît encore peu de choses sur l'écologie parasitaire de ces animaux. Plus récemment, des travaux de recherche sur la santé des lémuriens ont permis d'étendre les connaissances par rapport aux parasites des lémuriens dans le milieu naturel (Junge et Louis, 2007 ; Dutton *et al.*, 2008 ; Junge *et al.*, 2008 ; Clough, 2009 ; Irwin *et al.*, 2010 ; Junge *et al.*, 2011)^{68, 38, 67, 28, 64, 66} et en captivité (Rasambainarivo et Junge, 2010)¹⁰⁴. Cependant, les facteurs et les effets de la présence de ces parasites restent à découvrir.

2. CONNAISSANCE SUR LA CONDITION CORPORELLE

La condition corporelle des animaux est un concept majeur en écologie. De nombreuses méthodes de mesure de cette condition corporelle ont été élaborées afin de la déterminer le plus précisément possible. Cependant, il n'existe toujours pas de consensus à l'heure actuelle sur le meilleur indice de condition corporelle. Elle est généralement considérée par les scientifiques comme la masse, la taille ou l'apparence des réserves énergétiques conservées par les mammifères à partir de l'environnement pour leur croissance, mais aussi pour maintenir leurs tissus et organes ainsi que pour supporter les coûts de leurs activités biologiques. La condition corporelle est donc intimement liée à leur santé, leur qualité et leur vigueur et est largement reconnue comme étant un important déterminant de la valeur adaptative des individus (fitness).

En effet, l'estimation de la condition corporelle est utilisée pour déterminer l'influence des facteurs tels que la dégradation de l'environnement, le paramètre d'histoire de vie naturelle et l'interaction écologique sur la santé de l'animal (Stevenson et Woods, 2006 ; Turner *et al.*, 2012)^{118, 121}.

La condition corporelle peut aussi être influencée par l'infection parasitaire; chez les populations sauvages, beaucoup d'exemples existent sur l'association de l'infection des parasites gastro-intestinaux avec la détérioration de la condition corporelle de l'hôte (Holmstad *et al.*, 2005; Lello *et al.*, 2005; Newey *et al.*, 2005; Hakkarainen *et al.*, 2007; Craig *et al.*, 2008)^{58, 74, 89, 56, 33}. Dans un hôte, l'infection due aux parasites gastro-intestinaux peut causer une réduction volontaire du taux de prise alimentaire, altérer la fonction digestive et le métabolisme de protéine (Fox 1997)⁴⁴ puis la perte de la protéine endogène (Van Houtert et Sykes, 1996)¹²². Tout symptôme pourrait réduire la capacité d'un individu infecté pour maintenir ou augmenter la condition corporelle. Un individu peut perdre la condition par l'effet direct des symptômes d'une maladie et en plus, l'animal en mauvais état de santé peut réduire la capacité de contrôler l'infection (Beldomenico *et al.*, 2008)¹⁴ ou peut changer son comportement fourrageant dans les chemins qui augmente l'exposition aux parasites (Hutchings *et al.*, 1999)⁶³. Quel que soit la cause ultime, une réduction de l'association parasite dans la condition de l'hôte pourrait diminuer la survie d'un individu parasité (Gulland, 1992; Hudson *et al.*, 1992; Murray *et al.*, 1997)^{55, 62, 85}. Pour les espèces sauvages avec plusieurs prédateurs naturels, la réduction de la condition corporelle par suite d'une

infection parasitaire peut augmenter la vulnérabilité à la prédation (Murray *et al.*, 1997 ; Turner *et al.*, 2012)^{85, 121}.

A notre connaissance, peu d'études sur les effets des parasites gastro-intestinaux sur les conditions corporelles ainsi que le facteur favorisant d'existence de ces parasites chez les primates, voire chez les lémuriens (Junge *et al.*, 2011; Rafalinirina, 2013; Rakotoniaina *et al.*, 2016)^{66, 97, 102} ont été jusqu'ici effectuées.

II. SITES D'ETUDE

1. PRESENTATION DES SITES D'ETUDE

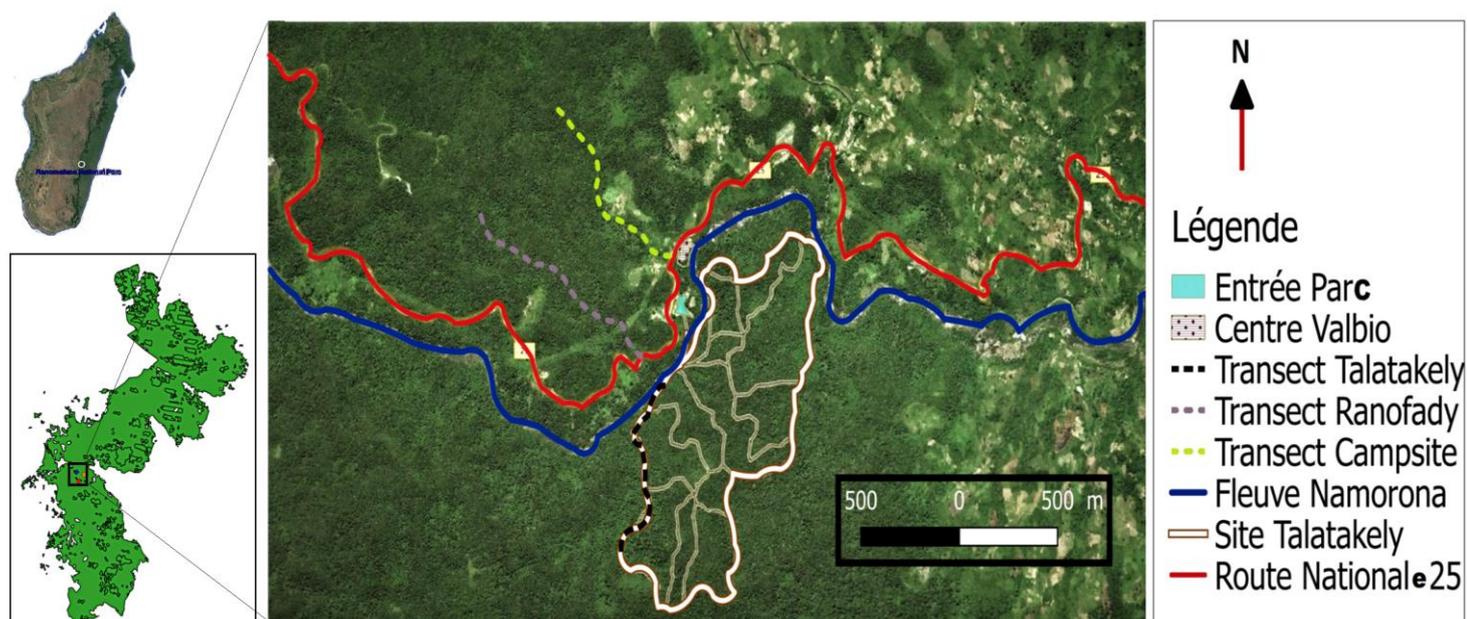
Le Parc National de Ranomafana se trouve dans le Sud-Est de Madagascar. Il est localisé à 65 km au Nord-Est de la ville de Fianarantsoa et adjacent au village de Ranomafana, la RN 25 reliant Fianarantsoa et Mananjary le coupe en deux. Il se situe dans la position géographique latitude Est : 047°20', S21°16', et longitude Sud : 21°16' avec une altitude se situant entre 400m et 1417m (Wright, 1992 ; Wright et Andriamihaja, 2002)^{126, 125}. Le Parc couvre une superficie de 41613 ha et est subdivisé en 3 parcelles.

Les *Microcebus rufus* ont été capturés dans trois transects différents dans le premier et la troisième parcelle, du mois d'Août jusqu'au mois de Décembre 2012, 2013 puis 2015 (**figure n° 1**) :

-Deux transects ont été établis dans la périphérie de la parcelle 1 qui sont situés dans :

- Le circuit Ranofady (E047° 25'12.1'', S21° 15'36.8'') considéré comme un circuit rarement visité par les touristes,
- La zone de campement du Centre Valbio (E047°25'10.7'', S21 °15'12.1'') zone à forte perturbation humaine.

-Un transect dans la parcelle 3 qui est le site touristique de Talatakely (E 047°25'17.0'', S 21 °15'43.5''), qui était une zone d'occupation sélective avant la création du parc national en 1991 (Wright *et al.*, 2009)¹²⁸.



Système de coordonnées: WGS 84 (EPSG 4326), Source: Google Earth

Figure 1: Localisation du site de capture au Parc National de Ranomafana (source : RAFALINIRINA 2012-2015)

2. CLIMAT

Concernant la température, la pluviométrie et l'humidité autour de l'année d'étude : la température varie d'un endroit à un autre avec une moyenne annuelle de 21°C. La température peut être très élevée au mois de novembre avec un maximum de 33°C et très faible au mois de mai avec un minimum de 5°C (Nicoll et Lagrand, 1989)⁹⁰.

La précipitation annuelle est variable d'une année à une autre en fonction des dépressions tropicales et des cyclones. Elle varie en moyenne entre 2300 mm à 3000 mm. La pluie est abondante entre décembre et Mars (4000 mm), mais faible de mai en octobre (90 mm).

L'humidité relative est de l'ordre de 90% à 98% qui se traduit par la teneur en vapeur d'eau de l'air. La valeur de l'humidité relative est très élevée du mois de décembre jusqu'en Mars correspondant aux valeurs maximales des moyennes de précipitation. Cette forte

humidité est due à une intense évapotranspiration des feuilles et une évaporation des eaux de surface (Rambinintsoa, 1999)¹⁰³.

Pour cette étude, les données climatologiques sont fournies par la Station Météorologique du TEAM (Tropical Environmental Assessment Monitoring) au Centre Valbio. Ces données concernent les valeurs moyennes mensuelles des précipitations, des températures, et de l'humidité du 2005 au 2015 (**figure n°2**).

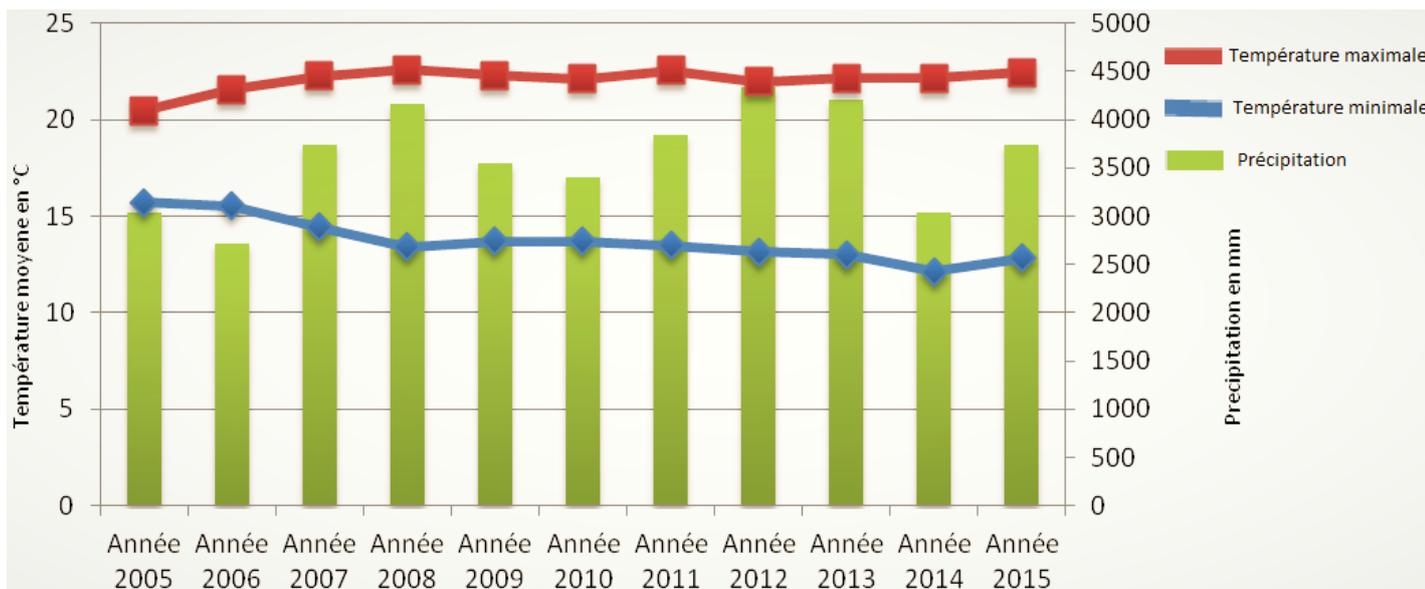


Figure 2: Climatogramme du Parc National de Ranomafana du 2005 à 2015

(Source, TEAM 2015)

3. ENVIRONNEMENT

a. Milieu abiotique

i. Relief

Le Parc National de Ranomafana présente un relief très accidenté avec une variation altitudinale se situant entre 1375m (ou 4509 pieds) qui est le point culminant du parc (Mont Maharira au Sud) et 400m vers la région de Sahavoemba. Cette région est formée par des collines encaissantes et des vallons très étroits (Rambinintsoa, 1999)¹⁰³. Géologiquement le sol de la région de Ranomafana est constitué par des gneiss migmatitiques précambriens et des migmatites schisteuses à biotites intercalés par des micaschistes. Ces formations sont aussi traversées par des filons et des lentilles granitiques (Besairie, 1973)¹⁶.

ii. Hydrographie

La forêt constitue le plus grand réservoir hydraulique de la région du Sud Est de Madagascar. Il y existe des grandes rivières comme le Faraony (au Sud), Namorona (au Centre), Manananonoka (au Nord). Mais c'est le Namorona qui fournit l'électricité du central hydroélectrique du Sud Est de Madagascar.

Dans la forêt il existe aussi plusieurs petits cours d'eau qui tombent parfois en cascade ou forment des rivières.

iii. Pédologie et géomorphologie

Le sol du parc national de Ranomafana est très acide (pH= 3,6 à 5,0), avec une forte concentration en fer, en aluminium alors que les minéraux comme le Ca, Mg, Na, K, et le phosphore sont en faible quantité (Wright, 1999)¹²⁷. Le sol est pauvre en nutriment d'où une faible fertilité. Remarquons que l'infertilité de ces sols se voit par la poussée lente des arbres et par la faible production de fruits (Wright, 1999)¹²⁷.

b. Milieu biotique

i. Flore et végétation

Le Parc National de Ranomafana présente dans son ensemble une végétation de type forêt pluviale malgache du Domaine de l'Est et du Centre (Nicoll et Lagrand, 1989)⁹⁰. Sa diversité est étonnante par l'existence de nombreuses espèces floristiques.

Environ 320 espèces de plantes y sont connues actuellement, dont la quasi-totalité sont endémiques. Les pentes accidentées sont recouvertes par des forêts primaires et de forêts secondaires où la canopée se trouve à 30m en moyenne.

Les espèces dominantes dans les forêts primaires sont le *Cryptocaria spp* (Tavolo), l'*Ocotea spp* (Varongy) tandis que les *Dalbergia baroni* (Voamboana) géants ont disparu, victimes d'abattage lors des exploitations excessives avant la création du parc. La forêt secondaire est caractérisée par les espèces *Weinmannia retenbergi* (Lalona) et *Weinmannia bojeriana* (Maka). Plusieurs formations secondaires dans la principale zone touristique de Talatakely sont des espèces introduites comme *Psidium cattaleyanum* (Goyave de Chine) et *Cathariostachys madagascariensis* (Bambou géant) qui ont aussi des traits proéminents. Des épiphytes, des fougères et de plantes parasites existent aussi bien dans la forêt primaire que dans la forêt secondaire. L'espèce *Dypsis thermanum* (Lafa) est la seule espèce de palmier qui existe dans le Parc National de Ranomafana. Cependant, il existe quelques espèces

caducifoliées qui font l'exception, comme *Dalbergia baroni* (Voamboana), *Ficus tilifolia* (Voara) et *Psorospermum spp* (Fanerana).

Il y a deux types de forêt climatique à Ranomafana selon l'altitude (Rahajanirina, 2000)⁹⁸ :

-dans la partie Est entre 400 et 800m d'altitude, il s'agit d'une forêt dense humide de basse altitude à *Anthostema* et à Myristicaceae. Les espèces abondantes sont *Canarium sp* (Burseraceae), *Sloanea sp* (Elaeocarpaceae) et *Ficus sp* (Aspleniaceae)

-dans la partie Ouest entre 800 et 1200m d'altitude, il s'agit d'une forêt dense humide de moyenne altitude. Il s'agit également d'une forêt à mousse à sous-bois herbacé. Les espèces dominantes appartiennent aux genres *Polycias*, *Schefflera* (Araliaceae), *Weinmannia* (Cunoniaceae), *Eugenia* (Myrtaceae), *Symphonia* (Guttiferaceae) et *Medinilla* (Malestomataceae).

ii. Faune

La faune du Parc National de Ranomafana est parmi la plus diversifiée et elle est unique dans le monde en abritant plusieurs espèces de Vertébrés et d'Invertébrés.

- *Vertébrés*

Les lémurien sont les plus remarquables et attirent de nombreux touristes à visiter le Parc National de Ranomafana. D'ailleurs c'est la découverte d'*Hapalemur aureus* qui fut à l'origine de la création de ce parc. Il y existe 12 espèces dont 7 diurnes et 5 nocturnes.

Les espèces diurnes appartiennent à 2 familles :

-Famille des Lemuridae : *Eulemur rubriventer*, *Eulemur fulvus rufus*, *Hapalemur griseus*, *Hapalemur aureus*, *Prolemur simus*, *Varecia variegata variegata*

-Famille des Indriidae : *Propithecus edwardsi*

Les 5 espèces nocturnes appartiennent à 4 familles :

-Famille des Cheirogalidae : *Microcebus rufus*, *Cheirogaleus major*

-Famille des Daubentoniidae : *Daubentonia madagascariensis*

-Famille des Megaladapidae : *Lepilemur sp*

-Famille des Indriidae : *Avahi laniger*

Selon Grenfell (1995)⁵⁴ en plus des lémuriens il y existe aussi d'autres Vertébrés tels que :

-des insectivores avec 11 espèces de la Famille des Tenrecidae : *Tenrec ecaudatus setifer*, *Setifer setosus*, *Hemicentetes semispinosus*, *Hemicentetes nigriceps*, *Microgale taiva*, *Microgale dobsoni*, *Microgale talazaci*, *Microgale thomasi*, *Microgale cowani*, *Microgale gracilis*, *Limnogale mergulus*.

-des carnivores avec 6 espèces dans la Famille des Viverridae : *Eupleres goudotii*, *Galidictis fasciate*, *Fossa fossana*, *Cryptoprocta ferox*, *Galidia elegans*, *Mungotictis sp.*

-8 espèces de chauvesouris dans l'Ordre des Chiroptères : *Pterofus rufus*, *Myotis goudoti*, *Eptesicus capensis*, *Miniopterus schreibersi*, *Rousettus madagascariensis*, *Tadarida leucostigma*, *Eidolon sp*, *Myzopoda aurita*.

-des rongeurs avec 6 espèces endémiques de la Famille des Cricetidae : *Eliurus webbi*, *Eliurus tanala*, *Nesomys rufus*, *Nesomys audeberti*, *Brachyotarsomys*, *Macrotasomys sp.*

-L'avifaune qui est une grande richesse de cette région. Il y existe 111 espèces, voici quelques-unes : *Accipiter henstii*, *Mesitornis unicolor*, *Brachypteracias leptosomus*, *Foudia madagascariensis*

- 117 espèces de reptiles et d'Amphibiens.

- Environ 6 espèces de poissons sont connues en particulier le *Bedotia sp* et le *Paratilapia sp.*

- **Invertébrés**

Presque tous les insectes qu'on trouve dans le Parc National de Ranomafana sont endémiques de Madagascar. Plus de 800 espèces y sont connues dont environ 200 espèces de Coléoptères et de Lépidoptères décrites.

DEUXIEME

PARTIE :

MATERIELS ET

METHODES

I. MATÉRIELS BIOLOGIQUES

1. POSITION SYSTEMATIQUE DE *Microcebus rufus* (Mittermeier et al., 2006)⁸²

Microcebus rufus se positionne scientifiquement comme suit :

Règne : ANIMALIA

Phylum : CHORDATA

Embranchement : VERTEBRATA

Classe : MAMALIA

Sous-classe : EUTHERIA

Ordre : PRIMATA (LINNE, 1758)

Sous-ordre : STREPSIRHINII (POCOCK, 1918)

Super famille : LEMURIFORMII (GREGORY, 1915)

Famille : CHEIROGALEIDAE (GRAY, 1873)

Genre : *Microcebus* (GEOFFROY, 1828)

espèce : *rufus* (LESSON, 1840)

Noms vernaculaires : En Malagasy : Antsidy Mena, Tsidy, Tsitsidy, tsitsihy, Kandrana (région Makira), Anakatsidina (région Ranomafana). En Français : Microcèbe Roux. En Anglais : Brown Mouse Lemur.

2. MORPHOLOGIE

La morphologie est définie comme étant l'étude de la forme, de l'aspect et de la structure de l'organisme des êtres vivants (Daveau *et al.*, 1972)³⁴. Ainsi, la systématique classique faisait recours à la morphologie pour décrire une espèce valide (De Queiroz, 1998)³⁵.

L'apparence morphologique de *Microcebus rufus* est basé sur des caractères diagnostiques entre les différentes particularités observées. D'après Garbut (2007)⁴⁸, cet animal mesure 170-250mm, dont la mesure du corps est comprise entre 70-90mm et la longueur de la queue 100-160mm.

En général, la partie dorsale de la tête et de la queue est caractérisée par un pelage de couleur marron à marron roux avec une teinte grisâtre. La face est ronde, souvent de couleur plus rousse que le corps. La partie ventrale est grise blanchâtre. Les oreilles sont relativement petites et ne font pas saillies. La queue est plus longue par rapport au corps (**figure n°3**).



Figure 3: *Microcebus rufus* vue de profil et vue latérale (source : RAFALINIRINA 2012-2015)

3. BIOLOGIE, ECOLOGIE, PHYSIOLOGIE, STATUT DE CONSERVATION

Microcebus rufus est une espèce strictement nocturne et omnivore, il est à la fois solitaire et grégaire. Il vit dans les plaines, les montagnes des forêts humides, les formations secondaires et quelques plantations adjacentes. Cette espèce se rencontre dans des arbustes et au niveau de la canopée. Sa densité est estimée à 110 à 330 individus/Km² (Ganzhorn, 1989 ; Atsalis, 2000) 47, 10.

Le régime alimentaire de ce primate est principalement composé de plus de 40 espèces de fruits, de fleurs, de nectars, de jeunes pousses, de gommes, d'insectes et d'autres petits Arthropodes (Ganzhorn, 1988 ; Atsalis, 1998 et 1999)46, 8, 9. Pendant la journée, les Microcèbes dorment en groupe de deux à trois individus dans un trou d'arbre ou dans des nids fabriqués avec des feuillages et parfois dans des nids d'oiseaux abandonnés. La composition du dortoir du groupe est inconnue mais on sait que les femelles dorment avec leurs progénitures (Wright et Martin, 1995)129. La limite ou le marquage du territoire s'opère régulièrement par aspersion d'urine et dépôt de matière fécale. Néanmoins des chevauchements considérables des territoires sont inévitables. Les mâles ont un large territoire et se déplacent à une longue distance par rapport aux femelles.

Les prédateurs du *Microcebus rufus* sont les carnivores comme *Galidia elegans* (Vontsira) ; *Cryptoprocta ferox* (Fosa) qui sont capables de fouiller les Microcèbes dans leur cavité, les oiseaux nocturnes de grande taille comme l'*Asio madagascariensis* (Hankana) et quelques serpents à l'exemple de l'espèce *Sanzinia madagascariensis* (Manditra).

Le mâle et la femelle du *Microcebus rufus* accumulent des réserves de graisse dans leur queue et dans certaines parties du corps, pendant la saison humide, en prévision de

l'hibernation (durant l'hiver) où ils deviennent inactifs et perdent 30% de leur poids corporel (Atsalis, 1999a)⁷. Contrairement aux femelles, les mâles sortent tôt de l'hibernation, vers mi-août, et s'appêtent pour la reproduction en se faisant remarquer par une augmentation de volume de testicules. Ce phénomène est suivi de la période d'accouplement, du mois de Septembre au mois de Novembre. Chez la femelle, la gestation va durer une soixantaine de jours et quand la mise-bas s'annonce, elle construit un nid à 1 ou 3m environ au-dessus du sol. La portée varie d'un à trois bébés pesant chacun 5 grammes environ à la naissance (Atsalis, 1999b ; 2000)^{6, 10}.

D'après Mittermeier *et al.*, (2006)⁸² et selon la plus récente évaluation de la liste rouge de l'IUCN, *Microcebus rufus* est une espèce moins vulnérable ou à préoccupation mineure (Least Concern). La principale menace de leur existence est la perte de leur habitat due à la pratique de la culture sur brûlis ou tavy. Quoi qu'il en soit, cette espèce est largement répandue et abondante dans le milieu où elle vit.

II. MATERIELS DE TRAVAIL

Les matériels ci-dessous ont été nécessaires pour récolter les données destinées à la recherche :

1. POUR LA CAPTURE

Nous avons utilisé quarante pièges Sherman en aluminium (XLR, piège sherman inc., Floride, USA 22.2 x 6.6 x 6.6 cm). C'est un piège standard pour une capture sans risque. Un G.P.S. (Global Position System) est indispensable pour la localisation du lieu de piège. Des flags fluorescents ont été installés pour repérer les pièges.

2. POUR LA MENSURATION

Les matériels suivants ont été utilisés pour effectuer la mensuration : des fiches dont le modèle est dans le tableau (**Annexe 1**), des sacs en tissu dont la masse est connue d'avance pour y mettre l'animal, un pied à coulisse électronique pour la morphométrie, une balance électronique (max 500 g) pour peser l'animal (Peseur Scientifique 200GXO), un thermomètre pour mesurer la température rectale, de petites ficelles blanches pour faciliter les mesures des circonférences, un scanner ou transpondeur pour identifier l'animal, des micro-puces pour marquer les individus capturés, un gant épais pour tenir l'animal, des gants en latex (type médical) utilisés pendant la manipulation ainsi que l'alcool 90⁰ utilisé comme antiseptique à toutes les manipulations furent indispensables pour effectuer l'étude.

3. POUR LA COLLECTE DE MATIERES FECALES

Il est nécessaire d'utiliser : des gants médicaux en latex, une cuillère en plastique pour prendre les fèces dans le piège, dans le sac en tissu ou directement dans l'anus, du papier aluminium pour récupérer les fèces.

4. POUR L'ANALYSE DES PARASITES GASTRO-INTESTINAUX

Afin de mener l'analyse en laboratoire, nous disposons : d'un microscope avec platine à chariot et d'une caméra intégrée, des objectifs 10X, 40X et 100X, d'un ordinateur pour brancher le microscope, d'une solution de Sheather (mélange de 454g de sucre ordinaire, 355ml d'eau de robinet, 6ml de formaldéhyde), de lames porte-objet, de lamelles couvre-objet, de spatules en bois, d'une passoire, de verres gradués à 100ml, de tubes à essai, d'une centrifugeuse électrique, de pipettes Pasteur, de seringues 1ml, d'un mortier et d'un pilon, d'une Lame Mc Master pour le comptage des œufs, d'une petite balance électronique (max 50g) (**Figure n°4**)



Figure 4: Lame Mac Master, quelques matériels utilisés pour l'analyse des parasites gastro-intestinaux (source : RAFALINIRINA 2012-2015)

III. METHODES D'ETUDES

L'étude a été réalisée du mois d'août au mois de décembre (période durant laquelle le *Microcebus rufus* est actif) soit 5 mois d'étude chaque année depuis 2012, 2013 et 2015.

1. METHODE DE CAPTURE

Les méthodes de capture ont été basées sur celles utilisées par Wright et Martin (1995)¹²⁹ et Atsalis (1999)⁹.

a. Lieu d'emplacement des pièges

La recherche se déroule dans trois sites différents : Talatakely, Campement, Circuit Ranofady.

b. Protocole de capture

i. Technique de marquage

La technique de marquage individuel est effectuée de la manière suivante :

Chaque individu est administré d'une micro-puce transpondeur sous dermique (Fecava Eurochips, Vetcare, Finlande) pour l'identification permanente. Tous les animaux ont été libérés pendant la même nuit, à l'endroit où ils ont été capturés.

ii. Appât

Des petits morceaux de bananes sont mis à l'intérieur des pièges et sont utilisés pour appâter les animaux. L'odeur des bananes fraîches attire beaucoup les Microcèbes.

iii. Installation des pièges

Les pièges ont été installés sur des branches ou des lianes ; à une hauteur de 1,5 à 2 m pour les protéger des prédateurs, vers 4 heures l'après-midi (**figure n°5**). Chaque piège est distant de 25 m. La disposition des pièges a été constante dans les trois sites.

iv. Contrôle des pièges

Vers 20h les pièges furent contrôlés : le lieu et le numéro des pièges dans lesquels des Microcèbes ou d'autres animaux ont été capturés, ont été relevés.

Chaque animal capturé est ramené au laboratoire pour être étudié.

v. Effort d'échantillonnage

Nous avons capturé les Microcèbes 5 jours par semaine du mois août jusqu'au mois de décembre.



Figure 5: Installation du piège Sherman, relâchement des Microcèbes capturés (source : RAFALINIRINA 2012-2015)

2. METHODE DE TRAVAIL AU LABORATOIRE

Les données ont été collectées selon trois périodes sélectionnées : Période 1 (avant l'accouplement : mi-août jusqu'au début du mois d'octobre), période 2 (la période d'accouplement, définie par les dates entre lesquelles la première et la dernière ouverture du vagin ont été observées, elle commence à la fin du mois d'octobre), et la période 3 (période après l'accouplement : de novembre à décembre).

a. Collecte des données morpho-physiologiques

Le sexe des individus étudiés est déterminé par leur appareil génital (**figure n°8**).

Nous avons mesuré les points morphométriques suivants : les circonférences de la base de la queue (**CRQ**), la moitié de la queue (**CMQ**), la poitrine (**CP**), la hanche (**CH**), le biceps (**CB**), et la cuisse (**CC**). Les mesures ont été effectuées à l'aide des fils en coton (puis ces fils ont été mesurés avec un compas électronique pour connaître les circonférences), on a mesuré aussi la masse corporelle (**M**), la longueur du corps (**LC**, de la voûte crânienne à la base de la queue), la longueur de la queue (**LQ**, de la base à la pointe de queue), la longueur de la tête (**LoT**, de la pointe du nez au point proéminent d'occipital), et la largeur de la tête (**laT**, entre les deux tempes) (**figure n°6 et n°7**).

Nous avons également calculé le volume approximatif du corps par la formule établie par (Labocha *et al.*, 2014)⁷³ :

$$VC = 1/3\pi LC(RCP^2 + RCP * RCH + RCH^2)$$

Équation 1: Calcul du volume approximatif du corps

Avec **VC** comme volume approximatif du corps, π phi, **LC** représentant la longueur du corps, **RCP** en tant que rayon de la circonférence de poitrine, et **RCH** comme rayon de la circonférence de la hanche

L'erreur de toutes mesures morphométriques est estimée au voisinage de 0,1 mm avec un compas électronique, et celle de la masse (**M**) à une valeur de 0,1 g avec l'usage d'une balance électronique.

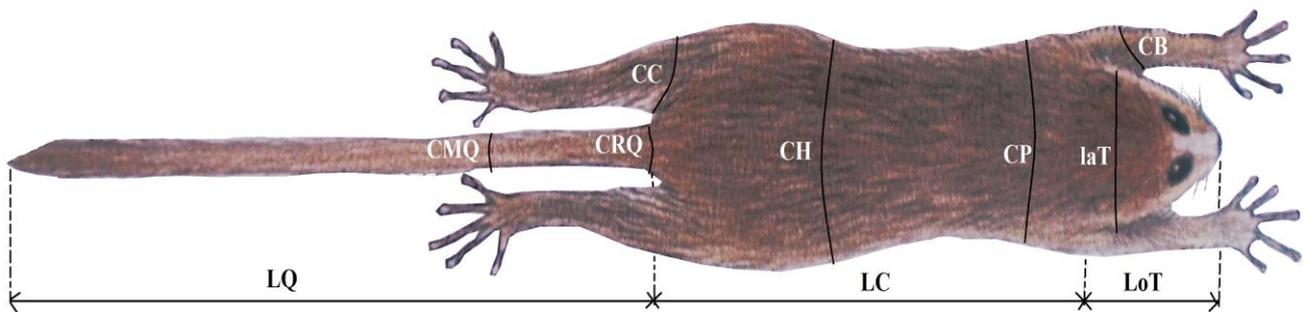


Figure 6: Les différents points morphométriques mesurés (source : RAFALINIRINA 2012-2015)



Figure 7: La séance de prise de données morpho-physiologiques (source : RAFALINIRINA 2012-2015)

Les testicules droit et gauche des individus mâles (on mesure la longueur et la largeur) ont été également mesurés, ensuite leur le volume total calculé grâce à la formule suivant :

$$V = (\pi * l^2 * L) / 6 \quad (\text{Abbott et Hearn, 1978 ; Hosken, 1998})_{1, 59}.$$

Équation 2: Calcul du volume testiculaire des mâles de Microcèbes

L : longueur totale des testicules ; l : largeur totale des testicules



Figure 8: Détermination du sexe des individus Microcèbes et observation de l'état physiologique de l'appareil génital (source : RAFALINIRINA 2012-2015)

Par ailleurs, la température rectale (TR) de chaque individu capturé a été enregistrée comme variable physiologique.

b. Collectes des fèces et analyse des parasites gastro-intestinaux

i. Collecte de matières fécales

Les échantillons fécaux individuels ont été collectés à l'intérieur des pièges, dans des sacs, ou directement en provenance de l'anus pour l'analyse.

ii. Analyse de matières fécales

Une analyse directe des matières fécales sans préservation, au centre Valbio Ranomafana qui dispose de tous les matériels nécessaires pour les analyses, a été faite (**figure n°9**). On a approximativement récupéré 0.3 g de matière fécale de chaque individu.



Figure 9: Espace de travail dans le laboratoire en parasitologie du Centre Valbio (source : RAFALINIRINA 2012-2015)

iii. Méthode de flottaison

Pour analyser les parasites gastro-intestinaux nous nous sommes référés à la méthode de Gillespie (2006)⁵⁰. La technique de flottaison modifiée qui utilise la solution de Sheather (454g de sucre de table, 355ml de l'eau de robinet, 6ml de formaldéhyde) (Dryden *et al.*,2005)³⁶ a été employée, elle permet le comptage des œufs, des larves, des oocystes des parasites dans la lame de McMaster (Weber Royaume-Uni International Scientifique). Cette lame comprend deux chambres avec dix cellules (**figure n°4**). La technique de la flottaison est basée sur la différence de densité. Ainsi, les éléments les plus lourds vont rester au fond et les plus légères flotteront à la surface de la lame.

iv. Protocole expérimental

La matière fécale pesant à peu près 0,3g est mixée avec 4,2ml de solution de Sheather, pour un volume final de 4,5ml. La matière fécale est triturée dans un tube à verre gradué 1ml de solution, puis filtrée dans un passoir maille fine. Puis, elle est rincée avec 1 ml de la même solution et enfin remplie avec les 2,3 ml de solution restant.

Pour l'examen microscopique des éléments parasitaires, on a prélevé à l'aide d'une pipette une petite quantité de la préparation. La lame Mac Master est remplie avec un volume total de 0,3ml. Laisse 5min afin que les œufs, plus légers, remontent à la surface. Effectuer ensuite la lecture : d'abord au grossissement faible (10 x 10) par lequel le comptage se fait, ensuite au fort grossissement (10 x 40) pour voir les détails plus précis pour les identifications et la photographie.

v. **Quantification et identification des éléments parasitaires gastro-intestinaux**

La quantification des parasites dans la matière fécale avec le comptage standard des œufs ou des larves dans la cellule de Mac Master (**OPG**= Nombre d'œufs trouvés multiplié par 50, si on compte les œufs ou les larves dans les deux grilles) est devenue sensible, d'après des analyses répétées car avec le petit Microcèbe, on récupère seulement des matières fécales inférieures à 1g (Kessler *et al.*, 2015, Radespiel *et al.*, 2015)^{71, 96}. Ensuite, toute la quantité de fèces a été analysée et le nombre d'œuf par gramme fut obtenu (**OPG**) en divisant le nombre par le poids de la matière fécale utilisée.

Trois paramètres ont été utilisés afin de déterminer l'infestation parasitaire :
-La richesse spécifique parasitaire = nombre d'espèces ou de types de parasites rencontrés chez un individu hôte. Cet indice reflète le polyparasitisme ou non d'un individu hôte.

-La prévalence parasitaire = (Nombre d'individus hôtes infestés par un parasite particulier divisé par le nombre d'hôtes examinés) multiplié par 100

-Abondance parasitaire= Nombre ou effectif des œufs de parasite ou éléments parasitaires par gramme de fèces

La clé détermination des œufs de nématodes, de cestodes et de kystes de protozoaires publiée par (Chabaud et Petter 1958, 1959 ; Chabaud *et al.*, 1964 ; Raharivololona, 2009)^{21, 22, 23, 100} a été utilisée ainsi que le résultat d'analyse génétique effectué par Aivelo (2015)² pour la confirmation.

Pour la détermination classique, les caractères suivants ont été pris en compte : la dimension (mesurée avec le logiciel ImageJ 1.48V (Wayne Rasband, National Institutes of Healths, USA) et le micromètre oculaire), la forme (ovalaire ou arrondie, symétrique ou asymétrique), le contenu (embryonné ou non, en division ou non, non fécondé) et la coque (aspect du contour, couleur, épaisseur, nombre de membranes, éléments particuliers (éperon, ornementation...)).

Les Oxyurida sont caractérisés par une forme ovalaire, bombés sur un côté, avec une coque épaisse à une ou deux membranes, rosée ou non.

Les Strongylida ont une forme ovalaire, incolore, avec une coque très mince.

Les Ascaridida sont de forme arrondie avec une coque épaisse munie d'ornementation.

Les Coccidies sont arrondies, avec une coque mince incolore, de petite taille.



