

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
I. <b>MILIEU D'ETUDE .....</b>	<b>3</b>
II. <b>MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>6</b>
II.1. <i>Matériels biologiques .....</i>	<b>6</b>
II.1.1.    Systématique .....	<b>6</b>
II.1.2.    MANTELLIDAE Laurent, 1946 .....	<b>6</b>
II.2. <i>Période et durée de l'étude .....</i>	<b>9</b>
I.3. <i>Méthodologie .....</i>	<b>9</b>
I.3.1.    Site d'étude .....	<b>9</b>
I.3.2.    Méthode de collecte des données .....	<b>10</b>
I.3.3.    Précaution sanitaire .....	<b>13</b>
I.3.4.    Identification de l'espèce .....	<b>13</b>
I.3.5.    Description morphologique .....	<b>13</b>
I.3.6.    Analyse structurale de la population .....	<b>14</b>
I.3.7.    Paramètres physiques de l'habitat .....	<b>16</b>
I.3.8.    Prise de photo .....	<b>17</b>
I.3.9.    Analyses statistiques des données .....	<b>17</b>
III. <b>RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....</b>	<b>20</b>
III.1. <i>Effort d'échantillonnage en fonction de la période de capture .....</i>	<b>20</b>
III.2. <i>Diagnose et description morphologique .....</i>	<b>20</b>
III.2. <i>Variation temporelle et altitudinale de l'effectif n .....</i>	<b>24</b>
III.2.1.    Effectif totale $n$ dans leurs habitats naturels .....	<b>24</b>
III.2.2.    Variation de l'effectif des deux espèces sur 100 m de ruisseau pour chaque mois d'observation .....	<b>25</b>
III.2.3.    Variation de l'effectif en fonction du gradient altitudinal et suivant les saisons .....	<b>26</b>
III.3. <i>Analyse écologique .....</i>	<b>28</b>
III.3.1.    Structure et évolution de la population selon la saison et le type d'habitats .....	<b>28</b>
III.3.2.    Analyse du préférendum en microhabitats .....	<b>32</b>
III.3.3.    Analyse de la taille selon l'habitat .....	<b>38</b>
III.3.4.    Observations nocturnes .....	<b>38</b>
DISCUSSION .....	<b>39</b>
IV.1. <i>Méthodologie .....</i>	<b>39</b>
IV.2. <i>Choix du modèle de l'estimation de l'effectif n .....</i>	<b>39</b>
IV.3. <i>Effectif générale n et répartition géographique .....</i>	<b>41</b>
IV.4. <i>Cause de la variation structurale de la population dans le temps .....</i>	<b>41</b>
IV.5. <i>Cause de la variation structurale de la population en fonction des habitats .....</i>	<b>42</b>
IV.5.1.    Propriété physique de l'habitat .....	<b>42</b>
IV.5.2.    Altitudes dépendantes .....	<b>43</b>
IV.5.3.    Stratégies utilisées et déduction .....	<b>43</b>
CONCLUSION .....	<b>46</b>
RECOMMANDATIONS .....	<b>47</b>
BIBLIOGRAPHIE .....	<b>48</b>

## LISTE DES ABREVIATIONS

°C	: dégré Celsius.
ACSAM	: Action for the Conservation Strategy of Amphibians of Madagascar.
aff.	: affinité.
ASG	: Amphibien Specialist Group.
AZE	: Alliance for Zero Extinction.
BL	: Body Length (longueur du corps).
CDB	: Convention sur la Diversité Biologique.
cf.	: conférer.
CI	: Conservation International.
CMR	: Capture-marquage-recapture.
CR	: danger critique d'extinction.
ex.	: exemple.
FTM	: Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara.
GIEC	: Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.
HW	: Head Width (Largeur de la tête).
IC	: intervalle de Confiance.
IUCN	: International Union for the Conservation of Nature.
MBG	: Missouri Botanical Garden.
MV	: Madagascar Voakajy.
ONG	: Organisation Non Gouvernementale.
P	: Précipitation.
PBZT	: Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza.
SR	: Sex-ratio.
SSC	: Species Survival Commision.
SVL	: Snout-Vent Length (longueur allant de la tête jusqu'à l'orifice anale).
T	: Température.
TL	: Total Length (Longueur totale allant de la tête jusqu'au bout de la queue)
UICN	: Union Internationale pour la Conservation de la Nature.
VIF	: Vondrona Ivon'ny Fampandrosoana (gestionnaire actuel de la station forestière de Manjakatompo).
MBZ	: Mohamed Bin Zayed fondation

