

**APERÇU SUR LES OSSEMENTS DANS
LES GROTTES D'ANJOHINGIDROBE
ET D'ANJOHIMALETSY, FORET DE
BEANKA, REGION MELAKY, OUEST
DE MADAGASCAR**

INTRODUCTION

L'Ere Quaternaire supérieur est l'un des événements remarquables de toute l'histoire naturelle. Elle est marquée par une extinction massive des mégafaunes mondiales. Comparé aux autres continents et aux grandes îles du monde, les pertes évaluées à Madagascar pendant cette période étaient plus sévères. L'île a perdu tous ses animaux endémiques au-dessus de 10 kg, comprenant des oiseaux, des reptiles, des autres grands mammifères et non seulement les lémuriformes géants. Parmi les mégafaunes éteintes de cette Ere, l'Ordre des Primates était la seule collection qui dominait (Godfrey *et al.*, 2010). Le manque du registre fossile Cénozoïque à Madagascar est un paramètre négatif pour la compréhension de l'évolution des faunes actuelles, qui jusqu'à présent, reste encore obscure. Les fossiles datant du Cénozoïque sont presque des « subfossiles », leurs âges ne sont que de quelques milliers d'années seulement. Par ailleurs, ces subfossiles nous offrent une opportunité pour enrichir nos connaissances et sont des indices pour la compréhension de l'ancienne distribution des Lemuriformes ainsi que de la répartition récente de ces derniers (Samonds *et al.*, 2010). Les récoltes des vestiges d'ossement ont permis un éclaircissement plus explicite sur la biodiversité des siècles passés (Samonds *et al.*, 2010).

Madagascar renferme plusieurs sites à faune subfossile classifiés soit en forme de marécages en zone côtière, soit en cavité karstique connue communément grotte, soit en forme de tourbière des régions volcaniques des hautes terres (Gommery *et al.*, 2003). Jusqu'à la moitié du 20^{ème} siècle, les littératures scientifiques affirment que les lémuriformes subfossiles connus étaient presque du Centre de l'île, du Sud et du Sud-ouest de Madagascar (Standing, 1903 ; Wunderlich *et al.*, 1996 ; Jungers, 1980 ; Mittermeier *et al.*, 2010). La forêt tropicale de l'Est est la seule région qui manque de subfossiles (Godfrey *et al.*, 2010 ; Mittermeier *et al.*, 2010). Cependant, un nouveau site subfossilifère a été découvert au Centre Ouest de l'île, dans la Réserve de Beanka, Région Melaky. La forêt poussant sur des formations calcaires karstiques ruiniformes érodées connues sous le nom de « *tsingy* » de la Réserve de Beanka, abrite autant de richesse floristique que faunistique importante. Aussi, elle dispose des Grottes à l'exemple d'Anjohingidrobe et d'Anjohimalaetsy. La richesse en spécimens d'ossements disparus de *Babakotia radofilai* et de *Archeolemur* sp., et actuelles, Primates et non Primates a incité notre curiosité à effectuer cette la recherche. Comme cette dernière n'a commencé que depuis quelques années, elle reste encore peu connue comparée à celles de Bemaraha, de Namoroka et d'Ankarana (Gautier *et al.*, 2013).

Plusieurs articles scientifiques publient de nombreuses recherches effectuées dans des grottes à l'exemple de la découverte des squelettes des *Hadropithecus stenognathus* dans la Grotte d'Andrahomana, au Sud-est de Madagascar (Godfrey *et al.*, 2006), l'évaluation de la présence des os subfossiles de petits mammifères dans les sédiments calcaires consolidés de la Grotte d'Anjohibe, au Nord-ouest de Madagascar (Samonds *et al.*, 2010), l'étude de l'évidence sur le changement de l'environnement, de l'extinction et des activités anthropiques dans les grottes au Nord-ouest de Madagascar (Burney *et al.*, 1997) et des recherches sur les vestiges d'ossements trouvés dans quelque grottes à Beanka (Radimilahy *et al.*, 2013).

Ce travail constitue une spéculation préliminaire sur les découvertes des restes biologiques dans les Grottes d'Anjohingidrobe et d'Anjohimaletsy, Forêt de Beanka, Ouest de Madagascar. Ainsi, des objectifs spécifiques ont été élaborés: répertorier les richesses spécifiques, représentées par des restes biologiques, contenues dans les deux sites ; vérifier la répartition des os selon la famille et espèces dans chaque grotte et formuler des hypothèses probables sur l'extinction des espèces trouvées dans ces grottes.

CHAPITRE I : MILIEU D'ETUDE

I.1. La forêt sur *tsingy* de Beanka

I.1.1. *Relief*

La Réserve de Beanka est située au Centre-Ouest de Madagascar, à une soixantaine de kilomètres à l'est de la ville de Maintirano, Région Melaky (Figure 1). Elle couvre une superficie de 17 000 ha, approximativement 60 km de longueur et 5 km de largeur dans l'axe Nord-Sud, soit entre les latitudes de 17°33'S à 18°16'S. L'altitude du massif calcaire de Beanka ne dépasse pas 512 m. Le côté Ouest du massif est caractérisé par des zones avec des sables blancs. Tandis que celui du Sud-est est recouvert par des formations de grès qui se dirigent vers le Sud jusqu'à Bemaraha. La Réserve de Beanka constitue un prolongement vers le Nord de la zone de Bemaraha. Entre les deux massifs, une forêt discontinue répandue sur cette aire protégée est limitée généralement par des affleurements calcaires (Gautier *et al.*, 2013).

I.1.2. *Climat*

La partie Ouest de Madagascar est localement caractérisée par un climat tropical généralement chaud. La saison sèche dure approximativement huit mois tandis que la saison pluvieuse débute en décembre et se termine en mars. Pendant la saison pluvieuse, des cyclones peuvent avoir lieu. La température moyenne annuelle est de 25°C, avec laquelle la minimale est comprise entre 16 et 18°C pendant le mois le plus froid. La précipitation annuelle est de 1032 mm (Rakotozafy *et al.*, 2013).

I.1.3. *Végétation*

La forêt sur *tsingy* de Beanka a un intérêt biologique très immense avec différentes formes de vie et un certain niveau d'endémicité. La végétation dans cette région est formée par des forêts denses sèches caducifoliées (Moat & Smith, 2007) et des forêts tropophiles sur un substrat calcaire, entrecoupées par des savanes (Randrianarivelo, 1995).