Figure 10: Séance de préparation des matières fécales et analyse des parasites gastro-intestinaux (source : RAFALINIRINA 2012-2015)

vi. **Recherche des Ectoparasites**

Le *Microcebus rufus* de Ranomafana a été découvert pour avoir des ectoparasites comme les poux (*Lemurpediculus verruculosus*) (Durden *et al.*, 2010)²⁶. Dans cette étude, la présence de cet ectoparasite a été vérifiée pour définir la présence ou non de ces ectoparasites. L'endroit fréquenté est au niveau de l'abdomen, autour de l'appareil génital, oreilles et des sourcils. L'ectoparasite a été compté et quantifié selon l'abondance sur le corps (Rafalinirina *et al.*, 2015)⁶⁸.



Figure 11: Recherche des ectoparasites dans la peau des individus capturés (source : RAFALINIRINA 2012-2015)

3. **METHODE DE CALCUL DE CONDITION CORPORELLE DU *Microcebus rufus***

La détermination de la condition corporelle du *Microcebus rufus* a été basée sur la méthode d'estimation non destructive (Green, 2001 ; Stevenson et Woods, 2006)^{53, 118}. Ainsi, la masse corporelle, la taille ou l'apparence des réserves énergétiques ont été utilisés.

Selon la recommandation de (Peig et Green, 2009)⁹², la condition corporelle d'un individu est estimée à partir de la masse corrigée pour la taille **MC** (ou Scaled Mass Index, **SMI**), qui reflète les réserves d'énergie interne des animaux en prenant en considération la relation entre la masse corporelle et mesure rectiligne du corps. Cet indice cède par conséquent une valeur individuelle de masse après l'avoir standardisée avec la taille moyenne de tous les individus dans la population. La longueur totale du corps (**LTC**) *Microcebus rufus* (**LoT+ LQ+ LC**) a été utilisée. Le calcul du **MC** est le suivant :

$$MC_i = M_i \left[\frac{LTC_m}{LTC_i} \right]^{bSMA} \quad \text{avec } bSMA = \frac{b}{r}$$

Équation 3: Méthode de Calcul de Masse corrigée pour la taille ou Scaled Mass index

Avec **M_i** et **LTC_i** représentent la masse corporelle et la longueur totale du corps des individus *i* respectivement, **LC_m** la moyenne de la longueur totale du corps de tous les individus, *b* est le coefficient de régression linéaire *b* (pente) de log₁₀ **M** sur log₁₀ **LC**, *r* est le coefficient de corrélation dans cette régression. **MC_i** est la masse corporelle prédite d'un individu quand la longueur totale du corps est standardisée pour la longueur totale moyenne de tous les individus.

La différence ou résidu entre la masse corporelle observée **MO** et la masse corrigée pour la taille individuelle **MC_i** donne la perte ou le gain de masse dans cette recherche d'où la condition corporelle **CC**. Ainsi, la valeur de l'**CC** négative reflète une mauvaise condition, tandis que sa valeur positive indique une bonne condition.

$$\text{Condition corporelle individuelle (CC}_i) = (MO_i - MC_i)$$

Équation 4: Calcul de condition corporelle (ou la différence entre MO et MC)

IC<0, mauvaise condition ; IC=0, condition normale ; IC>0, bonne condition

Comme le Microcèbe figurent parmi les seuls primates à emmagasiner de la graisse dans la partie caudale qu'ils utilisent comme source d'énergie. Ainsi, l'indice de gabarit (**IG**) résultant de l'analyse en composante principale des mesures de circonférence (**CRQ, CMQ, CB, CC**), y compris le volume de corps (**VC**) a été calculé.

4. ANALYSES STATISTIQUES

La technique de la capture-marquage-recapture a été pratiquée, donc chaque individu de *Microcebus rufus* contribue un maximum de point de données à chaque période pour l'ensemble des données. Par conséquent, s'il y existe plusieurs points de données disponibles pour un individu pendant une période, alors la moyenne des paramètres étudiés sera utilisée.

Pour l'enregistrement et la manipulation des données, l'outil Microsoft Excel a été utilisé, puis les données bien rangées ont été transférées au logiciel d'analyse statistique SPSS version 22.0 (SPSS inc., an IBM Company product, Chicago Illinois) pour la description, l'analyse, la modélisation statistique ainsi que pour tester l'hypothèse.

a. Statistique descriptive

i. Moyenne

Le calcul de la moyenne permet de mesurer une tendance centrale, à savoir la valeur qui se trouve au centre d'un groupe de nombre dans une distribution statistique.

La moyenne \bar{X} d'un ensemble de N nombre, $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ est donnée par la formule :

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

Équation 5: Formule de la moyenne

Avec :

$\sum X_i$ = somme de toutes les valeurs de l'échantillon

N = effectif total des valeurs de X

ii. Ecart-type

L'écart-type S d'un ensemble de N nombres, $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ est calculé par :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

Équation 6: Formule de l'écart-type

L'écart-type est utilisé pour mesurer la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne (valeur moyenne). Ainsi, il intervient dans de nombreux calculs. Si l'écart-type est élevé, le caractère est très fluctuant, mais s'il est faible, la dispersion est moindre.

iii. Variance et covariance

La variance s^2 d'un ensemble de données est définie par le carré de l'écart-type.

La covariance a pour formule :

$$\text{cov}(x, y) = \frac{\sum (xi - \bar{x})(yi - \bar{y})}{n - 1}$$

Équation 7: Formule de la covariance

iv. Standard erreur

Elle permet de mesurer la divergence possible de la moyenne de l'échantillon par rapport à celle de la population.

v. Pourcentage

Le pourcentage d'observation d'un caractère est égal au nombre d'observation de ce caractère multiplié par cent, divisé par le nombre total d'observation des différents caractères.

b. Statistique analytique

L'analyse analytique fait recours aux tests statistiques. Ces derniers consistent à leur tour à tester des hypothèses.

i. Type d'Hypothèse

En test statistique, on teste souvent l'hypothèse nulle (H_0) qui est une hypothèse de non différence. Formée généralement par une phrase négative, elle est formulée de façon à être rejetée en utilisant le terme « *il n'y a pas de différence significative entre les échantillons A et B* ». Dans le cas de son rejet, l'hypothèse alternative (H_1) doit être acceptée.

ii. Signification de la probabilité p

La valeur de p est d'une importance majeure pour tous les résultats des tests statistiques. C'est à partir de sa valeur qu'on décide laquelle des deux hypothèses est acceptée ou rejetée.

Le seuil limite d'acceptation des tests est fixé à 5% (probabilité α).

Alors, si :

La valeur de p est \leq à 0.05, alors H_1 est acceptée et H_0 rejetée.

La valeur de p est $>$ à 0.05, alors H_0 est acceptée et H_1 rejetée.

iii. Analyse univariée**✓ Test Khi deux (χ^2)**

C'est un test non paramétrique (n'a pas besoin de condition d'utilisation). Dans cette étude, il est utilisé pour analyser les prévalences parasitaires, c'est-à-dire que le rapport du nombre d'échantillons positifs à un type de parasite sur le nombre total des échantillons correspond à la fréquence de ce parasite. Dans ce cas, on obtient le taux d'infestation de *Microcebus rufus* à une espèce de parasite donnée. Ainsi, ce taux d'infestation va être analysés, comparés, et jugé selon les facteurs : sexe, site, période, et année d'étude.

L'hypothèse nulle (H_0) = il n'y a pas de différence significative du taux d'infestation d'un genre parasitaire selon les facteurs sexe, site, période, année d'étude.

L'hypothèse alternative (H_1) = il y a une différence significative du taux d'infestation d'un genre parasitaire selon les facteurs sexe, site, période, année d'étude.

Le test de khi deux se calcule avec la formule suivante :

$$\chi^2 = \sum \frac{(X_0 - X_t)^2}{X_t}$$

Équation 8: Formule théorique de χ^2

Avec :

X_0 : fréquence observée

X_t : fréquence théorique

✓ Test « t » de Student

C'est un test paramétrique (qui a besoin des conditions d'utilisation, basées sur des caractères mesurables), et il permet de tester la différence significative entre les deux moyennes de deux échantillons.

La formule théorique est :

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{SCE_1 + SCE_2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Équation 9: Formule théorique du test t de Student

Avec :

$$SCE_1 = \sum X_1^2 = \frac{(\sum \bar{X}_1)^2}{n_1} \quad \text{et} \quad SCE_2 = \sum X_2^2 = \frac{(\sum \bar{X}_2)^2}{n_2}$$

✓ **Test F (analyse de variance)**

C'est un test paramétrique qui a besoin de conditions d'utilisation, basées sur des paramètres statistiques. Il permet d'analyser la variance entre groupes d'observation. Il est essentiel dans l'analyse et l'interprétation du modèle statistique.

La formule théorique est :

$$F = \frac{\sum ni(\bar{x}_i - \bar{x})^2 / (k - 1)}{\sum (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 / (N - k)}$$

Équation 10: Formule théorique du test F (analyse de variance)

ou $F = (\text{Somme des carrés intergroupes} / \text{ddl intergroupe}) / (\text{somme des carrés intra groupe} / \text{ddl intragroupe})$

ddl= degré de liberté

- *Analyse bivariée*

✓ **Corrélation de Pearson**

C'est un test paramétrique. La corrélation de Pearson est utilisée pour vérifier la corrélation entre les variables quantitatives aléatoires dans cette étude, ainsi que l'intensité de la liaison qui peut exister entre ces variables.

Une mesure de cette corrélation est obtenue par le calcul du coefficient de corrélation linéaire noté r . Ce coefficient est égal au rapport de la covariance et du produit non nul des écarts types. Elle est aussi tout simplement la racine carrée du coefficient de détermination (r^2). Le coefficient de corrélation est compris entre -1 et +1.

Tableau 1: Signification du coefficient de corrélation r

Coefficients de corrélation Type	Type de corrélation	
	Positive	Négative
Corrélation parfaite	$0.98 < r < 1$	$-1 < r < -0.98$
Corrélation forte	$0.80 < r < 0.98$	$-0.98 < r < -0.80$
Corrélation moyenne	$0.60 < r < 0.80$	$-0.80 < r < -0.60$
Corrélation faible	$0.35 < r < 0.60$	$-0.60 < r < -0.35$
Corrélation nulle	$-0.35 < r < 0.35$	

Formule théorique de r :

$$r = \frac{\text{covariance}(x, y)}{\sqrt{\text{var}(x) \times \text{var}(y)}}$$

Équation 11: Formule théorique de corrélation r de Pearson

Niveau de signification de r

La signification du r est vérifiée par la valeur de la probabilité p au seuil de signification $\alpha = 0.05$.

Si $p > 0.05$, la relation entre les deux variables est nulle

Si $p \leq 0.05$, la relation entre les deux variables existe bel et bien au sein de population.

✓ **Corrélation de rhô de Spearman (ρ) :**

C'est un test non paramétrique. La corrélation linéaire de Spearman (r_s) s'applique à des données ordinales non paramétriques. Elle mesure la liaison linéaire entre deux variables x et y . Le coefficient rhô de Spearman (ρ) est compris entre -1 et +1. L'interprétation du résultat de l'analyse est semblable à celle de chez Pearson.

Formule théorique de r_s :

$$r_s = 1 - \frac{6\sum di^2}{n(n^2 - 1)}$$

Équation 12: Formule théorique de corrélation rhô de Spearman

Avec di qui représente la différence des rangs au niveau de l'observation i et n est égal à la taille de l'échantillon.

✓ **Régression linéaire**

C'est l'une des techniques pratiquées dans la statistique paramétrique : elle est souvent utilisée pour analyser la moyenne de la réponse variable **Y** selon le changement d'intervention de la variable **X**. En régression linéaire simple, la variable **Y** est appelée variable réponse ou dépendante, tandis que la variable **X** est la variable explicative (indépendante) ou prédicatrice. Dans cette, étude nous l'avons utilisée pour obtenir **b** le coefficient de régression linéaire de **log₁₀ MO** (masse corporelle observée) sur **log₁₀ LTC** (longueur totale du corps), ainsi que r qui est le coefficient de corrélation dans cette régression, afin de les utiliser dans le calcul de **MC** (masse corporelle corrigée pour la taille).

La formule générale de la régression linéaire est :

$$Y = \alpha + \beta X$$

Équation 13: Formule théorique de la régression linéaire

avec α, β comme coefficients de régression (ordonnée à l'origine et la pente)

- *Analyse multivariée*

✓ **Analyse en composante principale (ACP)**

L'ACP est une analyse statistique multivariée, elle cherche à synthétiser l'information contenue dans un tableau croisant des individus et des variables quantitatives.

Le principe de cette analyse est de créer, à partir de combinaisons linéaires des variables initiales, de nouvelles variables synthétiques non corrélées entre elles et de variance décroissante appelées composantes principales de manière à minimiser la perte d'information lors de la réduction de dimension, c'est à dire de maximiser la variance totale (Baccini, 2010)¹¹. Le critère de sélection du nombre de composante à retenir dépend de la valeur propre (on retient la composante avec sa valeur propre > 1).

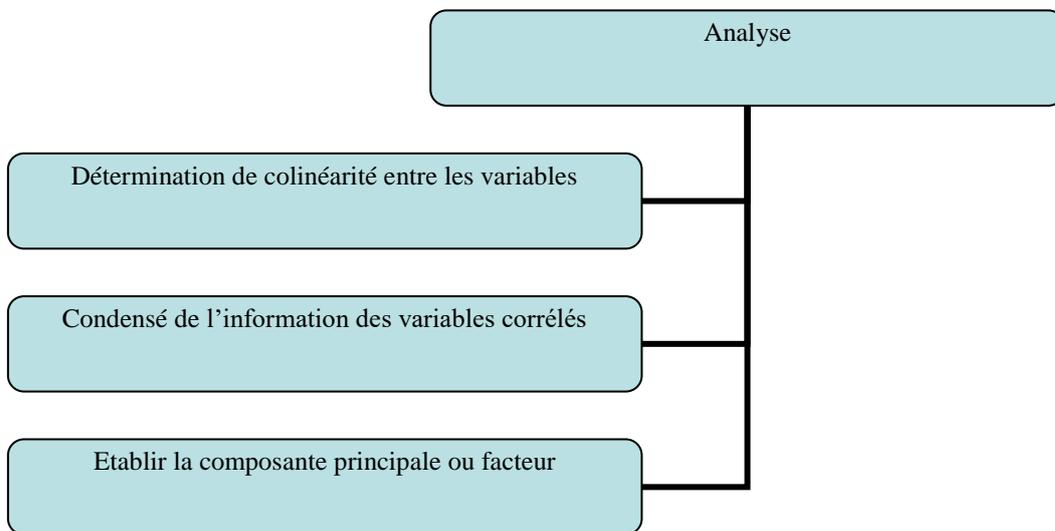


Figure 12: Démarche à suivre pour la réalisation de l'analyse en composante principale

✓ **Modèle linéaire générale mixte (MLGM)**

Ce modèle est fait pour l'analyse des données à mesurer répétée sur un objet ou un individu à travers le temps ou dans l'espace. Il est pratique pour notre méthode d'étude capture-marquage-recapture.

Dans ce modèle, nous avons déterminé les facteurs de risques sur la variation d'abondance parasitaire, la richesse spécifique des parasites en fonction des facteurs socio-écologiques (sexe, site, période, année d'étude, température rectale, pluviométrie, température moyenne du site d'étude).

On a aussi utilisé ce modèle afin de comprendre et d'analyser l'effet des mesures d'infection parasitaire et les facteurs socio écologiques sur la variation de l'indice de condition corporelle.

Il est appelé modèle mixte parce qu'il peut gérer à la fois les effets des facteurs fixes et aléatoires sur la variable dépendante. Dans l'analyse, l'identité des individus (ID) a été utilisée comme variable aléatoire.

La formule générale est :

$$Y = X\beta + Z\gamma + \varepsilon$$

Équation 14: Formule théorique du modèle linéaire mixte général

Cette formule a **Y** comme variable dépendante ou variable réponse, **X** comme variable explicative, β en tant que coefficient de régression (la pente), $Z\gamma$ une matrice n x q d'incidence des effets aléatoires, ε en tant que terme d'erreur.

L'hypothèse nulle H_0 est $\beta = 0$, tandis que l'hypothèse alternative est $\beta \neq 0$

- **Modélisation des indices des infections parasitaires.**

Dans cette modélisation, les plus prévalents et les plus abondants des parasites ont été utilisés. Ensuite, l'information sur le taux d'infestation parasitaire et l'intensité corrélée par l'analyse en composante principale a été condensée, afin de comprendre et de modéliser la variation d'abondance parasitaire, la richesse spécifique des parasites selon les facteurs socio-écologiques (sexe, site, période, année d'étude, température rectale (**TR**), température (**T**) et pluviométrie (**PL**) de la zone d'étude).

- **Modélisation d'effet des mesures des infections parasitaires et les facteurs socio-écologiques sur les indices de condition corporelle.**

L'effet sexe, site, période, année d'étude, richesse spécifique des parasites, abondance parasitaire sur la variation de l'indice de gabarit (**IG**), **MC**, puis sur la variation de condition corporelle **CC** ont été modélisés.

- **Critère de sélection du modèle.**

Pour sélectionner le meilleur modèle, le critère de l'information d'Akaike (**CIA**) avec ajustement pour la petite dimension **CIA_c** (Sugiura, 1978)¹¹⁹ a été utilisé pour classer la qualité de chaque modèle. La différence entre les **CIA_c** sera rapportée afin de comparer le support de chaque modèle comme étant la meilleure approximation parmi l'ensemble considéré ($\Delta_i = \text{CIA}_{ci} - \text{CIA}_c \text{ minimum}$). La considération d'un modèle variera selon la valeur de Δ_i :

- si $\Delta_i \leq 2$, le modèle *i* supporte bien les données.

-si $4 < \Delta_i < 7$, les données sont moyennement supportées par le modèle *i*

-si $\Delta_i > 10$, le modèle *i* ne supporte que très faiblement les données et n'explique en rien la distribution de ceux-ci.

Les différents types et noms de variables sont résumés dans le **tableau n°2** et les différents paramètres et analyses statistiques utilisés dans cette étude figurent dans le **tableau n°3** :

Tableau 2 : Le type et le nom de variables disponibles dans cette étude

Nom de variable	Type de variable	Modalité de réponse
Sexe	Qualitative/variable prédicteur	Mâle/femelle
Site	Qualitative/ variable prédicteur	Talatakely/Campsite/Ranofady
Période	Qualitative/ variable prédicteur	1=avant période d'accouplement 2=pendant période d'accouplement 3=Après période d'accouplement
Année d'étude	Qualitative/ variable prédicteur	2012, 2013,2015
Masse corporelle	Quantitative/variable réponse	Valeur continue mesurée en gramme
Longueur totale du corps	Quantitative/variable réponse	Valeur continue mesurée en mm
Masse corrigée pour la longueur du corps	Quantitative/variable réponse	Valeur continue mesurée en gramme
Condition corporelle	Quantitative/variable réponse	Valeur continue mesurée en gramme
Indice de gabarit	Quantitative/variable réponse	Valeur continue
Volume du testicule	Quantitative/variable réponse	Valeur continue mesurée en mm ³
Prévalence du parasite	Qualitative/variable prédicteur	0=absence d'infestation 1=présence ou infestation par un type de parasite
Abondance parasitaire	Quantitative/variable prédicteur	Valeur continue
Richesse spécifique	Quantitative/variable prédicteur	Valeur continue
Température rectale	Quantitative/variable prédicteur	Valeur continue mesurée en °C
Température moyenne du site	Quantitative/variable prédicteur	Valeur continue mesurée en °C
Pluviométrie	Quantitative/variable prédicteur	Valeur continue mesurée en mm

Tableau 3: Tableau synthétisant les différents paramètres et analyses statistiques utilisées dans cette étude

Paramètres statistiques et tests	Application dans cette étude
Pourcentage	Il sert à exprimer la quantité ou taux des individus infestés par une espèce parasitaire. Ce paramètre est utilisé dans le calcul de prévalence.
Moyenne	C'est un paramètre de position, il est un indicateur de tendance centrale servant à résumer une série de données d'une variable quantitative. Dans cette étude, elle est utilisée pour exprimer l'abondance parasitaire, la richesse spécifique des parasites, les caractères morpho-physiologiques, ainsi que les variables comme la température du site et la pluviométrie
Ecart-type, variance	Ce sont des paramètres de dispersion. Ils servent à décrire l'étendue des variables autour de la moyenne. Ils sont utilisés pour l'analyse des variables quantitatives
Covariance	Ce paramètre de dispersion est utilisé dans le calcul de corrélation.
Analyse de X^2	Ce test est utilisé dans l'analyse des associations entre variables qualitative et quantitative. Elle a été utilisée pour analyser les prévalences parasitaires selon le sexe, le site, la période, ou encore l'année d'étude
Analyse de variance F	Ce test est utilisé pour analyser la variation des variables étudiés. Dans notre étude, il est essentiel dans le calcul et la réalisation de modélisation statistique.
Corrélation r de Pearson	Elle est pour voir la relation linéaire entre les variables quantitatives. Dans le cas présent, elle a été utilisée dans la détermination de relation entre l'abondance parasitaire, les indices de condition corporelle et les autres paramètres morpho-physiologiques
Corrélation ρ de Spearman	Ce test a été utilisé pour voir la relation entre les prévalences parasitaires
Régression linéaire	Elle a été employée pour voir la relation entre la masse et la taille. Et pour obtenir b qui est le coefficient de régression linéaire de \log_{10} MO (masse corporelle observé) sur \log_{10} LTC (longueur totale du corps), et r est le coefficient de corrélation dans cette régression, afin d'utiliser dans le calcul de MC (masse corporelle corrigée pour la taille).
Analyse en composante principale	Cette analyse multivariée est très importante pour la suite de la présente étude. On l'utilise pour condenser les informations des variables colinéaires en une seule variable ou un seul composant. Elle est très utile pour minimiser la colinéarité dans la modélisation.
Modèle linéaire général mixte (GLMM)	Ce modèle est fait pour l'analyse des données à mesure répété sur un objet ou un individu à travers le temps ou dans un espace. Il a été utile dans la modélisation de la variation de l'abondance parasitaire, la richesse spécifique selon les facteurs socio-écologique. De même, l'effet des mesures d'infection parasitaire et des facteurs socio écologique sur les indices de condition corporelle

TROISIEME
PARTIE :
RESULTATS ET
INTERPRETATONS

I. MICROCEBUS RUFUS CAPTURE

Au total, le nombre de Microcèbes capturés est de 204. Dans l'**Annexe 2** résume la dynamique de capture de *Microcebus rufus* dans le Parc Nationale de Ranomafana durant l'année d'étude. Le nombre des individus mâle et femelle capturés est en régression durant l'année d'étude (**figure n°13a**), car, en 2012, 120 *Microcebus rufus* ont pu être saisis contre respectivement 47 et 37 en 2013 et 2015. Aucun individu n'a été capturé dans le site Ranofady pour les années 2012 et 2013, puis avant et pendant la période d'accouplement de 2015, cependant beaucoup de rats (*Rattus rattus*) (chaque rat capturé ayant été tué et brûlé), et des rats endémiques (ex : *Eliurus minor*, *Eliurus tanala*) ont été capturés ; d'où la différence de succès de capture entre les trois sites (**figure n°13b**).

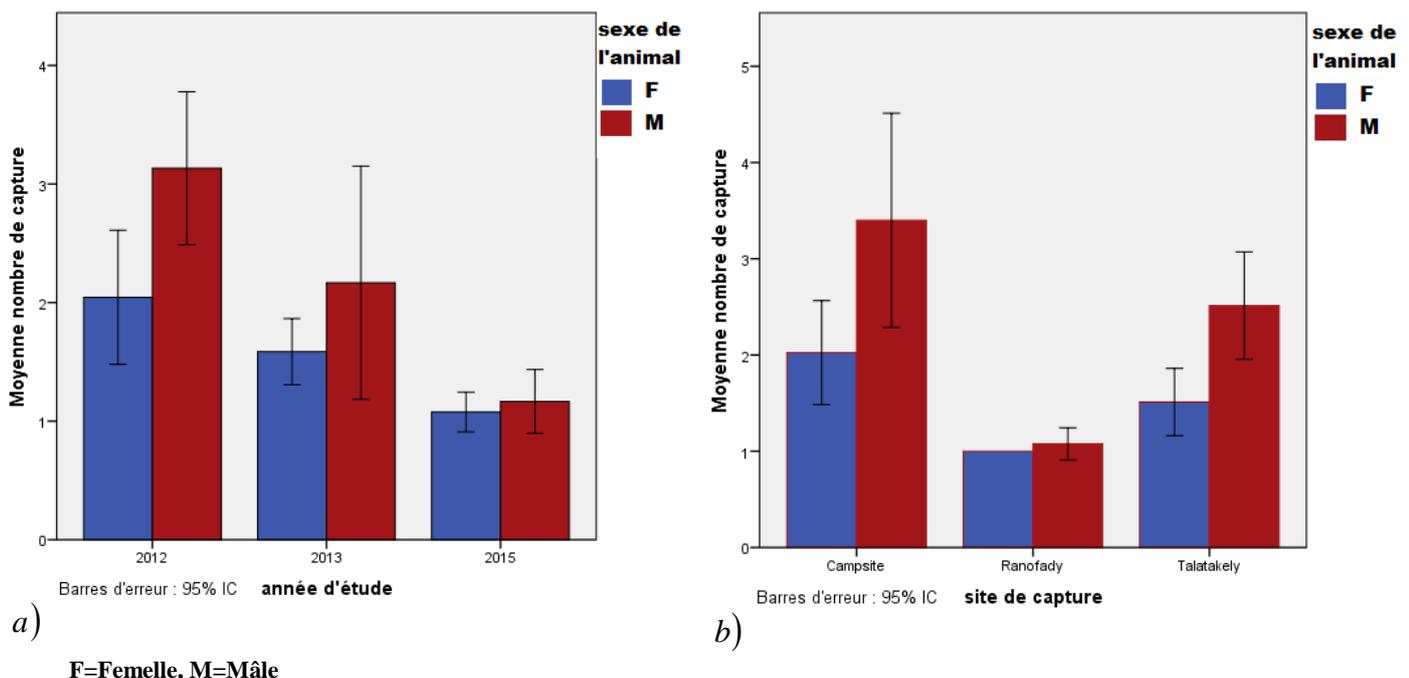
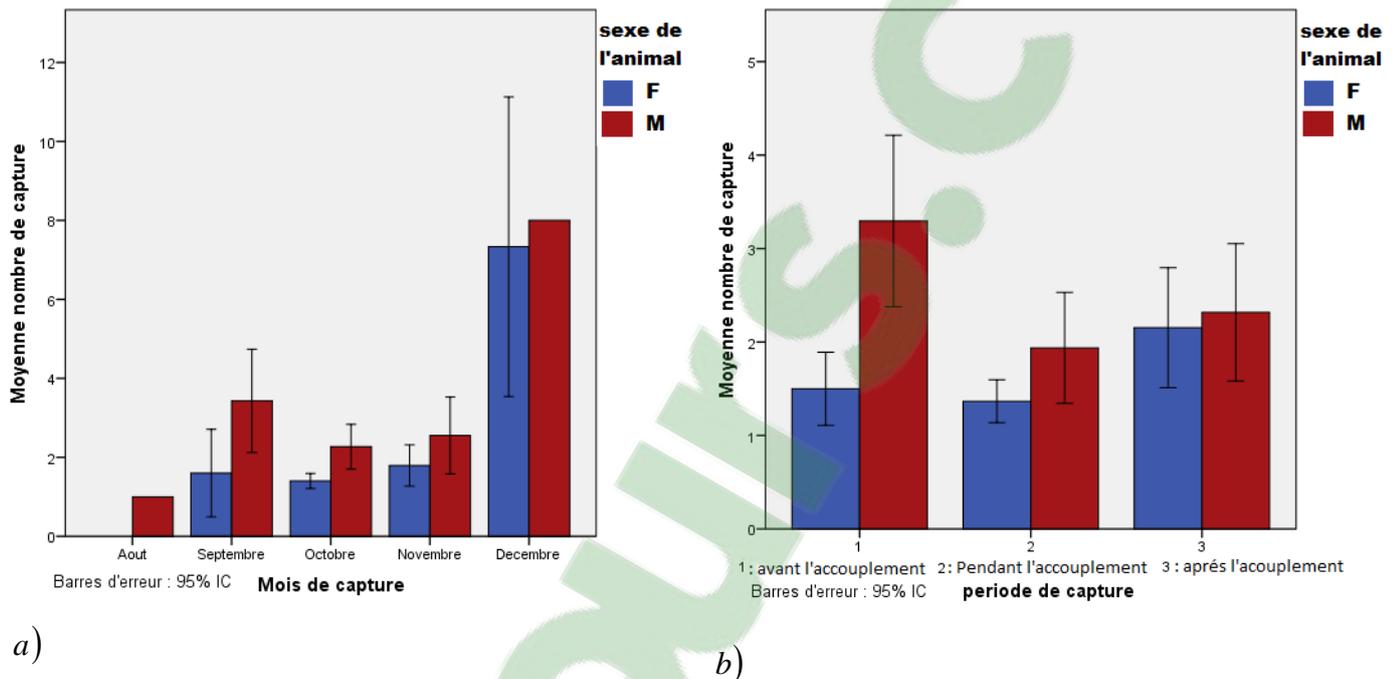


Figure 13: Variation du nombre de capture de *Microcebus rufus* mâle et femelle en fonction de a) l'année d'étude, b) site de capture

On constate que les Microcèbes sont en compétition avec les Micromammifères dans les sites d'étude. Et il semble en général que l'élimination des rats invasifs dans les sites favorise le retour des Microcèbes capturés dans les pièges, et surtout dans le site de Ranofady pour le 2015.

On a observé que pendant le mois d'août, on n'a capturé que les individus mâles (**figure n°14a**), ceci est dû à la différence de chronologie biologique entre le mâle et la femelle. Les mâles se réveillent plus tôt que les femelles pour la préparation du période d'accouplement, d'où la différence de nombre de capture en moyenne entre les deux sexes avant la période d'accouplement.



F=Femelle, M=Mâle

Figure 14: Variation du nombre de capture de *Microcebus rufus* mâle et femelle en fonction de a) mois de capture, b) période de capture

Cependant, durant et après la saison d'accouplement, la moyenne de capture est identique pour les deux sexes et on note une progression de nombre d'individus capturés. Et c'est au mois de décembre que le nombre de capture a augmenté (**figure n°14b**) ce qui justifie que pendant ces périodes les *Microcebus rufus* accomplissent leurs cycles biologiques : recherche de nourriture et des partenaires.

II. PARASITOLOGIE

1. LES PARASITES GASTRO-INTESTINAUX RENCONTRES CHEZ LE MICROCEBUS RUFUS

Chaque matière fécale d'un individu de *Microcebus rufus* capturé est collectée et analysée. D'après les analyses fécales nous avons recensé 6 espèces des parasites gastro-intestinaux dans le Parc National de Ranomafana, à savoir 5 helminthes et 1 espèce de protozoaire. L'helminthofaune comprend 4 espèces de nématodes : *Strongyloides* sp., *Trichuris* sp., *Trichostrongylus* sp., *Ascaris* sp., 1 cestode appartenant au genre *Hymenolepis* (figure n°15, 16, 17, 18, 19). Enfin, une coccidie (Protozoaire) (figure n° 20).

A part les parasites gastro-intestinaux, une espèce de poux (ectoparasite) d'ordre de Phthiraptera, *Lemurpediculus verruculosus* (figure n° 21).

a. Description et position systématique des différentes espèces de parasites trouvées

i. Helminthofaune

✓ **Parasite n°1**

• *Position systématique*

Règne : Animal

Embranchement : Nematelminthes

Classe : Nematoda

Ordre : Rhabditida

Famille : Strongyloidae

Genre : *Strongyloides*

espèce : non identifié

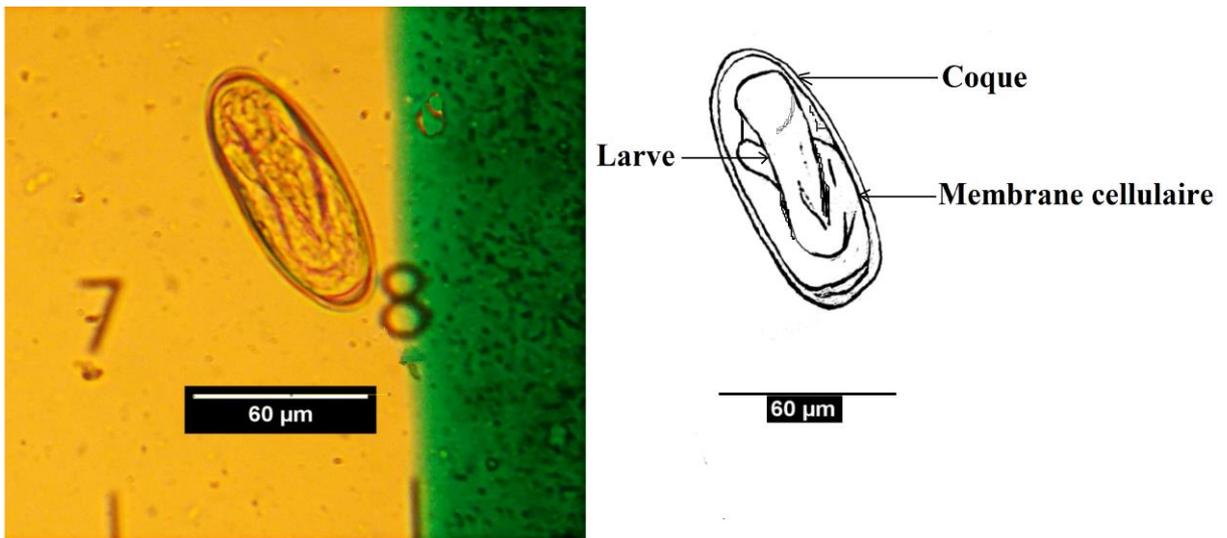


Figure 15: Œuf de *Strongyloides sp.* Chez *Microcebus rufus* (Cliché et dessiné par RAFALINIRINA 2012-2015)

- *Description*

Dimension : 50-76 μ m X 35-47 μ m

Forme : ovoïde symétrique

Coque : mince, simple, lisse

Contenu : embryonné

Couleur : incolore

Caractéristique : en générale contient un embryon, rarement une morula

- ✓ **Parasite n°2**

- *Position systématique*

Règne : Animal

Embranchement : Nematelminthes

Classe : Nematoda

Ordre : Trichocephalida

Famille : Trichuridae

Genre : *Trichuris*

espèce : non identifié

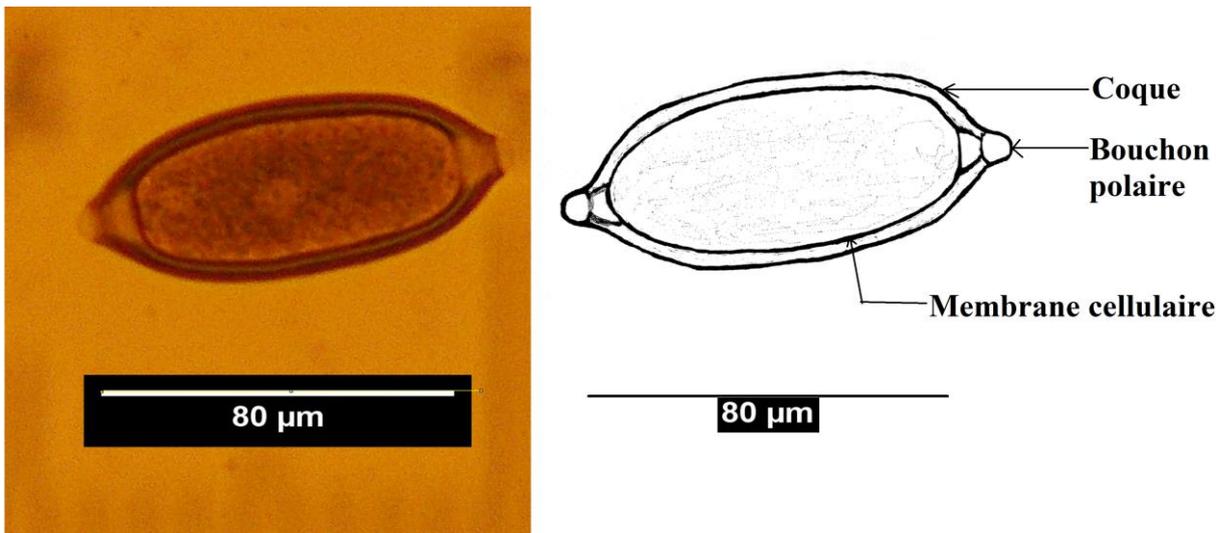


Figure 16: Œuf de *Trichuris* sp. Chez *Microcebus rufus* (Cliché et dessiné par RAFALINIRINA 2012-2015)

- **Description**

Dimensions : 80-100 μ m X 38-44 μ m

Forme : en forme de citron

Coque : épaisse, lisse sans structure interne, brunâtre

Contenu : non embryon, granuleux

Couleur : brun jaune ou brun orange

Caractéristique : A chaque pôle, bouchon transparent, arrondie et saillant.

- ✓ **Parasite n°3**

- **Position systématique**

Règne : Animal

Embranchement : Némathelminthes

Classe : Nematoda

Ordre : Strongylida

Famille : Trichostrongylidae

Genre : *Trichostrongylus*

espèce : non identifié

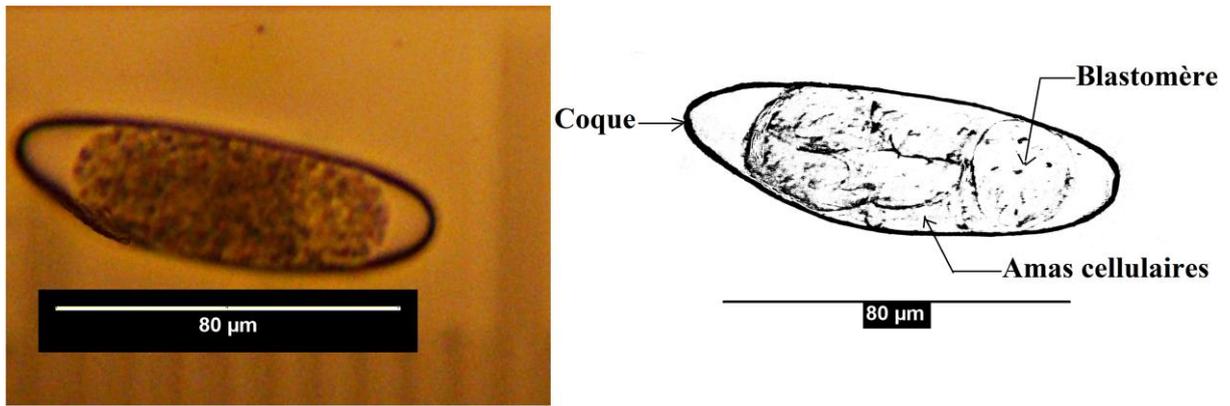


Figure 17: Œuf de *Trichostrongylus sp.* Chez *Microcebus rufus* (Cliché et dessiné par RAFALINIRINA 2012-2015)

- *Description*

Dimensions : 79-100 μ m X 40-50 μ m

Forme : ovoïde, pôles inégaux, un pôle plus arrondi que l'autre.