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Données climatiques du District d'Ambatolampy de 1961 à 1990.....	I
ANNEXE II : Liste des espèces de la station forestière de Manjakatompo avec leurs habitats respectifs.....	II
ANNEXE III: Tableau ayant servi aux collectes de données.....	IV
ANNEXE IV: Exemple de calcul de Schnabel .....	V
ANNEXE V : Tableau Récapitulatif des résultats des effectifs observés d'après capture-marquage-recapture .....	VI
ANNEXE VI : la taille de la roche selon chaque transect.....	VII
ANNEXE VII : Tableau des effectifs calculés sur 100 m de ruisseau selon Schnabel modifié par Schumacher-Eschmeyer .....	VIII
ANNEXE VIII : Tableau récapitulatif des visites nocturnes .....	IX
ANNEXE IX: Nombre d'individus recensés au cours des descentes, en fonction de la vitesse, de la profondeur de l'eau et de la température .....	X
ANNEXE X : Quelques types d'habitats rencontrés à Manjakatompo (photos : Rakotononely, 2011).....	XI

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation de la Station Forestière de Manjakatombo, site d'études et ses transects (T) .....	4
Figure 2 : Courbe ombrothermique d'Ambatolampy à partir des données de 1961 à 1990.....	5
Figure 3 : Schéma d'une patte antérieure gauche d'un amphibien (a) et d'un sac vocal subgulaire (b) chez le mâle .....	7
Figure 4 : Morphologie générale d'un amphibien, vue dorsale .....	8
Figure 5 : Schéma d'une paire de glandes fémorales d'un amphibien, chez le mâle, vue ventrale .....	9
Figure 6 : Mode de marquage et de mensuration : (a) adulte et juvénile ; (b) têtard .....	12
Figure 7 : Courbes cumulatives des individus capturés suivant la saison .....	20
Figure 8 : Adulte <i>B. williamsi</i> (a et c): femelle ; (b et d) : mâle ; (a-b) vue dorsale, (c-d) vue ventrale .....	21
Figure 9 : Têtard : a - <i>B. williamsi</i> , b - <i>M. pauliani</i> ; vue de dos.....	21
Figure 10 : <i>M. pauliani</i> adulte ; (b et d) : mâle, (a et c) femelle ; (a-b) : vue dorsale, (c-d) : vue ventrale.....	23
Figure 11 Photo de l'œil de <i>M. pauliani</i> vue de profil .....	23
Figure 12 : Variation de l'effectif des adultes-juvéniles et têtards sur 100m de ruisseau pour les deux espèces <i>B. williamsi</i> (a) et <i>M. pauliani</i> (b) en fonction du temps .....	25
Figure 13 : Variation de l'effectif des adultes-juvéniles en fonction de l'altitude et de la saison .....	26
Figure 14 : Variation de l'effectif des têtards en fonction de l'altitude et de la saison.....	27
Figure 15 : Variation des effectifs de chaque classe d'âges suivant la saison.....	28
Figure 16 : variation de la structure de population selon le type d'habitat .....	29
Figure 17 : L'évolution du Sex-ratio en fonction de la saison de <i>M. pauliani</i> .....	31
Figure 18 : Evolution du sex-ratio en fonction de l'habitat et de l'altitude de <i>M. pauliani</i> .....	32
Figure 19 : Courbe représentative de l'affinité en température de tous les individus capturés et recapturés durant toute l'étude des <i>B. williamsi</i> (a) et les <i>M. pauliani</i> (b) .....	32
Figure 20 : Variation de l'effectif sur section de 10 m durant la saison sèche de <i>B. williamsi</i> ..	33
Figure 21 : Variation de l'effectif sur section de 10 m pendant la saison humide de <i>B. williamsi</i> .....	34
Figure 22 : Variation du nombre des (a) adultes-juvéniles et (b) têtards rencontrés durant toute l'étude de <i>B. williamsi</i> en fonction de la profondeur de l'eau .....	34

Figure 23 : Variation de l'effectif des adultes-juvéniles (a) et têtards(b) rencontrés durant toute l'étude de <i>B. williamsi</i> en fonction de la vitesse de l'eau .....	35
Figure 24 : Variation de l'effectif sur section de 10 m pendant la saison sèche de <i>M. pauliani</i> .....	36
Figure 25 : Variation de l'effectif sur section de 10 m pendant la saison humide de <i>M. pauliani</i> .....	36
Figure 26 : Variation de l'effectif des adultes-juvéniles (a) et têtards (b) durant toute l'étude des <i>M. pauliani</i> en fonction de la profondeur de l'eau .....	37
Figure 27 : Variation de l'effectif des adultes-juvéniles (a) et têtards (b) durant toute l'étude de <i>M. pauliani</i> en fonction de la vitesse de l'eau en m/s .....	37