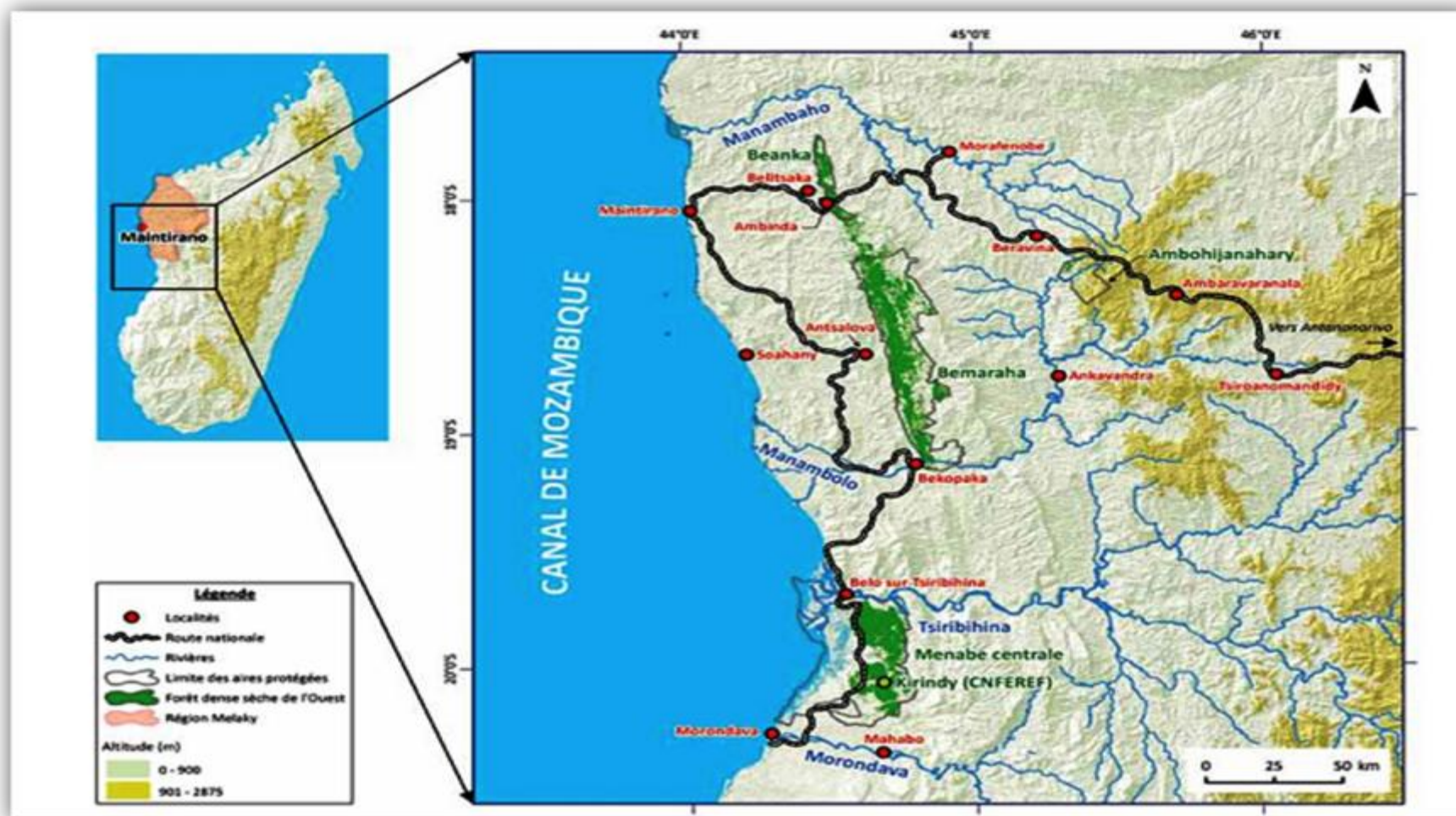


Figure 1. Carte du Centre-Ouest de Madagascar montrant les forêts des massifs de Beanka et de Bemaraha avec les routes et le réseau hydrologique ainsi que la limite de la région Melaky. Les zones forestières ne sont représentées que par trois aires protégées : la forêt de Beanka, de Bemaraha, de Kirindy et la zone entre Bemaraha et Beanka (source : Malagasy Nature volume 7 par Rakotonratsimba, 2013)

I.2. Les cavités karstiques

I.2.1. *Grotte d'Anjohingidrobe*

La première prospection a été réalisée en septembre 2013 par l'équipe de BCM qui a été dirigée par Owen Griffiths, David Burney, Julian Hume et Radosoa A. Andrianarivelo ; tandis que la seconde a été achevée en septembre 2015. Du fait qu'elle contient des ossements de lémuriens géants, le nom Anjohingidrobe a été attribué à cette grotte. Elle est située au Centre-est de la Réserve de Beanka, ayant comme les coordonnées géographiques S17°54'00.0" de latitude et E 44° 29' 00.0" de longitude. L'altitude de cette cavité karstique est approximativement de 220 m. Elle est caractérisée par une entrée au environ de cinq mètres de largeur et le plafond atteint une hauteur de 2,8 m. Sa grande ouverture au dessous d'un bloc de pierre surplombée mène jusqu'en bas suivant une direction diagonale. Avant d'y aboutir il y a un petit passage bloqué avec des stalactites. A l'intérieur, le long de la pente, il y a une série de poches et des étages de roches poreuses qui contiennent un grand nombre d'ossements principalement à la surface.

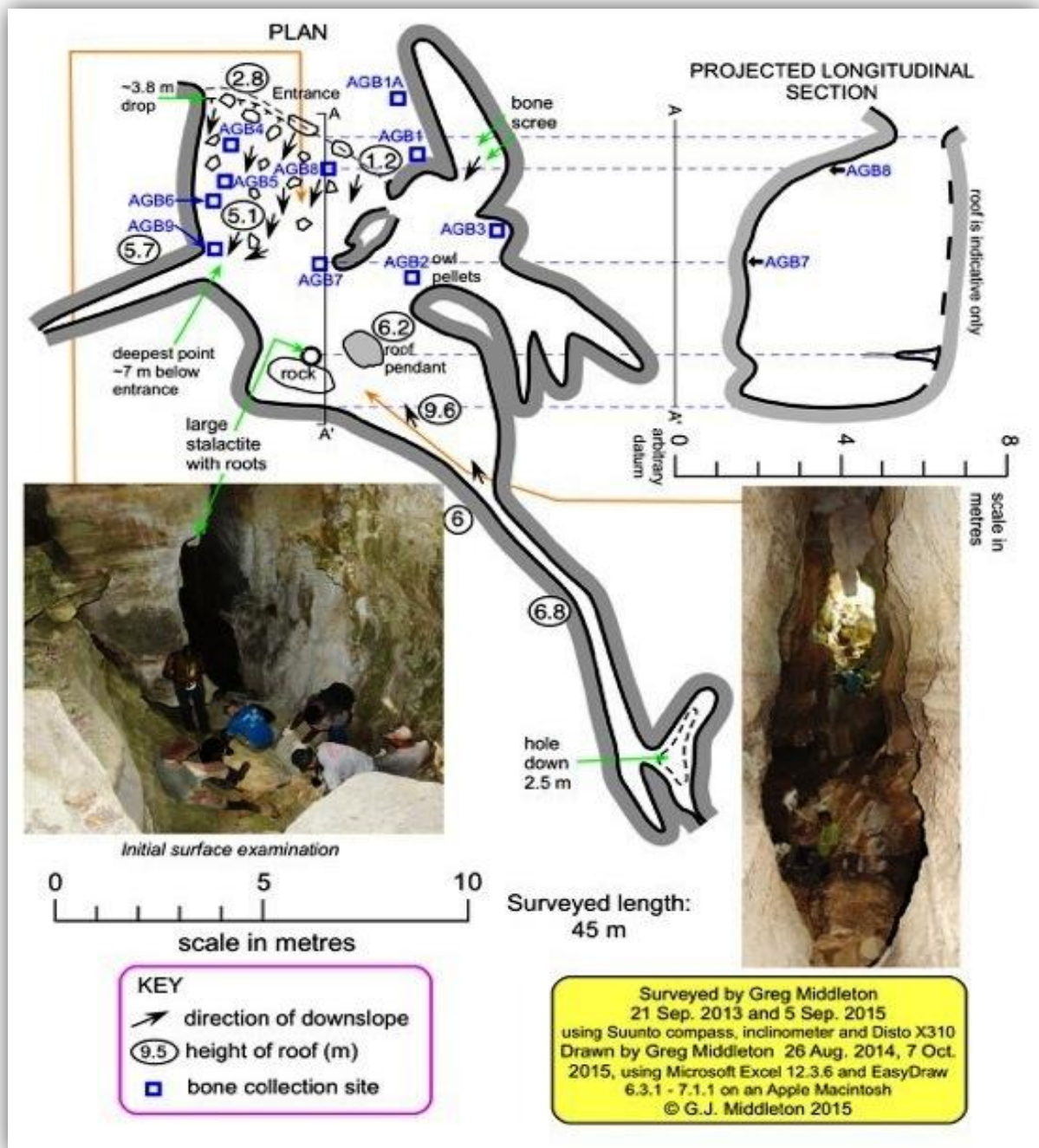


Figure 2. Plan de la Grotte d'Anjohingidrobe (Grotte des lémuriens géants), karst de Beanka, Ouest de Madagascar, montrant les sites de collecte et l'excavation de Burney et ses collaborateurs en septembre 2015 (source : Middleton, 2015).