Coque : mince, lisse

Contenu : nombreux blastomères ou une morula, grisâtre

Couleur : incolore

Caractéristique : une des parois latérales est souvent aplatie

- ✓ **Parasite n°4**

- *Position systématique*

Règne : Animal

Embranchement : Nématelminthes

Classe : Nematoda

Ordre : Ascaridida

Famille : Ascarididae

Genre : *Ascaris*

espèce : non identifié

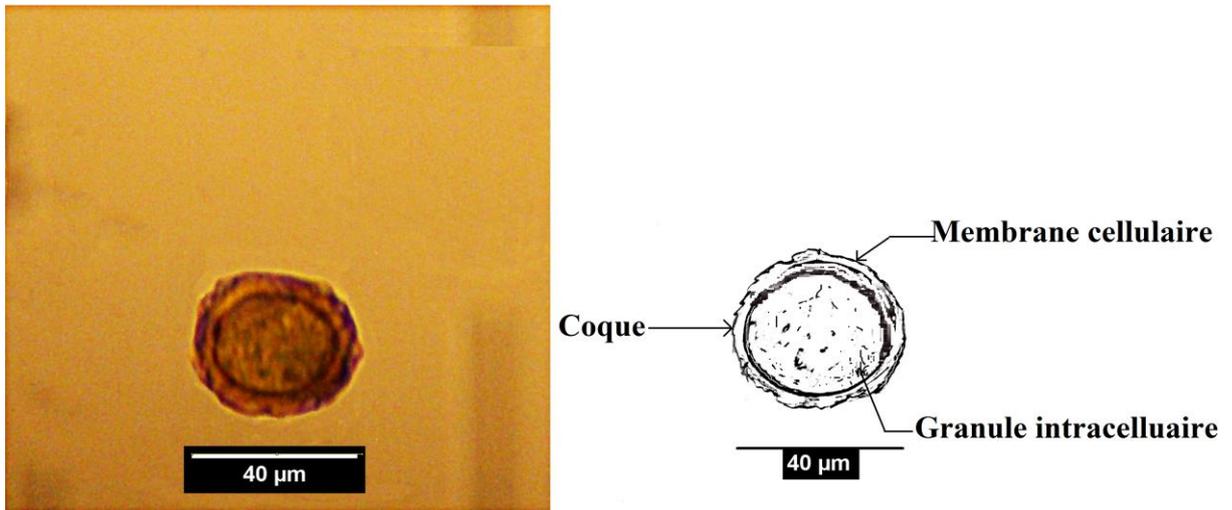


Figure 18: Œuf d'*Ascaris sp.* Chez *Microcebus rufus* (Cliché et dessiné par RAFALINIRINA 2012-2015)

- **Description**

Dimensions : 28-65 μ m X 20-45 μ m

Forme : ovale et symétrique, (sphérique)

Coque : entouré d'une couche albumineuse mamelonnée brune

Contenu : masse centrale granuleuse unique et ronde (zygote)

Couleur : brun jaunâtre

Caractéristique : ils remplissent les caractères des familles des Ascarididae

- ✓ **Parasite n°5**

- **Position systématique**

Règne : Animal

Embranchement : Plathelminthes

Classe : Cestoda

Ordre : Cyclophyllidea

Famille : Hymenolepidae

Genre : *Hymenolepis*

espèce : non identifié

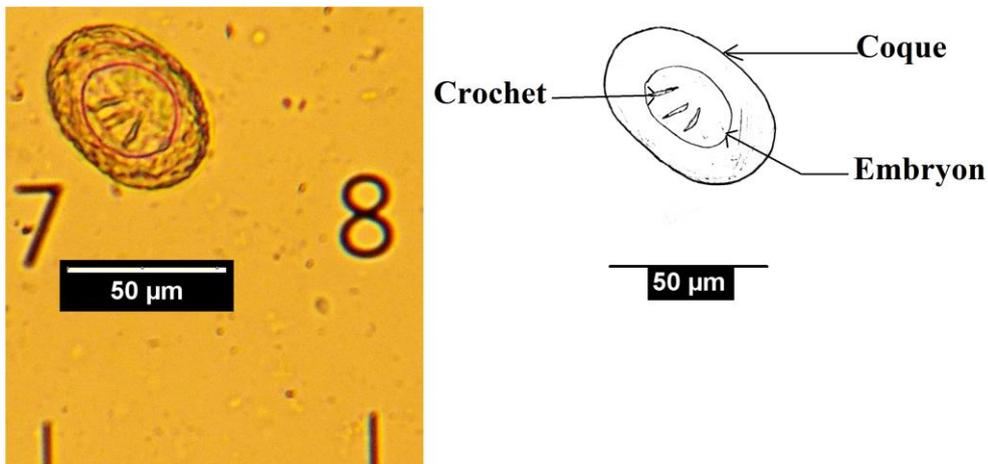


Figure 19: Œuf d'*Hymenolepis* sp. Chez *Microcebus rufus* (Cliché et dessiné par RAFALINIRINA 2012-2015)

- **Description**

Dimension : 40-60 μ m X 30-50 μ m

Forme : ovoïde ou rond, symétrique

Coque : mince et lisse

Contenu : Embryophore avec deux bouchons polaires et quelques filaments partant des bouchons

Couleur : transparent, gris très clair.

Caractéristique : crochet bien visible

- ii. **Protozoaire**

- ✓ **Parasite n°6**

- **Position systématique**

Règne : Animal

Embranchement : Apicomplexa

Classe : Teleosporea

Ordre : Coccidia

Famille : non identifié

Genre : non identifié

espèce : non identifié

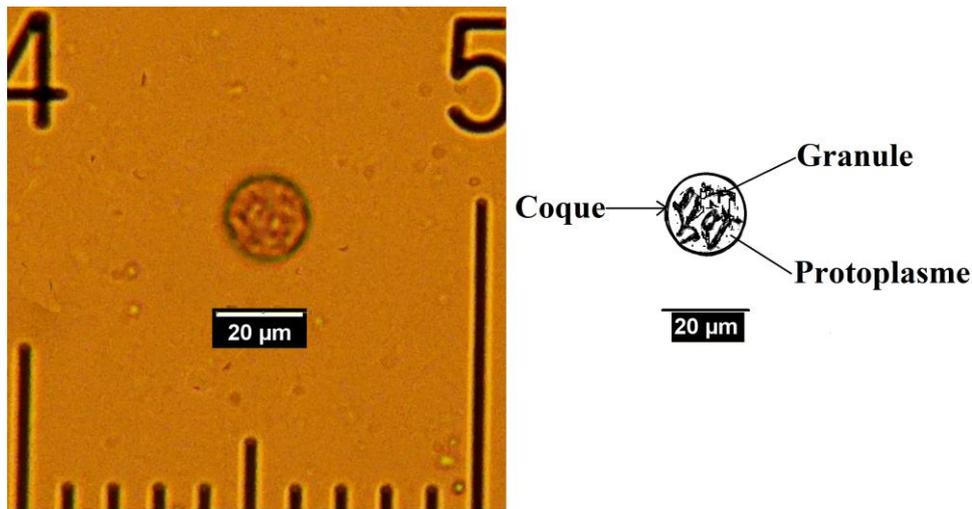


Figure 20: Oocystes de coccidé non identifié Chez *Microcebus rufus* (Cliché et dessiné par RAFALINIRINA 2012-2015)

- *Description*

Forme sphérique, ils possèdent deux membranes, protoplasme granuleux de couleur marron

- iii. Ectoparasite

- ✓ Parasite no7

- *Position systématique*

Règne : Animal

Embranchement : Arthropode

Classe : Insecta

Ordre : Phthiraptera

Famille : Polyplacidae

Genre : *Lemurpediculus*

espèce : *verruculosus*

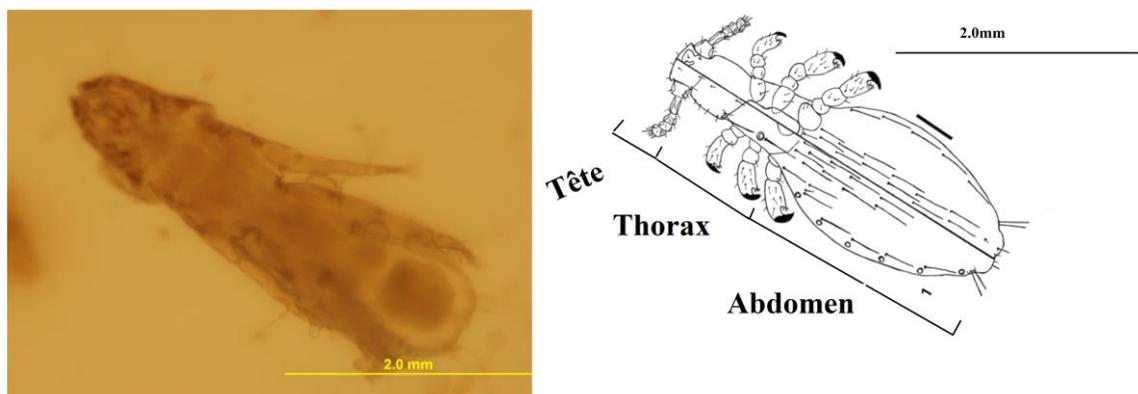


Figure 21: *Lemurpediculus verruculosus* trouvé Chez *Microcebus rufus* (Cliché et dessiné par RAFALINIRINA 2012-2015)

- *Description*

Présentant un dimorphisme sexuel au niveau de trois parties du corps : tête, thorax, abdomen

2. STATISTIQUE DESCRIPTIVE SUR LES INFESTATIONS PARASITAIRES

a. Prévalence globale

Parmi les espèces parasitaires inventoriées les prévalences des *Strongyloides sp*, *Hymenolepis sp*, *Lemurpediculus verruculosus* et *Coccidia* sont significativement les plus dominantes (**figure n°22**), c'est-à-dire que les *Microcebus rufus* au Parc National de Ranomafana sont plus infestés par ces 3 espèces de parasite gastro-intestinal et par cette espèce de poux.

Pour la prévalence globale de ces parasites dans le Parc, il y a une infestation importante de *Strongyloides sp*. 43.69% des individus capturés sont infestés (173 individus sur 204) par ce type de parasite, puis 16.67% (66 individus sur 204) infestés par *l'Hymenolepis sp*, tandis que 23.99% (95 individus sur 204) et 11.87% (47 individus sur 204) sont respectivement infestés par l'ectoparasite et le *Coccidia*.

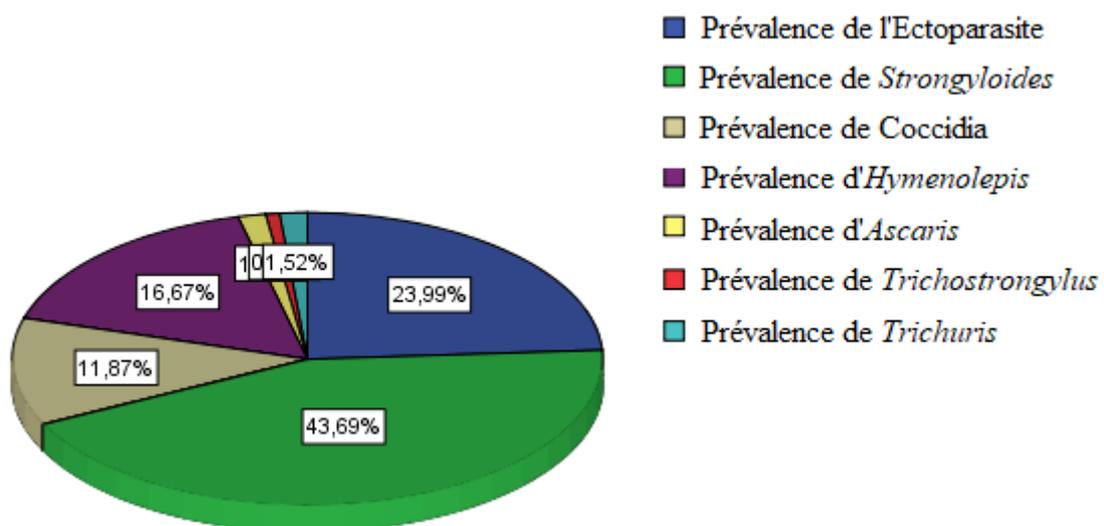


Figure 22: Prévalence globale d'infection parasitaire chez les *Microcebus rufus* au Parc Nationale de Ranomafana

Donc, on voit que chez les *Microcebus rufus* de Ranomafana, le nématode est le plus répandu dans le site, suivi de l'ectoparasite, du cestode et du protozoaire donc il y a un risque d'épidémie importante dans le parc.

b. Abondance parasitaire moyenne et richesse spécifique

Le résultat du **tableau n°4** ci-après nous montre que le sexe mâle a le plus nombre d'abondance parasitaire pour l'ensemble des parasites donc il présente de risque dans la

propagation de ces parasites. Ensuite, on voit que le groupe d'individus à Ranofady secrète beaucoup d'œufs de *Strongyloides* sp dans la matière fécale, tandis que pour les œufs de cestode ce sont les individus de Talatakely qui en secrètent le plus, et les poux y sont en abondance. Alors il y a une importante contamination de ces parasites dans ces sites. D'ailleurs, le résultat nous montre une abondance parasitaire pendant la période d'accouplement ce qui signifie un risque d'infestation élevé. En outre, il y a une augmentation du nombre d'œufs de nématode dans la matière fécale de *Microcebus rufus* durant les années d'études, donc une prolifération d'infection. Toutefois, une régression du nombre de poux qui infecte le corps a été observé. Les cestodes ne sont pas présents en 2013 mais réapparue en 2015.

Tableau 4: Moyennes des œufs par gramme de fèces pour *Strongyloides* et *Hymenolepis*, Oocyste moyenne par gramme de fèces pour le *Coccidia*, nombre de poux moyens pour l'ectoparasite, Richesse spécifique moyenne de parasite (valeur minimum-valeur maximum).

	<i>Strongyloides</i> sp	<i>Hymenolepis</i> sp	<i>Lemurpediculus verruculosus</i>	<i>Coccidia</i>	RSP
	Moyenne (min-max)	Moyenne (min-max)	Moyenne (min-max)	Moyenne (min-max)	Moyenne (min-max)
sexe					
F	278 (0-4388)	13 (0-247)	3 (0-90)	11 (0-580)	1 (0-4)
M	287 (0-3900)	78 (0-1000)	21 (0-145)	29 (0-950)	3 (0-5)
site					
Campsite	242 (0-2660)	24 (0-965)	5 (0-70)	6 (0-160)	2 (0-4)
Talatakely	256 (0-3900)	71 (0-1000)	19 (0-145)	10 (0-245)	2 (0-4)
Ranofady	724 (0-4388)	4 (0-50)	1 (0-6)	199 (0-950)	2 (0-5)
Période					
1	80 (0-556)	53 (0-965)	12 (0-120)	2 (0-20)	2 (0-4)
2	251 (0-1259)	66 (0-1000)	17 (0-145)	8 (0-160)	2 (0-4)
3	465 (0-4388)	36 (0-518)	10 (0-140)	48 (0-950)	2 (0-4)
Année					
2012	155 (0-2660)	80 (0-1000)	16 (0-145)	8 (0-160)	2 (0-4)
2013	239 (0-1242)	0	13 (0-120)	3 (0-87)	1 (0-3)
2015	754 (0-4388)	16 (0-217)	2 (0-40)	88 (0-950)	2 (0-5)

min=valeur minimale, max= valeur maximale, RSP= richesse spécifique, période 1 : avant l'accouplement, période 2 : pendant l'accouplement, période 3 : après l'accouplement

Pour la richesse spécifique des parasites en particulier, cet indice reflète le polyparasitisme chez un individu hôte. Dans cette étude on voit que 63.23% des *Microcebus rufus* présentent un polyparasitisme c'est-à-dire que 129 sur les 204 capturés sont infectés au moins par deux espèces de parasites (**figure n°23**). 63 individus hébergent deux espèces de parasites distincts (soit 30.88%), 46 hébergent trois (soit 22.5%), un seul en héberge 5 espèces (soit 0.49%).

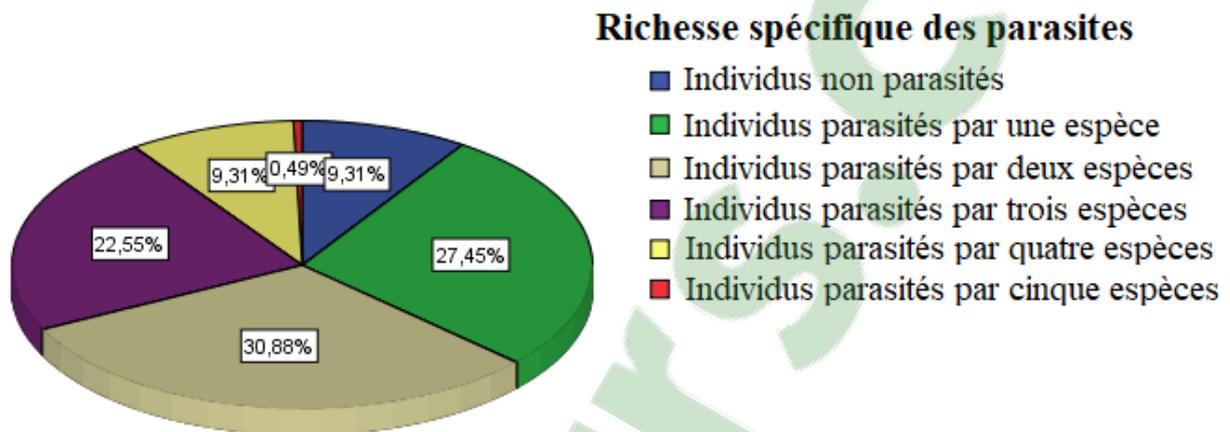


Figure 23: Diagramme de fréquence de la richesse spécifique parasitaire chez les *Microcebus rufus* au Parc Nationale de Ranomafana

3. ANALYSE DES INFESTATIONS PARASITAIRES

a. Analyse de prévalence parasitaire selon le sexe, site, période et année d'étude

Le **tableau n°5** ci-après résume le résultat du test de χ^2 concernant la prévalence d'infection parasitaire selon le sexe, le site, la période, et les années d'études.

Les individus mâles sont significativement les plus infestés par ces 4 types d'espèces de parasites par rapport aux individus femelles (**tableau n°5**) ($\chi^2=11.99$, $p=0.00$). Donc ils sont plus exposés au risque d'infestation que les femelles.

Il se dégage que le groupe d'individus du site de Ranofady est significativement les plus infesté par *Hymenolepis* sp et *Coccidia*, tandis que celui du Campsite et de Talatakely sont les plus infestés respectivement par le *Strongyloides* sp et *Lemurpediculus verruculosus*.

On constate qu'il n'y a pas de différence significative pour la prévalence de ces 4 types d'espèces parasitaires durant la période d'étude

La population de *Microcebus rufus* capturé durant l'année 2012 montrent un taux d'infestation supérieur par *Hymenolepis* sp, tandis que celle de l'année 2015 présente le taux de prévalence d'infestation de *Coccidia* supérieur par rapport aux deux autres années.

En effet pour cette étude, l'hypothèse alternative qui postule sur la différence significative de taux d'infestations parasitaires selon le sexe, le site, les années d'études est acceptée. Alors, il y a une hétérogénéité sur la distribution d'infestations parasitaires chez les *Microcebus rufus* au Parc Nationale de Ranomafana selon ses facteurs. Cependant, il n'y pas différence significative sur les parasites les plus dominants à chaque période d'étude. D'où quel que soit avant ou pendant ou après la période d'accouplement les Microcèbes pourraient avoir le même taux d'infestations parasitaires dans le Parc National de Ranomafana.

Tableau 5: Résultats des analyses des prévalences d'infections parasitaires selon le sexe, site, période et année d'étude

	<i>Strongyloides</i> sp.				<i>Hymenolepis</i> sp.				<i>Lemurpediculus verruculosus</i>				<i>Coccidia</i>			
	<i>n</i>	Prévalence (%)	χ^2	<i>P</i>	<i>n</i>	Prévalence (%)	χ^2	<i>P</i>	<i>n</i>	Prévalence (%)	χ^2	<i>P</i>	<i>n</i>	Prévalence (%)	χ^2	<i>P</i>
Sexe																
F	87	74.70			87	16.10			87	17.20			87	13.80		
			11.99	0.00			18.33	0.00			52.43	0.00			7.31	0.01
M	117	92.30			117	44.40			117	68.40			117	29.90		
Site																
Campsite	71	87.30			71	23.90			71	31.00			71	14.10		
Talatakely	119	86.60	8.95	0.01	119	14.30	7.16	0.03	119	56.30	11.54	0.00	119	25.20	9.27	0.01
Ranofady	14	57.10			14	39.50			14	42.90			14	50.00		
Période																
1	62	88.70			62	38.70			62	54.80			62	16.10		
2	62	87.10	2.42	0.30	62	37.10	4.48	0.11	62	48.40	3.75	0.15	62	24.20	2.61	0.27
3	80	80.00			80	23.80			80	38.80			80	27.50		
Année																
2012	104	120			120	48.30			120	50.80			120	27.50		
2013	42	47	5.1	0.08	47	0	38.43	0.00	47	38.30	2.33	0.31	47	6.40	9.64	0.01
2015	27	37			37	21.60			37	43.20			37	29.70		

n=taille d'échantillon, *p*=probabilité, χ^2 = valeur du Khi², période 1 : avant l'accouplement, période 2 : pendant l'accouplement, période 3 : après l'accouplement

b. Corrélation entre les mesures d'infections parasitaires chez *Microcebus rufus*

i. Corrélation entre les prévalences parasitaires

En général, on a une corrélation linéaire positive entre les mesures d'infections parasitaires (Annexe 3) chez le *Microcebus rufus*.

-La corrélation est faiblement significative entre les infestations de l'ectoparasite et les parasites gastro-intestinaux. *Lemurpediculus verruculosus* vis à vis au *Strongyloides* sp ($r=0.23$, $p=0.00$), *Lemurpediculus verruculosus* vis-à-vis au *Coccidia* ($r=0.17$, $p=0.02$), *Lemurpediculus verruculosus* vis-à-vis au *Hymenolepis* sp ($r=0.15$, $p=0.03$). Environ 5% de variation des infections de parasites gastro-intestinaux sont en liaison avec l'infection de l'ectoparasite.

-Quand la richesse spécifique dans l'analyse fut introduite, on a observé une faible corrélation entre la richesse spécifique vis-à-vis du taux d'infection de *Strongyloides* sp ($r=0.51$, $p=0.00$), la richesse spécifique vis-à-vis du *Coccidia* ($r=0.55$, $p=0.00$), la richesse spécifique vis-à-vis du *Trichuris* sp. ($r=0.25$, $p=0.00$). Pas plus de 25% de la variation de polyparasitisme sont en liaison avec les prévalences de ces parasites gastro-intestinaux.

-Toutefois, la corrélation est moyennement significative entre la prévalence du *Lemurpediculus verruculosus* et la richesse spécifique des parasites ($r=0.66$, $p=0.00$) idem entre la prévalence d'*Hymenolepis* sp et richesse spécifique ($r=0.62$, $p=0.00$). D'après le coefficient de détermination (r^2) 44% de la variation de l'ectoparasite et 38% du cestode se trouvent liés avec le polyparasitisme. Plus un individu est parasité par plusieurs espèces de parasites gastro-intestinaux, plus le nombre d'ectoparasites et de cestodes observé est abondant.

ii. Corrélation entre les abondances parasitaires

Le résultat (Annexe 4) nous montre que seules les corrélations faiblement positives sont observées entre les abondances parasitaires, et les indices de polyparasitisme. Elles sont significatives au seuil de signification $\alpha = 0.05$

L'analyse d'association entre l'abondance des parasites gastro-intestinaux est marquée par les corrélations faiblement significatives entre OPG *Coccidia* vis-à-vis au OPG *Strongyloides*

sp ($r=0.31$, $p=0.00$), OPG *Coccidia* vis-à-vis au *Ascaris* sp. ($r=0.40$, $p=0.00$), OPG *Coccidia* vis-à-vis au OPG *Trichuris* sp. ($r=0.44$, $p=0.00$), OPG *Strongyloides* sp vis-à-vis au OPG *Ascaris* sp ($r=0.46$, $p=0.00$), OPG *Strongyloides* sp vis-à-vis au OPG *Trichuris* sp ($r=0.58$, $p=0.00$), OPG *Trichuris* vis-à-vis au OPG *Ascaris* sp ($r=0.43$, $p=0.00$). On constate que pas plus de 34% des variations de ces abondances parasitaires sont en liaison.

L'indice de polyparasitisme (richesse spécifique) est beaucoup plus corrélé avec les mesures d'abondance parasitaire. Il est corrélé avec les OPG *Coccidia* ($r=0.24$, $p=0.00$), OPG *Strongyloides* sp ($r=0.14$, $p=0.05$), OPG *Hymenolepis* sp ($r=0.35$, $p=0.00$), OPG *Trichuris* sp ($r=0.19$, $p=0.01$), ainsi que qu'avec le nombre d'ectoparasite ($r=0.25$, $p=0.00$). On voit que, pas plus de 12% de la variation de richesse spécifique de parasite sont en relation avec la variation de ces indices d'abondance parasitaire chez *Microcebus rufus*.

En bref, nous avons trouvé une corrélation linéaire positive entre les indices d'infections parasitaires. Une faible corrélation a été observée entre les taux d'infestations parasitaires, ainsi qu'entre les abondances parasitaires.

Afin de synthétiser toutes ces informations sur les corrélations entre les indices d'infections parasitaire chez le *Microcebus rufus*, une analyse en composante principale pour les variables quantitatives (abondance des parasites) a été procédée. Celle-ci permet de condenser l'information sur ces variables en fonction des facteurs synthétiques (ou composantes) et d'analyser et déterminer les facteurs de risque dans la modélisation statistique.

4. MODELISATION SUR LA VARIATION D'ABONDANCE, DE RICHESSE SPECIFIQUE DES PARASITES SELON LES FACTEURS SOCIO-ECOLOGIQUES

Les facteurs socio-écologiques utilisés pour analyser la variation de l'abondance et la richesse spécifique des parasites sont le sexe, le site, la période et l'année d'études, ainsi que les interactions entre ces facteurs. Les effets de la température rectale de chaque individu qui a été prise au moment de la capture, la température journalière moyenne et la pluviométrie dans le site d'étude ont été étudiés également.

a. Variation de l'abondance parasitaire

Une analyse en composante principale a été effectuée afin de condenser les informations sur les valeurs d'abondance parasitaire corrélées. Ainsi, le résultat de l'ACP révèle que seule

la composante 1 possède une valeur propre supérieure à 1 (égale à 2.32). Ensuite, il explique 57.96% de la variance dans l'abondance parasitaire. Les parasites *Coccidia*, *Strongyloides* sp, *Ascaris* sp., *Trichuris* sp sont fortement corrélés avec cette composante (**Annexe 5**).

Comme le montre le résultat du MLGM (**tableau n°6**) ci-après, il y a une différence significative d'abondance parasitaire (estimé à partir des OPG) entre les mâles et les femelles de *Microcebus rufus* ($F=12.00$, $p=0.00$), c'est-à-dire il y a une différence sexuelle dans la sécrétion des œufs ou des oocystes. Les parasites gastro-intestinaux évacuent différemment leurs œufs ou d'oocystes selon le sexe. Ensuite, la différence est significative entre le groupe de Microcèbes selon le site ($F=82.33$, $p=0.00$), donc le degré de charge parasitaire est différent selon le site. Cependant, l'abondance parasitaire varie selon l'effet combinatoire d'année d'étude, du sexe, de la période et le site ($F=9.38$, $p=0.00$). Donc ces paramètres interagissent sur la sécrétion des œufs ou des oocystes des parasites gastro-intestinaux.

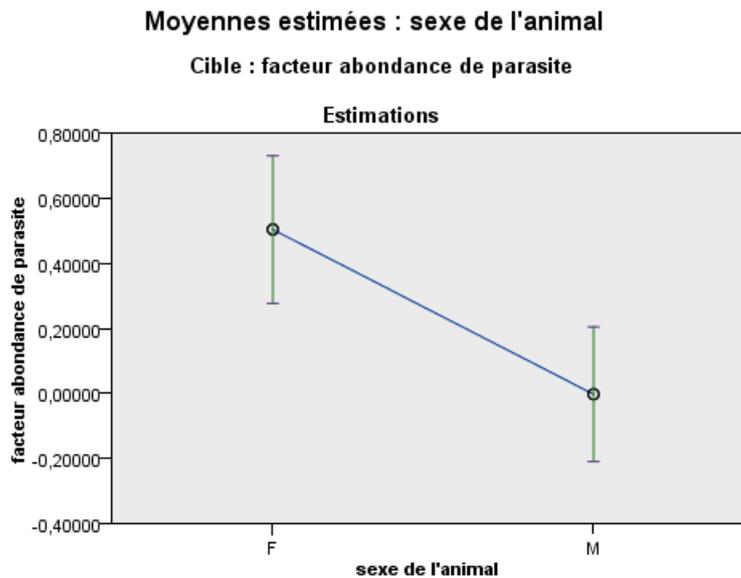
Les facteurs environnementaux pluviométrie et température moyenne du site n'ont pas d'effet sur la variation de cette mesure d'infection parasitaire. De même pour la température rectale individuelle.

Tableau 6: Modèle linéaire général mixte (MLGM) de facteur d'abondance parasitaire chez *Microcebus rufus*, avec la distribution de probabilité normale et la fonction de lien identité utilisées, $\Delta i=3$

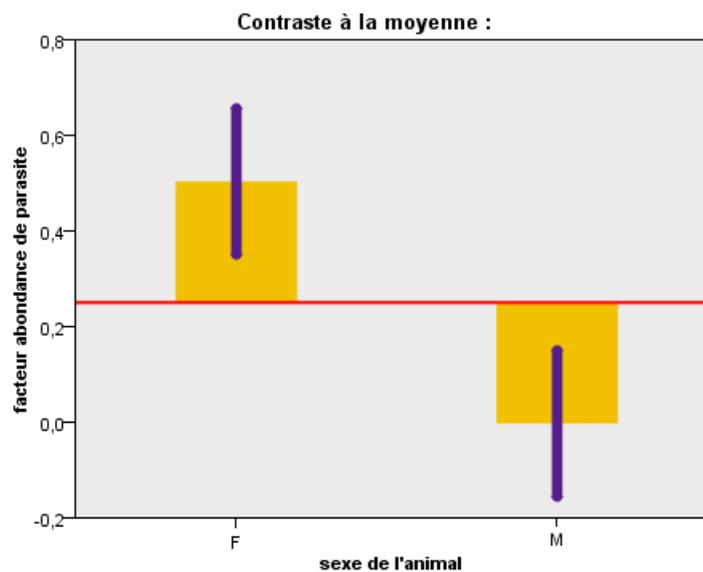
Variable réponse	Variabes explicatives	F	ddl	p
Facteur abondance parasitaire	Année d'étude	1.35	2	0.26
	Sexe	12.00	1	0.00
	Période	0.32	2	0.73
	Site	82.33	2	0.00
	Année d'étude*sexe*période*site	9.38	21	0.00
	Température rectale	2.82	1	0.09
	Pluviométrie (mm)	1.96	1	0.16
	Température moyenne du site (°C)	0.09	1	0.77

Distribution de probabilité : Normale, fonction de lien identité, ddl : degré de liberté

Pour mettre en évidence l'effet brut du sexe sur la variation d'abondance parasitaire, la **figure n°24** ainsi que la valeur des paramètres estimés dans l'**Annexe 6** nous ont révélé qu'avec les prédictors (ou variables explicatives) fixés aux valeurs suivantes : la pluviométrie dans le site = 7.68mm, la température moyenne du site = 18.24 °C, la température rectale de l'individu = 37.09 °C, on estime que le sexe femelle ont plus de 1.21 (coefficient dans MLGM) fois d'œuf ou d'oocyste par gramme de fèces que les individus mâles ($t=-3.02$, $p=0.00$), c'est-à-dire que chez elles les parasites gastro-intestinaux secrètent plus des œufs ou des oocystes dans le fèces (**Annexe 6**).



Les prédicteurs sont fixés à la valeur suivante: pluviometrie= 7.68 mm, température moyenne du site=18.24°C, température rectale= 37.09°C

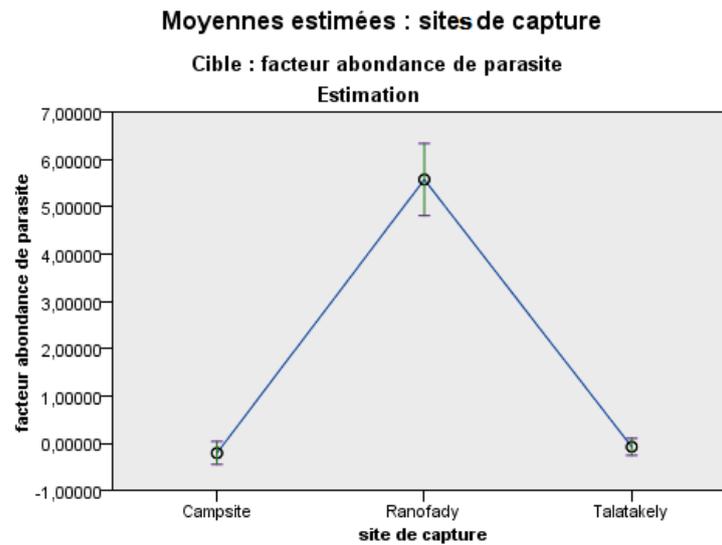


la ligne horizontale est la moyenne globale estimée facteur abondance de parasite. Les barres verticales sont les contrastes de deviation (facteur abondance de parasite à chaque niveau de sexe de l'animal moins facteur abondance de parasite global).

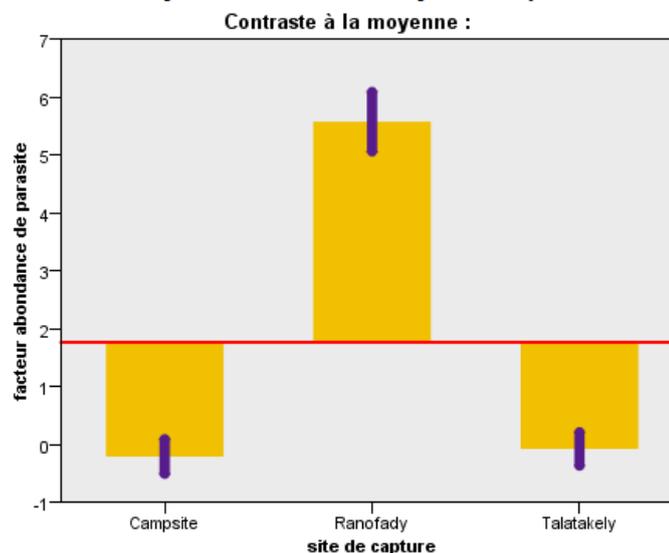
Les contrastes significatifs sont ombrés en couleur or. Le niveau de signification ajuste la différence la moins significative est 0.05

Figure 24: Variation significative de l'abondance parasitaire au niveau de sexe de *Microcebus rufus*

Pour l'effet brut du site d'étude sur la variation d'abondance parasitaire, la **figure n°25** ainsi que la valeur des paramètres estimée dans l'**Annexe 6** nous montrent qu'avec les prédicteurs (ou variables explicatives) fixés aux valeurs suivantes : la pluviométrie dans le site = 7.68mm, la température moyenne du site = 18.24 °C, et la température rectale de l'individu = 37.09 °C, les parasites dans le groupe de *Microcebus rufus* du site de Ranofady secrètent beaucoup plus d'œufs ou d'oocystes dans le fèces que les deux autres sites. Donc, il y a un important risque d'infection pour les Microcèbes dans ce site.



Les prédicteurs sont fixés à la valeur suivante: pluviometrie= 7.68 mm, température moyenne du site=18.24°C, température rectale= 37.09°C



La ligne horizontale — est la moyenne globale estimée facteur de parasite. Les barres verticales sont les contrastes de déviation (facteur abondance de parasite à chaque niveau de site de capture moins facteur abondance de parasite global).

Les contrastes significatifs sont ombrés en couleur or . Le niveau de signification ajusté de la différence la moins significative est 0.05

Figure 25: Variation significative de l'abondance parasitaire au niveau des sites de capture de *Microcebus rufus*

En synthétisant le résultat du tableau des paramètres estimés (**Annexe 6**) sur les effets des interactions de sexe, de site, de la période et d'année d'étude sur la variation de l'abondance parasitaire, on remarque que les individus femelles de l'année 2012 avant et pendant la période d'accouplement, que ce soit dans le site de Campsite ou Talatakely secrètent plus d'œufs ou d'oocystes de parasite que les individus mâles pendant la même année. Ensuite, le même cas est observé pour l'année 2013, puis en 2015 avec une importante abondance de parasites chez les individus sur le site de Ranofady.

Bref, pour la variation d'abondance parasitaire chez les *Microcebus rufus* au Parc National de Ranomafana, nous avons trouvé que la sécrétion d'œufs ou d'oocystes est importante chez les femelles que chez les mâles, ensuite il y a une variation de cette mesure d'infection parasitaire selon le site, le groupe de Microcèbe dans le site de Ranofady qui secrète plus d'œufs et/ou d'oocystes dans les fèces. Cependant, les facteurs environnementaux considérés (pluviométrie, température du site) n'ont aucun effet sur l'abondance parasitaire chez la population de microcèbes à Ranomafana.

b. Variation de la richesse spécifique des parasites

Le **tableau n°7** résume le résultat du MLGM pour l'analyse des facteurs qui affectent la variation de richesse spécifique. Il y a une différence significative sur la richesse spécifique des parasites selon le sexe de *Microcebus rufus* ($F=17.24$, $p=0.00$), c'est-à-dire le nombre d'espèce de parasites qui infectent les Microcèbes est différent entre les mâles et les femelles. Les autres facteurs ne présentent aucun effet sur la variation de RSP.