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Localisation des sites ainsi que les différentes caractéristiques des transects d'étude .....	10
Tableau II : Effort de travail .....	11
Tableau III : Tableau de comparaison de la taille (SVL) et largeur de la tête (HW) du mâle et de la femelle de <i>B. williamsi</i> .....	20
Tableau IV : Tableau de comparaison de la taille (SVL) et largeur de la tête (HW) du mâle et de la femelle de <i>M. pauliani</i> .....	22
Tableau V : Effectif calculé des adultes matures selon la méthode de Schnabel sur toutes les longueurs des ruisseaux .....	24
Tableau VI : Tableau du test $X^2$ de l'effectif des adultes et juvéniles suivant l'altitude et la saison .....	26
Tableau VII : Tableau du test $X^2$ de la variation de l'effectif $n$ des têtards pour chaque saison et en fonction de l'altitude .....	27
Tableau VIII : Tableau du test $X^2$ de l'effectif de toutes les classes d'âges .....	29
Tableau IX : Tableau du test de $X^2$ de la variation de chaque classe d'âges selon le type d'habitat .....	30
Tableau X : Variation des effectifs du mâle et de la femelle en fonction de la saison .....	30
Tableau XI : Variation des effectifs du mâle et de la femelle selon le type d'habitat et de l'altitude .....	30
Tableau XII : Variation du sex-ratio en fonction de la saison .....	31
Tableau XIII : Variation du sex-ratio en fonction de l'habitat et de l'altitude .....	31
Tableau XIV : Rang des habitats selon leur richesse en abris .....	38
Tableau XV : Variation de la taille de <i>M. pauliani</i> du milieu forestier et savane .....	38

# INTRODUCTION

Les Amphibiens actuels, souvent désignés sous le nom Lissamphibiens, comptent plus de 6190 espèces dans le monde (Andreone *et al.*, 2008). A Madagascar, les travaux récents effectués par Lehtinen *et al.* (2011), ont abouti au recensement de 297 espèces de grenouilles. Selon la classification de l’IUCN (2012), 55 sont menacées et neuf en danger critique d’extinction (CR). La Grande île est classée parmi les quatre premiers sites présentant le plus d’espèces endémiques en termes d’Amphibiens, avec un taux de 99,6% après, le Brésil, la Colombie et le Mexique (Glaw & Vences, 2007 ; EAZA, 2007).

Cependant, la disparition et la dégradation des habitats constituent la plus grande menace pour les amphibiens dans le monde, affectant près de 4000 espèces (EAZA, 2007). Pour les grenouilles malgaches, la destruction de leur milieu naturel, soit par la déforestation, soit par la transformation de la forêt vierge pluviale en terre agricole, en est la principale cause (Andreone *et al.*, 2008). Annuellement, la forêt perd à peu près 2000 km<sup>2</sup> de sa superficie (Andreone *et al.*, 2008). Ces amphibiens, au cycle de vie complexe, sollicitent un habitat aquatique et un habitat terrestre car leur survie dépend des conditions d’humidité (Desroches & Picard, 2004). Des menaces particulières pèsent sur ces organismes inféodés aux cours d’eau (Beebee & Griffiths, 2005). Elles affectent l’intégrité écologique de nombreuses rivières et des zones humides associées (Mensing *et al.*, 1998 ; Ward, 1998). En outre, la température moyenne dans le monde a augmenté de 0,6°C à 0,74°C, seulement de 2001 à 2007 (GIEC, 2007). D’une part, certains auteurs avancent que l’effet du changement climatique crée l’isolement par fragmentation de l’habitat et a des conséquences néfastes sur la survie des espèces mondiales (Caughley & Gunn, 1996 ; Lips *et al.*, 2008). D’autre part, sous les tropiques, les montagnes hébergent fréquemment des espèces endémiques qui sont localisées aux sommets (Raxworthy & Nussbaum, 1996). Ces espèces sont dites « indicatrices de changement climatique » (EAZA, 2007).