I.2.2. Grotte d'Anjohimaletsy

La grotte a été nommée par Roger Randalana. Elle est localisée environ à 40 m au Sud-ouest par rapport à l'entrée de la Grotte d'Anjohingidrobe. Elle se trouve un peu plus en hauteur, à une latitude de S 17°54' et une longitude de E 44°29' avec une altitude de 237 m. Une petite cavité à une hauteur approximativement de 80 cm conduit à l'intérieur. De ce fait, l'accès depuis l'ouverture est difficile. Le passage à l'intérieur est aussi malaisé car la hauteur du plafond ne permet même pas de se tenir debout. Un passage incliné de pente environ de 30° par rapport à la verticale dirige vers le bas jusqu'au fond de la cavité. L'entrée et le fond de la grotte fait une distance au voisinage de 5 m. Il s'agit d'un endroit sec dont l'eau ne peut pas pénétrer à l'intérieur. Cela implique une condition idéale pour la conservation d'ossements contenus dans cette grotte.



Figure 3. L'ouverture de la Grotte d'Anjohimaletsy (cliché par Rado Andrianaivoarivelo, 2015).

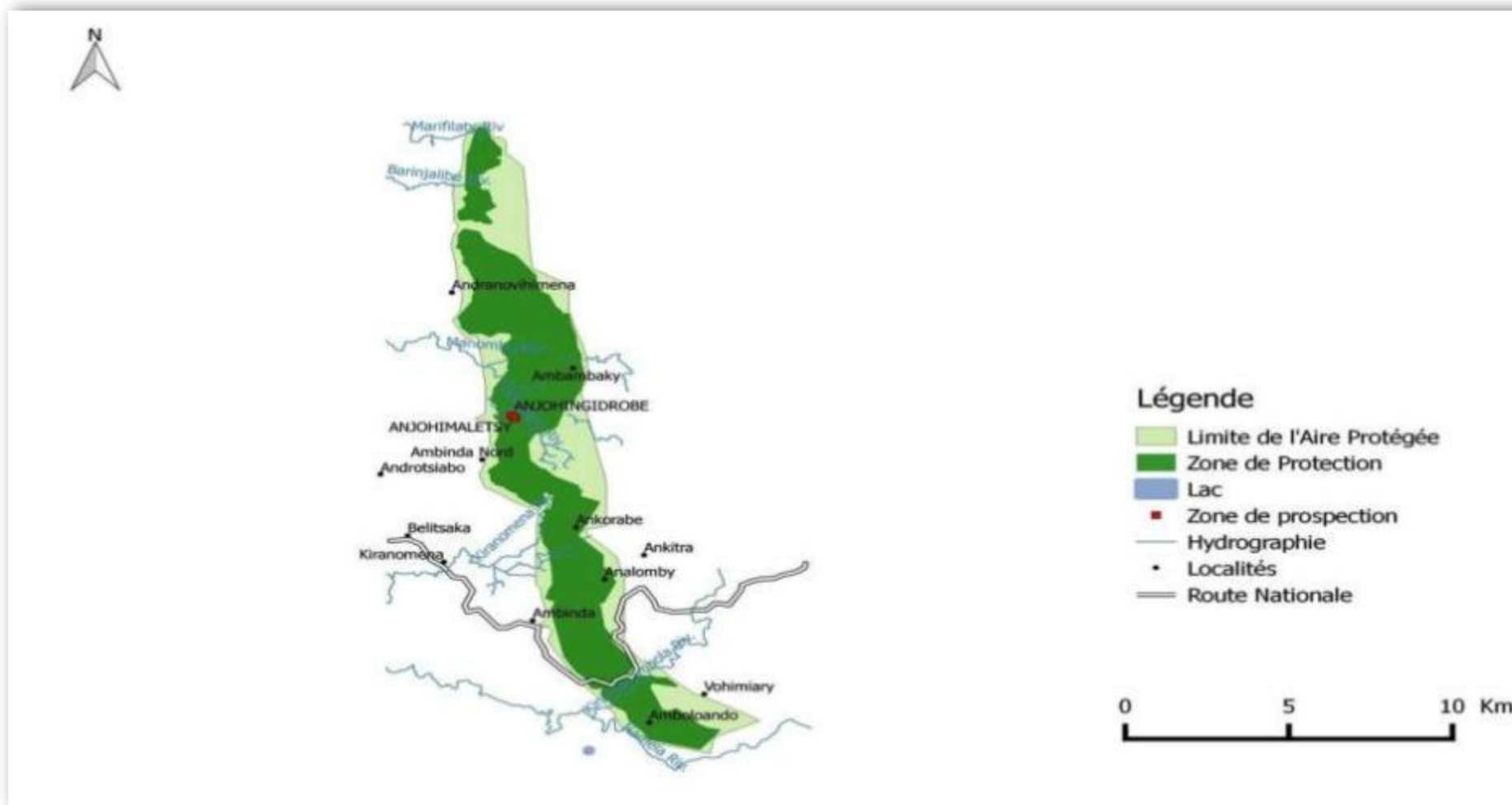


Figure 4. Carte représentant la limite de la Forêt de Beanka, les Grottes d'Anjohingidrobe et d'Anjohimaletsy, le réseau hydrologique, les localités et la route nationale (source : adapté à partir du plan croquis / Rado Andrianaivoarivelo, 2015).

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.1.MATERIELS

II.1.1. Matériels physiques

- Lors des prélèvements des sédiments, une tarière et une truelle ont été utilisées respectivement pour caver des trous ronds et afin de creuser le sol.
- Des sacs munis d'étiquettes ont été employés pour classer les sédiments collectés.
- Un GPS a été utilisé pour enregistrer les coordonnées géographiques des sites.
- Pendant le triage, une pince a servi pour la sélection des parties biologiques contenues dans les sédiments. Ce matériel permet d'éviter toute empreinte digitale qui pourrait endommager l'échantillon.
- Des sacs en plastique fermés (« zip lock ») et des tubes munis d'étiquettes ont été utilisés pour ranger les sédiments collectés.
- Une loupe a été utilisée pour observer les échantillons de très petite taille afin de bien déterminer ses caractéristiques. Ceci dans le but de pouvoir les classer dans son rang taxonomique.

II.1.2. Matériels biologiques

Les restes d'ossements constituent nos principaux matériels biologiques étudiés. Ce travail a été effectué sur l'étude des ossements provenant des Grottes d'Anjohingidrobe et d'Anjohimaletsy. Le premier site contient 67 ossements appartenant à l'ordre des Primates, six ossements d'Afrotheria, cinq ossements d'Amphibia, 36 ossements de Rodentia, 16 ossements de Reptilia et 63 ossements de Chiroptera. Tandis que, le second site renferme 77 ossements de Primata, 66 ossements d'Afrotheria, quatre ossements de l'ordre des Rodentia, deux ossements de Reptilia et huit ossements de Chiroptera. Par ailleurs, 377 ossements n'ont pas pu être identifiés.