Tableau 7 : Modèle linéaire général mixte (MLGM) sur la variation de richesse spécifique parasitaire chez *Microcebus rufus*, la distribution de probabilité avec Poisson et la fonction de lien log utilisées, $\Delta i=2$

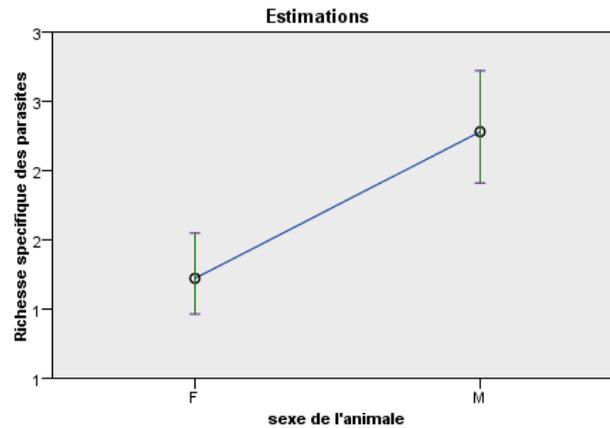
Variable réponse	Variabes explicatives	<i>F</i>	ddl	<i>p</i>
Richesse spécifique	Année d'étude	1.48	2	0.23
	Sexe	17.24	1	0.00
	Période	0.87	2	0.42
	Site	1.27	2	0.28
	Année d'étude*sexe*période*site	0.74	21	0.78
	Température rectale	0.88	1	0.35
	Pluviométrie (mm)	0.14	1	0.70
	Température moyenne du site (°C)	0.00	1	0.97

Distribution de probabilité : Normale, fonction de lien identité, ddl : degré de liberté

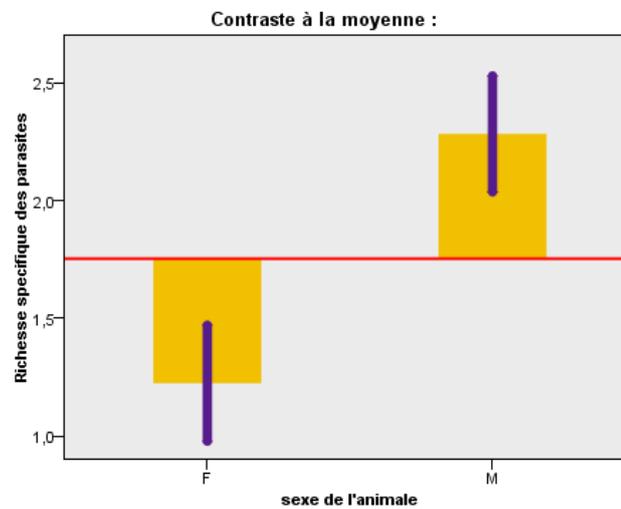
Pour bien voir l'effet brut du facteur sexe sur le polyparasitisme, la **figure n°26** ainsi que la valeur des paramètres estimés dans l'annexe 7 nous montre qu'avec les prédicteurs (ou variable explicative) fixés aux valeurs suivantes: la pluviométrie dans le site = 7.68mm, la température moyenne du site = 18.24 °C, température rectale de l'individu = 37.09 °C, on estime que les femelles ont moins de 0.54 (coefficient dans MLGM, **Annexe 7**) de nombre d'espèces de parasite qui les infectent par rapport aux mâles, c'est-à-dire elles sont infectées par la moitié du nombre d'espèces parasitant les individus mâles . Donc le polyparasitisme est important chez les mâles.

Moyennes estimées : sexe de l'animal

Cible : Richesse spécifique des parasites



Les prédicteurs sont fixés à la valeur suivante: pluviometrie= 7.68 mm, température moyenne du site=18.24°C, température rectale= 37.09°C



La ligne horizontale — est la moyenne globale estimée Richesse spécifique des parasites. Les barres verticales sont les contrastes de deviation (Richesse spécifique des parasites à chaque niveau de sexe de l'animale moins richesse spécifique des parasites global).

Les contrastes significatifs sont ombrés en couleur or . Le niveau de signification ajusté de la différence la moins significative est 0.05.

Figure 26: Variation significative de la richesse spécifique de parasite au niveau de sexe de *Microcebus rufus*

Certes, le polyparasitisme est différent au niveau individuel, c'est à dire entre les sexes de *Microcebus rufus*. Les mâles sont plus infestés par plusieurs espèces de parasites que les femelles. D'ailleurs, les facteurs environnementaux n'ont aucun effet sur le polyparasitisme chez les Microcèbes à Ranomafana.

III. ANALYSE DES CONDITIONS CORPORELLES DES *MICROCEBUS*

RUFUS

1. STATISTIQUE DESCRIPTIVE DES INDICES DE CONDITION CORPORELLE

a. Indice de gabarit (IG)

Le résultat de l'ACP sur les mesures de circonférence (CRQ, CMQ, CB, CC), y compris le volume du corps (VC) révèle que seule la composante 1 possède une valeur propre supérieure à 1 (égale à 2.42), ensuite il explique 48.32% de la variance dans l'indice de gabarit (annexe 8). Cette composante a été prise comme indice de gabarit (IG).

Le **tableau n°8** ci-après nous montre que pour la description d'IG, nous avons trouvé que les sexes mâles ont un indice négatif (-0.19 ± 1.01), alors ils sont moins volumineux que les femelles (0.26 ± 0.90). Ensuite, c'est le groupe de Microcèbes au Campsite (0.30 ± 0.92) sont le plus volumineux par rapport à ceux du Talatakely (-0.05 ± 0.96) et du Ranofady (-1.02 ± 0.87).

Ensuite, on a observé que la population de Microcèbes durant la période d'accouplement (-0.18 ± 0.93) et après (-0.01 ± 1.00) est moins volumineuse. Et il en est de même au cours de l'année 2015 (-0.24 ± 1.06) (**tableau n°8**).

b. Masse corrigée pour la longueur du corps (MCi)

L'équation de la régression linéaire entre $\log_{10} M$ sur $\log_{10} LTC$ est : $Y = 1.46X - 1.84$ ($r=0.54$, $t=-4.52$, $p=0.00$). Alors la valeur de pente en exposant (b_{SMA}) pour le calcul de MCi est de 2.70 (issue de la relation entre la pente b et r de la régression de la masse corporelle sur la taille), ensuite la longueur totale du corps en moyenne pour les individus de *Microbus rufus* est de 262.27mm (**Annexe 13**).

Ainsi, pour la description de MC, nous avons remarqué que dans le tableau n°8 ci-après on ne voit pas une grande différence de masse corrigée entre les individus mâles et femelles. Cependant, le groupe de Microcèbes à Ranofady présente une faible MC ($44.82 \pm 5.29g$) que celui dans les deux autres sites, donc faible masse. Ensuite, on remarque qu'il y a une régression de ce caractère dans la population de Microcèbes pendant le période d'accouplement ($47.36 \pm 5.80g$), ainsi qu'au cours de l'année 2013 ($48.97 \pm 6.17g$).

c. Condition corporelle (CC)

Pour la différence entre la masse observée sur la masse corrigée, que nous avons considéré comme condition corporelle (CC), on a vu que les mâles sont en mauvaise condition (-0.23 ± 3.23 g) que les femelles (0.53 ± 2.43 g) (**tableau n°8**). Et le groupe de Microcèbes dans le site de Campsite et de Ranofady sont en mauvaise condition que ceux du Talatakely. Cependant, on voit une progression de la condition corporelle au cours des périodes d'étude et de même pour les années d'étude, ce sont les populations du 2012 qui sont en mauvaise condition (-0.47 ± 2.89 g), puis il y avait une amélioration progressive de condition pour l'année 2013 (0.36 ± 2.63 g) et 2015 (1.54 ± 2.94 g).

Tableau 8: Statistique descriptive des indices de condition corporelle

		<i>MCi</i>	<i>Indice gabarit</i>	<i>Condition corporelle</i>
		Moyenne (\pm écart-type)	Moyenne (\pm écart-type)	Moyenne (\pm écart-type)
Sexe	F	49.33	0.26	0.53
		(\pm 6.95)	(\pm 0.90)	(\pm 2.43)
	M	49.08	-0.19	-0.23
		(\pm 6.23)	(\pm 1.01)	(\pm 3.23)
Site	Campsite	49.68	0.30	-0.17
		(\pm 7.01)	(\pm 0.92)	(\pm 1.88)
	Talatakely	49.35	-0.05	0.41
		(\pm 6.26)	(\pm 0.96)	(\pm 3.44)
	Ranofady	44.82	-1.02	-1.28
		(\pm 5.29)	(\pm 0.87)	(\pm 1.53)
Période	1	49.38	0.24	-0.74
		(\pm 5.90)	(\pm 0.99)	(\pm 3.16)
	2	47.36	-0.18	0.20
		(\pm 5.80)	(\pm 0.93)	(\pm 2.58)
	3	50.46	-0.01	0.65
		(\pm 7.24)	(\pm 1.00)	(\pm 2.89)
Année	2012	49.08	0.01	-0.47
		(\pm 6.89)	(\pm 0.94)	(\pm 2.89)
	2013	48.97	0.19	0.36
		(\pm 6.17)	(\pm 1.02)	(\pm 2.63)
	2015	49.84	-0.24	1.54
		(\pm 6.06)	(\pm 1.06)	(\pm 2.94)

MC: masse corrigée pour la taille (scaled mass index)

2. CORRELATION ET SIGNIFICATION ENTRE LES INDICES DES CONDITIONS CORPORELLES

a. Corrélation entre MC et IG

La corrélation entre la masse corrigée pour la taille et l'indice de gabarit a bel et bien existée. Elle est positive et significative ($r=0.61$, $p=0.00$). D'après le coefficient de détermination r^2 environ 40% de la variation de l'IG sont en liaison positive avec MC, c'est-à-dire que les Microcèbes volumineux ont tendance à avoir une valeur MC supérieure.

L'équation de la droite entre ces deux mesures d'indice de condition corporelle est stable durant l'année d'étude ($Y = 4.05X + 49.27$), c'est-à-dire la variation de MC est déterminée constamment par la variation d'IG (**figure n°27**).

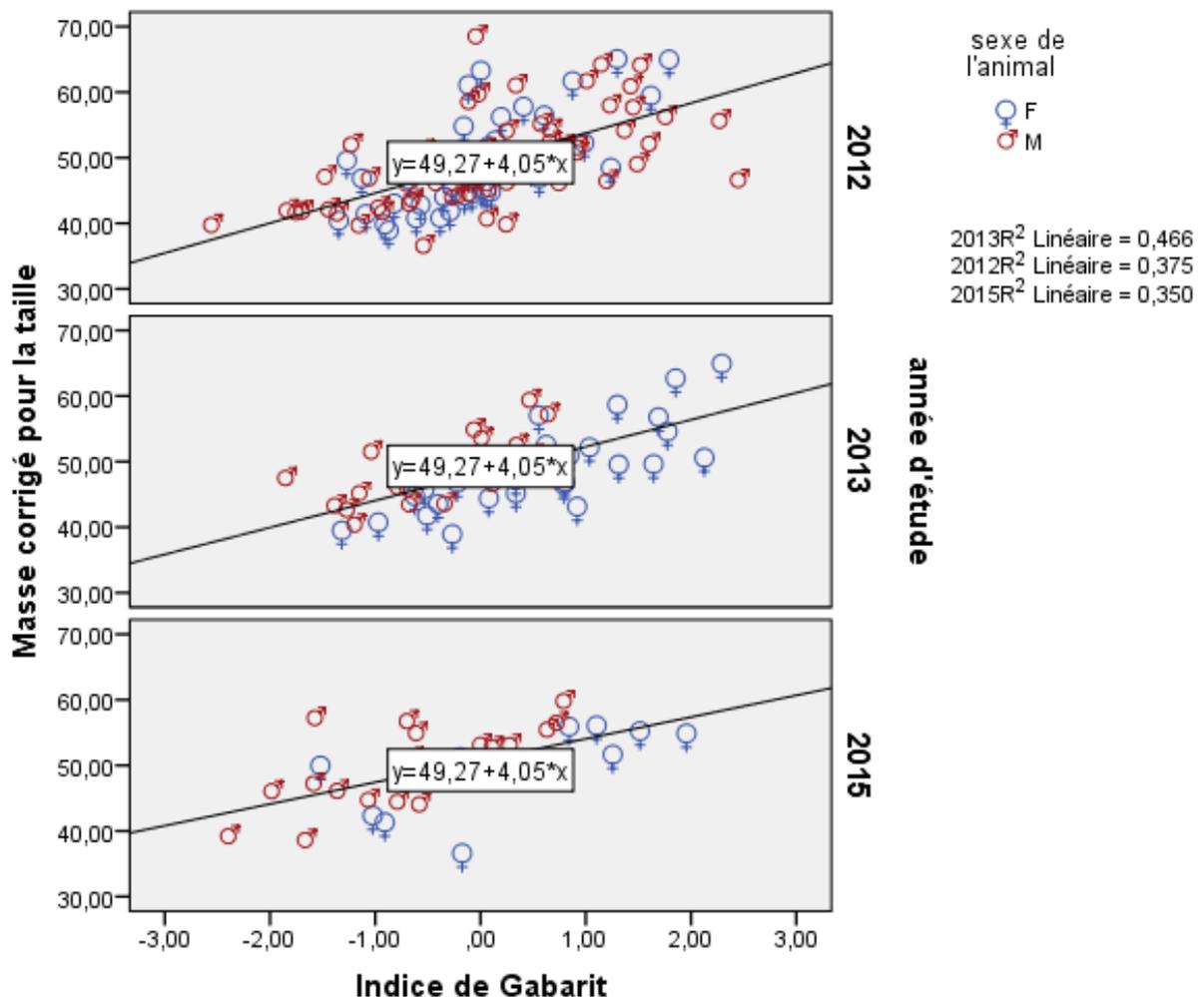


Figure 27: Corrélation linéaire entre la masse corrigée et l'indice de gabarit chez *Microcebus rufus* durant l'année d'étude

b. Corrélation entre IG et condition corporelle

Une corrélation positivement significative a été observée entre l'IG et la condition corporelle ($r=0.43$, $p=0.00$). Plus les individus sont en bonne condition plus ils sont volumineux. Le coefficient de détermination de cette relation est en progression, et l'équation de la droite $Y= 1.26X + 0.03$ est stable pour tout l'année, c'est-à-dire la variation de la condition corporelle est déterminée constamment par la variation de l'IG (**figure n°28**).

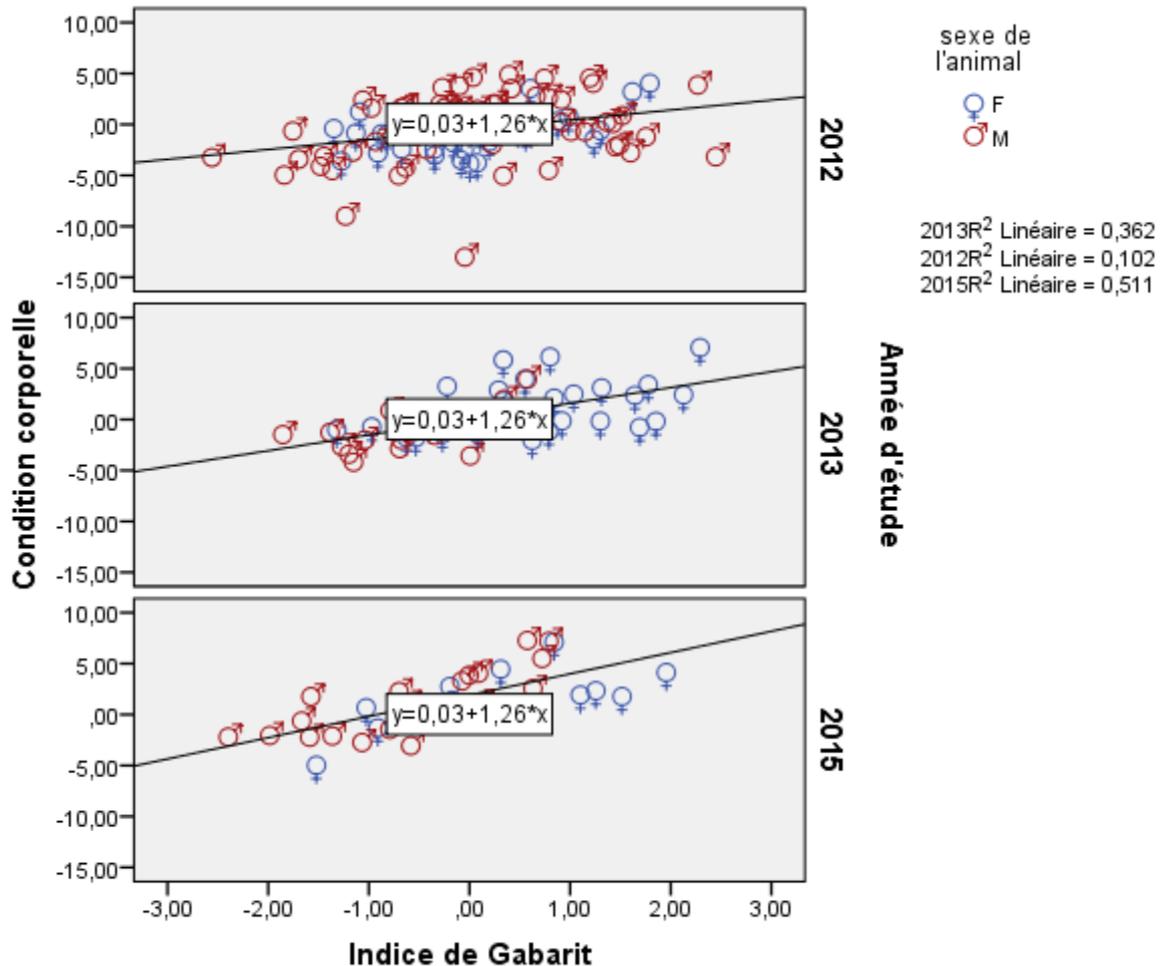


Figure 28: Corrélation linéaire entre la condition corporelle et l'indice de gabarit chez *Microcebus rufus* durant l'année d'étude

A part des corrélations existantes entre ces 3 mesures d'indice de condition corporelle, nous avons trouvé chez les sexes mâles des corrélations significativement positives linéaires d'IG par rapport au volume de testicule ($r=0.38$, $p=0.00$), MC vis-à-vis du volume de testicule ($r=0.42$, $p=0.00$), CC vis-à-vis du volume de testicule ($r=0.41$, $p=0.00$) (**Annexe 9**). Alors, il semble que chez les *Microcebus rufus* mâles, la performance en condition corporelle est déterminée par le volume de testicules. Plus les individus sont en bonne condition corporelle plus le volume du testicule est gros.

**IV. ANALYSE DES EFFETS DES FACTEURS SOCIO-ÉCOLOGIQUES ET
LES MESURES D'INFECTIONS PARASITAIRES SUR LES INDICES
DE CONDITION CORPORELLE CHEZ LES *MICROCEBUS RUFUS***

Les effets des facteurs socio-écologiques suivants ont été étudiés : le sexe, site, période et année d'étude, ainsi que les interactions entre ces facteurs. Ensuite les mesures d'infection parasitaire comme la richesse spécifique de parasite et l'indice d'abondance parasitaire issus de l'analyse en composante principale sont employés dans la modélisation.

**1. EFFETS DES FACTEURS SOCIO-ÉCOLOGIQUES ET LES
MESURES D'INFECTIONS PARASITAIRES SUR LA
VARIATION DE L'INDICE DE GABARIT**

D'après le résultat du **tableau n°9**, on observe qu'il y a un effet significatif de la richesse spécifique sur l'indice de gabarit ($F=6.53, p=0.01$). Le RSP a un impact négatif sur cet indice corporel ($b=-0.18, t=-2.56, p=0.01$) (**Annexe 10**). Ceci signifie que pour une infestation d'une espèce de parasite supplémentaire, l'indice de gabarit chez les *Microcebus rufus* diminue significativement de 0.18.

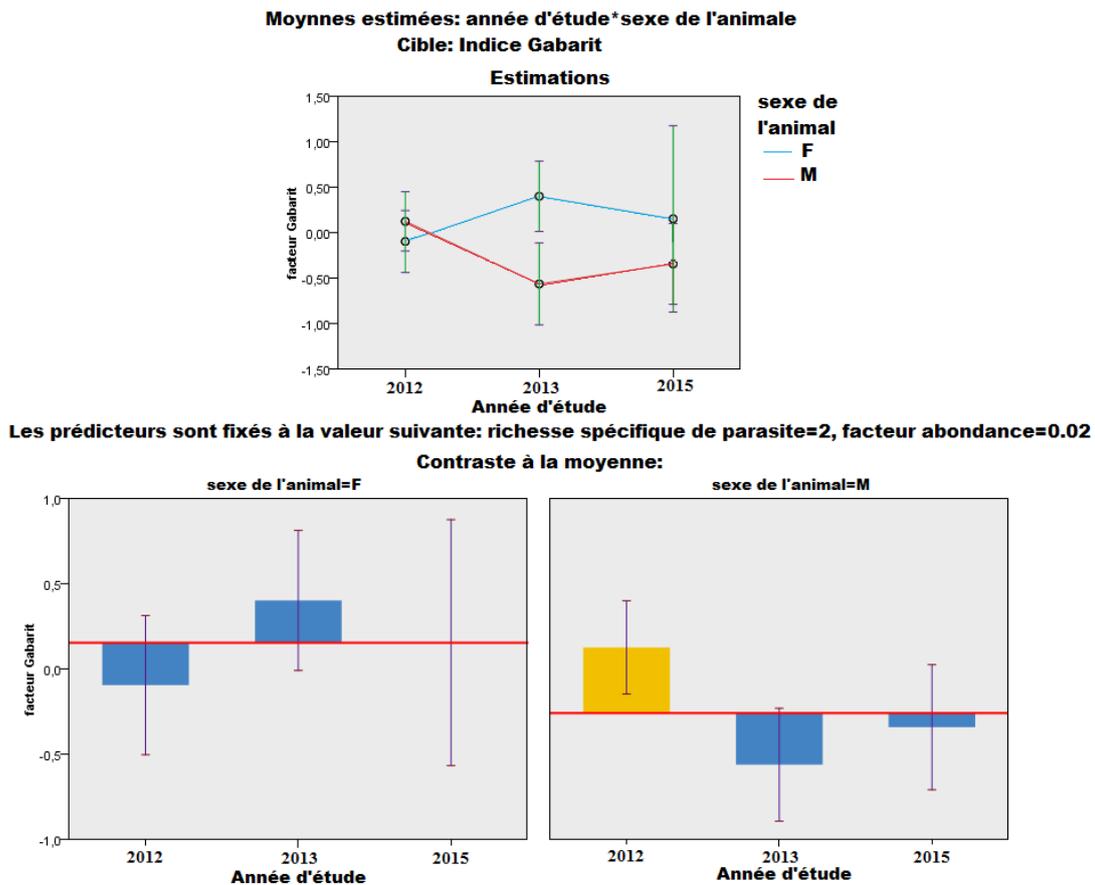
Les interactions du facteur année d'étude et sexe ont un impact significatif sur la variation de l'IG ($F=7.17, p=0.00$), de même pour l'effet combinatoire de sexe et période ($F=5.81, p=0.00$). Cependant, les facteurs fixes année d'étude, sexe, période d'étude, abondance parasitaire n'ont pas d'effet sur la variation de l'IG. Idem pour l'effet combinatoire d'année et de la période d'étude ; et de celui d'année d'étude* de site. Il en ressort que l'effet de ces facteurs sur la variation de l'IG semble homogène.

Tableau 9 : Modèle linéaire général mixte (MLGM) de la variation de l'IG chez *Microcebus rufus*, la distribution de probabilité normale et la fonction de lien identité utilisées, $\Delta i=4$

Variable réponse	Variables explicatives	F	ddl	p
Indice de gabarit	Année d'étude	0.96	2	0.39
	Sexe	0.94	1	0.33
	Période	1.68	2	0.19
	Site	1.23	2	0.29
	RSP	6.53	1	0.01
	Facteur abondance parasitaire	0.00	1	0.97
	Année d'étude*sexe	7.17	2	0.00
	Année d'étude* période	0.11	3	0.95
	Année d'étude* site	0.01	1	0.92
	Sexe*période	5.81	2	0.00

Distribution de probabilité : Normale, fonction de lien identité, ddl : degré de liberté, RSP : richesse spécifique de parasite

Pour bien voir la tendance de variation de l'IG selon l'effet combinatoire de sexe et d'année d'étude, la **figure n°29** ainsi que la valeur des paramètres estimés en **Annexe 10** nous montre qu'avec les prédicteurs (ou variables explicatives) continus fixés aux valeurs suivantes : RSP = 2, l'abondance parasitaire = 0.02, on estime que les femelles pendant l'année 2013 ont plus de 1.26 (coefficient dans MLGM, $b=1.26$, $t=2.32$, $p=0.02$, **Annexe 10**) d'IG par rapport à celui des mâles de même année et les individus de l'année 2015. C'est-à-dire durant cette année-là, les femelles sont beaucoup plus volumineuses que les mâles.



La ligne horizontale — est la moyenne globale estimée facteur gabarit. Les barres verticales | sont les contrastes de déviation (facteur gabarit à chaque niveau d'année d'étude moins facteur gabarit global).

Les contrastes significatifs sont ombrés en couleur or ■. Le niveau de signification ajusté de la différence la moins significative est 0.05

Figure 29: Variation significative de l'indice de gabarit en fonction de l'interaction de l'année d'étude et le sexe du *Microcebus rufus*

Ensuite, pour la mise en évidence d'effet combinatoire du sexe et de la période de capture, avec les prédicteurs fixés aux mêmes valeurs, les individus femelles avant ($b=-1.05$, $t=-2.95$, $p=0.00$) et pendant la période d'accouplement ($b=-0.92$, $t=-2.86$, $p=0.01$) (**Annexe 10**) ont des indices de gabarit faible (moins volumineux) par rapport à ceux après la période d'accouplement et à ceux des mâles pendant toutes les périodes. La différence d'IG est très remarquée après la période d'accouplement, il y a une augmentation importante du volume du corps des femelles pendant cette période, elles sont en bonne condition selon cet indice (**figure n°30**).

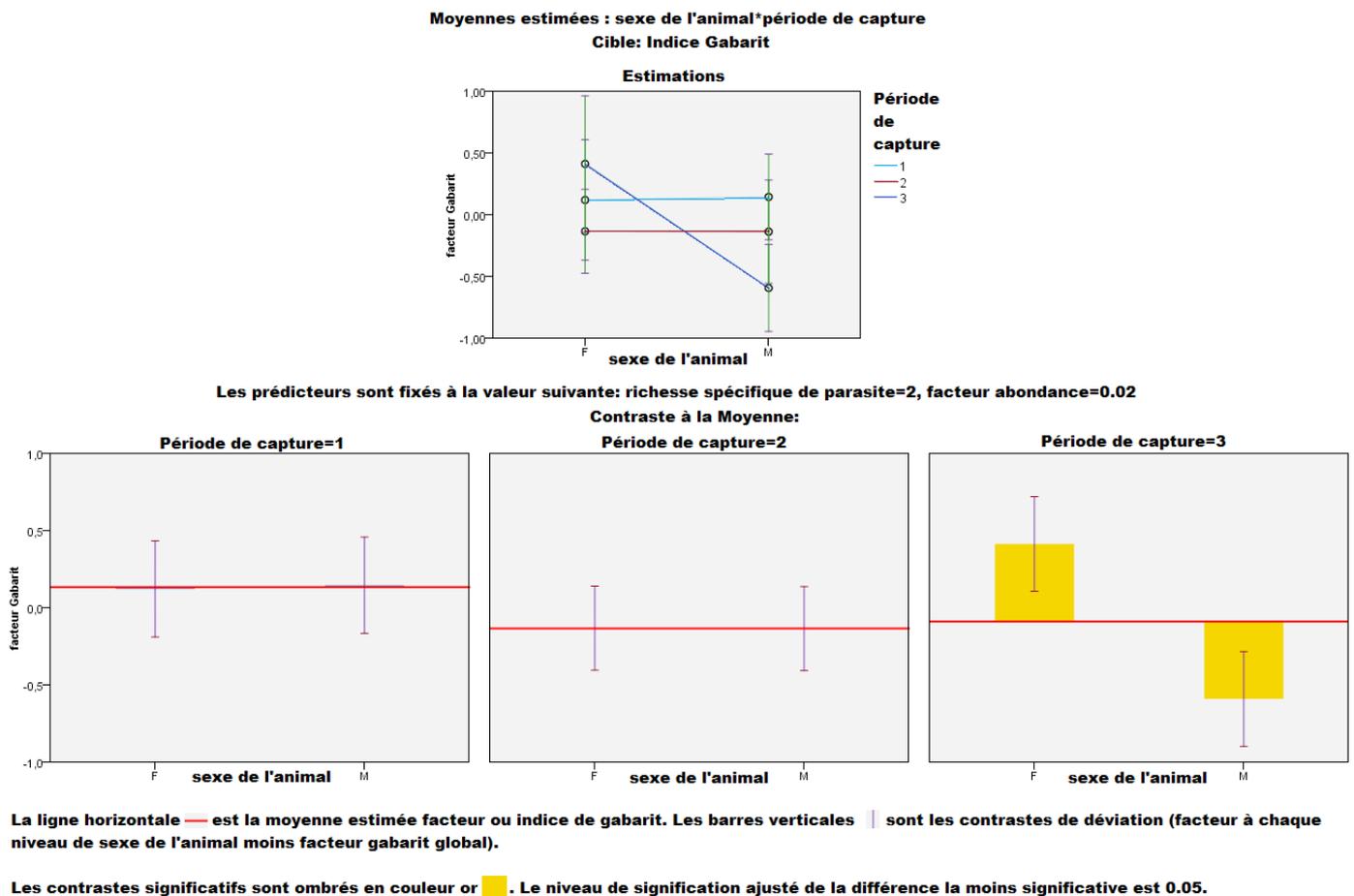


Figure 30: Variation significative de l'indice de gabarit en fonction de l'interaction du sexe et le période de capture de *Microcebus rufus*

Certes, pour l'analyse des effets des facteurs socio-écologiques et les mesures d'infection parasitaire sur la variation de l'Indice de Gabarit, nous avons trouvé que la richesse spécifique de parasite présente un effet négatif sur cet indice, plus les populations de *Microcebus* sont infectées par plusieurs espèces de parasites plus le volume de leur corps diminue. Ensuite, les interactions entre les facteurs années d'étude*sexe et sexe*période montre une hétérogénéité pour la variation de l'IG.

**2. EFFETS DES FACTEURS SOCIO-ECOLOGIQUES ET LES
MESURES D'INFECTIONS PARASITAIRES SUR LA
VARIATION DE LA MASSE CORRIGEE POUR LA TAILLE**

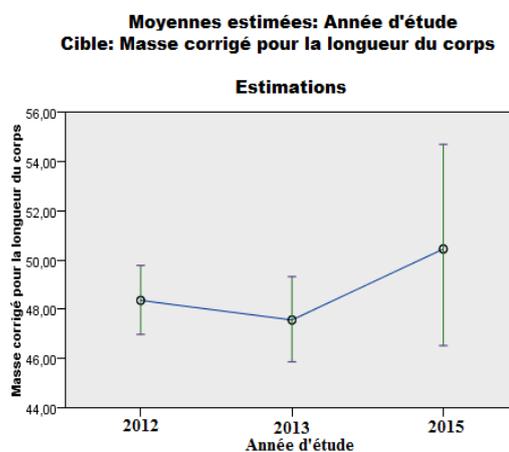
Pour cet indice MC, le résultat du **tableau n°10** nous montre qu'il y a une différence significative de la masse corrigée de la population de Microcèbes à Ranomafana pendant l'année 2012, 2013 et puis 2015 ($F=5.46$, $p=0.01$), c'est-à-dire il y a une variation de cet indice (MC) au cours de l'année. En plus, on observe le même constat avec l'effet combinatoire du sexe et de la période d'étude ($F=19.60$, $p=0.00$), l'interaction du facteur sexe et la période d'étude agissent sur la variation de la masse corrigée pour la taille chez les *Microcebus rufus*. Cependant, aucun effet des mesures d'infection parasitaire (l'abondance parasitaire et la richesse spécifique) et d'autres facteurs n'a été observé pour la variation de la masse corrigée chez les *Microcebus rufus*.

Tableau 10 : Modèle linéaire général mixte (MLGM) de la variation de MC chez *Microcebus rufus*, la distribution de probabilité normale et fonction de lien log utilisées, $\Delta i=6$

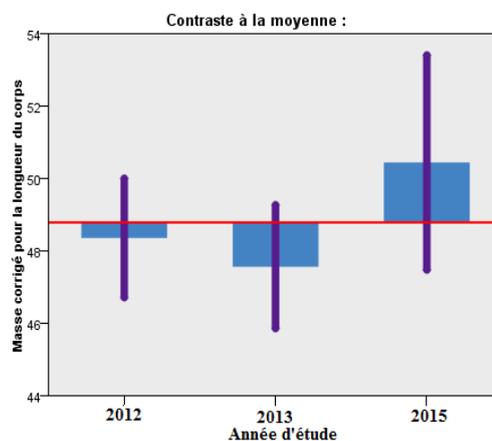
Variable réponse	Variables explicatives	<i>F</i>	ddl	<i>p</i>
Masse corrigée pour la taille	Année d'étude	5.46	2	0.01
	Sexe	0.54	1	0.47
	Période	2.79	2	0.06
	Site	1.70	2	0.19
	RSP	2.61	1	0.11
	Facteur abondance parasitaire	1.12	1	0.29
	Année d'étude*sexe	1.45	2	0.24
	Année d'étude* période	0.14	3	0.94
	Année d'étude* site	0.27	1	0.61
	Sexe*période	19.60	2	0.00

Distribution de probabilité : Normale, fonction de lien log, ddl : degré de liberté, RSP : richesse spécifique de parasite

Pour bien voir l'effet brut de l'année d'étude sur la variation de MC, la **figure n°31** et la valeur des paramètres estimés en **Annexe 11** nous ont révélé qu'avec les prédicteurs (ou variables explicatives) fixés aux valeurs suivantes : l'abondance parasitaire=0.0070 et la spécifique=2, il semble que les populations de Microcèbe de l'année 2012 et celles de 2013 présentent de faibles masses corrigées par rapport à celles de l'année 2015. Durant ces deux années, elles perdent respectivement 0.15g ($t=-2.92$, $p=0.00$) et 0.19g ($t=-3.02$, $p=0.00$) par rapport à celui du 2015. Ils étaient en mauvaise condition en 2012 et 2013, cependant leur condition corporelle s'améliore en 2015.



Les prédicteurs continus sont fixés aux valeurs suivantes: abondance parasitaire= 0.0070, richesse spécifique de parasite=2



La ligne horizontale — est la moyenne globale estimée masse corrigée pour la longueur totale du corps. Les barres verticales | sont les contrastes de déviation (Masse corrigée pour la longueur du corps à chaque niveau d'année d'étude moins masse corrigée pour la longueur totale du corps global).

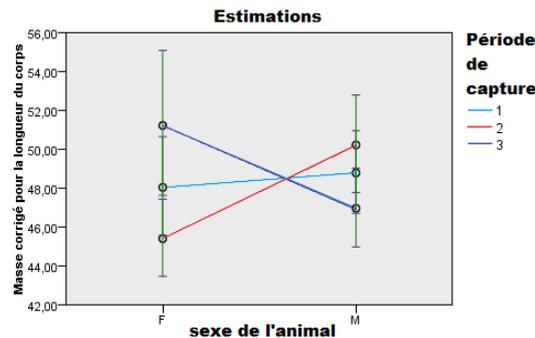
Les contrastes significatifs sont ombrés en couleur or ■. Le niveau de signification ajusté de la différence la moins significative est 0.05.

Figure 31: Variation de la masse corrigée pour la longueur du corps au cours de l'année d'étude

D'ailleurs, la mise en évidence sur la tendance de la variation de MC selon l'interaction de l'effet de sexe et de la période de capture est montrée par les paramètres estimés en **Annexe 11** et est observée sur la **figure n°32**. On voit qu'avec les prédicteurs (ou

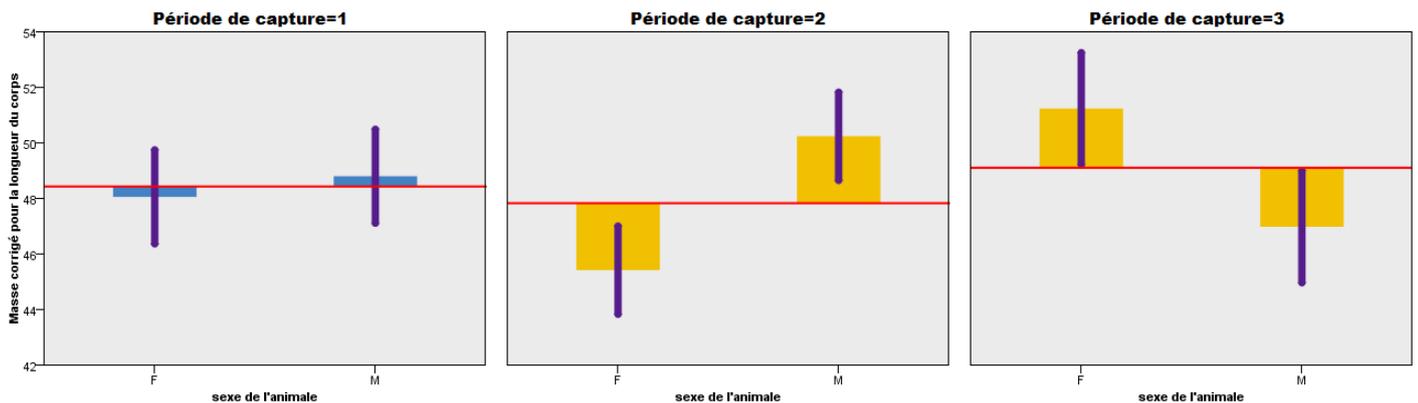
variables explicatives) fixés aux valeurs suivantes : l'abondance parasitaire=0.0070 et la richesse spécifique=2, les individus femelles avant et pendant la période d'accouplement sont en mauvaise condition que celles pendant la période 3 et aussi par rapport à celle de sexe mâle pour toute période. Elles ont un déficit de masse pondérale de 0.16g ($t=-4.34$, $p=0.00$) avant l'accouplement et 0.22g ($t=-6.14$, $p=0.00$) pendant l'accouplement par rapport aux femelles après la période d'accouplement et ceux du mâle pour toute période.