Récemment, les grenouilles de Madagascar font l’objet d’une révision systématique (Glaw & Vences, 2006) et d’étude d’impact de la variation climatique sur la communauté amphibiennne de montagne (Raxworthy & Nussbaum, 1996 ; Rabibisoa *et al.*, 2008 ; Raxworthy *et al.*, 2008). Peu de chercheurs se sont penchés sur l’étude écologique, biologique et structurale des espèces particulièrement endémiques des massifs montagneux. On peut citer la recherche de Rakotoarison (2011) sur *Platypelis* dans le massif de Tsaratanana (S14° 09' et E48° 57'). Le présent travail voudrait également y contribuer en choisissant comme région

d'étude la station forestière de Manjakatombo situé (S19°20' et E47°18') dans le massif de l'Ankaratra (S19°20' et E47°14'), avec un point culminant à 2640 m. Ce site abrite deux espèces d'amphibiens endémiques locales en danger critique d'extinction (CR), à savoir : *Boophis williamsi* (Guibé, 1974) et *Mantidactylus pauliani* Guibé, 1974. Cette station est classée comme site « *Alliance for Zero Extinction* » ou « AZE », étant le seul site abritant deux espèces en Danger Critique d'Extinction (Randrianasolo, 2012). Un site est catégorisé AZE lorsqu'il contient au minimum une espèce vertebrée (oiseau, mammifère, amphibien et reptile) en danger (EN) ou en danger critique d'extinction (CR) selon les critères de l'IUCN (AZE, 2010) : soit le site abrite 95% de l'espèce menacée, soit l'espèce en question y est endémique (AZE, 2010 ; Randrianasolo, 2012). Malgré la découverte de ces deux espèces depuis 1974 (Guibé, 1974), peu d'informations renseignent sur leur écologie, leur biologie et leur structure. Néanmoins, des évaluations rapides des statuts et suivis des populations de ces deux espèces ont été effectuées par Rabemananjara *et al.* (2010) et Rabemananjara & Razafindrabe (2011). Pour expliquer la présence de *B. williamsi* et *M. pauliani* dans la zone, deux hypothèses sont émises, à savoir :

- les deux espèces sont « altitudes dépendantes » (notamment au-dessus de 2000 m) ;
- elles dépendent également de certains types de biotopes ou d'habitats particuliers de l'Ankaratra.

Pour confirmer ces hypothèses, l'objectif principal du présent travail est de déterminer les habitats qui assurent la survie de la population des deux espèces, en vue d'améliorer la politique de leur conservation. Les objectifs spécifiques sont :

- Acquérir et maîtriser les techniques de suivi et de collecte de données sur les espèces menacées des cours d'eau ;
- Identifier et trouver les diagnoses permettant la distinction de ces deux espèces ;
- Estimer l'effectif et définir les préférendums écologiques (température, altitude, type d'habitat) des deux espèces dans leurs habitats naturels ;
- Déterminer la structure de la population des deux espèces (effectifs des têtards, des juvéniles et des adultes), suivant la saison.

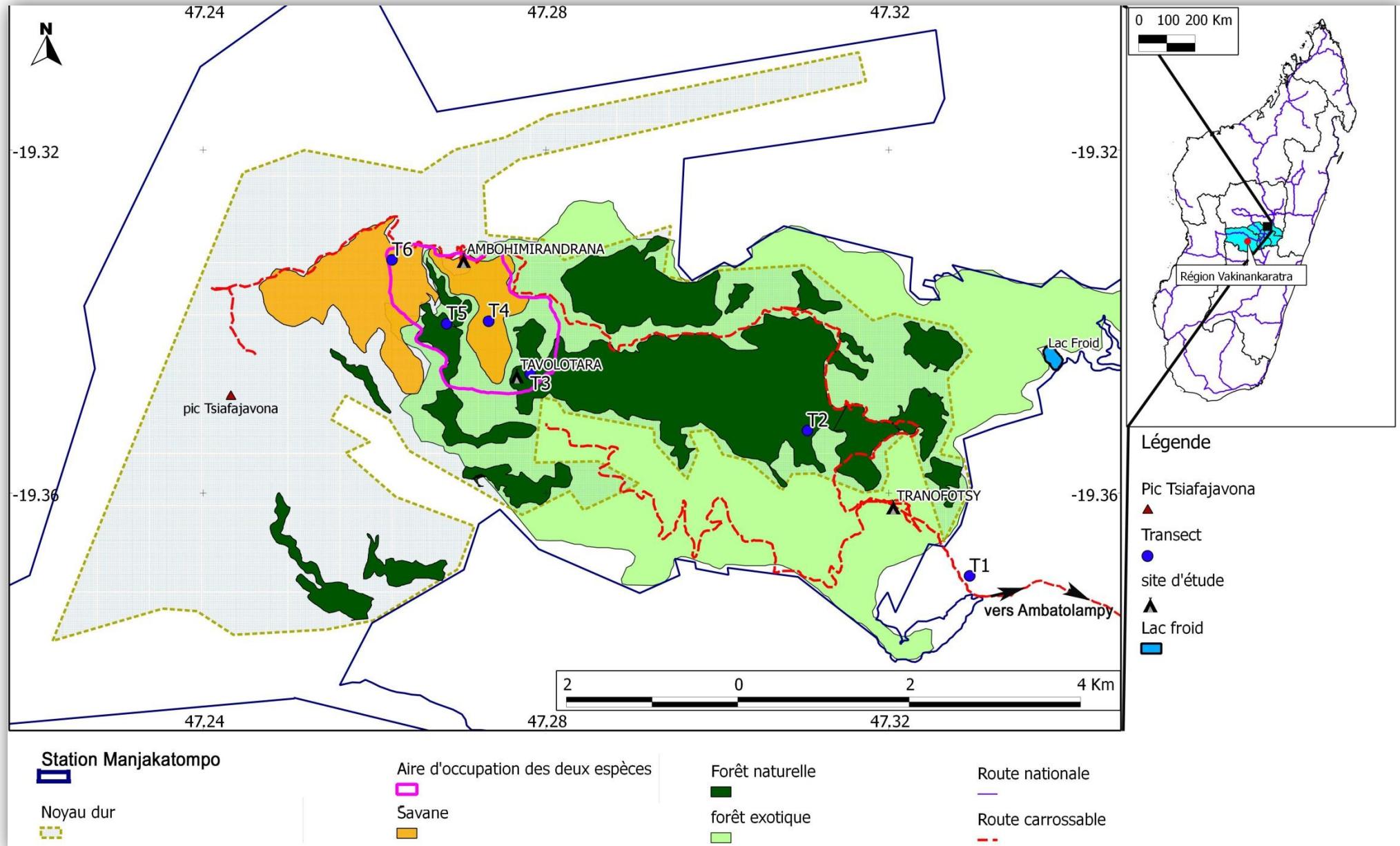
Pour mieux contextualiser l'étude, un plan est élaboré comme suit : la première partie concerne la description du site d'étude. La deuxième partie présente les matériels et les méthodes. La troisième partie est réservée aux résultats et interprétations. Un dernier volet sert pour les discussions et les perspectives.