II.2. METHODES

II.2.1. Collecte, triage et identification

II.2.1.1. Collecte des sédiments

L'excavation a été achevée grâce à une coopération de l'Ancien Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique de l'Université d'Antananarivo; de « Biodiversity Conservation Madagascar » (BCM) et du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Le transport des échantillons ainsi obtenus a été possible grâce à l'accord du Ministère auprès de la Présidence chargé des Mines et du Pétrole (MPMP). L'équipe de BCM, accompagnée par quelques représentants de l'Ancien Département de la Paléontologie et d'Anthropologie Biologique, ont effectué toutes les collectes sur terrain.



Figure 5. Collecte d'ossements (cliché par Rado Andrianaivoarivelo, 2015).

Des prélèvements de sédiments ont été faits dans deux endroits différents dont certains ont été pris dans la Grotte d'Anjohingidrobe (Figure 2) et d'autres ont été collectés dans la cavité karstique d'Anjohimaletsy. Les prélèvements ont été faits de deux manières selon la qualité du sédiment. Si ce dernier a un aspect plus doux, des prélèvements en profondeur ont été réalisés. Par contre, quand il s'agit d'un sédiment plus dur (en formation karstique), les collectes à la surface ont été les seules possibilités.

Dans le site d'Anjohingidrobe, neuf prélèvements ont été effectués. Mais dans la présente étude, seulement le premier et le septième y sont traités (AGB1 et AGB7). D'abord, la première collecte a été faite en cinq étapes. AGB1A a été effectué, à la surface et en une profondeur de 20 à 30 cm. Un peu plus en bas, AGB1 a été prélevés avec une profondeur de 15 à 20 cm et de 0 à 15 cm. Ensuite, la collecte d'AGB7 a été effectuée à la surface.

Dans le site d'Anjohimaletsy, des collectes à la surface ont été réalisées.

Les sédiments ainsi collectés ont été tamisés. Ceci, dans le but d'obtenir une couche plus fine d'échantillon de sédiment riche pour récupérer les petites plantes et les animaux macrofossiles. Les dépôts ainsi ramassés ont été étiquetés par la suite selon les sites de collection des ossements. La profondeur a été notée par rapport au niveau de la surface des sédiments.

II.2.1.2. *Triage et identification*

Le triage des sédiments collectés, provenant de la Grotte d'Anjohingidrobe et d'Anjohimaletsy a été réalisé en deux étapes : la première consiste à sélectionner toutes les parties biologiques contenues dans les échantillons de sédiments. La seconde constitue à séparer les espèces des Primates des autres Vertébrés. Ils sont par la suite placés dans des flacons munis d'étiquette, puis groupées en paquet selon les sédiments auxquels elles proviennent. Une fois le triage terminé, on a procédé à l'identification au laboratoire de Primatologie et de Paléontologie des Vertébrés de l'Ancien Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique, Université d'Antananarivo. Une comparaison des ossements triés a été faite avec les collections du laboratoire, avec les échantillons de l'Association Vahatra et quelques collections au sein de la « Biodiversity Conservation Madagascar ». L'identification des petits Vertébrés et des Primates a été effectuée avec l'aide des spécialistes (Steven M. Goodman, William L. Jungers et Laurie Godfrey). Après avoir bien identifié les ossements, les échantillons seront de nouveau placés dans le même flacon.

II.2.2. Méthode d'analyse

II.2.2.1. Similarité entre les sites

L'étude de similarité entre les sites a été mesurée en calculant le coefficient de similarité de Jaccard (J) (Magurran, 1988) :

$$J = \frac{N}{N1 + N2 - N}$$

N1 : Nombre d'espèces recensées dans le site 1,

N2 : Nombre d'espèces recensées dans le site 2,

N : Nombre d'espèces communes dans les 2 sites.

Les deux sites sont dits similaires lorsque la valeur du coefficient de Jaccard est inférieure ou égale à 0,5.

II.2.2.2. Test de chi carré

Ce test a été choisi dans le but de comparer le nombre d'ossements répartis dans différentes familles et espèces.

Hypothèse 1 : Vérifier la quantité d'os des Vertébrés Primates et non Primates répartie dans la Grotte d'Anjohingidrobe.

Les hypothèses sont les suivantes :

H₀ : Les nombres d'ossements répartis dans différentes familles et espèces, des Vertébrés Primates et non Primates dans la Grotte d'Anjohingidrobe ne diffèrent pas entre eux.

H₁ : Les nombres d'ossements répartis dans différentes familles et espèces, des Vertébrés Primates et non Primates dans la Grotte d'Anjohingidrobe diffèrent entre eux.

Hypothèse 2 : Vérifier la quantité d'os des Vertébrés Primates et non Primates répartie dans la Grotte d'Anjohimaletsy.

Les hypothèses sont les suivantes :

H₀ : Les nombres d'ossements répartis dans différentes familles et espèces, des Vertébrés Primates et non Primates dans la Grotte d'Anjohimaletsy ne diffèrent pas entre eux.

H_1 : Les nombres d'ossements répartis dans différentes familles et espèces, des Vertébrés Primates et non Primates dans la Grotte d'Anjohimaletsy diffèrent entre eux.

La différence est dite significative (c'est-à-dire l'hypothèse nulle H_0 sera rejetée) :

Si la valeur observée de χ^2 pour un degré de liberté donné est supérieure à la valeur de la table et qui est en même temps confirmée par la puissance p (si p est inférieure au seuil choisi : $p < 0,01$).

L'opération a été effectuée avec le logiciel R, version 2.13.1 (R team).

II.2.3. Indice de diversité spécifique

L'indice de Shannon est un indice qui permet de mesurer la diversité spécifique dans chaque site étudié. Il convient à l'étude comparative des communautés présentes dans les deux sites. Il est représenté par un nombre réel positif souvent compris entre 0 et 5, mais n'ayant pas de maximum en théorie. Le calcul de la diversité spécifique peut se faire avec plusieurs méthodes, mais celle de SHANNON-WEAVER (Spellerberg et Fedor, 2003) s'avère être la plus convenable dont la formule est la suivante :

$$H = - \sum_{i=1}^{i=S} P_i \log_2 P_i \qquad P_i = \frac{n_i}{N}$$

Avec :

H = Indice de diversité spécifique,

P_i = Proportion du taxon i dans le relevé,

n_i = Nombre de spécimen de l'espèce i ,

N = Premier total de taxons,

1 = Première espèce,

S = Dernière espèce.

II.2.2.4. Dominance relative

C'est un mode de calcul pour connaître le pourcentage de chaque espèce dans chaque site. L'espèce ayant le plus fort pourcentage serait l'espèce dominante. Ainsi la formule est :

$$D = \frac{n}{N} \times 100$$

n = nombre de spécimen de l'espèce (nombre minimum d'individu),

N = nombre total de spécimen dans chaque site.

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1. Répartition des restes biologiques collectées dans les deux sites

Le site d'Anjohingidrobe renferme beaucoup plus d'ossements, comparé à Anjohimaletsy, les Vertébrés autres que les Primates y sont abondants. Pour Anjohimaletsy, les restes d'ossements des autres Vertébrés Primates et non Primates sont presque en quantités égales.

Tableau 1. Nombre des restes biologiques, de Lemuriformes et autres Vertébrés présents dans les deux sites.