Moyennes estimées: sexe de l'animal*periode de capture
Cible: Masse corrigée pour la longueur du corps



Les prédicteurs continus sont fixés à la valeurs suivante: abondance parasitaire=0.0070, richesse spécifique de parasite=2

Contraste à la moyenne:



La ligne horizontale — est la moyenne globale estimée de Masse corrigée pour la longueur du corps. Les barres verticales sont les contrastes de déviation (Masse corrigée pour la longueur du corps à chaque niveau de sexe de l'animal moins masse corrigée pour la longueur du corps).

Les contrastes significatifs sont ombrés en couleur orange. Le niveau de signification ajusté de la différence la moins significative est 0.05.

Figure 32: Variation significative de la masse corrigée en fonction du sexe et de la période de capture

En bref, les mesures d'infection parasitaire n'ont aucun effet sur la variation de MC, idem pour l'effet individuel de sexe, de site et de la période d'étude. Cependant, on a vu qu'il y a un effet significatif de l'année d'étude sur la variation de MC au sein des populations de Microcèbes à Ranomafana, c'est en 2015 qu'elles présentent de masse assez importante, c'est-à-dire il y avait une amélioration de leur condition corporelle pour cette année. Ensuite il y avait une différence sexuelle de MC en interaction avec la période d'étude. Ce sont les mâles qui sont en bonne condition avant et pendant la période d'accouplement, cependant la tendance est renversée après.

3. EFFETS DES FACTEURS SOCIO-ECOLOGIQUES ET LES MESURES D'INFECTIONS PARASITAIRES SUR LA VARIATION DE LA CONDITION CORPORELLE (CC)

Une variation significative de condition corporelle a été observée pour l'année d'étude ($F=7.74$, $p=0.00$), ensuite selon le site ($F=5.07$, $p=0.01$), ainsi que pour l'effet combinatoire de l'année d'étude et du sexe ($F=17.42$, $p=0.00$), c'est-à-dire que le facteur année d'étude interagit avec le facteur sexe pour la variation de la condition corporelle chez la population de *Microcebus rufus*.

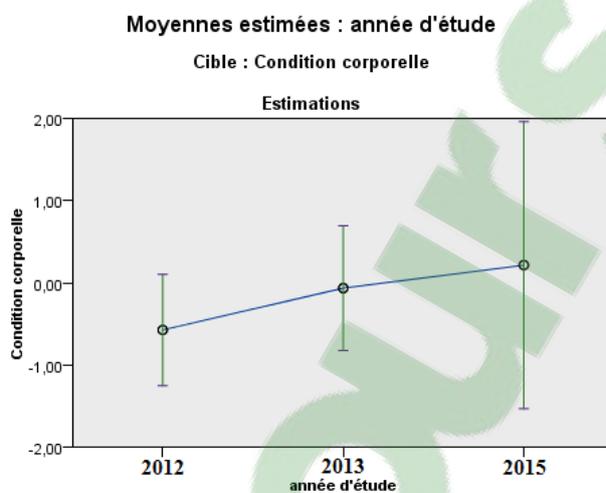
Puis on a observé l'effet significatif d'infection parasitaire « abondance parasitaire » sur la variation de la condition corporelle ($F=4.15$, $p=0.04$) (tableau n°11). L'impact marginal de cette mesure d'infection parasitaire sur CC est positive ($b=0.60$, annexe 12). Ceci signifie que si la condition corporelle des Microcèbes augmente de 0.60g, alors il aura une secretion d'un nombre d'oeufs ou d'oocystes par gramme de fèces.

Tableau 11: Modèle linéaire général mixte (MLGM) de la variation de la CC chez *Microcebus rufus*, la distribution de probabilité normale et la fonction de lien identité utilisées, $\Delta i=2$

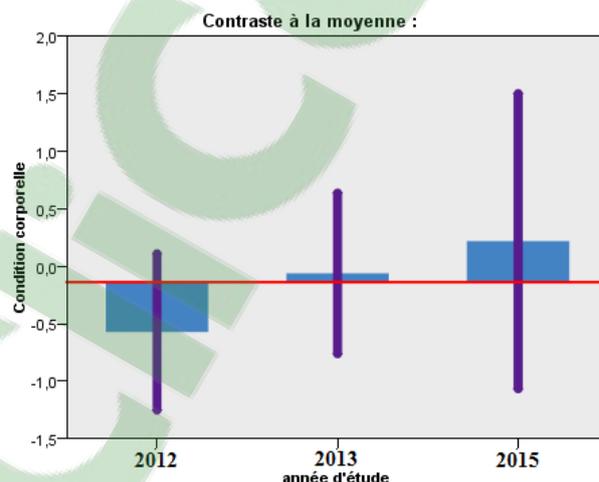
Variable réponse	Variabes explicatives	F	ddl	p
Condition corporelle	Année d'étude	7.74	2	0.00
	Sexe	0.07	1	0.80
	Période	0.79	2	0.46
	Site	5.07	2	0.01
	RSP	0.05	1	0.82
	Facteur abondance parasitaire	4.15	1	0.04
	Année d'étude*sexe	17.42	2	0.00
	Année d'étude* période	0.20	3	0.90
	Année d'étude* site	2.22	1	0.14
	Sexe*période	0.43	2	0.65

Distribution de probabilité : Normale, fonction de lien identité, ddl : degré de liberté, RSP : richesse spécifique de parasite

Ainsi, pour mettre en évidence l'effet brut de l'année d'étude sur la variation de la CC, la **figure n°33** et la valeur des paramètres estimés en **Annexe 12** nous ont révélé qu'avec les prédicteurs (ou variables explicatives) fixés aux valeurs suivantes : l'abondance parasitaire=0.0070 et la richesse spécifique=2, les populations de *Microcebus rufus* pendant l'année 2012 et 2013 ont perdu respectivement 3.75g ($t=-3.30$, $p=0.00$) et 4.39g ($t=-3.40$, $p=0.00$) de condition corporelle par rapport à celles du 2015. On a observé une progression de condition corporelle, durant l'année d'étude.



Les prédicteurs continus sont fixés à la valeurs suivante: abondance parasitaire=0.0070 richesse spécifique de parasite=2

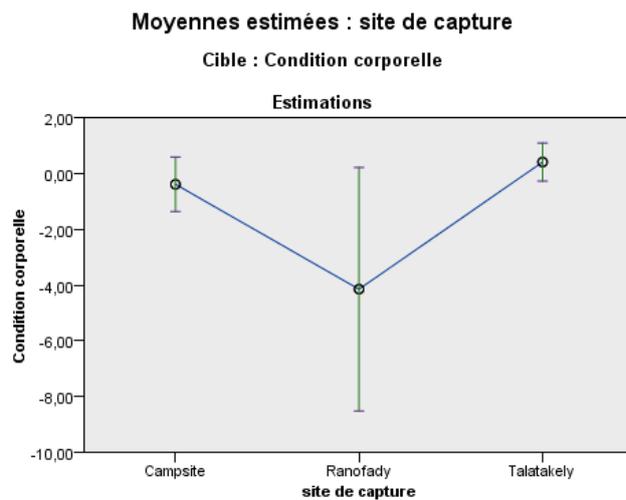


La ligne horizontale — est la moyenne globale estimée condition corporelle. Les barres verticales | sont les contrastes de déviation (condition corporelle à chaque niveau d'année d'étude moins condition corporelle global).

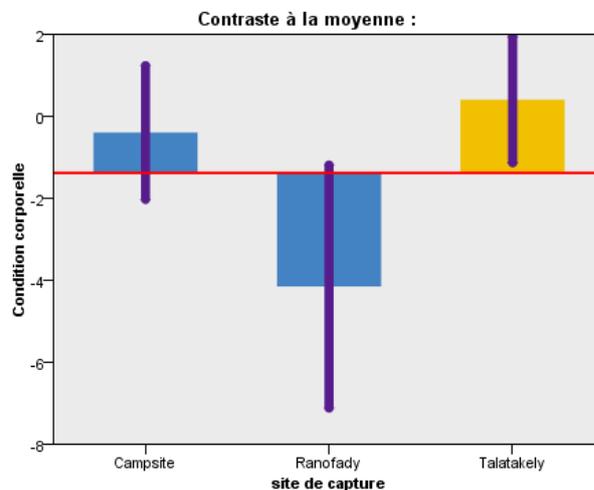
Les contrastes significatifs sont ombrés en couleur or ■. Le niveau de signification ajusté de la différence la moins significative est 0.05.

Figure 33: Variation de la condition corporelle de la population de *Microcebus rufus* selon le facteur année d'étude

D'ailleurs, le groupe de *Microcebus* dans le site de Ranofady a perdu significativement 6.45g ($t=-5.44$, $p=0.00$) de la condition corporelle (CC) par rapport à celui du Talatakely, ensuite le groupe dans le Campsite a perdu 0.64g ($t=-0.60$, $p=0.55$) mais ceci est non significative (**Annexe 12**). Alors avec les prédicteurs fixés aux valeurs suivantes : l'abondance parasitaire=0.0070 et la richesse spécifique=2, on a estimé que le groupe de *Microcebus rufus* à Talatakely est en bonne condition corporelle (**figure n°34**).



Les prédicteurs continus sont fixés à la valeurs suivante: abondance parasitaire=0.0070 richesse spécifique de parasite=2



La ligne horizontale — est la moyenne globale estimée condition corporelle. Les barres verticales sont les contrastes de déviation (Condition corporelle à chaque niveau de site de capture moins condition corporelle global).

Les contrastes significatifs sont ombrés en couleur or. le niveau de signification ajusté de la différence la moins significative est 0.05.

Figure 34: Variation significative de la condition corporelle des groupes de *Microcebus rufus* selon le site d'étude

Malgré que les individus femelles en 2012 ont gagné 0.66 g ($t=0.49$, $p=0.66$) de condition corporelle par rapport au sexe mâle, la différence n'est pas significative. Cependant, en 2013 les individus femelles ont gagné 3.69 g de la CC par rapport au sexe mâle de la même

année et à ceux des individus de 2015, la différence est significative ($t=1.52, p=0.02$) (Annexe 12).

Ainsi, avec les prédicteurs fixés aux valeurs suivantes : l'abondance parasitaire=0.0070 et la richesse spécifique=2, on a estimé que les individus femelles de *Microcebus rufus* du 2013 et 2015 sont en bonne condition par rapport aux mâles de même année (figure n°35).

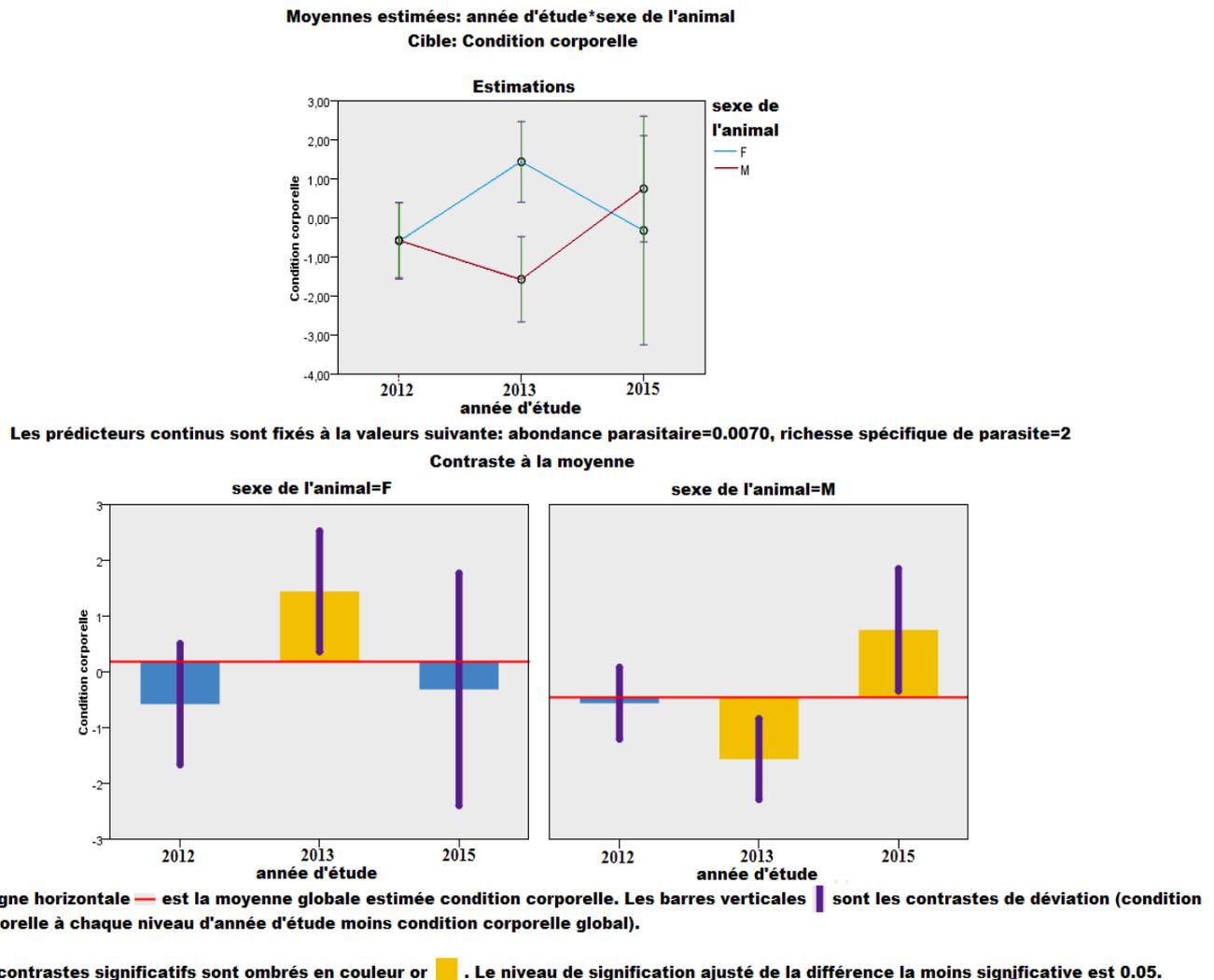


Figure 35: Variation significative de la condition corporelle chez la population de *Microcebus rufus* selon l'interaction du facteur sexe et année d'étude

Bref, pour l'analyse de condition corporelle, nous avons observé que les populations de Microcèbe en 2015 sont en bonne condition que les années précédentes. Ensuite, on a constaté que le groupe de Ranofady est en mauvaise condition. Puis, les facteurs sexe et année d'étude interagissent dans la variation de ce caractère. Finalement, on a observé que chez les *Microcebus rufus* en bonne condition il y a sécrétion beaucoup plus d'œufs ou d'oocystes dans leur matière fécale, c'est-à-dire que les parasites gastro-intestinaux chez les *Microcebus rufus* émettent en abondance d'œufs ou d'oocystes au profit de la condition de ses hôtes.

QUATRIEME
PARTIE :
DISCUSSIONS

Dans cette étude les infections parasitaires, les facteurs de risques ont été examinés, ensuite on a déterminé les indices de condition corporelle, et analysé l'effet synergique des facteurs socio-écologiques et d'infections parasitaires sur la condition corporelle de *Microcebus rufus*. Les infections parasitaires pourraient produire de risque pour cette espèce de lémurien nocturne dans l'écosystème de Ranomafana à Madagascar en détériorant la condition corporelle. Ainsi, nous avons pu documenter la présence, évaluer les facteurs de risque associées à la prévalence, l'abondance, la richesse spécifique des parasites et modéliser les effets synergiques de ces facteurs sur les indices de condition corporelle.

I. RESULTATS DE CAPTURE

Au cours de cette étude, la méthode de capture et la collecte des données sont constantes. Nous avons effectué la séance de capture six jours sur sept, et à chaque début de la nouvelle semaine on a changé de site. Comme résultat, 204 Microcèbes ont été capturés, et on a constaté qu'il y a une régression du nombre des animaux capturés durant l'année d'étude. Celle-ci pourrait être due à cause de la compétition existante entre les Microcèbes et les autres Micromammifères ou à cause de l'accrue de la prédation (Atsalis, 1998 ; 1999)^{8,9}. Cependant, on a constaté que l'élimination des rats invasifs dans les sites favorise le retour des Microcèbes capturés dans le piège, et surtout dans le site de Ranofady pour le 2015.

Les individus mâles sont beaucoup plus capturés que les femelles, ceci est dû à la différence de chronologie biologique entre les sexes mâles et femelles. Les mâles se réveillent plus tôt que les femelles pour la préparation du période d'accouplement, ce qui s'explique par la différence de nombre de capture entre les deux sexes avant la période d'accouplement. Notre constat est similaire aux observations trouvées par Atsalis (1998)⁸ sur le *Microcebus rufus* dans le Parc National de Ranomafana.

Durant et après la saison d'accouplement, la moyenne des individus capturés reste identique pour les deux sexes et on note une progression du nombre d'individus capturés, et c'est au mois de Décembre qu'on a capturé plus de Microcèbes ceci est dû au fait que pendant ces périodes les *Microcebus rufus* accomplissent une partie de leurs cycles biologiques et ont besoin d'investir une importante énergie, donc ils sont actifs à la recherche de nourriture et des partenaires.

II. ANALYSE D'INFECTIONS PARASITAIRES CHEZ *MICROCEBUS RUFUS*.

Pour garantir l'indépendance des points de données, on a utilisé la moyenne des données issue des individus recapturés dans une période d'étude. Cette démarche a été utilisée dans des travaux en parasitologie (Clough *et al.*, 2010 ; Radespiel *et al.*, 2015)^{29, 96}.

Les *Microcebus rufus* au Parc National de Ranomafana sont co-infectés par 6 espèces des parasites gastro-intestinaux à savoir 5 helminthes et 1 espèce de protozoaire (coccidie) avant, pendant et après la période d'accouplement du 2012 au 2015. L'helminthofaune comprend 4 nématodes, trois espèces d'ordre de Strongylida, *Strongyloides* sp., *Trichuris* sp., *Trichostrongylus* sp., une espèce d'ordre Ascaridida, *Ascaris* sp., 1 cestode appartenant au genre *Hymenolepis*. Puis une espèce d'ectoparasite, *Lemurpediculus verruculosus* ((Durden *et al.*, 2010)³⁷. Nos résultats ne sont pas directement comparables avec les deux travaux effectués par Raharivololona et Ganzhorn (2009, 2010)^{99, 101}, qui ont trouvé que les *Microcebus murinus* sont infectés par 9 espèces des parasites gastro-intestinaux et se répartissent sur 5 ordre de nématodes et 1 pour cestodes, par le fait que notre espèce vit dans une forêt pluviale de moyenne altitude.

Cependant, l'identification de ces éléments parasitaires est basée sur la clé de détermination publiée par (Chabaud et Petter 1958, 1959 ; Chabaud *et al.*, 1964 ; Raharivololona, 2009)^{21, 22, 23, 100}, ainsi que le résultat d'analyse génétique effectué par Aivelo (Aivelo, 2015)². La méthode d'analyse des matières fécales en utilisant la solution de Sheather, comme solution de flottaison, semble efficace pour la détection des Helminthes. Une étude similaire qui utilise la solution sucrée de densité 1.2 avec double centrifugation ne permet pas de détecter la présence l'*Hymenolepis* (Rasambainarivo, 2013)¹⁰⁵.

Pour avoir une étude synthétique sur l'abondance parasitaire et pour éviter la colinéarité dans l'analyse statistique (Zuur *et al.*, 2010)¹³² de cette mesure d'infections parasitaires, nous avons procédé à l'analyse en composante principale qui est une bonne technique dans la condensation des informations (Baccini, 2010)¹¹.

D'après la prévalence globale des parasites, on a observé que l'espèce de *Microcebus rufus* du Ranomafana est infectée par les parasites présentant de cycle de développement direct et indirect. La population de *Microcebus rufus* est plus infestée par *Strongyloides* sp, *Hymenolepis* sp, *Lemurpediculus verruculosus* et *Coccidia*. Donc, on voit que chez les *Microcebus rufus* au Parc National de Ranomafana, le Nématode est le plus répandu dans le site, suivi de l'ectoparasite, le Cestode et le Protozoaire donc il pourrait avoir un risque d'épidémie importante dans le parc. Ces parasites ont leurs différents cycles de

développement : cycle de développement direct (cas de *Strongyloides sp.*, *Lemurpediculus verruculosus*, Coccidia), cycle de développement indirect (cas d'*Hymenolepis sp.*). Alors la population des Microcèbes de Ranomafana est infestée par ces parasites de différentes manières : soit ils sont en contact direct avec des œufs ou des larves infestant dans leur domaine vital (Radespiel *et al.*, 2015)⁹⁶, soit en mangeant le vecteur de parasite (ou hôte intermédiaire des parasites), soit infecté par les ectoparasites via les interactions sociales (Zohdy *et al.*, 2012)¹³⁰.

D'ailleurs, le polyparasitisme est fréquent chez la population de Microcèbes, ceci pourrait expliquer par le fait qu'il y a un effet de susceptibilité : influence de système hôte-parasite, condition corporelle de l'hôte et facteurs socio-écologiques (Eley *et al.*, 1989 ; Coe, 1993 ; Friedman et Lawrence, 2002 ; Gillespie *et al.*, 2005 ; Mborra et McPeck, 2009)^{39, 31, 45, 52, 81}. Chez les *Microcebus rufus*, les individus mâles sont les plus infestés par les plus prévalents parasites et plus polyparasités que les femelles. Ce phénomène a été observé chez divers taxons de Mammifères (Schalk et Forbes 1997, Moore et Wilson 2002, Schulte-Hostedde *et al.*, 2001)^{110, 83, 113}. Mâles qui portent plus de parasites que les femelles ont été souvent attribuées à l'effet de l'immunosuppressive d'androgène telle que la testostérone (Folstad et Karter 1992 ; Roberts *et al.*, 2004)^{43, 107}. Cependant, Zohdy *et al.*, (2012)¹³⁰ a publié qu'il n'y a aucune différence considérable sur le niveau de testostérone entre les deux sexes de *Microcebus rufus*, le même auteur a montré que ce facteur est improbable d'être le responsable sur les charges parasitaires assez élevées observé chez les mâles. D'autres explications proposées sont en rapport avec le dimorphisme de la taille (Zuk et McKean 1996)¹³¹, et le système d'accouplement qui met un sexe dans la position désavantageuse pour la transmission de parasite (Moore et Wilson 2002)⁸³. *Microcebus rufus* n'est pas dimorphe en ce qui concerne la taille. Donc la meilleure explication pour la différence sexuelle dans la charge parasitaire et la richesse spécifique peut être vraisemblablement due au système d'activités (consommation alimentaire et déplacement) et d'accouplement. Les mâles sont actifs plus tôt pour la préparation de la saison de reproduction et ils se déplacent beaucoup (Atsalis, 1998)⁸, alors chaque individu a une forte probabilité de se rencontrer avec les sources de parasites qui ont déjà contaminé le site. En plus, *Microcebus rufus* ont système d'accouplement polygyandrie (Atsalis, 1998)⁸ donc la compétition et interaction entre mâles pourraient être importants, ce qui affecte l'augmentation d'infection parasitaire chez les mâles (Nunn *et al.* 2003)⁹¹.

Nous avons trouvé une différence significative dans l'infection du parasite entre les sites, les groupes de Microcèbes dans le site de Campsite et du Talatakely sont plus infectés par *Strongyloides sp.* et *Lemurpediculus verruculosus*. Cependant, le groupe à Ranofady est

beaucoup plus infecté par *Hymenolepis* sp., et les coccidies. Ces résultats pourraient être mis en rapport avec la différence dans les cycles de développement de parasites. *Strongyloides* sp sont caractérisés par son cycle de développement direct, alors les groupes *Microcebus rufus* au Campsite et Talatakely pourraient être en contact direct avec les larves infestant (Radespiel *et al.*, 2015)⁹⁶ à cause de chevauchement possible de leur domaine vital et territoire. Et les lieux où ils dorment, pourraient être contaminés par les fèces des individus infectés. En plus, les deux sites ont été exposés à de fortes perturbations de l'habitat exercé par les villageois riverain (Wright, 1992)¹²⁶. Cela peut réduire le territoire des lémuriens et la possibilité d'augmentation d'interaction entre les animaux domestiques, les animaux sauvages, l'homme et les infections parasitaires. Puis, d'après Zohdy *et al.*, (2012)¹³⁰ la fréquence d'infection des poux résulte de l'interaction hôte-hôte directe ce qui suggère que les groupes de Microcèbes dans le Campsite et Talatakely présentent une importante interaction sociale. A propos de l'infestation d'*Hymenolepis* sp à Ranofady celle-ci pourrait être mise en rapport avec l'alimentation de groupe de Microcèbes dans ce site. Il semble que l'alimentation de ce groupe pourrait inclure l'hôte intermédiaire de ce parasite. L'infestation de coccidie est influencée par la température, plus la température augmente plus l'infestation par ce protozoaire est importante (Barwick *et al.*, 2003)¹³. Alors, l'infestation en coccidie importante dans le site de Ranofady pourrait expliquer par la différence de microclimat entre les sites d'études. Il semble que dans le site de Ranofady les Microcèbes sont exposés à la température importante qui favorise le développement du Protozoaire.

L'importante infestation d'*Hymenolepis* sp en 2012 pourrait s'expliquer par l'importance des hôtes intermédiaires dans l'alimentation de la population de Microcèbes durant cette année. Atsalis (1998)⁸ a montré que dans l'alimentation de *Microcebus rufus* pendant toute l'année il y a 67% de Coléoptères. Et pour l'infestation de Coccidie en 2015, il semble être en relation avec l'importance de la température pendant cette année. Car les Protozoaires ont montré un taux de reproduction important avec l'accrue de la température du milieu (Rodriguez-Zaragoza, 1994)¹⁰⁸.

D'après l'analyse de variation d'abondance parasitaire issue de l'ACP, nous avons pu synthétiser l'information que chez *Microcebus rufus*, les femelles secrètent significativement beaucoup plus d'œufs ou de kystes de Protozoaire dans les matières fécales que les mâles, que ce soit avant ou pendant la période d'accouplement pendant l'année d'étude. On pourrait expliquer ce phénomène par la différence sexuelle de la condition corporelle (Benavides *et al.*, 2011)¹⁵. Les parasites pourraient trouver des éléments nutritifs, chez les individus femelles Microcèbes, nécessaires dans la réalisation de son cycle de développement chez un hôte en bonne condition.

Dans le cadre de notre étude, il en résulte que les facteurs pluviométriques, température du site, les températures rectales individuelles ne sont pas des facteurs favorisant dans les modèles d'abondance parasitaire et le polyparasitisme chez le *Microcebus rufus*.

III. ANALYSE DE CONDITION CORPORELLE CHEZ MICROCEBUS RUFUS.

Le calcul et l'analyse des indices de condition corporelle de *Microcebus rufus* ont été effectués pendant trois ans, dont cinq mois englobent la période d'activités et de la reproduction de cette espèce.

En général, les scientifiques considèrent la condition corporelle comme la masse, la taille ou l'apparence des réserves énergétiques effectué par les Mammifères à partir de l'environnement dans le but de croître, mais aussi pour maintenir leurs tissus, leurs organes et pour supporter les coûts de leurs activités biologiques. Dans notre étude, l'estimation de la condition corporelle individuelle de *Microcebus rufus* a été fournie par un grand nombre d'échantillons des Microcèbes capturés. Une multitude de formules et de méthodes statistiques ont été proposés afin d'examiner la condition corporelle. Nous avons appliqué la méthode la plus utilisée par les écologistes qui utilisent la mesure non-destructrice pour les petits Mammifères (Blackwell, 2002)¹⁸, comme la masse corrigée ou masse normée pour la longueur totale du corps MC (Peig et Green, 2009)⁹². Cet indice nécessite l'utilisation du coefficient de régression linéaire de la \log_{10} de la masse corporelle sur \log_{10} de la longueur totale du corps (Green, 2001)⁵³. Peig et Green (2009)⁹² ont démontré chez plusieurs espèces de vertébrés que le MC est le meilleur outil pour prédire les variations des réserves de graisse et de protéines ainsi que d'autres composants du corps.

Ensuite, le résidu entre la masse observée et le MC a été considéré comme un autre indice de condition corporelle (CC) chez le *Microcebus rufus*. Dans ce cas, les individus avec résidu négatif sont considérés comme en mauvaise condition et ceux qui ont résidu positif sont en bonne condition.

D'ailleurs, notre espèce a été prouvée de présenter une variation saisonnière de graisse corporelle et accumule de la graisse à la base de la queue (Wright et Martin, 1995 ; Atsalis, 1999a)^{129, 7}, par conséquent nous avons introduit l'indice de Gabarit (IG) issu de l'analyse en composante principale de toutes les mesures de circonférence de corps, y compris la circonférence de la queue. La graisse corporelle des Microcèbes peut se répartir en effet sur l'ensemble de corps (Schmid 1997, 1999)^{111, 112}. Et, les mesures de circonférence pourraient être informatives et les biologistes devraient introduire ce paramètre dans l'étude de la

condition corporelle (Labocha *et al.*, 2014)⁷³. Donc la condensation de ces mesures en une seule variable latente est nécessaire.

On a trouvé que la masse corrigée pour la taille (MC) est corrélée positivement avec l'indice de gabarit (IG). Ceci montre que plus les individus sont volumineux, plus ils ont une masse importante. Ensuite, l'IG est corrélé positivement avec le résiduel (condition corporelle, CC) de la masse observée sur la masse corrigée, alors les individus qui ont de résidu positif sont volumineux.

Le résultat de modélisation de ces 3 mesures d'indices de condition corporelle nous a montré qu'il y a une variation significative de la condition corporelle de *Microcebus rufus* durant l'année d'étude. La population de 2015 semble en bonne condition que celle de 2012 et 2013. Ceci pourrait être dû à la disponibilité alimentaire et à la nutrition adéquate pour l'année 2015. On a pu déterminer que le groupe des Microcèbes à Talatakely est en bonne condition par rapport à ceux du Campsite et Ranofady. Il semble alors que le site de Talatakely offre une bonne qualité de l'habitat au *Microcebus rufus*.

Les individus mâles en bonne condition avant et pendant la période d'accouplement que les femelles pourraient justifier la stratégie rigoureuse de reproduction nécessitant une forte énergie afin d'accéder aux femelles et pour pouvoir défendre un territoire occupé par une femelle mure (Martin, 1972 ; Clutton-Brock, 1991)^{78, 30}. Alors, l'avantage d'être en meilleure condition corporelle pour les mâles est qu'ils puissent être capables de monopoliser l'accès aux femelles mures pendant la période d'accouplement, et de mieux aussi capable de se défendre contre les autres mâles. Par conséquent les mâles en mauvaise condition semblent être un indicateur de mauvais succès en reproduction (Lewis et Kappeler, 2005 ; Rasoazanabary, 2006)^{75, 106}. En outre, on a observé qu'après la période d'accouplement les femelles sont en bonne condition, ce phénomène pourrait être en relation avec l'investissement énergétique nécessaire pour la période de gestation. Ce phénomène se produit communément chez les autres lémuriniens (Pereira, 1993 ; Atsalis, 1999 ; Wright, 1999)^{93, 9, 127}. Les femelles ont généralement accru leur prise alimentaire (Muruthi *et al.*, 1991)⁸⁷ et dans beaucoup d'autres espèces la période de reproduction coïncide avec la période d'abondance de nourriture, et les individus se reproduisent seulement quand il y a une bonne condition corporelle (Festa-Bianchet, 1989)⁴². Par conséquent, la quantité et la qualité des nourritures sont importantes déterminant le succès de reproduction, et des individus qui ont accès aux aliments supplémentaires pourraient augmenter leur succès de reproduction (Arcese et Smith, 1988 ; Pons et Migot, 1995)^{5, 95}.

IV. ANALYSE DES EFFETS DES FACTEURS SOCIO-ÉCOLOGIQUES ET LES MESURES D'INFECTIONS PARASITAIRES SUR LES INDICES DE CONDITIONS CORPORELLES CHEZ LES *MICROCEBUS RUFUS*

Les infections parasitaires sont considérées comme un composant critique dans la biologie de conservation (May, 1988)⁸⁰. Les parasites, par leur nature, dérivent des ressources de l'hôte et peuvent affecter directement la survie de l'hôte et la reproduction, mais aussi indirectement en réduisant la condition corporelle de l'hôte (Coop et Holmes, 1996 ; Neuhaus, 2003 ; Gillespie et Chapman, 2005)^{32, 88, 51}. Les individus en mauvaise condition sont incapables de résister aux infections parasitaires à cause de la dépense énergétique nécessaire à la défense immunitaire (Martin *et al.*, 2003)⁷⁷. A notre connaissance peu d'études est encore effectué sur les effets des parasites gastro-intestinaux sur la condition corporelle ainsi que les facteurs socio-écologiques favorisant chez les Primates voire chez Lémuriens. Notre résultat sur le modèle d'effet des facteurs socio-écologiques et de la richesse spécifique de parasite sur l'IG supporte ces constats. On a observé que l'effet fixe de polyparasitisme a un impact négatif sur l'IG, ainsi que l'interaction des facteurs favorisant respectivement sexe et année, sexe et période. Les *Microcebus rufus* qui se sont infectés par plusieurs espèces de parasites sont moins volumineux, ceci est plus remarqué chez les individus femelles avant et pendant la saison d'accouplement. Ceci démontre également que la multiple infection pourrait avoir une conséquence directe de l'hôte en épuisant la réserve car l'IG reflète le dépôt de graisse sous-cutané. Notre modèle a bien montré que pour une infestation d'une espèce de parasite supplémentaire chez les femelles *Microcebus rufus*, leur corps s'affine significativement. On a bien constaté qu'il y a incapacité de ces individus à faible IG de surmonter la multiple infection, ou il est possible que les effets nuisibles d'infections multiples mènent à de mauvaise condition (Rodriguez-Zaragoza, 1994)⁷⁷. Pourtant, la réduction de la condition corporelle pourrait avoir une conséquence directe sur la survie et la reproduction (Coop et Holmes, 1996 ; Murray *et al.*, 1998)^{32, 85}, surtout ce sont les femelles qui sont affectées le plus. Donc, il y a suspicions de menace pour la viabilité et la continuité de la population de *Microcebus rufus* au Parc National de Ranomafana, entraînant la cause de la régression de nombre de capture de Microcèbe dans ce parc.

En outre, l'analyse de l'effet des facteurs socio-écologiques et les mesures d'infections parasitaires sur la CC nous donnent des informations complémentaires. L'effet fixe d'abondance parasitaire sur la CC (différence ou résidu de M sur MC), nous a suggéré que plus les Microcèbes ont de la CC positive (bonne condition) plus le nombre d'œufs ou d'oocystes dans les matières fécales augmentent. Et, les individus femelles ont été

déterminées à avoir l'indice positif en présentant le nombre d'OPG important. Cela suggère que ce sont les femelles qui sont le réservoir et le responsable de la contamination de parasite gastro-intestinal dans le site d'étude. Ce même résultat nous a montré qu'un hôte en bonne condition favorise le cycle de développement des parasites, c'est-à-dire il y a une tolérance de l'hôte dans la reproduction de parasite. Ceci démontre que les infections parasitaires ne peuvent pas mener toujours à un effet immédiat pour l'hôte (Bize *et al.*, 2008 ; Seppälä *et al.*, 2008)^{17, 115}. Plutôt, les effets peuvent se manifester à long terme pour la réduction de fitness de l'hôte (Willis et Poulin 1999)¹²⁴. Durant cette étude nous n'avions pas pu détecter aucun signe clinique sur la santé de l'animal, et parfois les relations parasite-hôte peuvent être initialement commensales, mais plus tard affectent la condition corporelle quand il y aurait une augmentation du stress causée par les facteurs favorisant intrinsèques et écologiques.

A la lumière de cette étude, l'importance d'analyser et d'examiner la synergie d'effets entre les facteurs favorisant et les mesures d'infection parasitaire sur les conditions corporelles méritent une grande attention dans la conservation. Les multiples infections subies par les individus en mauvaise condition font une source très importante pour la transmission des parasites.

En somme, on a pu montrer le mécanisme d'écologie parasitaire d'une espèce de lémurien nocturne.

CONCLUSION

Cette étude a été effectuée dans le but d'examiner les infections parasitaires, les indices de condition corporelle, l'effet synergique des facteurs socio-écologiques et la mesure d'infection parasitaire sur la condition corporelle de *Microcebus rufus*. On a fait de recherche sur les parasites gastro-intestinaux et les ectoparasites qui infectent l'espèce, ensuite on a fait le calcul et déterminé la corrélation des indices de condition corporelle, puis modéliser les interactions des facteurs sexe, site, saison, année d'étude, ainsi que les facteurs environnementaux comme la pluviométrie et la température de la zone d'étude sur les indices de condition corporelle.

Microcebus rufus au Parc National de Ranomafana sont infectés par 6 espèces des parasites gastro-intestinaux (5 helminthes et 1 espèce de protozoaire) et 1 espèce d'ectoparasite. Cette espèce de lémurien nocturne pourrait être infectée suite au contact direct ou indirect avec des réservoirs de parasites, ou soit par des interactions sociales existantes. On a utilisé trois mesures d'infestations parasitaires (prévalence, abondance, et richesse spécifique). *Strongyloides sp*, *Hymenolepis sp*, *Lemurpediculus verruculosus* et *Coccidia* sont les plus prévalents d'infections parasitaires. Les individus mâles sont le plus infestés par ces 4 types d'espèces de parasites. Et c'est le groupe de Microcèbe dans le site de Ranofady qui est le plus infesté par *Hymenolepis sp* et *Coccidia*, tandis que ceux du Campsite et de Talatakely sont les plus infestés respectivement par *Strongyloides sp* et *Lemurpediculus verruculosus*. Ensuite nous avons observé que la population de *Microcebus rufus* capturé durant l'année 2012 montre un taux d'infestation supérieur par *Hymenolepis sp*, tandis que celle de l'année 2015 présente le taux de prévalence d'infestation de *Coccidia* supérieur par rapport aux deux autres années. En effet pour cette étude, l'hypothèse qui postule sur la variation de taux d'infestation parasitaire selon le sexe, le site, et l'année d'étude est supportée tandis que la variation pour période d'étude est rejetée.

Le polyparasitisme est différent au niveau individuel, c'est à dire entre le sexe de *Microcebus rufus*. Ce sont les mâles qui se sont infestés par plusieurs espèces de parasites que les femelles. Quant à la condensation des informations sur l'abondance parasitaire, nous avons trouvé que les individus femelles secrètent plus d'œufs ou d'oocystes dans la matière fécale que les mâles, ensuite il y a une différence d'abondance parasitaire entre les groupes de Microcèbe entre les sites d'étude avec une dominance de groupe à Ranofady. Les facteurs environnementaux n'ont pas d'effet sur les mesures d'infection parasitaire de Microbes à Ranomafana.