## I. MILIEU D'ETUDE

La station forestière de Manjakatompo (Figure 1), avec une surface de 8000 ha, s'étend sur les versants du massif de l'Ankaratra, entre 19°19' et 19°24' de latitude Sud et 47°14' et 47°22' de longitude Est. Elle est localisée dans le Haut Plateau Central de Madagascar, dans la « *Faritany* » d'Antananarivo, Région du Vakinankaratra. La plupart de la surface de la station est localisée au niveau du District d'Ambatolampy, des Communes rurales de Tsiafajavona et de Sabotsy-Namatoana. Le reste se trouve dans le District de Faratsihio. La station forestière se trouve à 84 Km de la ville d'Antananarivo, en parcourant la Route Nationale N°7 et à 17 Km, à l'ouest de la ville d'Ambatolampy. Elle inclut le sommet de Tsiafajavona (S19°22'57'' et E47°19'35'' à 2640 m).

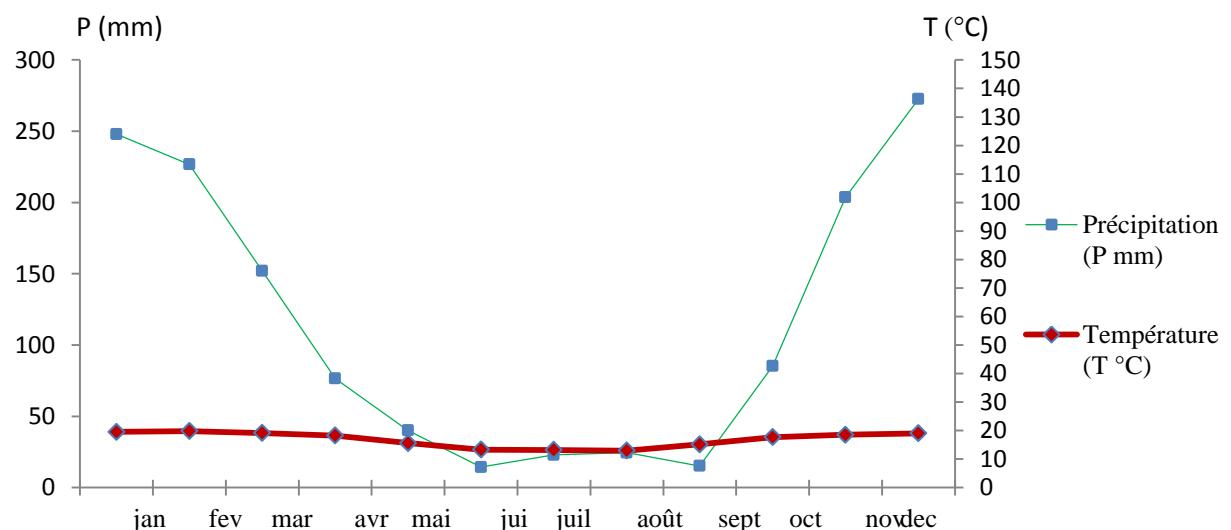
De nombreux cours d'eau prennent leur source dans le périmètre de la Station Forestière de Manjakatompo. Pour les villageois, le plus important est le Lac Froid qui constitue leur réservoir d'eau potable (Ducenne, 1994). L'eau est disponible toute l'année, rendant cette zone favorable à la culture irriguée. La majorité des sources qui alimentent les cours d'eau de la zone de l'Ankaratra prennent naissance à Anosiarivo entre S19°20'70'' et E47°18'31'' (VIF, 2010). Les sources d'Angorodona, d'Anosiarivo et de Tavolotara sont très importantes pour la survie des amphibiens de l'Ankaratra.