SITES	CATEGORIES		TOTAL
	Lemuriformes	Autres Vertébrés	
ANJOHINGIDROBE	67	126	193
ANJOHIMALETSY	77	81	158

III.1.1. Restes biologiques de l'ordre des Primates

Les ossements trouvés dans la Grotte d'Anjohingidrobe appartiennent à quatre familles actuelles avec Lemuridae et Indriidae en abondance. La Grotte d'Anjohimaletsy contient cinq familles dont deux éteintes et trois actuelles. Pourtant, l'effectif des ossements des Indriidae et des Lemuridae est toujours en grand nombre.

Tableau 2. Nombre des restes biologiques présents dans les deux sites selon les familles.

FAMILLES	SITES	
	ANJOHINGIDROBE	ANJOHIMALETSY
†Archaeolemuridae	0	1
†Palaeopropithecidae	0	2
Cheirogaleidae	5	0
Lepilemuridae	12	8
Lemuridae	21	33
Indriidae	29	33
Total	67	77

Les familles actuellement éteintes sont précédées par †.

Statistiquement, dans le site d'Anjohingidrobe, la différence est significative entre les nombres d'ossements de familles des Primates ($\chi^2 = 19,627$; ddl = 3 ; $p < 0,001$). L'hypothèse H_0 est rejetée. C'est-à-dire les nombres d'ossements répartis dans différentes familles de Primates sont bien différents dans cette grotte. Il en est de même pour le site d'Anjohimaletsy,

la différence est toujours significative entre les nombres d'ossements de familles des Primates ($\chi^2 = 68,909$; ddl = 4 ; $p < 0,001$). L'hypothèse H_0 est rejetée. C'est-à-dire les nombres d'ossements répartis dans différentes familles de Primates sont bien différents dans cette grotte.

Tableau 3. Nombre des restes biologiques présents dans les deux sites selon les espèces.

GENRES ET AUTRE CATEGORIE	SITES	
	ANJOHINGIDROBE	ANJOHIMALETSY
† <i>Archaeolemur</i> sp.	0	1
† <i>Babakotia radofilai</i>	0	2
* <i>Cheirogaleidae</i>	5	0
<i>Lepilemur</i> cf. <i>randrianasoloi</i>	12	8
<i>Eulemur rufus</i>	21	33
<i>Avahi cleesei</i>	6	3
<i>Propithecus deckenii</i>	23	30
Total	67	77

Les Espèces actuellement éteintes sont précédées par †.

* « *Cheirogaleidae* » indique les espèces appartenant à la famille des *Cheirogaleidae*.

Les ossements trouvés dans la Grotte d'Anjohingidrobe appartiennent à cinq espèces actuelles avec *Eulemur rufus* et *Propithecus deckenii* en abondance. La Grotte d'Anjohimaletsy contient six espèces dont deux éteintes et quatre actuelles. Pourtant, l'effectif des ossements des *Eulemur rufus* et des *Propithecus deckenii* est toujours en grand nombre. Au niveau statistique, dans le site d'Anjohingidrobe, la différence est significative entre les nombres d'ossements d'espèces de Primates ($\chi^2 = 20,7$; ddl = 4 ; $p < 0,001$). L'hypothèse H_0 est rejetée. C'est-à-dire les nombres d'ossements répartis dans différentes espèces de Primates sont bien différents. Il en est de même pour le site d'Anjohimaletsy, la différence est toujours significative entre les nombres d'ossements d'espèces de Primates ($\chi^2 = 84,1$; ddl = 5 ; $p < 0,001$). L'hypothèse H_0 est rejetée. C'est-à-dire les nombres d'ossements répartis dans différentes espèces de Primates sont bien différents.

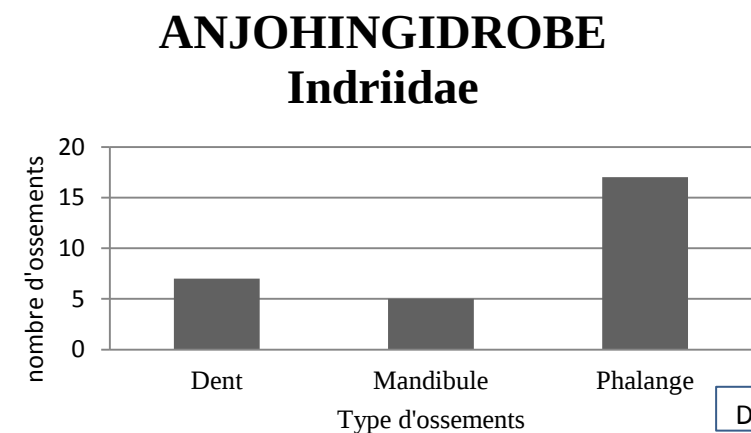
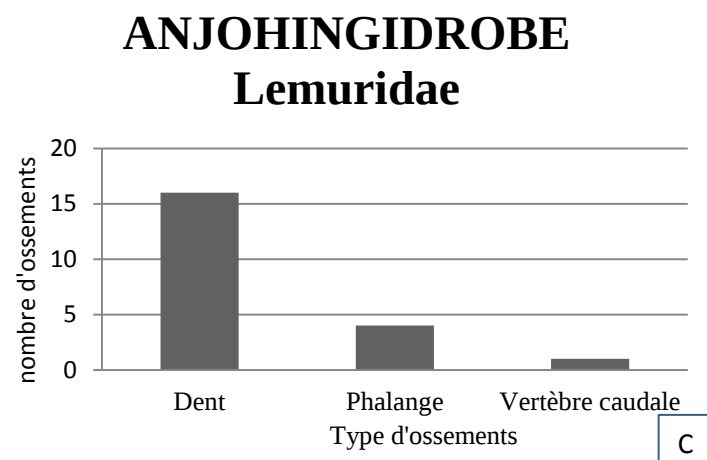
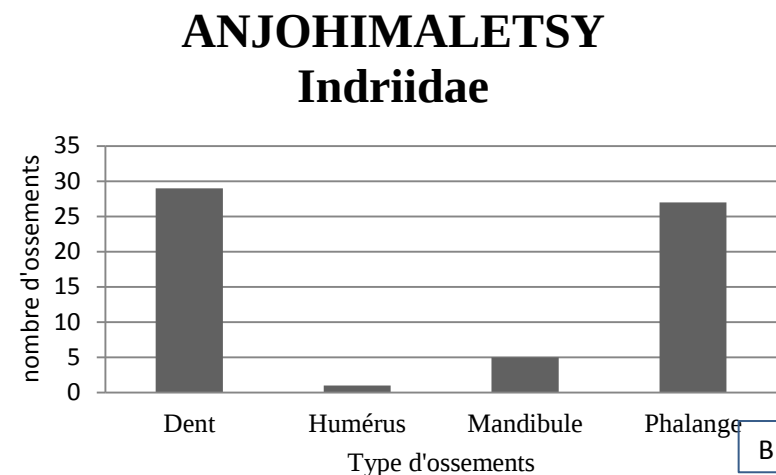
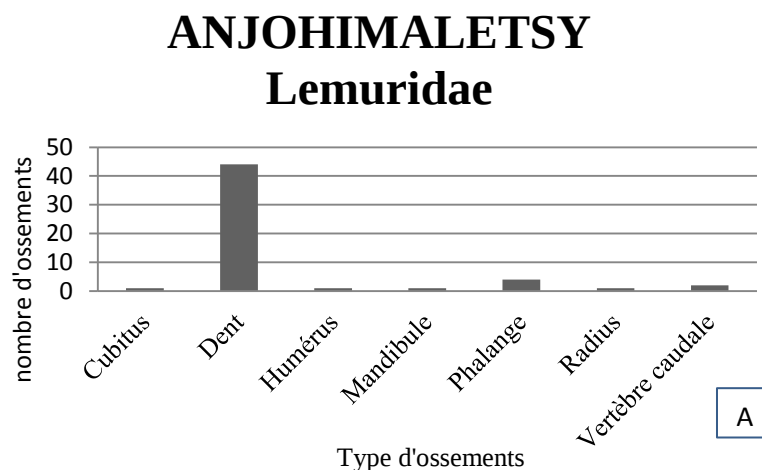


Figure 6. Effectif d'ossements, appartenant aux Familles des Lemuridae et Indriidae, présents dans les sites d'Anjohingidrobe et d'Anjohimaletsy. A) Effectif d'ossements de Lemuridae d'Anjohimaletsy. B) Effectif d'ossements de Indriidae d'Anjohimaletsy. C) Effectif d'ossements de Lemuridae d'Anjohingidrobe. D) Effectif d'ossements de Lemuridae d'Anjohingidrobe.