La condition corporelle de *Microcebus rufus* est déterminée par 3 indices (Indice de gabarit, la masse corrigée ou normée pour la longueur totale du corps, résiduel entre la masse

observée et la masse corrigée). Nous avons déterminé que plus les individus sont volumineux, plus ils ont une masse importante. Ensuite, les individus qui ont de bonne condition corporelle sont volumineux. Donc notre hypothèse sur l'association positive entre les indices de condition corporelle est acceptée.

La modélisation de l'effet synergique des facteurs socio-écologiques et les mesures d'infections parasitaires sur les indices de condition corporelle, nous révèle que les *Microcebus rufus* qui se sont infectés par plusieurs espèces de parasites sont moins volumineux, ceci est plus remarqué chez les individus femelles avant et pendant la saison d'accouplement. Nous avons détecté une suspicion de menace que la réduction de la condition corporelle chez la population pourrait avoir une conséquence directe sur la survie et la reproduction des Microcèbes dans le Parc Nationale de Ranomafana. En plus, ce sont les femelles qui sont le réservoir et le responsable de la contamination de parasite gastro-intestinal dans ce parc.

Cette étude a permis de mettre en évidence le mécanisme de l'écologie parasitaire d'une espèce de lémurien nocturne. Ces lémuriens endémiques pourraient être infectés suite au contact direct des réservoirs de parasites (tels que les rongeurs) ou en consommant des aliments contaminés. Nous avons observé que les infestations parasitaires affectent indirectement sur la santé de l'animal et il y a une suspicion que la population de *Microcebus rufus* devient le réservoir des parasites gastro-intestinaux dans le Parc, donc possible transmission aux autres lémuriens dans le même site. Ainsi, Nous recommandons d'effectuer des contrôles ou capturés des Microcèbes périodiquement dans le Parc, afin de détecter les individus polyparasités et de les mettre en quarantaine pour qu'ils puissent recevoir des traitements, surtout avant la saison d'accouplement, permettant ainsi d'envisager éventuellement le programme de réintroduction ou de translocation si besoin est. Il est également préférable d'étendre les recherches pour déterminer l'origine d'infection parasitaire et l'épidémiologie de ce parasite au sein de toutes les populations des lémuriens du Parc National de Ranomafana. L'analyse spatio-temporelle sur les dynamiques parasitaires semble être l'étape clé.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abbott, D.H., et Hearn, J.P., (1978).** Physical, hormonal and behavioral aspects of sexual development in the marmoset monkey, *Callithrix jacchus*. *Journal of Reproduction and Fertility*. 53: 155–166.
2. **Aivelo, T., (2015).** Longitudinal Monitoring of Parasites in Individual Wild Primates. **Ph.D. dissertation**, University of Helsinki, Vol. 2. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.2218.0563>.
3. **Altizer, S., Nunn, C.L., & Lindenfors, P., (2007).** Do threatened hosts have fewer parasites? A comparative study in primates. *Journal of animal Ecology*, 76: 304-314.
4. **Alzaga, V., Vicente, J., Villanua, D., Acevedo, P., Casas, F., & Gortazar, C., (2008).** Body condition and parasite intensity correlates with escape capacity in Iberian hares (*Lepus granatensis*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 62: 769–775 DOI 10.1007/s00265-007-0502-3.
5. **Arcese, P.J., et Smith, J.N.M., (1988).** Effects of population density and supplemental food on reproduction in Song Sparrows. *Journal of animal Ecology*. 57: 119-136.
6. **Atsalis, S., (1999b).** “Seasonal fluctuations in body fat and activity levels in a rainforest species of mouse lemur, *Microcebus rufus*”, *International Journal of Primatology*, 20 :(6) pp883-910.
7. **Atsalis, S., (1999a).** “Aspects of social organization in *Microcebus rufus*; results from a long-term mark recapture study in Ranomafana National Park”. *American Journal of Primatology*, pp85- 86.
8. **Atsalis, S., (1998).** “Seasonal patterns in diet, distribution and reproduction of *Microcebus rufus* in the rain forest of Madagascar”. City University of New York.
9. **Atsalis, S., (1999).** “Feeding Ecology and aspects of Life History in *Microcebus rufus* (Family Cheirogaleidae)”, **Ph.D. dissertation**, City University of New York.

10. **Atsalis, S., (2000).** Spatial Distribution and population composition of the Brown Mouse Lemurs (*Microcebus rufus*) in Ranomafana National Park, Madagascar and its implications for social organisation. *American Journal of Primatology*, 51 : 61- 78. USA.
11. **Baccini, A., (2010).** Statistique descriptive multidimensionnelle. Institut de Mathématique de Toulouse, Université de Paul Sabatier.
12. **Baer, J.G., (1935).** Etude de quelques helminthes de Lémuriens. *Revue Suisse de Zoologie*, 42 : 275-291.
13. **Barwick, R.S., Mohammed, H.O., White, M. E., & Bryant, R.B., (2003).** Factors associated with the likelihood of *Giardia spp.* and *Cryptosporidium spp.* in soil from dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 86: 784-791.
14. **Beldomenico, P.M., et Begon, M., (2010).** Disease spread, susceptibility and infection intensity: vicious circles? *Trends in Ecology and Evolution*, Vol.25 No.1.
15. **Benavides, J.A., Huchard, E., Pettorelli, N., King, A. J., Brown, M.E., Archer, C.E., & Cowlshaw, G., (2011).** From Parasite Encounter to Infection: Multiple-Scale Drivers of Parasite Richness in a Wild Social Primate Population. *American Journal of Physical Anthropology*, 000:000-000. <http://doi.org/10.1002/ajpa.21627>.
16. **Besairie, H., (1973).** Précis de géologie malgache. *Annale de géologie* – Madagascar 141p.
17. **Bize, P., Jeanneret, C., Klopfenstein, A., & Roulin, A., (2008).** What makes a host profitable? Parasites balance host nutritive resources against immunity. *American Naturalist*, 171, 1:107–118. (doi:1 0.1 086/523943).

18. Blackwell, G.L., (2002). A potential multivariate index of condition for small mammals. *New Zealand Journal of Zoology* 29, 3: 195–203. (doi :10.1080/03014223.2002.9518303).
19. Chabaud, A.G., et Brygoo, E.R., (1956). Description de *Rictularia lemuri* sp. (Nematoda : Thelaziidae). *Mémoires de l'Institut Scientifique de Madagascar*, Série A, 11 : 43-49.
20. Chabaud, A.G., et Choquet, M.T., (1955). Deux nématodes parasites de Lémurien. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*, 30 : 329-338.
21. Chabaud, A.G., et Petter, A.J., (1958). Les nématodes parasites de Lémuriens malgaches (1). *Mémoires de l'Institut Scientifique de Madagascar*, Série A, 12 : 139-158.
22. Chabaud, A.G., et Petter, A.J., (1959). Les nématodes parasites de Lémuriens malgaches, n. nouvel oxyure : *Lemuricola contagiosus*. *Mémoires de l'Institut Scientifique de Madagascar*, Série A, 13 : 127-132.
23. Chabaud, A.G., Brygoo, E.R., & Petter, A.J., (1964). Les nématodes parasites de lémuriens malgaches V. Nématodes de *Daubentonia madagascariensis*. *Vie et Milieu*, suppl. 17 : 205-212.
24. Chabaud, A.G., Brygoo, E.R., & Petter, A.J., (1961a). Les nématodes parasites de lémuriens malgaches IV. Description de deux nouveaux genres et observations sur *Protofilaria furcata* Chandler. *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*, 33 : 532-544.
25. Chabaud, A.G., Brygoo, E.R., & Petter, A.J., (1965). Les Nématodes parasites de Lémuriens malgaches VI. Description de six espèces nouvelles et conclusions générales. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*, 40 : 181-214.

26. Chabaud, A.G., Petter, A.J., & Golvan, Y., (1961b). Les nematodes parasites de Lémuriens Malgaches III. Collections récoltées par M. et Mme Francis Petter. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*, 36 : 113-126.
27. Chapman, C.A., Wasserman, M.D., Gillespie, T.R., Speirs, M.L., Lawes, M.J., Saj, T.L., & Ziegler, T.E., (2006). Do food availability, parasitism, and stress have synergistic effects on red colobus populations living in forest fragments? *American Journal of Physical Anthropology*, 131: 525-534, <http://dx.doi.org/10.1002/ajpa.20477>.
28. Clough, D., (2009). Gastro-intestinal parasites of red-fronted lemurs in Kirindy forest, western Madagascar. *Journal of Parasitology*, 96: 245-251.
29. Clough, D., Heistermann, M., & Kappeler, P.M., (2010). Host intrinsic determinants and potential consequences of parasite infection in free-ranging red-fronted lemurs (*Eulemur fulvus rufus*). *American Journal of Physical Anthropology*, 142:441–452.
30. Clutton-Brock, T.H., (1991). The Evolution of Parental Care. Princeton University Press, Princeton, NJ. Clutton-Brock.
31. Coe, C.L., (1993). Psychosocial factors and immunity in nonhuman primates – a review. *Psychosomatic Medicine* 55, 3: 298–308.
32. Coop, R.L., et Holmes, P.H., (1996). Nutrition and parasite interaction. *International Journal for Parasitology*, 26, 8–9: 951–962. (doi :1 0.1 01 6/S0020-751 9(96)80070-1).
33. Craig, B.H., Tempest, L.J., Pilkington, J.G., & Pemberton, J.M., (2008). Metazoan-protozoan parasite co-infections and host body weight in St Kilda Soay sheep. *Parasitology*, 135 : 433–441.
34. Daveau, M., Cohen M., & Lallemand, M., (1972). Dictionnaire du français vivant Bordas Paris. Bruxelles. Montréal. Collection Hippo Dunod (4 vols.).1338.

35. **De Queiroz, K., (1998).** The general lineage concept of species, species criteria, and the process of speciation. Pages 57–75 in *Endless forms: Species and speciation* (D. J. Howard and S. H. Berlocher, eds.). Oxford Press, Oxford.
36. **Dryden, M.W., Payne, P.A., Ridley, R., & Smith, V., (2005).** Comparison of Common Fecal Flotation Techniques for the Recovery of Parasite Eggs and Oocysts. *Veterinary Therapeutics*, 6: 15-28.
37. **Durden, L. A., Zohdy, S., & Laakkonen, J., (2010).** Lice and Ticks of the Eastern Rufous Mouse Lemur, *Microcebus rufus*, with Descriptions of the Male and Third Instar Nymph of *Lemurpediculus verruculosus* (Phthiraptera: Anoplura), *Journal of Parasitology*, 96(5): 874–878, <http://doi.org/10.1645/GE-2512.1>.
38. **Dutton, C.J., Junge., R.E., & Louis, E.E., (2008).** Biomedical evaluation of free-ranging red ruffed lemurs (*Varecia rubra*) within the Masoala National Park, Madagascar. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 39: 76-85.
39. **Eley, R.M., Strum, S.C., Muchemi, G., & Reid, G.D.F., (1989).** Nutrition, body condition, activity patterns, and parasitism of freeranging troops of olive baboons (*Papio anubis*) in Kenya. *American Journal of Primatology*, 18, 3:209–219, (doi:10.1002/ajp.1350180304).
40. **Esch, G., et Fernandez, J.C., (1993).** A Functional Biology of Parasitism: Ecological and Evolutionary Implications. London: Chapman and Hall.
41. **Ezenwa, V.O., Etienne, R.S., Luikart, G., Beja-Pereira, A., & Jolles, A. E., (2010).** Hidden consequences of living in a wormy World: Nematode-induced immune suppression facilitates tuberculosis invasion in African buffalo. *The American Naturalist*, 176, 5: 613–624, (doi :1 0.1 086/656496).
42. **Festa-Bianchet, M., (1989).** Individual-differences, parasites, and the costs of reproduction for bighorn ewes (*Ovis canadensis*). *Journal of Animal Ecology*, 58: 785–795.

43. Folstad, I., et Karter, A.J., (1992). Parasites, bright males, and the immunocompetence handicap. *The American Naturalist*, 139, 3: 603–622. (doi :1 0.1 086/285346).
44. Fox, M.T., (1997). Pathophysiology of infection with gastrointestinal nematodes in domestic ruminants: recent developments. *Veterinary Parasitology*, 72: 285–308.
45. Friedman, E.M., et Lawrence, D.A., (2002). Environmental stress mediates changes in neuroimmunological interactions. *Toxicological Sciences*, 67,1: 4–10 (doi:1 0.1 093/toxsci/67.1 .4).
46. Ganzhorn, J.U., (1988). Food partitioning among Malagasy Primates. *Oecologia*, 79: 436-450.
47. Ganzhorn, J.U., (1989). Niche separation in seven Lemurs species. *Oecologia*, 79: 279-286.
48. Garbutt, N., (2007). Mammals of Madagascar. A Complete Guide. Yale University, New Haven and London. 304p.
49. Gillespie, T.R., et Chapman C.A., (2008). Forest fragmentation, the decline of an endangered primate, and changes in host-parasite interactions relative to an unfragmented forest. *American Journal of Primatology*, 70: 222 - 230.
50. Gillespie, T.R., (2006). Noninvasive Assessment of Gastrointestinal Parasite Infections in Free Ranging Primates. *International Journal of Primatology*, Vol 27, No4, doi: 10.1007/s10764-006-9064-x.
51. Gillespie, T.R., et Chapman, C.A., (2005). Prediction of parasite infection dynamics in primate metapopulations based on attributes of forest fragmentation. *Conservation Biology* 20, 2: 441 –448, (doi: 10.1111 /j.1523-1739.2006. 00290. X).

- 52. Gillespie, T.R., Greiner, E.C. & Chapman, C.A., (2005).** Gastrointestinal parasites of the colobus monkeys of Uganda. *Journal of Parasitology*, 92: 569-573.
- 53. Green, A.J., (2001).** Mass/length residuals: measures of body condition or generators of spurious results? *Ecology*, 82,5 : 1473–1483. (doi :1 0.1 890/001 2-9658 (2001)082[1473: MLRMOB] 2.0.CO;2).
- 54. Grenfell, S., (1995).** Plan de Gestion du Parc National de Ranomafana. Pp.8-35.
- 55. Gulland, F.M.D., (1992).** The role of nematode parasites in Soay sheep (*Ovis aries*) mortality during a population crash. *Parasitology*, 105, 493–503.
- 56. Hakkarainen, H., Huhta, E., Koskela, E., Mappes, T., Soveri, T., & Suorsa, P. (2007).** *Eimeria*-parasites are associated with a lowered mother's and off- spring's body condition in island and mainland populations of the bank vole. *Parasitology*, 134, 23–31.
- 57. Hochachka, V.W., et Dhondt, A. A., (2000).** Density -dependent decline of host abundance resulting from a new infectious disease. *Proceedings of the National Academy of Science* 97: 5303 –5306.
- 58. Holmstad, P.R., Hudson, P.J., & Skorpung, A., (2005).** The influence of a parasite community on the dynamics of a host population: a longitudinal study on willowptarmigan and their parasites. *Oikos*, 111, 377–391.
- 59. Hosken, D.J., (1998).** Testes mass in megachiropteran bats varies in accordance with sperm competition theory. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 44: 169–177.
- 60. Hudson, P. J., Rizzoli, A., Grenfell, B. T., Heesterbeek, H., & Dobson, A. P., (2002).** The Ecology of Wildlife Disease. Oxford: Oxford University Press.

- 61. Hudson, P.J., Dobson, A.P., et Newborn, D., (1998).** Prevention of population cycles by parasite removal. *Science*, 282: 2256 – 2258.
- 62. Hudson, P.J., Newborn, D., & Dobson, A.P., (1992).** Regulation and stability of a free-living host-parasite system: *Trichostongylus tenuis* in red grouse. Monitoring and parasite reduction experiments. *Journal of Animal Ecology*, 61, 477–486.
- 63. Hutchings, M.R., Kyriazakis, I., Gordon, I.J., & Jackson, F., (1999).** Trade-offs between nutrient intake and faecal avoidance in herbivore foraging decisions: the effect of animal parasitic status, level of feeding motivation and sward nitrogen content. *Journal of Animal Ecology*, 68, 310–323.
- 64. Irwin, M.T., Junge, R. E., Raharison, J.L., & Samonds, K.E., (2010).** Variation in physiological health of diademed sifakas across intact and fragmented forest at Tsinjoarivo, Eastern Madagascar. *American Journal of Primatology*, 72: 1013-1025.
- 65. Irwin, M.T., et Raharison, J., (2009).** A review of the endoparasites of lemurs of Madagascar. *Malagasy Nature*, 2:66-93.
- 66. Junge, R.E., Barrett, M.A., & Yoder, A.D., (2011).** Effects of anthropogenic disturbance on indri (*Indri indri*) health in Madagascar. *American Journal of Primatology*, 73: 632-642.
- 67. Junge, R.E., Dutton, C.J., Knightly, F., Williams, C.V., Rasambainarivo, F. T., & Louis, E.E., (2008).** Comparison of biomedical evaluation for white-fronted brown lemurs (*Eulemur fulvus albifrons*) from four sites in Madagascar. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 39: 567-575.
- 68. Junge, R.E., et Louis, E.E., (2007).** Biomedical evaluation of black lemurs (*Eulemur macaco macaco*) in Lokobe Reserve, Madagascar. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 38: 67-76.

- 69. Kappeler, P.M., Cremer, S., & Nunn, C.L., (2015).** Sociality and health: impacts of sociality on disease susceptibility and transmission in animal and human societies. *Philosophical Transaction of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370 (1669), [doi: 10.1098/rstb.2014.0116].
- 70. Kappeler, P.M., et Van Schaik, C.P., (2002).** Evolution of primate social systems. *International Journal of Primatology*, 23 (4):707-740.
- 71. Kessler, S.E., Radespiel, U., Schaber, K., & Strube, C., (2015).** Tiny samples from tiny lemurs: methodological considerations for endoparasite analyses in mouse lemurs. In: Lehman S.M., Radespiel U, Zimmermann E (eds) *Gremlins of the night: biology, behavior, and conservation biogeography of the Cheirogaleidae*. Cambridge University Press, doi.org/10.1017/CBO9781139871822.011
- 72. Krebs, C.J., et Singleton, G.R., (1993).** Indices of Condition for Small Mammals. *Australian Journal of Zoology*, 41, 317-23.
- 73. Labocha, M.K., Schutz, H., & Hayes, J.P., (2014).** Which body condition index is best? *Oikos*, 123:111–119, <http://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00755>.
- 74. Lello, J., Boag, B., & Hudson, P.J., (2005).** The effect of single and concomitant pathogen infections on condition and fecundity of the wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *International Journal for Parasitology*, 35, 1509–1515.
- 75. Lewis, R.J., et Kappeler, P.M., (2005).** Seasonality, body condition, and timing of reproduction in *Propithecus verreauxi verreauxi* in the Kirindy forest. *American Journal of Primatology*, 67, 3: 347–364. (doi :1 0.1 002/ajp.201 87).
- 76. Loudon, J., Howell, M., Fuentes, A., (2006).** The importance of integrative anthropology: a preliminary investigation employing primatological and cultural anthropological data collection methods in assessing human–monkey co-existence in Bali, Indonesia. *Ecology of Environmental Anthropology*, 2(1):2–13.
-

- 77. Martin, L. B., Scheurlein II, A., & Wikelski, M., (2003).** Immune activity elevates energy expenditure of house sparrows: a link between direct and indirect costs? *Proceedings of the Royal Society of London, B* 270: 153–158, (doi: 10.1098/rspb.2002.2185).
- 78. Martin, R.D., (1972).** A preliminary field study of the lesser mouse lemur *Microcebus murinus* (J. F. Miller 1777). *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 9: 43–89.
- 79. Martinez-mota, R., (2015).** The effect of habitat disturbance, host traits, and host physiology on patterns of gastrointestinal parasite infection in black howler monkeys (*Alouatta pigra*). **Dissertation**, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- 80. May, R.M., (1988).** Conservation and disease. *Conservation Biology* 2, 1: 28–30, (doi: 10.1111/j.1523-1739.1988.tb00332.x).
- 81. Mborá, D.N.M., et McPeck, M.A., (2009).** Host density and human activities mediate increased parasite prevalence and richness in primates threatened by habitat loss and fragmentation. *Journal of Animal Ecology*, 78, 1:210–218 (doi: 10.1111/j.1365-2656.2008.01481.x).
- 82. Mittermeier, R.A., Konstant W., Hawkins, A.F.A., Louis E.E., Jr., Langrand, O., Ratsimbazafy, J., Rasoloarison, R.M., Ganzhorn J.U., Rajaobelina, S., Tattersall I., & Meyers D.M., (2006).** Lemurs of Madagascar. Conservation International. Tropical Field Guide, second edition, Washington DC.520p.
- 83. Moore, S.L., et Wilson, K., (2002).** Parasites as a viability cost of sexual selection in natural populations of mammals. *Science*, 297 : 2015–2018, (doi :10.1126/science.1074196).
- 84. Munyeme, M., Munang'andu, H.M., Muma, J.B., Nambota, A.M., Biffa, D., & Siamudaala, V.M., (2010).** Investigating effects of parasite infection on body condition of

- the Kafue lechwe (*Kobus leche kafuensis*) in the Kafue basin. *BMC Research Notes* 3: #346. (doi :1 0.1 1 86/1 756-0500-3-346).
- 85. Murray D.L., Keith L.B, & Cary J.R., (1998).** Do parasitism and nutritional status interact to affect production in snowshoe hares? *Ecology*, 79:1209–1222.
- 86. Murray, D.L., Cary, J.R., & Keith, L.B., (1997).** Interactive effects of sublethal nematodes and nutritional status on snowshoe hare vulnerability to predation. *Journal of Animal Ecology*, 66, 250–264.
- 87. Muruthi, P., Altmann, J., & Altmann, S., (1991).** Resource base parity and reproductive condition affect females, feeding time and nutrient intake within and between groups of a baboon population. *Oecologia*, 87: 467-472.
- 88. Neuhaus, P., (2003).** Parasite removal and its impact on litter size and body condition in Columbian ground squirrels (*Spermophilus columbianus*). *Biology Letter*, 270: 213–215.
- 89. Newey, S., Shaw, D.J., Kirby, A., Montieth, P., Hudson, P.J., & Thirgood, S.J., (2005).** Prevalence, intensity and aggregation of intestinal parasites in mountain hares and their potential impact on population dynamics. *International Journal for Parasitology*, 35, 367–373.
- 90. Nicoll, E.M., et Langrand O., (1989).** Revue générale du système d'aires protégées et de la conservation à Madagascar. WWF, Gland, Suisse, 374p.
- 91. Nunn, C.L., Altizer, S., Jones, K.E., & Sechrest, W., (2003).** Comparative tests of parasite species richness in Primates. *The American Naturalist*, 162, 5: 597–614, (doi: 1 0.1 086/378721).
- 92. Peig, J., Green, A.J., & Ame, C., (2009).** New perspectives for estimating body condition from mass / length data: the scaled mass index as an alternative method. *Oikos*, 118: 1883-1891, <http://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.17643>.
-

- 93. Pereira, M.E., (1993).** Seasonal adjustment of growth rate and adult body weight in ringtailed lemurs. In *Lemur, Social Systems and Their Ecological Basis*, eds. P.M. Kappeler and J.U. Ganzhorn, 205-221. New York: Plenum Press.
- 94. Petter, A.J., Chabaud, A.G., Delavenay, R., & Brygoo, E.R., (1972).** Une nouvelle espèce de Nématode du genre *Lemuricola*, parasite de *Daubentonia madagascariensis* Gmelin, et considérations sur le genre *Lemuricola*. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*, 47 : 391-398.
- 95. Pons, J.M, et Migot, P., (1995).** Life-history strategy of the herring gull: changes in survival and fecundity in a population subjected to various feeding conditions. *Journal of Animal Ecology*, 64: 592-599.
- 96. Radespiel, U., Schaber, K., & Kessler, S.E., (2015).** Variations in the excretion patterns of helminth eggs in two sympatric mouse lemur species (*Microcebus murinus* and *Microcebus ravelobensis*) in northwestern Madagascar. *Parasitology Research*, 114: 941–954.
- 97. Rafalinirina, A.H., Aivelo, T., Randrianasy, J., & Wright, P.C., (2015).** Comparison of parasitic infections and body condition in rufous mouse lemurs (*Microcebus rufus*) at Ranomafana National Park, southeast Madagascar. *Madagascar Conservation and Development*, vol 10, issue 2, <http://dx.doi.org/10.4314/mcd.v10i2.4>.
- 98. Rahajanirina, V.V., (2000).** Contribution à l'étude systématique et écologique des bambous consommés par *Hapalemur* dans le Parc National Ranomafana Département de Biologie Animale; Université d'Antananarivo, Madagascar. **Mémoire de DEA**. Pp: 16-59.
- 99. Raharivololona, B.M., Ganzhorn, J.U., (2009).** Gastrointestinal parasite infection of the gray mouse lemur (*Microcebus murinus*) in the littoral forest of Mandena, Madagascar: effects of forest fragmentation and degradation. *Madagascar Conservation and Development*, 4:103–112.

- 100. Raharivololona, B.M., (2009).** Parasites gastro-intestinaux de *Microcebus murinus* de la forêt littorale de Mandena, Madagascar. *Madagascar Conservation and Development*, 4: 52-62.
- 101. Raharivololona, B.M., et Ganzhorn, J.U., (2010).** Seasonal variations in gastrointestinal parasites excreted by the gray mouse lemur *Microcebus murinus* in Madagascar. *Endangered Species Research*, 11, 2: 113–122. (doi :10.3354/esr00255).
- 102. Rakotoniaina, J.H., Kappeler, P.M., Ravoniarimbina, P., Pechouskova, E., Hämäläinen, A.N., Grass, J., Kirschbaum, C., & Kraus, C., (2016).** Does habitat disturbance affect stress, body condition and parasitism in two sympatric lemurs? *Conservation Physiology*. Vol 4, 10.1093/conphys/cow034.
- 103. Rambinintsoa, A., (1999).** Contribution à l'étude comparative anatomique d'ostéométrie de *Haplemur simus* (Gray, 1870) subfossile d'Akarana et forme actuelle de Ranomafana (Ifanadina). Idées actuelles sur le paléoenvironnement de l'Ankarana. **Mémoire de DEA** d'Anthropologie. Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo.
- 104. Rasambainarivo, F.T., et Junge, R.E., (2010).** A 12-month survey of gastrointestinal helminth infections of lemurs kept in two zoos in Madagascar. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 41: 638-642.
- 105. Rasambainarivo, F., (2013).** Prévalence d'excrétion de *Giardia* et *Cryptosporidium* chez les humains, les animaux domestiques et les lémuriens de l'écosystème du Parc National de Ranomafana, Madagascar. **Mémoire de maître ès sciences**, Facultés de Médecine vétérinaire, Université de Montréal.
- 106. Rasoazanabary, E., (2006).** Male and female activity patterns in *Microcebus murinus* during the dry season at Kirindy forest, western Madagascar. *International Journal of Primatology* 27, 2: 437–464. (doi :10.1007/s10764-006-9017-4).

107. Roberts, M.L., Buchanan, K.L., & Evans, M.R., (2004). Testing the immunocompetence handicap hypothesis: a review of the evidence. *Animal Behaviour*, 68: 227-239.
108. Rodriguez-Zaragoza, S., (1994). Ecology of free-living amoebas. *Critical Reviews in Microbiology*, 20:225–241.
109. Sánchez-Villagra, M.R., Pope, T.R., & Salas, V., (1998). Relation of intergroup variation in allogrooming to group social structure and ectoparasite loads in red howlers (*Alouatta seniculus*). *International Journal of Primatology*, 19: 473-491.
110. Schalk, G., et Forbes, M.R., (1997). Male biases in parasitism of mammals: effects of study type, host age, and parasite taxon. *Oikos*, 78, 1: 67–74. (Doi: 10.2307/3545801).
111. Schmid, J., (1997). Torpor beim Grauen Mausmaki (*Microcebus murinus*) in Madagascar: energetische Konsequenzen und ökologische Bedeutung. **Ph.D thesis**, University of Tübingen.
112. Schmid, J., (1999). Daily torpor in the gray mouse lemur (*Microcebus murinus*) in Madagascar: energetic consequences and biological significance. In *Oecologia* (2000) 123:175-183.
113. Schulte-Hostedde, A.I., Millar, J.S., & Hickling, G.J., (2001). Evaluating body condition in small mammals. *Canadian Journal of Zoology*, 79: 1021–1029.
114. Schwitzer, N., Clough, D., Zahner, H., Kaumanns, W., Kappeler, P.M., & Schwitzer C., (2010). Parasite prevalence in blue-eyed black lemurs *Eulemur flavifrons* in differently degraded forest fragments. *Endangered Species Research*, 12: 215 – 225.
115. Seppälä, O., Liljeroos, K., Karvonen, A., & Jokela, J., (2008). Host condition as a constraint for parasite reproduction. *Oikos*, 117, 5:749–753. (doi :10.1111/j.0030-1299.2008.16396.x).
-

- 116. Sheldon, B.C., et Verhulst, S., (1996).** Ecological immunity: costly parasite defences and trade-offs in evolutionary ecology. *Trends Ecology and Evolution*, 1: 317–321.
- 117. Silk, J.B., (1986).** Social behavior in evolutionary perspective. In (B. B. Smuts, D.L. Cheney, R. M. Seyfarth, R. W. Wrangham & T. T. Struhsaker, eds.) *Primate Societies*, pp. 318- 329. University of Chicago Press, Chicago.
- 118. Stevenson, R.D., et Woods, W.A.Jr., (2006).** Condition indices for conservation: new uses for evolving tools. *Integrative and Comparative Biology*, 46, 1169–1190.
- 119. Sugiura, N., (1978).** Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite correction. *Communications in Statistics Theory and Methods*, 7, 1: 13–26, (doi: 10.1080/03610927808827599).
- 120. Tompkins, D.M., A.M., Dunn, M. J., Smith & Telfer, S., (2011).** Wildlife diseases: from individuals to ecosystems. *Journal of Animal Ecology*, 80, 1: 19–38. (doi: 10.1111/j.1365-2656.2010.01742.x).
- 121. Turner, W.C., Versfeld, W.D., Kilian, J.W., & Getz, W.M., (2012).** Synergistic effects of seasonal rainfall, parasites and demography on fluctuations in springbok body condition. *Journal of Animal Ecology*, 81, 58-69. doi: 10.1111/j.1365-2656.2011.01892. X.
- 122. Van Houtert, M.F.J., & Sykes, A.R., (1996).** Implications of nutrition for the ability of ruminants to withstand gastrointestinal nematode infections. *International Journal for Parasitology*, 26, 1151–1168.
- 123. Wilford, O., (1986).** *Animal Parasites: Their Life Cycles and Ecology*. Dover Publications, New York.

- 124. Willis, C., et Poulin, R., (1999).** Effects of the tapeworm *Hymenolepis diminuta* on maternal investment in rats. *Canadian Journal of Zoology*, 77, 6: 1001 –1005 (doi :1 0.1 1 39/z99-075).
- 125. Wright, P.C., et Andriamihaja, B. A., (2002).** Making a rain forest national park work in Madagascar: Ranomafana National Park and its long-term research commitment. In: Making Parks Work: Strategies for Preserving Tropical Nature. J. Terborgh, C. van Schaik, M. Rao and L. Davenport (Eds.), pp 1 1 2–1 36. Island Press, Washington D.C.
- 126. Wright, P.C., (1992).** Primate ecology, rainforest conservation and economic development: Building a national park in Madagascar. *Evolutionary Anthropology*, 1, 1: 25–33. (doi :1 0.1 002/evan.1 36001 01 08).
- 127. Wright, P.C., (1999).** Lemur traits and Madagascar ecology: coping with an island environment. *Physical Anthropology*, 42: 31-72.
- 128. Wright, P.C., Arrigo-Nelson, S. J., Hogg, K.L., Bannon, B., Morelli, T.L., Wyatt, J., Harivelo, A.L., & Ratelolahy, F., (2009).** Habitat disturbance and seasonal fluctuations of lemur parasites in the rainforest of Ranomafana National Park, Madagascar. In: Primate Parasite Ecology: The Dynamics and Study of Host-Parasite Relationships. M. A. Huffman and C. A. Chapman (Eds.), pp 311 –330. Cambridge University Press, London.
- 129. Wright, P.C., et Martin, L., (1995).** “Predation, pollination and torpor in two nocturnal prosimians: *C. major* and *M. rufus* in the rainforest of Madagascar”. In Alterman, L, G. Doyle and M. Izard: The nocturnal Prosimians. New York, pp45-60.
- 130. Zohdy, S., Kemp, A.D., Durden, L. A., Wright, P.C., Zohdy, S., & Aff, A., (2012).** Mapping the Social Network: Tracking lice in a wild primate (*Microcebus rufus*) population to infer social contacts and vector potential. *BMC Ecology*, 12:4, <http://doi.org/10.1186/1472-6785-12-4>.

- 131. Zuk, M., et McKean, K.A., (1996).** Sex differences in parasite infections: patterns and processes. *International Journal of Parasitology* 26, 1 0: 1 009–1 024. (Doi: 1 0.1 01 6/S0020-751 9(96)80001 -4).
- 132. Zuur, A.F., Ieno, E.N., & Elphick, C. S., (2010).** A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1:3–14. <http://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche de collecte de données morpho physiologiques

Lemur ID _____ Recapture? _____ Date _____

Species _____ F/M _____

Time _____ Location _____

G.P.S. _____

Morphological

Crown-rump _____ mm Crown-tail _____ mm Mass _____ g Tail circumference _____

Circumference chest _____ mm circumference waist _____ mm Thigh _____ mm

Skin-fold: hip _____ abdomen _____ arm _____ back _____

Temp (rectal) _____ Testis left length _____ Testis left width _____

Testis left length _____ Testis left width _____

Age estimation _____ Notes _____

Reproductive activity: Evidence (palpitation of abdomen, enlarged tests or ova?) _____

Ectoparasite (estimation of numbers on entire body) _____ location _____

Obs:	Normal/abnormal	NOTES
Respiratory	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	_____
Digestive	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	_____
Reproductive	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	_____
Urinary	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	_____
Locomotive	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	_____
External	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	wounds? _____
Ocular	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	_____
Aural	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	_____
Dentition	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	missing/worn teeth? _____
Behavior	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	_____

Samples:

Fecal: consistency: hard/med/soft/fluid

contents worms/bone/hair/blood/fruit/leaves

Skin biopsy:

blood samples _____ time collection _____

Annexe 2: *Microcebus rufus* capturé selon le sexe, site, période, et année d'étude

Année	Période	Sexe	Campsite	Ranofady	Talatakely	
2012	1	M		12	0	22
		F		5	0	4
		Total		17	0	26
	2	M		6	0	17
		F		5	0	9
		Total		11	0	26
	3	M		6	0	12
		F		15	0	7
		Total		21	0	19
2013	1	M		3	0	7
		F		5	0	4
		Total		8	0	11
	2	M		1	0	6
		F		5	0	5
		Total		6	0	11
	3	M		2	0	0
		F		6	0	3
		Total		8	0	3
2015	1	M		0	0	0
		F		0	0	0
		Total		0	0	0
	2	M		0	0	3
		F		0	0	5
		Total		0	0	8
	3	M		0	13	8
		F		0	1	7
		Total		0	14	15

M : sexe male, F : sexe femelle, période 1 : avant l'accouplement, période 2 : pendant l'accouplement, période : après l'accouplement

Annexe 3: Résultat de corrélation (rho Spearman) entre les prévalences parasitaires, richesse spécifique

		<i>Lemurpediculus verruculosus</i>	<i>Strongyloides sp</i>	<i>Ascaris sp</i>	<i>Trichostrongylus sp</i>	Coccidia	<i>Trichuris sp</i>	<i>Hymenolepis sp</i>	Richesse spécifique des parasites
<i>Lemurpediculus verruculosus</i>	rs	1,00	0,23**	,07	-,11	0,17*	,13	0,15*	0,66**
	P		0,00	,32	,10	0,02	,07	0,03	0,00
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
<i>Strongyloides sp</i>	rs	0,23**	1,00	-,09	,05	,10	,07	0,18*	0,51**
	P	0,00		,21	,46	,15	,30	0,01	0,00
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
<i>Ascaris sp</i>	rs	,07	-,09	1,00	-,02	,04	0,31**	-,12	,13
	P	,32	,21		,76	,55	0,00	,09	,06
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
<i>Trichostrongylus sp</i>	rs	-,11	,05	-,02	1,00	-,07	-,02	,00	,05
	P	,10	,46	,76		,34	,76	,97	,49
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
Coccidia	rs	0,17*	,10	,04	-,07	1,00	,04	0,22**	0,55**
	P	0,02	,15	,55	,34		,55	0,00	0,00
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
<i>Trichuris sp</i>	rs	,13	,07	0,31**	-,021	,043	1,000	,004	0,25**
	P	,07	,30	0,00	,76	,55		,96	0,00
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
<i>Hymenolepis sp</i>	rs	0,15*	0,18*	-,12	,00	0,22**	,00	1,00	0,62**
	P	0,03	0,01	,09	,971	0,00	,96		0,00
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
Richesse spécifique des parasites	rs	0,66**	0,51**	,13	,05	0,55**	0,25**	0,62**	1,00
	P	0,00	0,00	,06	,49	0,00	0,00	0,00	
	N	204	204	204	204	204	204	204	204

** . La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

Annexe 4: Matrice de corrélation (Pearson) entre les abondances parasitaires, richesse spécifique

		OPG Coccidia	OPG <i>Strongyloides</i> sp	OPG <i>Hymenolepis</i> sp	Richesse spécifique des parasites	OPG <i>Ascaris</i> sp	OPG <i>Trichostrongylus</i> sp	OPG <i>Trichuris</i> sp	Nombre <i>Lemurpediculus verrucosus</i>
OPG Coccidia	<i>r</i>	1	0,31**	-0,04	0,24**	0,40**	-0,02	0,44**	-0,04
	<i>p</i>		0,00	0,55	0,00	0,00	0,80	0,00	0,62
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
OPG <i>Strongyloides</i> sp	<i>r</i>	0,31**	1	-0,05	0,14*	0,46**	0,07	0,58**	-0,04
	<i>p</i>	0,00		0,44	0,05	0,00	0,34	0,00	0,53
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
OPG <i>Hymenolepis</i> sp	<i>r</i>	-0,04	-0,05	1	0,35**	-0,04	-0,02	-0,04	0,25**
	<i>p</i>	0,55	0,44		0,00	0,59	0,82	0,59	0,00
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
Richesse spécifique des parasites	<i>r</i>	0,24**	0,14*	0,35**	1	0,11	0,01	0,19**	0,32**
	<i>p</i>	0,00	0,05	0,00		0,12	0,85	0,01	0,00
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
OPG <i>Ascaris</i> sp	<i>r</i>	0,40**	0,46**	-0,04	0,11	1	0,22**	0,43**	-0,05
	<i>p</i>	0,00	0,00	0,59	0,12		0,00	0,00	0,51
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
OPG <i>Trichostrongylus</i> sp	<i>r</i>	-0,02	0,07	-0,02	0,01	0,22**	1	-0,01	-0,04
	<i>p</i>	0,80	0,34	0,82	0,85	0,00		0,89	0,60
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
OPG <i>Trichuris</i> sp	<i>r</i>	0,44**	0,58**	-0,04	0,19**	0,43**	-0,01	1	-0,04
	<i>p</i>	0,00	0,00	0,59	0,01	0,00	0,89		0,54
	N	204	204	204	204	204	204	204	204
Nombre <i>Lemurpediculus verrucosus</i>	<i>r</i>	-0,04	-0,04	0,25**	0,32**	-0,05	-0,04	-0,04	1
	<i>p</i>	0,62	0,53	0,00	0,00	0,51	0,60	0,54	
	N	204	204	204	204	204	204	204	204

** . La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

Annexe 5: Résultat d'analyse d'ACP pour les abondances parasitaires

Composante	Variance totale expliquée					
	Valeurs propres initiales			Sommes extraites du carré des chargements		
	Total	% de la variance	% cumulé	Total	% de la variance	% cumulé
1	2,32	57,96	57,96	2,32	57,96	57,96
2	,71	17,71	75,67			
3	,59	14,76	90,44			
4	,38	9,56	100,00			

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

Matrice des composantes ^a	
	Composante
	1
Oocyste par gramme de fèces de <i>Coccidia</i>	,69
Œufs par gramme de fèces de <i>Strongyloides</i>	,78
Œufs par gramme de fèces d' <i>Ascaris</i>	,75
Œufs par gramme de fèces de <i>Trichuris</i>	,82

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

a. 1 composante extraite.