La partie nord du massif de l'Ankaratra résulte d'une activité volcanique plus récente du Pléistocène, avec un sol à caractère noirâtre et des laves compactes (Besairie, 1954). Cette partie rassemble les plus hauts sommets entre S19°19' et S19°24' et E47°14' et E47°22' qui sont : Tsiafajavona (2642 m), Tsiafakafo (2530 m), Ankavitra (2603 m), Ambohimainty (2595 m) et Ambohimirandrana (S19°20'16'' et E47°16'23'' à 2412 m). La partie sud provient d'une activité volcanique ancienne du Pliocène et est en partie caractérisée par des dômes trachytiques, comme celui de Famoizankova (S18°19' et E46°25') à 2362 m (Besairie, 1954). Les forêts naturelles sont généralement rencontrées sur des pentes fortes à très fortes, d'accès difficile (Lennertz *et al.*, 1994). Le terrain est constitué par trois types de sols : un sol ferrallitique rouge sur les altitudes inférieures à 1900 m, un sol humifère brun sur les altitudes comprises entre 1900 et 2000 m et un sol humifère noir sur les altitudes supérieures à 2000 m (VIF, 2010). Ses massifs montagneux et ses caractéristiques font de l'Ankaratra un habitat spécifique pour les amphibiens de hautes montagnes.



Le climat dans ce massif s'aligne à une tendance saisonnière généralement de type tropical, avec une saison froide et sèche en hiver austral (mai à septembre) et une saison chaude et humide durant l'été austral d'octobre à avril (Donque, 1975 ; Nicoll & Langrand, 1989). Selon les données météorologiques enregistrées à Ambatolampy au cours de la période 1961-1990 (cf. ANNEXE I), les températures moyennes annuelles vont de 10,5°C à 23,2°C. Les températures extrêmes minimale et maximale, en moyenne par mois, sont respectivement de 6,2°C (août) et 25,6°C (février). La précipitation moyenne annuelle est de 2012 mm. La saison des pluies se situe entre octobre et avril. La plus grande quantité de précipitations survient au cours du mois de décembre (272 mm), tandis que le minima se produit aux mois de juin et septembre, avec une totale d'environ 77 mm. Les périodes d'études du présent travail correspondent aux mois de juin et août (saison sèche) et aux mois de novembre et décembre (saison des pluies).

La courbe ombrothermique de Gaussen (Figure 2)  $P = 2T$  présente huit mois de période humide (de mi-septembre à mi-mai) et quatre mois de période sèche (de mi-mai à mi-septembre).



**Figure 2 : Courbe ombrothermique d'Ambatolampy à partir des données de 1961 à 1990**  
(Source : Direction Générale de la Météorologie, Ampandrianomby, Antananarivo)

La végétation de la station forestière de Manjakatompo (Figure 1, page 4) comprend : 900 ha de forêt naturelle, entre 1700 m et 2200 m d'altitude, ayant la dominance de trois essences *Weinmannia sp.* (Lalona), *Dicoriphe vitticoides* (Tsitsihina) et *Ilexmitis* (Lampy vahatra) (Rabemananjara *et al.*, 2010) ; la forêt exotique résulte essentiellement de l'introduction de *Pinus*, à partir de 1923 (Ducenne, 1994), avec 2000 ha de plantation de *Pinus* spp. (Besmer *et al.*, 2007) ainsi que d'autres essences exotiques (*P. kesiya* et *P. pinaster*), couvrant 1200 ha entre 1600 m et 2200 m d'altitude (Rabemananjara *et al.*,

2010) ; les prairies ou savanes recouvrent 5000 ha au-dessus de 2100 m d'altitude (Rabemananjara *et al.*, 2010). Les inventaires effectués par *Missouri Botanical Garden* (MBG) (VIF, 2010) dans la zone ont fait ressortir environ 360 espèces végétales autochtones (herbeuses et ligneuses confondues), regroupées dans 98 familles, avec au moins huit espèces endémiques locales réparties dans les forêts naturelles et les savanes de la station. La station a été dévastée par l'incendie en février 2010, ravageant la majorité de ses surfaces forestières exotiques et ses savanes (Rabemananjara & Razafindrabe, 2011).