Dans le site d'Anjohimaletsy, les dents sont présentes en grand nombre pour la famille des Lemuridae (Figure 4A). Par contre, chez les Indriidae, les dents et les phalanges sont nombreux (Figure 4B). Dans le site d'Anjohingidrobe, les phalanges et les dents sont nombreux (Figure 4C et D).

III.1.2. Restes biologiques des Vertébrés autres que les Primates

Les ossements des Vertébrés autres que les Primates trouvés dans la Grotte d'Anjohingidrobe appartiennent à cinq ordres avec Chiroptera et Rodentia en abondance. La Grotte d'Anjohimaletsy contient cinq ordres avec l'effectif des ossements des Afrotheria qui domine en quantité.

Tableau 4. Nombre des restes biologiques de Vertébrés autres que les Primates présents dans les deux sites selon les ordres.

ORDRES	ANJOHINGIDROBE	ANJOHIMALETSY
Afrotheria	6	66
Amphibia	5	0
Chiroptera	63	8
Reptilia	16	2
Rodentia	36	5
Total	126	81

Tableau 5. Nombre des restes biologiques de Vertébrés autres que les Primates, présents dans les deux sites selon les familles.

ORDRES	FAMILLES	SITES	
		ANJOHINGIDROBE	ANJOHIMALETSY
Amphibia	Mantellidae	5	0
Reptilia	Gekkonidae	16	2
Chiroptera	Hipposideridae	30	6
	Miniopteridae	6	1
	Molossidae	25	1
	Pteropodidae	2	0
Rodentia	Muridae	36	4
	Nesomyidae	0	1
Afrotheria	Tenrecidae	6	66
Total		126	81

Les Vertébrés autres que les Primates découverts dans la Grotte d'Anjohingidrobe sont regroupés dans huit familles dont les Muridae, les Hipposideridae et les Molossidae sont dominantes. Tandis que dans la Grotte d'Anjohimaletsy, seulement six familles ont été répertoriées dans laquelle la famille des Tenrecidae est la plus représentée.

Statistiquement, dans le site d'Anjohingidrobe, la différence est significative entre les nombres d'ossements de familles des Vertébrés non Primates ($\chi^2 = 75,8$; ddl = 7 ; $p < 0,001$). L'hypothèse H_0 est rejetée. C'est-à-dire les nombres d'ossements répartis dans différentes familles des Vertébrés non Primates sont bien différents. Il en est pareil pour le site d'Anjohimaletsy la différence est significative entre les nombres d'ossements de familles des Vertébrés non Primates ($\chi^2 = 300,5$; ddl = 6 ; $p < 0,001$). L'hypothèse H_0 est rejetée. C'est-à-dire les nombres d'ossements répartis dans différentes familles des Vertébrés non Primates sont bien différents dans la Grotte d'Anjohimaletsy.

Tableau 6. Nombre des restes biologiques de Vertébrés autres que les Primates présents dans les deux sites.

ORDRES	GENRES ET AUTRES CATEGORIES	SITES	
		ANJOHINGIDROBE	ANJOHIMALETSY
Amphibia	Grenouille indéterminée	5	0
Reptilia	<i>Geckolepis</i> sp.	16	2
Chiroptera	cf. <i>Mormopterus jugularis</i>	1	0
	cf. <i>Otomops</i>		
	<i>madagascariensis</i>	1	0
	<i>Hipposideros commersoni</i>	27	6
	<i>Miniopterus</i> sp.	6	1
	<i>Mormopterus jugularis</i>	23	1
	<i>Rousettus madagascariensis</i>	2	0
	<i>Triaenops</i> sp.	3	0
Afrotheria	<i>Tenrec ecaudatus</i>	2	66
	<i>Microgale</i> cf.		
	<i>grandidieri/brevicaudata</i>	4	0
Rodentia	<i>Eliurus</i> sp.	0	1
	* <i>Mus musculus</i>	3	0
	* <i>Rattus rattus</i>	33	4
Total		126	81

Les espèces introduites sont précédées par*.

Les Vertébrés autres que les Primates découverts dans la Grotte d'Anjohingidrobe sont au nombre de 13 espèces dont *Rattus rattus*, *Hipposideros commersoni* et *Mormopterus jugularis* sont les plus représentées. Tandis que dans la Grotte d'Anjohimaletsy, les ossements trouvés appartiennent à huit espèces seulement, avec laquelle *Tenrec ecaudatus* est la plus représentée. Du point de vue statistique, dans le site d'Anjohingidrobe, la différence est significative entre les nombres d'espèces des Vertébrés non Primates ($\chi^2 = 153,4$; ddl = 12 ; $p < 0,001$). L'hypothèse H_0 est rejetée. C'est-à-dire les nombres d'ossements répartis dans différentes espèces des Vertébrés non Primates sont bien différents. Il en est de même pour le site d'Anjohimaletsy, la différence est toujours significative entre les nombres d'espèces des Vertébrés non Primates ($\chi^2 = 300,5$; ddl = 6 ; $p < 0,001$). L'hypothèse H_0 est rejetée. C'est-à-dire les nombres d'ossements répartis dans différentes espèces des Vertébrés non Primates sont bien différents.

III. 2. Similarité entre les deux sites

Cette analyse permet de déterminer la ressemblance des espèces entre les deux sites. L'indice de similarité ainsi calculé se situe à 0,47, c'est-à-dire aux environs de 0,5 pour les deux grottes telles qu'Anjohingidrobe et Anjohimaletsy. Ceci montre une similarité très étroite. En d'autre terme, les deux sites montrent une ressemblance très proche au niveau de la richesse en espèces représentées par les restes ostéologiques.

III.3. Etude de l'indice de diversité spécifique

L'indice de Shannon permet d'identifier la diversité spécifique dans chaque grotte. Il permet de comparer la richesse spécifique des deux grottes.

Tableau 7. Indice de diversité spécifique dans chaque site.

Sites	H
ANJOHINGIDROBE	2,50
ANJOHIMALETSY	2,36

H : indice de diversité de Shannon.

Le site Anjohingidrobe a une diversité spécifique un peu plus grande comparée à Anjohimaletsy. Pourtant, l'écart est très étroit.

Tableau 8. Indice de diversité spécifique (indice de Shannon) groupé par ordre.