Annexe 6: Paramètres estimés à partir de MLGM pour évaluer la variation d'abondance parasitaire chez *Microcebus rufus*

terme de modèle	Coefficient	SE	<i>t</i>	<i>p</i>	
Facteur abondance parasitaire					
constante	-0.59	1.14	-0.52	0.61	
	2012	-1.26	0.32	-4.01	0.00
	2013	-0.04	0.57	-0.09	0.93
2015 (année de référence)	0				
femelle	-1.21	0.40	-3.02	0.00	
male (sexe de référence)	0				
periode1	-1.32	0.54	-2.45	0.02	
periode2	-1.29	0.50	-2.56	0.01	
periode3	0				
Campsite	-1.36	0.64	-2.14	0.03	
Ranofady	-0.50	0.32	-1.54	0.13	
Talatakely	0				
2012*F*periode1*campsite	3.72	1.31	2.85	0.01	
2012*F*periode1*Talatakely	2.45	0.82	3.00	0.00	
2012*F*periode2*campsite	3.95	1.27	3.10	0.00	
2012*F*periode2*Talatakely	2.29	0.78	2.93	0.00	
2012*F*periode3*campsite	2.51	0.85	2.96	0.00	
2012*F*periode3*Talatakely	1.02	0.47	2.16	0.03	
2012*M*periode1*campsite	2.49	1.11	2.25	0.03	
2012*M*periode1*Talatakely	1.30	0.55	2.35	0.02	
2012*M*periode2*campsite	2.64	1.07	2.46	0.02	
2012*M*periode2*Talatakely	1.27	0.52	2.46	0.02	
2012*M*periode3*campsite	1.16	0.63	1.84	0.07	
2012*M*periode3*Talatakely	0				
2013*F*periode1*campsite	2.29	0.87	2.65	0.01	
2013*F*periode1*Talatakely	1.19	0.49	2.40	0.02	
2013*F*periode2*campsite	2.63	0.84	3.14	0.00	
2013*F*periode2*Talatakely	1.43	0.49	2.93	0.00	
2013*F*periode3*campsite	1.04	0.57	1.82	0.07	
2013*F*periode3*Talatakely	80.25	0.62	80.40	0.69	
2013*M*periode1*campsite	1.26	0.68	1.86	0.06	
2013*M*periode1*Talatakely	0				
2013*M*periode2*campsite	1.51	0.96	1.58	0.12	
2013*M*periode2*Talatakely	0				
2013*M*periode3*campsite	0				
2015*F*periode2*Talatakely	0.93	0.67	1.38	0.17	
2015*F*periode3*Ranofady	10.99	0.86	12.79	0.00	
2015*F*periode3*Talatakely	0				
2015*M*periode2*Talatakely	0				
2015*M*periode3*Ranofady	0				
2015*M*periode3*Talatakely	0				
Pluviométrie	0.01	0.00	1.39	0.16	
température moyenne du site	0.01	0.03	0.30	0.77	
température rectale	0.04	0.03	1.68	0.10	

SE= standard erreur, *t*=test de student, *p*=probabilité, F=femelle, M=male

Annexe 7: Paramètres estimés à partir de MLGM pour évaluer la variation de richesse spécifique chez *Microcebus rufus*

terme de modèle		coefficient	SE	t	p
Richesse spécifique					
constante		-0.70	1.95	-0.36	0.72
	2012	0.23	0.32	0.73	0.47
	2013	0.09	0.48	0.19	0.85
2015 (année de référence)		0			
femelle		-0.54	0.40	-1.31	0.19
male (sexe de référence)		0			
periode1		-0.21	0.60	-0.35	0.73
periode2		-0.08	0.45	-0.18	0.86
periode3		0			
Campsite		-0.09	0.69	-0.13	0.90
Ranofady		-0.24	0.31	-0.78	0.44
Talatakely		0			
2012*F*periode1*campsite		-0.12	1.40	-0.09	0.93
2012*F*periode1*Talatakely		-0.55	0.99	-0.55	0.58
2012*F*periode2*campsite		-0.18	1.28	-0.14	0.89
2012*F*periode2*Talatakely		-0.06	0.77	-0.08	0.94
2012*F*periode3*campsite		-0.06	0.91	-0.07	0.94
2012*F*periode3*Talatakely		0.35	0.52	0.68	0.50
2012*M*periode1*campsite		0.15	1.20	0.12	0.90
2012*M*periode1*Talatakely		0.22	0.64	0.35	0.73
2012*M*periode2*campsite		-0.08	1.09	-0.07	0.94
2012*M*periode2*Talatakely		0.16	0.51	0.31	0.76
2012*M*periode3*campsite		-0.51	0.79	-0.65	0.52
2012*M*periode3*Talatakely		0			
2013*F*periode1*campsite		-0.42	1.08	-0.40	0.69
2013*F*periode1*Talatakely		-0.45	0.75	-0.60	0.55
2013*F*periode2*campsite		0.20	0.89	0.22	0.82
2013*F*periode2*Talatakely		-0.05	0.62	-0.08	0.94
2013*F*periode3*campsite		-0.77	0.80	-0.97	0.34
2013*F*periode3*Talatakely		-0.80	0.90	-0.89	0.37
2013*M*periode1*campsite		-0.16	0.87	-0.19	0.85
2013*M*periode1*Talatakely		0			
2013*M*periode2*campsite		-0.10	0.95	-0.11	0.92
2013*M*periode2*Talatakely		0			
2013*M*periode3*Campsite		0			
2015*F*periode2*Talatakely		-0.01	0.68	-0.02	0.98
2015*F*periode3*Ranofady		1.18	0.68	1.73	0.09
2015*F*periode3*Talatakely		0			
2015*M*periode2*Talatakely		0			
2015*M*periode3*Ranofady		0			
2015*M*periode3*Talatakely		0			
Pluviométrie		0.00	0.01	0.38	0.70
température moyenne du site		0.00	0.05	0.03	0.97
température rectale		0.04	0.03	0.94	0.35

SE= standard erreur, t=test de student, p=probabilité, F=femelle, M=male

Annexe 8: Résultat d'ACP pour le calcul d'indice de gabarit (IG)

Composante	Variance totale expliquée					
	Valeurs propres initiales			Sommes extraites du carré des chargements		
	Total	% de la variance	% cumulé	Total	% de la variance	% cumulé
1	2,45	48,32	48,32	2,42	48,32	48,32
2	,94	18,83	67,16			
3	,60	11,79	78,94			
4	,56	11,25	90,19			
5	,49	9,81	100,00			

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

Matrice des composantes	
	Composante
	1
circonférence de la base de la queue	,74
circonférence de la moitié de la queue	,55
circonférence de la cuisse	,69
circonférence du biceps	,74
volume de tronc	,75

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

a. 1 composante extraite.

Annexe 9: Matrice de corrélation entre les indices de condition corporelle, mesures d'infection parasitaires, température rectale, volume testiculaire.

		Température rectale	Indice de Gabarit	Abondances parasitaires	Masse corrigé pour la taille	volume des deux testicules	Richesse spécifique des parasites	Condition corporelle	nombre ectoparasite
Température rectale	<i>r</i>	1	0,05	0,24**	0,02	0,00	-0,22**	0,16*	-0,43**
	<i>p</i>		0,51	0,00	0,79	0,99	0,00	0,04	0,00
	N	198	179	198	182	109	198	182	198
Indice de Gabarit	<i>r</i>	0,05	1	-0,10	0,61**	0,38**	-0,22**	0,43**	-0,21**
	<i>p</i>	0,51		0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	N	179	185	185	183	100	185	183	185
Abondances parasitaires	<i>r</i>	0,24**	-0,10	1	-0,14	-0,01	0,22**	0,13	-0,06
	<i>p</i>	0,00	0,17		0,06	0,95	0,00	0,07	0,43
	N	198	185	204	188	112	204	188	204
Masse corrigé pour la taille	<i>r</i>	0,02	0,61**	-0,14	1	0,42**	-0,09	0,16*	-0,07
	<i>p</i>	0,79	0,00	0,06		0,00	0,22	0,03	0,35
	N	182	183	188	188	99	188	188	188
volume des deux testicules	<i>r</i>	0,00	0,38**	-0,01	0,42**	1	0,07	0,41**	-0,15
	<i>p</i>	0,99	0,00	0,95	0,00		0,46	0,00	0,12
	N	109	100	112	99	112	112	99	112
Richesse spécifique des parasites	<i>r</i>	-0,22**	-0,22**	0,22**	-0,09	0,07	1	-0,05	0,32**
	<i>p</i>	0,00	0,00	0,00	0,22	0,46		0,52	0,00
	N	198	185	204	188	112	204	188	204
Condition corporelle	<i>r</i>	0,16*	0,43**	0,13	0,16*	0,41**	-0,05	1	-0,10
	<i>p</i>	0,04	0,00	0,07	0,03	0,00	0,52		0,20
	N	182	183	188	188	99	188	188	188
nombre ectoparasite	<i>r</i>	-0,43**	-0,21**	-0,06	-0,07	-0,15	0,32**	-0,10	1
	<i>p</i>	0,00	0,01	0,43	0,35	0,12	0,00	0,20	
	N	198	185	204	188	112	204	188	204

** . La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

* . La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

Annexe 10: Paramètres estimés à partir de MLGM pour évaluer la variation d'Indice de Gabarit chez *Microcebus rufus*

terme de modèle	coefficient	SE	<i>t</i>	<i>p</i>
Indice de Gabarit				
constante	0.32	0.35	0.92	0.36
2012	-0.44	0.40	-1.10	0.27
2013	-1.09	0.55	-2.00	0.05
2015 (année de référence)	0			
femelle	0.50	0.42	1.19	0.24
male (sexe de référence)	0			
periode1	0.70	0.42	1.67	0.10
periode2	0.23	0.46	0.49	0.62
periode3	0			
Campsite	0.46	0.50	1.02	0.31
Ranofady	-1.12	0.39	-2.85	0.01
Talatakely	0			
PSR	-0.18	0.07	-2.56	0.01
Abondance parasitaire	-0.00	0.11	-0.04	0.97
2012*F	0.07	0.50	0.15	0.88
2012*M	0			
2013*F	1.26	0.54	2.32	0.02
2013*M	0			
2015*F	0			
2015*M	0			
2012*periode1	0.14	0.38	0.36	0.72
2012*periode2	0.18	0.47	0.39	0.70
2012*periode3	0			
2013*periode1	0			
2013*periode2	0.16	0.56	0.29	0.77
2013*periode3	0			
2015*periode2	0			
2015*periode3	0			
2012*campsite	-0.03	0.32	-0.11	0.92
2012*Talatakely	0			
2013*campsite	0			
2013*Talatakely	0			
2015*Ranofady	0			
2015*Talatakely	0			
F*periode1	-1.05	0.36	-2.95	0.00
F*periode2	-0.92	0.32	-2.86	0.01
F*periode3	0			
M*periode1	0			
M*periode2	0			
M*periode3	0			

SE= standard erreur, *t*=test de Student, *p*=probabilité, F=femelle, M=male

Annexe 11: Paramètres estimés à partir de MLGM pour évaluer la variation de la masse corrigée pour la taille (MC) chez *Microcebus rufus*

terme de modèle	coefficient	SE	t	p
Masse corrigé pour la taille				
constante	4.02	0.04	91.92	0.00
2012	-0.15	0.05	-2.92	0.00
2013	-0.19	0.06	-3.02	0.00
2015 (année de référence)	0			
femelle	0.01	0.05	0.16	0.88
male (sexe de référence)	0			
periode1	0.10	0.05	2.17	0.03
periode2	0.06	0.06	1.11	0.27
periode3	0			
Campsite	-0.01	0.05	-0.10	0.92
Ranofady	-0.14	0.05	-2.61	0.01
Talatakely	0			
PSR	-0.01	0.01	-1.62	0.11
Abondance parasitaire	-0.02	0.01	-1.06	0.29
2012*F	0.07	0.06	1.06	0.29
2012*M	0			
2013*F	0.11	0.07	1.60	0.11
2013*M	0			
2015*F	0			
2015*M	0			
2012*periode1	-0.01	0.04	-0.17	0.87
2012*periode2	0.04	0.06	0.61	0.55
2012*periode3	0			
2013*periode1	0			
2013*periode2	0.04	0.07	0.57	0.57
2013*periode3	0			
2015*periode2	0			
2015*periode3	0			
2012*campsite	-0.02	0.03	-0.52	0.61
2012*Talatakely	0			
2013*campsite	0			
2013*Talatakely	0			
2015*Ranofady	0			
2015*Talatakely	0			
F*periode1	-0.16	0.04	-4.34	0.00
F*periode2	-0.22	0.04	-6.14	0.00
F*periode3	0			
M*periode1	0			
M*periode2	0			
M*periode3	0			

SE= standard erreur, t=test de student, p=probabilité, F=femelle, M=male

Annexe 12: Paramètres estimés à partir de MLGM pour évaluer la variation de condition corporelle (CC) chez *Microcebus rufus*

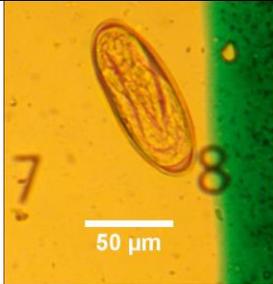
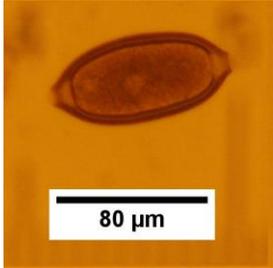
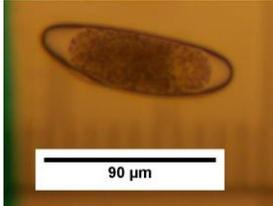
terme de modèle	coefficient	SE	t	p
Condition corporelle				
constante	3.09	1.01	3.07	0.00
2012	-3.75	1.14	-3.30	0.00
2013	-4.39	1.29	-3.40	0.00
2015 (année de référence)	0			
femelle	-0.73	1.25	-0.58	0.56
male (sexe de référence)	0			
periode1	-0.13	0.67	-0.20	0.84
periode2	-0.74	1.32	-0.56	0.58
periode3	0			
Campsite	-0.64	1.07	-0.60	0.55
Ranofady	-6.45	1.19	-5.44	0.00
Talatakely	0			
PSR	0.03	0.13	0.23	0.82
Abondance parasitaire	0.60	0.29	2.04	0.04
2012*F	0.66	1.48	0.45	0.66
2012*M	0			
2013*F	3.69	1.52	2.43	0.02
2013*M	0			
2015*F	0			
2015*M	0			
2012*periode1	0.03	0.60	0.05	0.96
2012*periode2	0.91	1.32	0.69	0.49
2012*periode3	0			
2013*periode1	0			
2013*periode2	1.03	1.41	0.73	0.47
2013*periode3	0			
2015*periode2	0			
2015*periode3	0			
2012*campsite	0.78	0.52	1.49	0.14
2012*Talatakely	0			
2013*campsite	0			
2013*Talatakely	0			
2015*Ranofady	0			
2015*Talatakely	0			
F*periode1	-0.46	0.54	-0.85	0.40
F*periode2	-0.08	0.53	-0.15	0.88
F*periode3	0			
M*periode1	0			
M*periode2	0			
M*periode3	0			

SE= standard erreur, t=test de student, p=probabilité, F=femelle, M=male

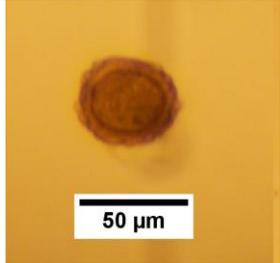
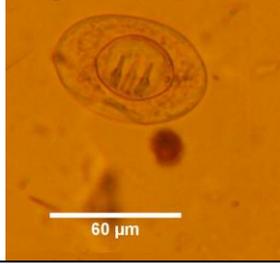
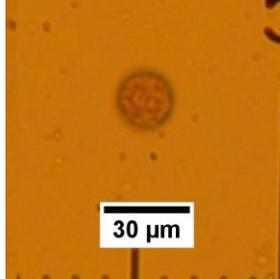
Annexe 13: statistique descriptives des variables morphométriques

Variables	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
poids de l'animale (g)	204	36,00	72,00	49,52	7,56
Température rectale (°C)	198	29,97	41,00	37,09	1,75
circonférence de la cuisse (mm)	202	16,47	33,12	22,41	2,56
circonférence du biceps (mm)	203	12,06	22,04	17,62	1,96
circonférence de la base de la queue (mm)	204	11,05	37,52	16,04	2,64
circonférence de la moitié de la queue (mm)	204	0,00	24,86	13,69	3,29
longueur tête-base de la queue (mm)	190	90,02	141,68	107,61	7,46
longueur de la queue (mm)	190	0,00	154,50	122,56	13,76
longueur de la tête (mm)	190	19,97	36,62	31,72	2,37
circonférence de la poitrine (mm)	201	19,43	69,33	54,71	5,77
circonférence de la hanche (mm)	201	22,54	59,00	41,45	5,93
longueur totale du corps (mm)	188	212,43	300,54	262,27	14,84

Annexe 14: Pathologie, Mode de contamination, localisation et méthode de diagnostique des parasites gastro-intestinaux et ectoparasite de *Microcebus rufus*

parasites	pathologie	Mode de contamination	Localisation de l'adulte	Méthode diagnostique	photo	remarque
Helminthes						
<i>Strongyloides sp.</i>	-Anguillulose	Auto infestation, transcutané par contact avec des substrats contaminée par des larves infestantes	Duodénum	Examen direct, technique de flottaison par la solution de Sheather		Parasite gastro-intestinale à cycle de vie direct pas besoin d'hôte intermédiaire
<i>Trichuris sp.</i>	-Trichuriase	Ingestion des œufs embryonné	Caecum, (colon, appendice)	Examen direct, technique de flottaison par le solution de Sheather		Parasite gastro-intestinale à cycle de vie direct pas besoin d'hôte intermédiaire
<i>Trichostrongylus sp.</i>	- Trichostrongylose	Ingestion des larves infestantes	Lumière intestinale	Examen direct, technique de flottaison par la solution de Sheather		Parasite gastro-intestinale à cycle de vie direct pas besoin d'hôte intermédiaire

Annexes

<i>Ascaris sp.</i>	-Ascaridiase	Ingestion des œufs embryonné	Intestin grêle	Examen direct, technique de flottaison par la solution de Sheather		Parasite gastro-intestinale à cycle de vie direct pas besoin d'hôte intermédiaire
<i>Hymenolepis sp.</i>	- Hyménolépiase	Ingestion des œufs (dans les aliments souillés) ou hôte intermédiaire	Intestin grêle	Examen direct, technique de flottaison par la solution de Sheather		Ressemblance fort avec <i>Hymenolepis nana</i> dont l'hôte définitif l'homme et les rongeurs
Protozoaire						
Coccidie	Non identifié	Non identifié	Tube digestif	Examen direct, technique de flottaison par la solution de Sheather		L'oocyste présente les caractéristiques de coccidie
ectoparasite						

Annexes

<i>Lemurpediculus verruculosus</i>	-vecteur des pathogènes sanguins	Interaction sociale : contact physique avec les individus infestés	Les parties du corps le plus infesté par ce type d'ectoparasite sont l'oreille, autour du testicule et le vagin	Observation directe : fouille dans les poils		En général les mâles mesurent en moyenne 0.948mm, tandis que les femelles se mesurent en moyenne 1.25mm
------------------------------------	----------------------------------	--	---	--	---	---

Annexe 15 : Les Publications

ClicCours.com

ARTICLE

<http://dx.doi.org/10.4314/mcd.v10i2.4>

Comparison of parasitic infections and body condition in rufous mouse lemurs (*Microcebus rufus*) at Ranomafana National Park, southeast Madagascar

Herman Andry Rafalinirina^I, Tuomas Aivelo^{II}, Patricia Chapple Wright^{III}, Jeannot Randrianasy^I

Correspondence:

Herman Andry Rafalinirina
University of Antananarivo, Department of Paleontology and Biological Anthropology
E-mail: rafaherman01@gmail.com

ABSTRACT

Body condition may be an important indicator for many infectious diseases and parasites, and may ultimately affect an individual's fitness. Although some research has correlated body condition and parasite loads in other nonhuman primates, little information has been investigated in prosimian primates. In this study we compare parasitic infections and body condition in a member of the Cheirogaleidae family (*Microcebus rufus*: rufous mouse lemur) at Ranomafana National Park, southeast Madagascar. This species is characterized by seasonal fattening in preparation for the dry season followed by torpor, and it is important to understand the fluctuation between parasites and infections according to seasonal body condition. We trapped 72 individuals of the species inside Ranomafana National Park (RNP) after the dry season. These individuals were brought to the Centre Valbio Laboratory (CVB) and were subcutaneously micro-chipped with subdermal transponders for permanent identification. We recorded morphometric data, body condition, species richness and prevalence of ectoparasites and gastrointestinal parasites. We found that individuals that had both high number of parasite species as well as high prevalence of ectoparasites and gastrointestinal parasites had better body condition. There is some indication that being in good condition is important in controlling infections.

RÉSUMÉ

La condition physique peut être un indicateur important pour de nombreuses maladies infectieuses et pour les parasites, et peut finalement affecter l'aptitude d'un individu. Si certaines études ont montré la relation entre condition physique et charges parasitaires chez des primates non humains, peu d'informations étaient disponibles en ce qui concerne les prosimiens. Dans cette étude, les infections parasitaires et l'état de santé du microcèbe roux *Microcebus rufus* de la famille des Cheirogaleidae ont été étudiées dans le Parc National de Ranomafana, Sud-est de Madagascar. Cette espèce est caractérisée par sa capacité à accumuler des matières grasses à la base de la queue afin de se préparer à la

saison sèche au cours de laquelle elle rentre en torpeur ; il est donc important de comprendre la fluctuation saisonnière entre les parasites et les infections selon l'état de santé des individus. Soixante-douze animaux de cette espèce ont été capturés à l'intérieur du Parc National de Ranomafana après la saison sèche. Les individus capturés ont été rapportés au Centre Valbio où ils ont été marqués avec une puce électronique sous-cutanée servant de transpondeur pour l'identification permanente. Nous avons collecté des données morphométriques pour documenter la condition physique, la richesse spécifique et la prévalence des ectoparasites et des parasites gastro-intestinaux. Nous avons constaté que les individus présentant à la fois un grand nombre d'espèces de parasites ainsi qu'une forte prévalence d'ectoparasites et de parasites gastro-intestinaux avaient une meilleure condition physique. Les résultats semblent indiquer qu'un bon état est important dans le contrôle des infections.

INTRODUCTION

Knowledge of animal body condition is of considerable importance in many ecological studies, as well as in disease research (i.e., Coop and Holmes 1996, Alzaga et al. 2008, Munyeme et al. 2010), and as a wildlife management tool (Ezenwa et al. 2010). It may be an important indicator for many infectious diseases and parasites, and may ultimately affect an individual's fitness (Sheldon and Verhulst 1996). Animals in poorer condition often are more heavily parasitized than individuals in better condition (Wilford 1986, Chapman et al. 2006, Tompkins et al. 2011), as poor body condition can lead to susceptibility to parasites and furthermore lead to "vicious circle" of continuing parasite infections and deterioration of the host (Beldomenico and Begon 2010).

Although studies relating body condition, diet and parasites/disease have been conducted on wild and captive monkeys and apes (e.g., Chapman et al. 2006, Altizer et al. 2007), little is known about the relationships between body condition, and parasites in prosimians primates, especially in the nocturnal prosimi-

^I University of Antananarivo, Department of Paleontology and Biological Anthropology, Madagascar

^{II} University of Helsinki, Institute of Biotechnology, Finland

^{III} Stony Brook University, Dept of Anthropology, USA



Madagascar Conservation & Development is the journal of Indian Ocean e-Ink. It is produced under the responsibility of this institution. The views expressed in contributions to MCD are solely those of the authors and not those of the journal editors or the publisher.

All the Issues and articles are freely available at <http://www.journalmcd.com>



Contact Journal MCD
info@journalmcd.net for general inquiries regarding MCD
funding@journalmcd.net to support the journal

Madagascar Conservation & Development
 Institute and Museum of Anthropology
 University of Zurich
 Winterthurerstrasse 190
 CH-8057 Zurich
 Switzerland

io@i

Indian Ocean e-Ink
 Promoting African Publishing and Education
www.ioeink.com

 MISSOURI BOTANICAL GARDEN

Missouri Botanical Garden (MBG)
 Madagascar Research and Conservation Program
 BP 3391
 Antananarivo, 101, Madagascar

mians. Collecting descriptive and analytic baseline data on body condition and parasitic infections is important in determining patterns of health status and will assist in effective disease management and conservation planning.

In this study we compare the extent of parasitic infections and body condition in a member of the Cheirogaleidae family (*Microcebus rufus*: rufous mouse lemur) at Ranomafana National Park (RNP), southeast Madagascar. This species is characterized by seasonal fattening (though not for all individuals at this site) in preparation for the dry season followed by torpor, and it is important to understand the relationship between parasites, disease, and body condition (Wright and Martin 1995). The specific objectives in this paper are to investigate relationships between body condition and multiple measures of parasitism. We hypothesized that i) there is a positive association among body condition indices, ii) there are differences in the measures of body condition index between individuals, and iii) there are differences in measures of parasitic infection between individuals on the basis of sex, site and period of study. Also iv) animals in poorer condition will exhibit higher parasite richness, abundance, and prevalence.

METHODS

STUDY SITE. Mouse lemurs were trapped at two sites from

August until December 2012 in RNP, E047°20', S21°16' (Wright 1992, Wright and Andriamihaja 2002). The first is within RNP at the Talatakely trail system (centroid at E047°25'17.0", S21°15'43.5"), which was clear cut in small areas before 1947 and selectively logged from 1986–1990 before the creation of the national park in 1991 (Wright et al. 2009). The second site was at the research station Centre Valbio (near Campsite location, centroid at E047°25'10.7", S21°15'12.1"), which was clear-cut in 2001.

TRAPPING METHOD. Trapping methods were based on methods used by Wright and Martin (1995) and Atsalis (1999). In each site, aluminum live traps (XLR, Sherman traps inc., Florida, USA, 22.2 x 6.6 x 6.6 cm) baited with banana were set in pairs at 25 m intervals, no more than 3 m from the ground along two transects (Talatakely transect is 1.5 km and Campsite 1 km long).

DATA COLLECTION. Data were collected at three selected periods: Period 1 (beginning of reproductive season: mid-August until the beginning of October), Period 2 (mating season: defined as the dates between which the first and the last vaginal opening was observed, from the beginning to the end of October), and Period 3 (gestation period: from November to December). Traps that contained *Microcebus rufus* were taken to the research cabin at RNP or to the laboratory at Centre Valbio. *M. rufus* brought back to the CVB field station or RNP research cabin were put into separate small linen bags to prevent escape, and were sexed, weighed with a digital scale (Fisher Scientific 200GXO), measured for tail circumference at the widest point with a thread (this thread after measured with an electronic caliper), and scanned for microchips. All new captures were microchipped with subdermal transponders (Fecava Eurochips, Vetcare, Finland) for permanent identification. All animals were released on the same night they were trapped at the site of their capture.

We recorded from non-anaesthetized rufous mouse lemur, body weight (BW), crown rump length (CR, from cranium arch to the base of tail), tail length (TL, from the base to the tip of tail), head length (HL, from tip of nose to the prominent point of occipi-

tal), head width (HW, between two temporal), circumference of the base of tail (CRT) and circumference of mid tail (CRMT). We measured CR, TL, HL, HW, CRT, CRMT to the nearest of mm using an electronic caliper, and BW to the nearest value in grams using a digital scale. We determine sex on the basis of external morphology.

Individual fecal samples of this species were collected from traps, handling bags or directly from anus for the gastrointestinal parasite analysis. We did a direct analysis without preserved fecal samples and ≈0.3 g of feces were used. Two versions of a modified method, outlined by Gillespie (2006), for the gastrointestinal parasite analysis were used. We performed fecal flotation using MgSO₄ solution and quantified the parasite eggs or larvae in McMaster Chamber (Weber Scientific International United Kingdom). We obtained egg count per gram (EPG) by dividing the count by the weight of feces used. Nematodes and flukes are too heavy to float up in the flotation liquid, so the fecal sedimentation method is necessary to identify these helminthes. We used a modified Baermann method (Zohdy 2012). Fresh fecal samples were weighed and folded in tissue paper. Each sample is put in a funnel that has a rubber hose into a glass test-tube containing water, so that the water level reaches the feces. Three days later the larvae are concentrated in the water and we centrifuged the sample and decanted the water. We examined the sediment and made a diagnosis of the nematode larvae, and counted them under microscope. We divided the count by the weight and quantified larvae per gram of feces. Each individual was checked for the ectoparasites. Ectoparasites were counted and scored according to the abundance: 1= no ectoparasites, 2= some (between 1 and 20), score 3= many (over 20).

STATISTICAL ANALYSIS. We calculated three different body condition estimates: body weight (BW), residuals of the linear regression of body weight against total body length (OLS) and tail circumference index (CRT). To estimate the OLS index of *Microcebus rufus*, we performed linear regression of log₁₀ BW against log₁₀ of total body length (TBL=HL + CR + TL) in SPSS 21.0 program. The residual of this analysis were used as the index of body condition and individuals with positive residuals are considered to be in better condition than predicted for their size, while individuals with negative residual are considered to be in relatively poorer condition (Green 2001, Blackwell 2002, Schulte-Hostedde et al. 2005). A log transform data was used to meet the assumption of linearity between body weights against total body length. As *M. rufus* store fat at the base of tail during the period of resource abundance, we computed a transformed index of circumference of tail (CRT index= CRMT/CRT) which reflected an individual's fattening level. We calculated mean ± standard error (SE) for all parameters which indicated body condition index. A bivariate two-tailed Pearson's correlation were used to examine the association between the measures of condition index and a Generalized Linear Model (GzLM) to estimate the difference between individuals on the basis of sex, site and period of study. For model selection, Akaike's information criterion AIC with adjustment for small size AICc (Sugiura 1978) was used for ranking the quality of each model. The AICc value for each model is compared to the lowest AICc value to generate (Δ_i) and to compute the Akaike weights (w_i). As a rule of thumb $\Delta_i < 2$ indicate that there is substantial support for the model, while value greater than $\Delta_i > 10$ indicates that there is no support for the model (Burnham and Anderson 2002).

We analyzed parasite prevalence, richness and abundance as a measurement of the parasite infection. Parasite prevalence is the proportion of a population infected by a particular parasite. The parasite richness was defined as the total number of species of parasites found in one individual, and the parasite abundance was defined as the total number of eggs and larvae (for helminth parasites) per gram of feces or score for the ectoparasite count that we have quantified. We used Chi-square tests of independence to compare the prevalence of infection between sex, site, and period of study, and a nonparametric test *H* of Kruskal-Wallis for analysis of variance, was used to compare the variation of the parasite abundance and parasite richness through sex, site and period of study. We also used Spearman correlation to assess whether different parasites were independently correlated and to measure the association between parasite infection and body condition index. For all analyses when individuals were sampled more than once for each period, we used the mean mass, mean circumference of tail, and mean parasite load. All statistical analyses were two tailed and $P < 0.05$ was considered statistically significant.

RESULTS

Seventy-two individual *Microcebus rufus* were captured between August and December 2012 (32 females and 40 males) summarized in Table 1. There were 43 captures during the beginning of the reproductive season (Period 1), 37 during the mating season (Period 2) and 40 during the period of gestation (Period 3).

CALCULATION AND COMPARISON OF THE BODY CONDITION MEASUREMENTS. The OLS regression equation of \log_{10} BW against \log_{10} TBL was: $y = 0.62x + 0.20$ ($r=0.31$, $t=3.41$, $p<0.05$). We have found a negative relation between BW and OLS index ($r=-0.948$, $n =107$, $p<0.05$) and between CRT index and OLS index ($r=-0.28$, $n =107$, $p< 0.05$). The individuals with heavier weight have lower OLS index and those with fat tails have higher OLS index.

To analyze the difference between individuals, we performed an analysis of model selection including the three factors (sex, site and period of study). For OLS and BW indices, model with three factors had the lowest AICc value and had the highest model weight (Supplementary Material Table S1). Model based only on sex were the best model for \log_{10} CRT index with 92% of probability, Figure 1 shows the variation of the measure of body condition index between sexes, site through the period of study. Female individuals from Talatakely site were heavier than females in Campsite at the beginning of the reproductive season. Both lost

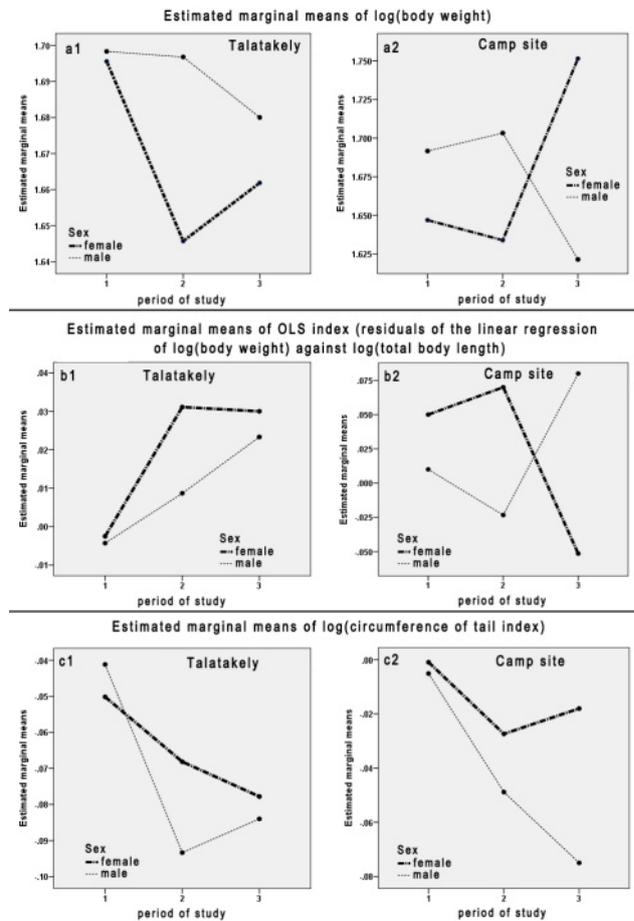


Figure 1. Variation of body condition index between sexes and site through the period of study. Variation based on mean marginal estimated from variable, dark dotted line represent variation in female and light dotted line for the variation in male.

weight during the mating season and later their weight increased. Males in both sites lost weight through the period of study.

According to OLS index, female from campsite were in better condition until mating season, but beyond this period, their condition became worse. However females in Talatakely had increasing index through these periods as the males in both sites (Figure 1, b1 and b2). Based on the CRT index, males were in better condition than females. During the mating season, individual *Microcebus rufus* were in better condition according to the CRT index (Figure2, c1 and c2). This seasonal difference may be due to increased fat in their tails, as source of energy during the mating period.

Table 1. Capture success of *Microcebus rufus* according to season.

Period	Sex	Campsite		Talatakely		Total	
		captured	recaptured	captured	recaptured	captured	recaptured
1	Male	12	0	22	0	34	0
	Female	5	0	4	0	9	0
	Combined	17	0	26	0	43	0
2	Male	2	4	4	13	6	17
	Female	2	3	6	3	8	6
	Combined	4	7	10	16	14	23
3	Male	0	6	0	12	0	18
	Female	12	3	3	4	15	7
	Combined	12	9	3	16	15	25
Total		33	16	39	32	72	48

COMPARISON OF PARASITIC INFECTIONS AND PARASITE RICHNESS. From the fecal analysis, we identified two gastrointestinal parasite species: one cestode (*Platyhelminthes*, *Hymenolepis* sp.) (Figure 2a), and one nematode (*Nematoda*, *Strongyloides* sp.) (Figure 2b). We also found the ectoparasite *Lemurpediculus verruculosus* (Durden et al. 2010) (Figure 2c). Prevalence of infection with *Strongyloides* sp. and *Lemurpediculus verruculosus* differed significantly by host sex and site. Male rufous mouse lemur had higher prevalence of nematodes and ectoparasites, individuals in campsite were more parasitized by *Strongyloides* sp., while those in Talatakely were more parasitized by ectoparasites. In *Hymenolepis* sp. prevalence, a significant diffe



Figure 2. Gastrointestinal parasites (a = *Hymenolepis* sp., Platyhelminthes; b = *Strongyloides* sp., Nematoda), and ectoparasite (c = *Lemurpediculus verruculosus*) identified in *Microcebus rufus* fecal analysis.

rence was found only between sexes, males were more parasitized than females (Supplementary Material Table S2).