Des inventaires de la faune de l'Ankaratra ont eu lieu entre 1992 à 2001. Les recensements ont permis de trouver sept espèces de Mammifères, 30 espèces d'Oiseaux, 15 espèces d'Amphibiens et 12 espèces de Reptiles (Goodman *et al.*, 1996 ; Vences *et al.*, 2002) cf. ANNEXE II. Trois espèces d'Amphibiens, dont *Boophis williamsi*, *Mantidactylus pauliani* et *Mantidactylus* aff. *curtus* « Ankaratra » sont endémiques de ce massif (Vences & Glaw, 2007). Pour les Poissons, aucun inventaire n'est enregistré jusqu'à maintenant (Rabemananjara & Razafindrabe, 2011).

## II. MATERIELS ET METHODES

### II.1. Matériels biologiques

#### II.1.1. Systématique

La classification des deux espèces étudiées est établie selon la systématique adoptée par Glaw et Vences (2006) :

<b>Règne :</b>	ANIMALIA
<b>Embranchement :</b>	VERTEBRATA
<b>Classe :</b>	AMPHIBIA
<b>Sous-classe :</b>	LISSAMPHIBIA
<b>Ordre :</b>	ANURA
<b>Sous-ordre :</b>	NEOBATRACHIA
<b>Famille :</b>	MANTELLIDAE Laurent, 1946

#### II.1.2. MANTELLIDAE Laurent, 1946

##### a. Caractères généraux

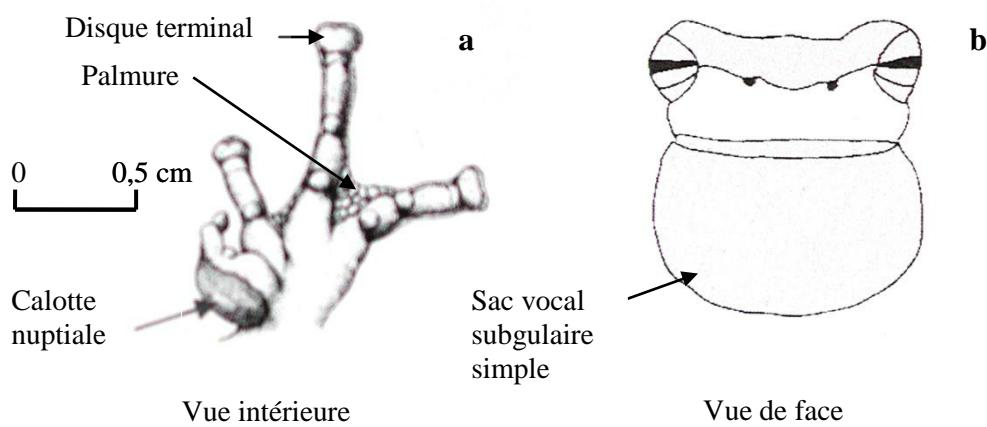
Les MANTELLIDAE se subdivisent en trois Sous-familles : les MANTELLINAE, les BOOPHINAE et les LALIOSTOMINAE (Vences & Glaw, 2001 ; Glaw & Vences, 2006). Cette Famille est endémique de Madagascar de Mayotte et de Comores (Glaw & Vences, 2007). Avec 165 espèces bien connues, c'est la Famille la plus diversifiée de Madagascar,

tant du point de vue richesse spécifique, forme et mode de vie, que du point de vue mode de reproduction (Glaw & Vences, 2007).

**b. *Boophis williamsi* (Guibé, 1974)**

*Boophis williamsi* (nom vernaculaire : Sahona) appartient à la sous-famille des BOOPHINAE Vences & Glaw, 2001, au genre *Boophis* Tschudi, 1838, au sous-genre *Boophis* Tschudi, 1838 et au groupe des *Boophis microtympanum*.