Sites	ANJOHINGIDROBE	ANJOHIMALETSY
Primata	0,49	1,11
Rodentia	0,31	0,32
Chiroptera	0,85	0,45
Reptilia	0,34	0,20
Afrotheria	0,26	0,29
Amphibia	0,21	-

Dans le site d'Anjohingidrobe, les espèces appartenant à l'ordre des Chiroptera présente une valeur élevée par rapport aux autres ordres. Il contient six espèces à savoir *Mormopterus jugularis*, cf. *Otomops madagascariensis*, *Hipposideros commersoni*, *Miniopterus* sp., *Mormopterus jugularis*, *Rousettus madagascariensis* et *Triaenops* sp. Par contre dans le site d'Anjohimaletsy, cet ordre ne contient que trois espèces telles que *Mormopterus jugularis*, cf. *Otomops madagascariensis*, *Hipposideros commersoni*, *Miniopterus* sp. et *Mormopterus jugularis*). L'ordre des Primates dans le site d'Anjohimaletsy (six espèces) est plus diversifié comparé à celui d'Anjohingidrobe (cinq espèces). Ces deux ordres cités précédemment ont des espèces les plus diversifiées parmi les autres.

III. 4. Dominance relative

Propithecus deckenii a une valeur très élevée dans les deux grottes, ce genre est le plus dominant par rapport aux autres appartenant à l'ordre des Primates. Pour le site d'Anjohingidrobe, en ce qui concerne les Primates actuels, les formes nocturnes (Cheirogaleidae, *Avahi cleesei*, *Lepilemur* cf. *randrianasoloi*) sont dominées par celles des diurnes (*Propithecus deckenii* et *Eulemur rufus*).

Tableau 9. Dominance relative au niveau des espèces de Primates.

DOMINANCE EN %		
GENRES et AUTRE	ANJOHINGIDROBE	ANJOHIMALETSY
CATEGORIE		
† <i>Archaeolemur</i> sp.	-	3,85
† <i>Babakotia radofilai</i>	-	3,85
Cheirogaleidae	1,75	-

<i>Lepilemur cf. randrianasoloi</i>	1,75	7,69
<i>Eulemur rufus</i>	3,50	7,69
<i>Avahi cleesei</i>	1,75	3,83
<i>Propithecus deckenii</i>	5,26	23,08

Les espèces éteintes sont précédées par †.

Les moyennes taille (*Avahi cleesei*, *Lepilemur cf. randrianasoloi*, *Propithecus deckenii* et *Eulemur rufus*) dominent les petites taille (*Cheirogaleidae*). Par ailleurs, dans le site d'Anjohimaletsy, *Propithecus deckenii* et *Avahi cleesei* ont des valeurs très grandes comparées aux autres. Mais pour les primates éteints, ces valeurs prouvent non seulement sa présence dans le site, mais aussi sa récessivité comparée aux Primates actuels.

Tableau 10. Dominance relative des Vertébrés autres que les Primates

ORDRES	GENRES OU AUTRE CATEGORIE	DOMINANCE EN %	
		ANJOHINGIDROBE	ANJOHIMALETSY
Amphibia	Grenouille indéterminée	8,77	-
Reptilia	<i>Geckolepis</i> sp.	24,56	7,69
Chiroptera	cf. <i>Mormopterus jugularis</i>	1,75	-
	cf. <i>Otomops madagascariensis</i>	1,75	-
	<i>Rousettus madagascariensis</i>	1,75	-
	<i>Triaenops</i> sp.	3,52	-
	<i>Mormopterus jugularis</i>	12,28	3,85
	<i>Hipposideros commersoni</i>	7,02	7,69
	<i>Miniopterus</i> sp.	3,51	3,85
Afrotheria	<i>Tenrec ecaudatus</i>	1,75	15,38
	<i>Microgale</i> cf. <i>grandidieri/brevicaudata</i>	7,02	-
Rodentia	* <i>Mus musculus</i>	1,75	-
	* <i>Rattus rattus</i>	10,52	7,69
	<i>Eliurus</i> sp.	-	3,85

Les espèces introduites sont marqués par *.

Pour les Vertébrés autres que les Primates, le genre *Geckolepis* sp. a la valeur la plus élevée dans la Grotte d'Anjohingidrobe. Les amphibiens sont rencontrés seulement dans ce site. Tandis que *Tenrec ecaudatus* domine à Anjohimaletsy. Le rongeur endémique malgache (*Eliurus* sp.) est dominé par l'espèce introduite *Rattus rattus*.

CHAPITRE IV : DISCUSSIONS

IV.1. Vestiges fauniques

Les Grottes d'Anjohingidrobe et d'Anjohimaletsy présentent une richesse faunique très intéressante. Les espèces identifiées incluent cinq ordres non Primates à savoir Amphibia, Afrotheria (*Microgale* cf. *grandidieri/brevicaudata* et *Tenrec ecaudatus*), Reptilia (*Geckolepis* sp.), Chiroptera (*Hipposideros commersoni*, cf. *Mormopterus jugularis*, cf. *Otomops madagascariensis*, *Miniopterus* sp., *Mormopterus jugularis*, *Rousettus madagascariensis* et *Triaenops* sp.) et Rodentia (*Eliurus* sp., **Mus musculus* et **Rattus rattus*). L'identification des restes d'ossement bien qu'incomplètes nous a permis de mettre en évidence la présence de six familles de Lemuriformes, qui sont réparties dans sept genres dont deux éteintes et cinq actuelles respectivement †*Archaeolemur* sp., †*Babakotia radofilai*, Cheirogaleidae, *Lepilemur* cf. *randrianasoloi*, *Eulemur rufus*, *Avahi cleesei* et *Propithecus deckenii*). Les échantillons ossements trouvés dans ces grottes sont des débris d'os. Par conséquent, de nombreux ossements n'ont pas été identifiés. Le nombre d'os non identifiés est beaucoup plus élevé que celui des os identifiés.

Par ailleurs, la forêt sur *tsingy* de Beanka dispose d'autres grottes à l'exemple de Kimanambolo, Ambinda et de Kinahaingo qui contiennent des spécimens d'intérêts scientifiques comme Anjohingidrobe et Anjohimaletsy (Radimilahy *et al.*, 2013).

IV.2. Présence ou absence des ossements dans les grottes

Les nombres d'ossements des Vertébrés Primates et non Primates diffèrent entre eux à Anjohingidrobe qu'à Anjohimaletsy. Les différences entre les nombres d'ossements contenus dans les deux grottes pourraient être expliquées par le fait qu'Anjohingidrobe est plus vaste par rapport à Anjohimaletsy, elle peut contenir un bon nombre d'ossements. En tout cas, ces chiffres ne représentent pas tous les vestiges existants dans ces grottes car ce ne sont pas tous les ossements qui nous sont parvenus. Il peut y avoir encore d'autres ossements. Par conséquent, nous ne pouvons pas affirmer l'absence des espèces de Primates disparus dans le site d'Anjohingidrobe. Par ailleurs, l'existence des Primates éteints tels que *Archaeolemur* sp. et surtout *Babakotia radofilai* dans le site d'Anjohimaletsy nous fournit une mise à jour sur leur paléogéographie. Vraisemblablement, la paléogéographie de *Babakotia radofilai* a été confinée dans l'extrême nord et dans le Nord-ouest (Simons *et al.*, 1995 ; Burney *et al.*,

1997). En plus, les conditions climatiques qui régnaient dans la Grotte d'Anjohingidrobe ont contribué à la conservation des os.

IV.3. Les causes probables de l'extinction des animaux

L'érosion continue des roches calcaires de Beanka, a formé les grottes comme Anjohingidrobe et Anjohimaletsy, qui par la suite constituaient un refuge idéal surtout lors de la sécheresse pour certains animaux comme les rongeurs, les chiroptères, les reptiles et les amphibiens (Raselimanana *et al.*, 2013 ; Glaw *et al.*, 2006). Il peut être possible que certains animaux ont été naturellement morts dont certains restes d'ossements sont conservés dans ces grottes. Les dents libres non implantées dans les mandibules et éparpillées pourraient expliquer qu'elles ont été usées et/ou transportées par l'eau. Cela indique que l'eau avait coulé dans certains endroits dans la grotte (Burney *et al.*, 1997). Grâce à l'existence de strontium que les dents incorporent, elles ont été conservées pendant une longue période après la mort de l'animal (Crowley, 2015).