The Kruskal-Wallis test reveals that there were effects of sex and site on parasites abundance of *Hymenolepis* sp., and *Lemurpediculus verruculosus*, inspection of the group median suggests that males were an important reservoir for both gastrointestinal parasites and ectoparasites species and individuals in Talatakey were more affected. The difference between two sites concerning the parasite richness wasn't statistically significant (Supplementary Material Table S3). Both sex and site were reservoir of *Strongyloides* sp., and the abundance of this parasite increased by period of study (Supplementary Material Table S3). There was a positive statistically significant association between the abundance of *Hymenolepis* sp. and *Strongyloides* sp. ($r=0.25$, $n=119$, $P<0.05$), and between the abundance of *Hymenolepis* sp. and *Lemurpediculus verruculosus* ($r=0.33$, $n=120$, $P<0.05$).

ASSOCIATION BETWEEN PARASITES INFECTIONS AND BODY CONDITION INDEX. We found a weak significant negative correlation between the CRT index and abundance of *Lemurpediculus verruculosus* ($r=-0.192$, $n=120$, $P<0.05$). Parasite richness was statistically significantly negatively correlated with CRT index ($r=-0.193$, $n=120$, $P<0.05$). We did not find a significant association between body weight, OLS residual index and the parasite abundance and richness (Table 2).

DISCUSSION

COMPARISON OF BODY CONDITION INDEX IN *MICROCEBUS RUFUS*. The calculation and comparison of body condition indices of *Microcebus rufus* were studied for only five months. However, this period encompassed a variety of phases in the biological cycle of *M. rufus*: beginning of reproductive season, mating season, and gestation period. Furthermore, the representation of a wide range of individual condition indices was provided by the large sample. We assessed body condition using standard and non-destructive measures for small mammals (Blackwell 2002), like body weight (Jakob et al. 1996) and the OLS residual in-

Table 2. Correlation between measures of body condition index and the parasite abundance and richness (n = sample size, r = correlation coefficient of spearman, p = probability, BW = body weight, CRT = crown rump length, OLS =residuals of the linear regression of body weight VS. total body length)

Model	n	r	p
BW VS. <i>Lemurpediculus verruculosus</i> score	120	-0.08	0.38
BW VS. nematode abundance	119	0.13	0.17
BW VS. cestode abundance	120	0.04	0.69
BW VS. parasite richness	120	0.02	0.80
CRT index VS. <i>L. verruculosus</i> score	120	-0.19	0.04
CRT index VS. nematode abundance	119	-0.00	0.98
CRT index VS. cestode abundance	120	-0.14	0.13
CRT index VS. parasite richness	120	-0.19	0.03
OLS residual index VS. <i>L. verruculosus</i> score	107	0.13	0.19
OLS residual index VS. nematode abundance	106	-0.02	0.86
OLS residual index VS. cestode abundance	107	0.04	0.66
OLS residual index parasite richness	107	0.08	0.44

dex (Green 2001). However, our species experiences seasonal fluctuation in body fat and accumulates fat at the base of tail (Wright and Martin 1995, Atsalis 1999a), therefore we introduced the tail circumference index.

The two indices OLS and CRT correlated so that those lemurs with higher fat reserves had a higher OLS index. Males at both sites exhibited increased body weight and were in better condition based on indices prior to the onset of the mating season, but lost it soon afterwards possibly as a result of their mate searching strategies which usually involve high activity and defense of habitat already occupied by females (Martin 1972). Individuals in Talatakey had more fat reserve at the base of tail than those in Campsite and females from Talatakey site were also heavier and had higher OLS index than those in Campsite. This could be due to Talatakey being a higher quality habitat than Campsite.

We have found a problem using the OLS residual index, the fit regression was not very high ($r=0.31$), and the scaling theory about the cubic relationships between mass and length was not met in the study. The scaling exponent which equal to the slope in the regression equation ($b=0.62$) was different to the cubic relationship ($b=3.0$) (LaBarbera 1989, Blackwell 2002). Thus we found the residual index from regression of body weight on body length is not appropriate to predict the body condition for this lemur species. It seems that the condition predicted by the circumference of tail index was the best indicator of energy state of this species.

The main limitation of this study was the lack of an absolute measure of body condition. An animal in good condition is assumed to have more energy reserves than an animal in poor condition (Schulte-Hostedde 2005). It is important to estimate the nutritional condition of the habitat, to measure an animal's fitness, and to examine the effect of potential parasites on the host animal (Wilson et al. 2002). The benefit of better body condition for males is that they may be better able to monopolize access to reproductive females during mating season, while also being better able to defend against other males. Males in poorer condition are therefore likely to experience lower reproductive success (Rasoazanabary 2006). Ultimately, body condition is an ability of the animal to successfully reproduce and thus the reproductive success should be assessed (Lewis and Kappeler 2005) which we were not able to do. More parameters are needed to validate the measure of body condition in this species. Specifically, examining the impact of circumference of tail index on reproductive success in this species is likely to reveal important information.

COMPARISON OF PARASITES INFECTIONS IN *MICROCEBUS RUFUS*. *Microcebus rufus* at Ranomafana National Park were found to be co-infected with a combination of two intestinal helminthes (*Strongyloides* sp. and *Hymenolepis* sp.) and one louse species (*Lemurpediculus verruculosus*) through the beginning reproductive season, mating season and gestation period. We detected that males were more infected by parasites than females and had higher parasite diversity. These patterns have been observed in variety of mammal taxa (i.e., Schalk and Forbes 1997, Moore and Wilson 2002, Schulte-Hostedde et al. 2005). Males carrying more parasites than females has often been attributed to the immunosuppressive effect of androgens such as testosterone (Folstad and Karter 1992). However, Zohdy (2012) has reported no significant difference in testosterone level between the sexes in *M. rufus*, the same author showed that this factor is unlikely to be responsible for the high parasite loads seen in males. Other pro-

posed explanations relate to body size dimorphism (Zuk and McKean 1996), and mating system that puts one sex at a disadvantage with regard to transmission of parasites (Moore and Wilson 2002). *M. rufus* is not dimorphic with respect to size. So the best explanation for the sex differences in parasite load and richness may be likely due to the mating system. *M. rufus* have polygandrous mating system (Atsalis 2008) so the competition and interaction between males could be higher, that pattern leading to increase parasite infestation in males (Nunn et al. 2003).

We have found a difference in parasite infection between sites, individuals in Campsite were more infected by *Strongyloides* sp. However individuals in Talatakely were more infected by *Lemurpediculus verruculosus* and *Hymenolepis* sp. These results could be related to the differences in life cycles of parasites, in host-parasite system, host body condition and ecological factors (i.e., Eley et al. 1989, Coe 1993, Friedman and Lawrence 2002, Gillespie et al. 2005, Mborah and McPeck 2009). *Strongyloides* sp. characterized by its direct life cycles (the parasites is transmitted directly from one host to the next without an intermediate host or vector of another species), so individual *Microcebus rufus* in campsite could be more in contact with the infective larvae of that parasites (Radespiel et al. 2015) because of their sleeping mode and possible territory overlap. And the sleeping site could be contaminated by feces from infected individuals. In addition, Campsite also exhibits higher habitat disturbance with villagers living very near this buffer zone than Talatakely inside Ranomafana National Park (Wright 1992). This might reduce the amount of *M. rufus* habitat and increase possibility of interplay between animals, humans and parasite infection. In contrast, according to Zohdy (2012) the dependence of sucking lice on direct host-host interaction suggests that individuals in Talatakely engage in more physical social interaction and will therefore be the causes of the spread of ectoparasites infestations. Concerning the infestation of *Hymenolepis* sp. this could be related to the diet of the Talatakely *M. rufus* population which may include the intermediate host of the parasites like an arthropod, which we were not able to investigate in this study.

Statistically significant differences in *Strongyloides* sp. larvae abundance in feces were found across periods of study. Abundance varied significantly over the three periods. A lower larvae count was detected at the first period (beginning of reproductive season), while higher abundance was found during the third period (gestation period). This could be indicative of lower intensity of nematode infection at the beginning of reproductive season, which is the end of dry season, and higher intensity infection when gestation period is approaching, which is the beginning of raining season at RNP. This pattern could be related to the life history of this nematode, the seasonal variation of the intensity of infection within individuals and individual vulnerability toward infection under some sort of environmental challenge (Radespiel et al. 2015). The climate during breeding season favors hatching of nematode eggs, which increases the abundance of larvae ready to infect individual *Microcebus* spp. (Ganzhorn and Raharivololona 2010). In this study we used fecal samples from different individuals. However, according to Ganzhorn and Raharivololona (2010), a within-individual analysis across seasons is often desirable.

ASSOCIATION BETWEEN PARASITES INFECTIONS AND BODY CONDITION INDEX. Parasites, by their very nature, derive resources from the host and may affect host survival and re-

production directly, but also indirectly by reducing host body condition (Coop and Holmes 1996, Neuhaus 2003, Gillespie and Chapman 2005). Thus, parasite infections are considered to be a critical component in conservation biology (May 1988). Individuals in poor condition might be unable to resist parasitic infection because of the energetic expense of mounting an immune defense (Martin et al. 2003).

In contrast, our results indicate that individuals who had more parasites species and high prevalence on louse infections and gastrointestinal parasites had more fat in their tail (lower CRT index). This suggests that a good quality host might be able to sustain higher parasite loads (Bize et al. 2008, Seppälä et al. 2008). Furthermore, parasitic infections might not always lead to immediate energetic costs for the host. Rather, the costs might be manifested in longer-term reductions in fitness (Willis and Poulin 1999). For our animal study we could not detect signs of clinical significance, and some parasite-host relationships might be initially commensalistic, but affect animals more severely when intrinsic or ecological stress increases. A long term study examining body condition and parasite infections in this species is needed to support our findings.

CONCLUSION

More parameters are needed to validate measurements of body condition in *Microcebus rufus*, although body condition, predicted by the circumference of tail index, was the best indicator of energy state in this species. Sex and site differences in parasitic infection were found. Male *M. rufus* were more infected by parasites than females and had higher parasite diversity. Individuals in Campsite were more infected by *Strongyloides* sp. However individuals in Talatakely were more infected by *Lemurpediculus verruculosus* and *Hymenolepis* sp. These results could be related to the differences in parasite life cycle, in host-parasite system, or ecological factors. The relationship between body condition and parasitic infection, in this study, reveals that animals in better condition were more infected by parasites because of relatively better quality resources available in that host.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the University of Antananarivo, University of Helsinki, Stony Brook University, Department of Paleontology and Biological Anthropology Tananarive, Madagascar National Park, Primate Conservation Inc. for funding and MICET with Centre Valbio for logistics and technical support. We are grateful to three anonymous reviewers who allowed us to improve an original version of this contribution.

REFERENCES

- Aho, J. M. 1990. Helminth communities of amphibians and reptiles: comparative approaches to understanding patterns and processes. In: Parasite Communities: Patterns and Processes. G. W. Esch, A. O. Bush and J. M. Aho (eds.), pp 156–195. Chapman and Hall, London.
- Alzaga, V., Vicente, J., Villauna, D., Acevedo, P., Casas, F. and Gortazar, C. 2008. Body condition and parasite intensity correlates with escape capacity in Iberian hares (*Lepus granatensis*). Behavioral Ecology Sociobiology 62, 5: 769–775. (doi:10.1007/s00265-007-0502-3)
- Altizer, S., Nunn, C. L. and Lindenfors, P. 2007. Do threatened hosts have fewer parasites? A comparative study in primates. Journal of Animal Ecology 76: 304–314. (doi:10.1111/j.1365-2656.2007.01214.x)

- Atsalis, S. 1999. Seasonal fluctuation in body fat and activity levels in a rain-forest species of Mouse lemur, *Microcebus rufus*. *International Journal of Primatology* 20, 6: 883–910. (doi:10.1023/A:1020826502103)
- Atsalis S. 2008. Diet and feeding ecology. In: *The Natural History of the Brown Mouse Lemur*. R. W. Sussman (ed.), pp 63–65. Prentice Hall, Upper Saddle River NJ.
- Beldomenico, P. M. and Begon, M. 2010. Disease spread, susceptibility and infection intensity: vicious circles? *Trends in Ecology and Evolution* 25, 1: 21–27. (doi:10.1016/j.tree.2009.06.015)
- Bize, P., Jeanneret, C., Klopfenstein, A. and Roulin, A. 2008. What makes a host profitable? Parasites balance host nutritive resources against immunity. *American Naturalist* 171, 1: 107–118. (doi:10.1086/523943)
- Blackwell, G. L. 2002. A potential multivariate index of condition for small mammals. *New Zealand Journal of Zoology* 29, 3: 195–203. (doi:10.1080/03014223.2002.9518303)
- Burnham, K. P. and Anderson, D. R. 2002. *Model Selection and Multimodel Inference*, Springer, New York.
- Chapman, C. A., Wasserman, M. D., Gillespie, T. R., Speirs, M. L., Lawes, M. J. et al. 2006. Do food availability, parasitism, and stress have synergistic effects on red colobus populations living in forest fragments? *American Journal of Physical Anthropology* 131, 4: 525–534. (doi:10.1002/ajpa.20477)
- Coe, C. L. 1993. Psychosocial factors and immunity in nonhuman primates – a review. *Psychosomatic Medicine* 55, 3: 298–308.
- Coop, R. L. and Holmes, P. H. 1996. Nutrition and parasite interaction. *International Journal for Parasitology* 26, 8–9: 951–962. (doi:10.1016/S0020-7519(96)80070-1)
- Durden, L. A., Zohdy, S. and Laakkonen, J. 2010. Lice and ticks of the eastern rufous mouse lemur, *Microcebus rufus*, with descriptions of the male and third instar nymph of *Lemurpediculus verruculosus* (Phthiraptera: Anoplura). *Journal of Parasitology* 96, 5: 874–878. (doi:10.1645/GE-2512.1)
- Eley, R. M., Strum, S. C., Muchemi, G. and Reid, G. D. F. 1989. Nutrition, body condition, activity patterns, and parasitism of free-ranging troops of olive baboons (*Papio anubis*) in Kenya. *American Journal of Primatology* 18, 3: 209–219. (doi:10.1002/ajp.1350180304)
- Ezenwa, V. O., Etienne, R. S., Luikart, G., Beja-Pereira, A. and Jolles, A. E. 2010. Hidden consequences of living in a wormy World: Nematode-induced immune suppression facilitates tuberculosis invasion in African buffalo. *The American Naturalist* 176, 5: 613–624. (doi:10.1086/656496)
- Feliu, C., Renaud, F., Catzeflis, F., Hugot, J.-P., Durand P. and Morand, S. 2001. Comparative analysis of parasite species richness of Iberian rodents. *Parasitology* 115, 4: 453–466. (doi:10.1017/S0031182097001479)
- Folstad, I. and Karter, A. J. 1992. Parasites, bright males, and the immunocompetence handicap. *The American Naturalist* 139, 3: 603–622. (doi:10.1086/285346)
- Friedman, E. M. and Lawrence, D. A. 2002. Environmental stress mediates changes in neuroimmunological interactions. *Toxicological Sciences* 67, 1: 4–10. (doi:10.1093/toxsci/67.1.4)
- Gillespie, T.R. 2006. Noninvasive assessment of gastrointestinal parasite infections in free-ranging primates. *International Journal of Primatology* 27, 4: 1129–1143. (doi:10.1007/s10764-006-9064-x)
- Gillespie, T. R. and Chapman, C. A. 2005. Prediction of parasite infection dynamics in primate metapopulations based on attributes of forest fragmentation. *Conservation Biology* 20, 2: 441–448. (doi:10.1111/j.1523-1739.2006.00290.x)
- Gillespie, T. R., Chapman, C. A. and Greiner, E. C. 2005. Effects of logging on gastrointestinal parasite infections and infection risk in African primates. *Journal of Applied Ecology* 42, 4: 699–707. (doi:10.1111/j.1365-2664.2005.01049.x)
- Green, A. J. 2001. Mass/length residuals: measures of body condition or generators of spurious results? *Ecology* 82, 5: 1473–1483. (doi:10.1890/0012-9658(2001)082[1473:MLR-MOB]2.0.CO;2)
- Gregory, R. D. 1990. Parasites and host geographic range as illustrated by waterfowl. *Functional Ecology* 4, 5: 645–654. (doi:10.2307/2389732)
- Jakob, E. M., Marshall, S. D. and Uetz, G. W. 1996. Estimating fitness: a comparison of body condition indices. *Oikos* 77, 1: 61–67. (doi:10.2307/3545585)
- LaBarbera, M. 1989. Analyzing body size as a factor in ecology and evolution. *Annual reviews of Ecology and Systematic* 20: 97–117. (doi:10.1146/annurev.es.20.110189.000525)
- Lewis, R. J. and Kappeler, P. M. 2005. Seasonality, body condition, and timing of reproduction in *Propithecus verreauxi verreauxi* in the Kirindy forest. *American Journal of Primatology* 67, 3: 347–364. (doi:10.1002/ajp.20187)
- Martin, R.D. 1972. A preliminary field study of the lesser mouse lemur *Microcebus murinus* (J. F. Miller 1777). *Zeitschrift für Tierpsychologie* 9: 43–89.
- Martin, L. B., Scheurlein II, A. and Wikelski, M. 2003. Immune activity elevates energy expenditure of house sparrows: a link between direct and indirect costs? *Proceedings of the Royal Society of London, B* 270: 153–158. (doi:10.1098/rspb.2002.2185)
- May, R. M. 1988. Conservation and disease. *Conservation Biology* 2, 1: 28–30. (doi:10.1111/j.1523-1739.1988.tb00332.x)
- Mbora, D. N. M. and McPeck, M. A. 2009. Host density and human activities mediate increased parasite prevalence and richness in primates threatened by habitat loss and fragmentation. *Journal of Animal Ecology* 78, 1: 210–218. (doi:10.1111/j.1365-2656.2008.01481.x)
- Moore, S. L. and Wilson, K. 2002. Parasites as a viability cost of sexual selection in natural populations of mammals. *Science* 297: 2015–2018. (doi:10.1126/science.1074196)
- Munyeme, M., Munang'andu, H. M., Muma, J. B., Nambota, A. M., Biffa, D. and Siamudaala, V. M. 2010. Investigating effects of parasite infection on body condition of the Kafue lechwe (*Kobus leche kafuensis*) in the Kafue basin. *BMC Research Notes* 3: #346. (doi:10.1186/1756-0500-3-346)
- Neuhaus, P. 2003. Parasite removal and its impact on litter size and body condition in Columbian ground squirrels (*Spermophilus columbianus*). *Proceedings of the Royal Society of London, B* 270, S2: 213–215. (doi:10.1098/rsbl.2003.0073)
- Nunn, C. L., Altizer, S., Jones, K. E. and Sechrest, W. 2003. Comparative tests of parasite species richness in Primates. *The American Naturalist* 162, 5: 597–614. (doi:10.1086/378721)
- Radespiel, U., Schaber, K., Kessler, S. E., Schaarschmidt, F. and Strube, C. 2015. Variations in the excretion patterns of helminth eggs in two sympatric mouse lemur species (*Microcebus murinus* and *M. ravelobensis*) in northwestern Madagascar. *Parasitology Research* 114, 3: 941–954. (doi:10.1007/s00436-014-4259-0)
- Raharivololona, B. and Ganzhorn, J. U. 2010. Seasonal variations in gastrointestinal parasites excreted by the gray mouse lemur *Microcebus murinus* in Madagascar. *Endangered Species Research* 11, 2: 113–122. (doi:10.3354/esr00255)
- Rasoazanabary, E. 2006. Male and female activity patterns in *Microcebus murinus* during the dry season at Kirindy forest, western Madagascar. *International Journal of Primatology* 27, 2: 437–464. (doi:10.1007/s10764-006-9017-4)
- Schalk, G. and Forbes, M. R. 1997. Male biases in parasitism of mammals: effects of study type, host age, and parasite taxon. *Oikos* 78, 1: 67–74. (doi:10.2307/3545801)

- Sheldon, B. C. and Verhulst, S. 1996. Ecological immunology: costly parasite defences and trade-offs in evolutionary ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 11, 8: 317–321. (doi:10.1016/0169-5347(96)10039-2)
- Schulte-Hostedde, A. I., Zinner, B., Millar, J. S. and Hickling, G. J. 2005. Restitution of mass-size residuals: Validating body condition indices. *Ecological Society of America* 86, 1: 155–163. (doi:10.1890/04-0232)
- Seppälä, O., Lijjeroos, K., Karvonen, A. and Jokela, J. 2008. Host condition as a constraint for parasite reproduction. *Oikos* 117, 5: 749–753. (doi:10.1111/j.0030-1299.2008.16396.x)
- Streicker, D. G., Fenton, A. and Pedersen, A. B. 2013. Differential sources of host species heterogeneity influence the transmission and control of multihost parasites. *Ecology Letters* 16, 8: 975–984. (doi:10.1111/ele.12122)
- Sugiura, N. 1978. Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite correction. *Communications in Statistics Theory and Methods* 7, 1: 13–26. (doi:10.1080/03610927808827599)
- Tompkins, D. M., Dunn, A. M., Smith M. J. and Telfer, S. 2011. Wildlife diseases: from individuals to ecosystems. *Journal of Animal Ecology* 80, 1: 19–38. (doi:10.1111/j.1365-2656.2010.01742.x)
- Wilford, O. 1986. *Animal Parasites: Their Life Cycles and Ecology*. Dover Publications, New York.
- Willis, C. and Poulin, R. 1999. Effects of the tapeworm *Hymenolepis diminuta* on maternal investment in rats. *Canadian Journal of Zoology* 77, 6: 1001–1005 (doi:10.1139/z99-075)
- Wilson, K., Bjørnstad, O. N., Dobson, A. P., Merler, S., Pogliayen, G. et al. 2002. Heterogeneities in macroparasite infections: patterns and processes. In: *The Ecology of Wildlife Diseases*. P. J. Hudson, A. Rizzoli, B. T. Grenfell, H. Heesterbeek and A. P. Dobson (eds.), pp 6–44. Oxford University Press, New York.
- Wright, P. C. 1992. Primate ecology, rainforest conservation and economic development: Building a national park in Madagascar. *Evolutionary Anthropology* 1, 1: 25–33. (doi:10.1002/evan.1360010108)
- Wright, P. C. and Andriamihaja, B. A. 2002. Making a rain forest national park work in Madagascar: Ranomafana National Park and its long-term research commitment. In: *Making Parks Work: Strategies for Preserving Tropical Nature*. J. Terborgh, C. van Schaik, M. Rao and L. Davenport (Eds.), pp 112–136. Island Press, Washington D.C.
- Wright, P. C. and Martin, L. B. 1995. Predation, pollination and torpor in *Cheirogaleus major* and *Microcebus rufus* in Madagascar rain forest. In: *The Nocturnal Prosimian*. L. Alterman, K. Izard and G. Doyle (Eds.), pp 45–60. Plenum Press, New York.
- Wright, P. C., Arrigo-Nelson, S. J., Hogg, K. L., Bannon, B., Morelli, T. L. et al. 2009. Habitat disturbance and seasonal fluctuations of lemur parasites in the rain forest of Ranomafana National Park, Madagascar. In: *Primate Parasite Ecology: The Dynamics and Study of Host-Parasite Relationships*. M. A. Huffman and C. A. Chapman (Eds.), pp 311–330. Cambridge University Press, London.
- Zohdy S. 2012. *Senescence Ecology: Aging in a Population of Wild Brown Mouse Lemurs (Microcebus rufus)*. Unpubl. Ph.D. thesis, University of Helsinki, Finland. Available at <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-10-7727-2>
- Zuk, M. and McKean, K. A. 1996. Sex differences in parasite infections: patterns and processes. *International Journal of Parasitology* 26, 10: 1009–1024. (doi:10.1016/S0020-7519(96)80001-4)

SUPPLEMENTARY MATERIAL.

Available online only.

Table S1. Seven candidate models for each measures of body condition index in *Microcebus rufus* at RNP. Model selection based on Akaike's information criterion (AIC).

Table S2. Comparison of the prevalence of infection of *Microcebus rufus* between sex, site, and period of study.

Table S3. Comparison of parasite abundance and parasite richness of *Microcebus rufus* between sex, site, and period of study.

Parasites Lost: Canopy lemurs may have less intestinal parasites

RAFALINIRINA Andry Herman (D.P.A.B., CENTRE VALBIO)
WRIGHT Patricia (Stony brook University, CENTRE VALBIO)

Introduction

Lemur intestinal parasites have been studied in both dry and wet forests in Madagascar, correlating diversity and abundance with seasonality and habitat. However this is the first study of parasite diversity and abundance in lemurs that live primarily in the canopy vs. lemurs that frequently inhabit the understory and are often terrestrial.



Materials and Methods

Study subject and Site

We have collected data at Ranomafana National Park a 43,500 ha continuous rain forest located in southeastern Madagascar (21°16' S latitude and 47° 20' E longitude) (Wright, 1992; Wright and Andriamihaja, 2002)(figure1).

We have studied *Microcebus rufus* (Lesson, 1840) and *Cheirogaleus crossleyi* (A. Grandidier, 1870) in the family of Cheirogaleidae (Mittlemeier et al., 1994). They are sympatric and adopt a similar rhythm of activity (nocturnal and may enter periods of seasonal torpor akin to hibernation).

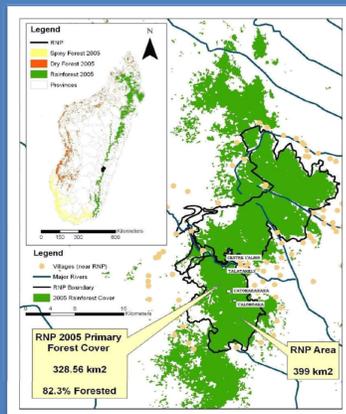


Figure 1: Site of capture at Ranomafana National Park

Trapping Method

40 standard live-traps covering 500m of trail have been used in RNP, such as Sherman live traps (22.2 cm*6.6 cm *6.6 cm) for capture of *Microcebus* and tomahawks for *Cheirogaleus*. Trapping methods are based on methods used by Wright and Martin (1995), Atsalis 1999, Blanco, 2010 and Zohdy, 2012). In the site, aluminum Sherman live traps (22.2 x 6.6 x 6.6 cm) and tomahawks traps was set 25 meters apart 10 meters back from trails, no more than 3 meters from the ground for the Sherman traps and more than 6 meter for the tomahawks (figure2).



Figure 2: Sherman traps setting in the tree, and a mouse climbing tree to install tomahawk trap

Fecal samples and Parasitological analysis

Individual fecal samples of those species were collected from traps, handling bags or directly from anus for the gastrointestinal parasite analysis. We did a direct analysis without preserved fecal samples and ≈0.3 g of homogenized feces was used. One version of a modified method outlined by Gillespie (2006), for the gastrointestinal parasite was used. We perform fecal flotation using Sheather's solution (specific gravity=1, 27) and quantified the parasite eggs or oocyst in McMaster Chamber (Weber Scientific International United Kingdom).

Helminth eggs and protozoan cysts were identified based on their size and morphology. Photographs and measurements were taken using an ocular micrometer fitted to a compound microscope and Image J imaging software (by Wayne Rasband, National institutes of health, USA).



Figure 3: Fecal analysis session

Data analysis

We analyzed parasite prevalence, and species richness as a measurement of the parasite infection. We used Chi-square tests of independence to compare the prevalence of infection between species, and a nonparametric Mann-Whitney *U* test to compare parasite richness between species.

Results

Capture success

Thirty nine individuals of *Microcebus rufus* (24 in Talatakely and 15 in Ranofady) and Thirty three of *Cheirogaleus crossleyi* (17 in Talatakely and 16 in Ranofady) were captured between October and November 2015 summarized in table below.

Table 1: Capture success by species and site

Species	Sex	Site		Total
		Talatakely	Ranofady	
<i>Microcebus rufus</i>	Male	12	14	26
	Female	12	1	13
	Combined	24	15	39
<i>Cheirogaleus crossleyi</i>	Male	5	5	10
	Female	12	11	23
	Combined	17	16	33
Total		41	31	72

Comparison of parasitic infections and parasite richness

In feces collected from these 72 captured individuals at Ranomafana National park, a total of 6 species of intestinal parasites including a protistan, four nematodes (*Strongyloides* sp., *Ascaris* sp., *Trichuris* sp., non identified Oxyuridae), one cestode (*Hymenolepis* sp.), one protozoan (non identified oocyst Coccidia) were found (figure).

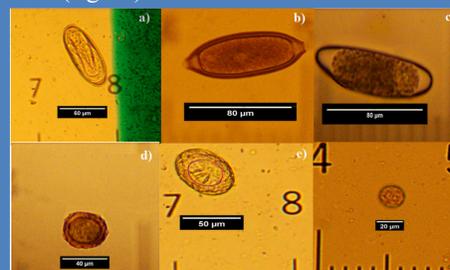


Figure 5: Photo of eggs and oocyst morphotypes found in feces of *Microcebus rufus* and *Cheirogaleus crossleyi*. a) *Strongyloides* sp., b) *Trichuris* sp., c) a non identified Oxyuridae, d) *Ascaris* sp., e) *Hymenolepis* sp., f) a non identified oocyst of Coccidia

From fecal analysis, we found only two parasites species (*Strongyloides* sp., non identified oocyst Coccidia) from feces of Dwarf lemur. In contrast, mouse lemur harbored all six parasites species found (figure). The difference in species richness was significant ($U=865.5; P<0, 05$).

Analysis of common parasite in both lemur species reveal that the proportion of mouse lemur infected by *Strongyloides* sp., was significantly higher ($X^2=18, 31; P<0, 05$). However, the prevalence for Coccidia was significantly higher in Dwarf lemur ($X^2=7, 65; P<0, 05$).

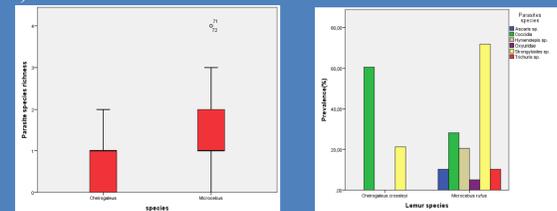


Figure 6: Parasite Species Richness between Dwarf and Mouse lemur, and the Prevalence of parasitic infection

Discussion

To our knowledge, this study is the first comparison of gastrointestinal parasite infections in nocturnal sympatric lemur species at RNP. The mouse lemur which frequently inhabit the understory are often terrestrial exhibited a greater endoparasite richness species than the Dwarf lemur more often in the canopy strata. This suggests that the pattern of parasite distribution is different along stratum level.

This could be explained by the fact that most of the parasite found in the study are fecally transmitted, meaning that species in lower stratum are in higher contact with those parasites.

Differences in the feeding behavior of each primate may also be responsible for the higher parasite richness found among the 2 sympatric cheirogaleidae. Mouse lemur tends to be omnivorous (Atsalis 1998a, 1998b) so there may be higher risk for contact with parasite, whereas Dwarf lemur diet is more restricted (see Ganzhorn 1988; Wright & Martin 1995).

The proportion of mouse lemurs infected with *Strongyloides* sp., was higher than Dwarf lemur which suggest that, with fecal matter accumulating as one gets closer to ground, the lower stratum where *Microcebus rufus* lives is closer to the source of the strongyle parasites

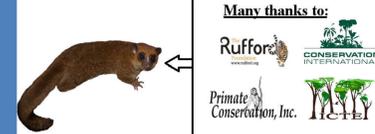
This study was done during the rainy season, so it possible that the rain falling from the canopy to the lower stratum washed the fecally transmitted parasite down and reduced the risk of accumulating the parasite for species in the canopy. Furthermore, the high presence of humidity in the canopy could explain the high prevalence of oocyst coccidia in Dwarf lemurs.

References

-Atsalis S. A. 1998a. Feeding ecology and aspects of life history in *Microcebus rufus* (Family Cheirogaleidae). Thèse de Doctorat, City University of New York, New York, USA.
 -Atsalis S. A. 1998b. Seasonal Fatening and Changes in activity levels in the brown mouse lemur (*Microcebus rufus*) in Ranomafana National Park, Madagascar. American Journal of Primatology 45(2): 163. –Résumé.
 -Atsalis S. 1999. Seasonal fluctuation in body fat and activity levels in a rain-forest species of Mouse lemur, *Microcebus rufus*. International Journal of Primatology 20: 6: 883-910. doi:10.1023/A:1029265201103.
 -Blanco M. B. 2010. Reproductive biology of mouse and dwarf lemurs of eastern Madagascar, with an emphasis on brown mouse lemurs (*Microcebus rufus*) at Ranomafana National Park, a southeastern rainforest. Ph.D. dissertation, University of Massachusetts, Amherst.
 -Ganzhorn J. U. 1988. Food partitioning among Malagasy primates. *Oecologia, Berlin* 74 (3):456-460.
 -Gillespie T.R. 2006. Nonsynovsive assessment of gastrointestinal parasite infections in free-ranging primates. International Journal of Primatology 27:1129-1143. doi:10.1007/s10764-006-9064-8.
 -Mittlemeier, R. A., Tattersall, I., Konstant, W. R., Meyers, D. M., & Mast, R. B. 1994. Lemurs of Madagascar. Washington, D.C: Conservation International.
 -Wright P.C. & MARTIN L. B. 1995. Predation, pollination and torpor in two nocturnal prosimians, *Cheirogaleus major* and *Microcebus rufus* in the rain forest of Madagascar. In ALTERMANN L., DOYLE G.A. & IZARD M.K. (eds), *Creatures of the Dark: The nocturnal prosimians*. Plenum Press, New York, 45-60.
 -Wright, P.C. 1992. Primate rainforest conservation and economic development: Building a national park in Madagascar. *Evolutionary Anthropology* 1:1:25-33 (doi:10.1002/evan.1360010108).
 -Wright, P. C. and Andriamihaja, B. A. 2002. Making a rain forest national park work in Madagascar: Ranomafana National Park and its long-term research commitment. In: *Making Parks Work: Strategies for Preserving Tropical Nature*. J. Terborgh, C. van Schaik, M. Rao and L. Davenport (Eds.), pp 11:2-136. Island Press, Washington D.C.
 -Zohdy S. 2012. Senescence Ecology: Aging in a Population of Wild Brown Mouse Lemurs (*Microcebus rufus*). Unpub. Ph.D. thesis, University of Helsinki, Finland. Available at: <http://hdl.handle.net/10125/29527>.

Acknowledgements:

We are grateful to the University of Antananarivo, Ministry of Water and Forest and Madagascar National Park for permission to conduct this research. We thank CVB Technician for help with trapping and handling our subject animal. Special thanks to Pr Jonathan Ratsimbazafy for his help in funding resources



RAFALINIRINA Andry Herman

Email : rafaherman@gmail.com /

rafalinirinaandryherman@vaho.fr

Skype : rafalinirina1

(+261) 34 61 453 53 / (+261) 33 21 907 49



RESUME

Diverses études en écologie ont montré la relation entre la condition corporelle et les charges parasitaires chez les primates non humains, peu d'informations étaient disponibles en ce qui concerne les prosimiens comme les lémuriens. Dans cette étude, l'effet synergique d'infestation parasitaire et des facteurs socio-écologiques sur la condition corporelle de *Microcebus rufus* de la famille des Cheirogaleidae a été analysé dans le Parc National de Ranomafana, Sud-est de Madagascar. Cette espèce est caractérisée par sa capacité d'adaptation à différents types de forêt et d'accumuler des matières grasses à la base de la queue utilisées comme source d'énergie pendant la période où elle est en torpeur ou hibernation. Donc c'est un bon modèle pour l'étude de condition corporelle et l'écologie d'infection parasitaire des lémuriens selon les facteurs considérés.

Les techniques de flottaison et d'observation directe ont été utilisées pour l'examen d'infestation parasitaire. Et trois mesures d'indice de condition corporelle ont été analysées comme masse corrigée ou normé pour la longueur totale du corps (MC), indice de gabarit (IG), et le résiduel de la masse observée sur la masse corrigée ou condition corporelle (CC). Le modèle linéaire général mixte (MLGM) a été utilisé pour modéliser l'effet synergique d'infestation parasitaire et les facteurs socio-écologiques sur la variation de condition corporelle, avec l'identité des individus utilisée comme facteur aléatoire.

On a pu identifier 5 espèces d'helminthes, 1 espèce de protozoaire et 1 espèce de poux qui infectent les 204 Microcèbes capturés. Il y a une différence sexuelle pour toute mesure d'infestation parasitaire. Ensuite on a observé que plus les populations de Microcèbes sont infestées par plusieurs espèces de parasites plus le volume de leur corps diminue. Et les individus en bonne condition secrètent beaucoup des oeufs ou des oocystes dans leur matière fécale. Les résultats montrent que la condition corporelle des individus constitue un indicateur de risque et de transmission d'infection parasitaire.

Mots clés : *Microcebus rufus*, Cheirogaleidae, Parc National de Ranomafana, Condition corporelle, infection parasitaire, modèle linéaire général mixte (MLGM)

ABSTRACT

Various studies in ecology have shown the relationship between body condition and parasitic loads in nonhuman primates, however little information was available regarding prosimians such as lemurs. In this study, the synergistic effect of parasite infection and socio-ecological factors on the body condition of *Microcebus rufus* in the family Cheirogaleidae was analyzed in Ranomafana National Park, South-East Madagascar. This species is characterized by its ability to adapt to different types of forest and to accumulate fat at the base of the tail to use as a source of energy during the period when it is in torpor or hibernation. This species is therefore a good model for the study of body condition and ecology of infectious disease in lemurs based on the factors considered.

The floatation and direct observation technique was used for examination of parasite infection. Three measurements of body condition index were analyzed Scaled Mass Index (SMi), Volume Index (VI), and the residual between the mass observed and the corrected mass or body condition (BC). The Generalized Linear Mixed Model (GLMM) was used to model the synergistic effect of parasite infections and socio-ecological factors on variation in body condition, with the identity of individuals used as a random factor.

We were able to identify 5 species of helminths, 1 species of protist, and 1 species of lice which infected the 204 mouse lemur captured. There is a sexual difference for all measures of the parasite infection. Then, we observed that the more parasites species an individual was infected with, the smaller its body size. Also, individuals in better condition secreted more parasite eggs or oocyst in their fecal matter. The results suggest that an individual's body condition constitute an indicator of risk of parasite infection and transmission.

Key words: *Microcebus rufus*, Cheirogaleidae, National Park of Ranomafana, body condition, parasite infection, GLMM.