Une autre hypothèse est que ces animaux étaient victimes de prédateurs carnivores et/ou des rapaces, or aucun signe de prédation n'a été trouvé sur les ossements identifiés. Mais ce qui intrigue c'est que ces Primates qui sont adaptés à une vie arboricole sont parmi l'ordre le plus diversifié. Cela nous conduit à penser que les prédateurs ont transporté leurs proies, destinées à être consommées par des carnivores ou régurgitées sous forme de pelote par des rapaces.

IV.3.1. Prédateurs des Primates actuels

Les rapaces *Polyboroides radiatus* et *Buteo brachypterus*, les reptiles *Sanzinia madagascariensis* et *Acranthophis madagascariensis*, le Carnivora *Cryptoprocta ferox*, les hiboux *Tyto alba* et *Asio madagascariensis* sont les prédateurs de Primates de petite et moyenne taille à l'exemple des Cheirogales, des *Propithecus*, des *Avahi cleesei*, des *Eulemur* et quelques espèces de lémuriens à mœurs nocturnes (Gilbert & Tingay, 2001). De nombreux articles scientifiques confirment cette spéculation (Goodman *et al.*, 1991 ; Goodman *et al.*, 1993 ; Goodman & Langrand, 1993 ; Wright *et al.*, 1998 ; Brockman, 2003).

IV.3.2. Prédateurs des Primates éteints

Le rapace *Stephanoaetus mahery* a été présumé à être spécialiste de lémuriens, également de quelques espèces disparues de grande taille. Lors de l'étude faite à

Ampasambazimba et Ankilitelo, il aurait pu être le prédateur des lémuriens géants jeunes et sub-adultes telle *Palaeopropithecus* (Goodman & Jungers, 2013).

De plus, compte tenu de la dimension du carnivore subfossile malgache *Cryptoprocta spelea*, ses mâchoires massives et ses grandes dents carnassières, il aurait dû être certainement un des prédateurs redoutables des Lemuriformes subfossiles (Goodman *et al.*, 2004).

IV.3.3. Influence anthropique

Depuis XI^{ème} siècle, la région de Beanka a été probablement peuplée. Des données archéologiques affirment que d'autres abris sous roche de la forêt de Beanka ont été utilisés au moins occasionnellement à des activités de chasse et de cueillette (Radimilahy *et al.*, 2013). La présence d'un morceau de poterie dans le site d'Anjohimaletsy pourrait indiquer le passage de l'homme à l'intérieur de la grotte. Pourtant, l'hypothèse de prédateur humain est incertaine bien que ces taxons éteints constituaient des sources alimentaires attractives pour l'homme (Godfrey & Jungers, 2003). De ce fait, il est important de connaître la datation et surtout son utilisation de cette poterie dans la vie quotidienne.

IV.4. Hypothèses de l'extinction des lémuriens disparus

Dans la présente étude, il n'existe aucune preuve directe qui peut expliquer la disparition des ces Primates éteints (*Babakotia radofilai* et *Archaeolemur* sp.) dans ces grottes. Cependant des explications possibles de cette disparition sont avancées ci-dessous.

IV.4.1. Modification de l'environnement

L'homme a été soupçonné depuis longtemps comme étant le premier responsable de la catastrophe écologique à Madagascar. Une perte dramatique de la couverture forestière a été évaluée : 50 à 60% de la forêt originale ont été perdues depuis l'arrivée de l'homme jusqu'au vingtième siècle (Burney, 1987 ; Burney *et al.*, 1993 ; Matsumoto & Burney, 1994 ; Mittermeier *et al.*, 2010). En raison de la dégradation jusqu'à l'état actuel de la Forêt de Beanka, les Lemuriformes subfossiles n'ont pas pu résister. Il est reconnu que le genre *Archaeolemur* est le plus répandu de tous les lémuriens disparus de l'île, mais le déclin de son habitat ne le permet pas de s'échapper à l'extinction. Le mode de vie et locomotion de *Babakotia radofilai* exigent une canopée forestière relativement fermée avec une connexion des branches et des lianes (Goodman & Jungers, 2013). Cependant, sa distribution restreinte dans le passé appuie l'idée de menace à la disparition. L'interaction entre plante et animal

nous permet de déduire qu'au cours du temps, ce changement pourra avoir conduit à l'extinction des lémuriens géants.

IV.4.2. Changement climatique

Le changement climatique est accepté par la plupart des scientifiques pour jouer un rôle non négligeable sur l'extinction des grands lémuriens. L'aridification de la partie sud de l'île peut nous renseigner que la dessiccation de l'Holocène pourrait transformer cette région (Mahé & Sourdat, 1972 ; Goodman & Jungers, 2013). Par conséquent, la structure de nombreuses végétations pourrait changer avec cette condition (Burney, 1993). Cette dernière ne permet pas la survie des Lemuriformes qui n'ont pas pu s'adapter.

CONCLUSION

CONCLUSION

En guise de conclusion, la forêt sur *tsingy* de Beanka renferme des grottes comme Anjohingidrobe et Anjohimaletsy. Bien qu'elles montrent une similarité très étroite, elles présentent des différences non seulement au niveau du nombre d'os et de taxon qu'elles contiennent, mais aussi au niveau de l'assemblage des ossements. Ces différences pourraient être dues à l'étendue de ces cavités karstiques et à la taphonomie. L'immensité et la condition climatique idéale qui règne dans la Grotte d'Anjohingidrobe permettraient une préservation des spécimens de grand nombre d'ossements. Par conséquent, ces deux grottes montrent une richesse spécifique disparate. Anjohingidrobe contient une diversité plus riche comparée à l'autre grotte. Pourtant, Anjohimaletsy constitue une richesse non négligeable de taxons éteints à savoir *Babakotia radofilai* et *Archaeolemur* sp. et actuel, Primates et non Primates.

Le répertoire des restes d'ossements trouvés dans les Grottes d'Anjohingidrobe et d'Anjohimaletsy nous permet de constater la présence des espèces éteintes et actuelles. Cela nous conduit à penser qu'elles ont vécu dans des périodes bien différentes (la datation est un moyen plus explicite pour confirmer cette idée). Ces grottes fournissent des informations sur la biodiversité d'aujourd'hui voire des siècles passées. Cette nouvelle découverte des taxons disparus nous remet en cause l'ancienne distribution des Lemuriformes.

Par ailleurs, les preuves de l'extinction de ces espèces contenues dans ces grottes sont des sujets qui sont encore obscurs. Les restes des spécimens trouvés ne signent aucune trace de prédation que ce soit animale ou humaine. La spéculation sur l'extinction de ces espèces représentées par ces restes biologiques est assez vraisemblable mais discutable. La découverte de la poterie dans le site d'Anjohimaletsy est un bon signe qui explique le passage de l'homme dans cette grotte. Mais cela ne confirme pas la théorie de prédateur humain. Il est plus raisonnable de faire des recherches sur cet ustensile de cuisine qui peut servir d'une information. Aussi, l'explication de la disparition des deux espèces éteintes de Primates mentionnée dans la présente étude semble être une théorie généraliste, mais cette dernière exprime l'éventualité de la participation des humains dans la dégradation qui a conduit progressivement jusqu'à l'extinction.