Cette espèce a le dos de couleur olive-verte avec des taches foncées, le ventre blanchâtre, la peau lisse, le mâle possède des rangées de granules punctiformes disposées le long du dos (Blommers-Schlösser & Blanc, 1991). Les cuisses sont dépourvues de barres transversales (Figure 4). Les pattes antérieures ont un vestige de palmure entre le troisième et le quatrième doigt (Figure 3a). Les orteils sont palmés. Le mâle a des calottes nuptiales qui sont une excroissance à la base du pouce (Figure 3a) et un sac vocal subgulaire (Figure 3b) simple (Glaw & Vences, 2007). La taille moyenne mesure 37 mm pour le mâle et entre 40 et 44 mm pour la femelle (Glaw & Vences, 2007). Les narines sont équidistantes entre le bout du museau et l'œil. Les tympans sont distincts. Selon Blommers-Schlösser & Blanc (1991), le juvénile est semblable à l'adulte et après la métamorphose il mesure 30 mm (tête-corps). Au début du développement, le têtard est nettement de coloration noirâtre, avec du jaune très brillant sur toute la partie du corps. Plus tard, cette coloration s'estompe et la musculature caudale est bien développée.

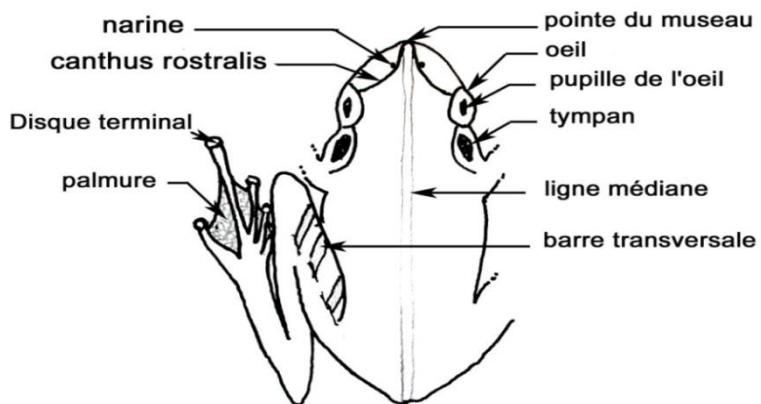


**Figure 3 : Schéma d'une patte antérieure gauche d'un amphibiens (a) et d'un sac vocal subgulaire (b) chez le mâle**  
(Schémas : Glaw & Vences, 1994)

Lors de la saison de reproduction, chez le mâle, les calottes nuptiales sont développées et il n'a pas de glandes fémorales (Glaw & Vences, 2007). L'amplexus est inguinale. Le terme « amplexus » désigne la manière dont le mâle maintient la femelle entre ses pattes

antérieures lors de la fécondation. Le développement du têtard s'étale probablement sur deux années (Blommers-Schlösser & Blanc, 1991) dans les ruisseaux rocheux (Glaw & Vences, 1994). Il est catégorisé « têtard exotrophique » c'est-à-dire qu'il a besoin d'un apport nutritif externe après épuisement du vitellus.

Cet animal évolue dans la forêt tropicale humide de montagne ou dans des buissons éricoides et vit dans les ruisseaux à fond rocheux, ainsi que les cascades (Glaw & Vences, 2007). Il vit en « sympatrie », c'est-à-dire dans une même zone, sans s'hybrider avec *Mantidactylus pauliani*. *Boophis williamsi* se répartit dans la haute montagne de l'Ankaratra (Glaw & Vences, 2007), Ambohimirandra et Manjakatompo (Glaw & Vences, 1994). Son statut IUCN est en Danger critique d'extinction ou CR depuis 2004 (IUCN, 2012).



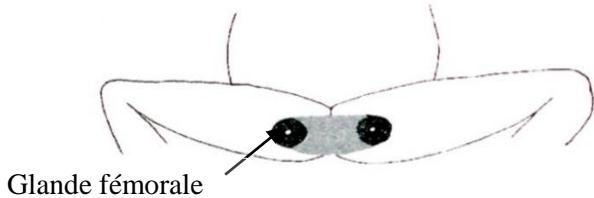
**Figure 4 : Morphologie générale d'un amphibien, vue dorsale**  
(Schéma : Rakotonoloy, 2012)

### c. *Mantidactylus pauliani* Guibé, 1974

*Mantidactylus pauliani* appartient à la Sous-famille des MANTELLINAE Laurent, 1946 et présente la plus grande diversité à Madagascar (Glaw & Vences, 2007) ; au genre *Mantidactylus* Guibé, 1974 ; au sous-genre *Brygoomantis* Dubois, 1992 et de nom vernaculaire « Sahona ».

La teinte de cette espèce est généralement brunâtre, parfois plus sombre, le tégument est lisse avec des granulations irrégulières sur le dos, le museau est arrondi (Blommers-Schlösser & Blanc, 1991). Les cuisses ont des barres transversales (Figure 4). Les pattes postérieures sont palmées. Le mâle diffère de la femelle par la présence d'une glande fémorale développée (Figure 5), arrondie, cratériforme (Blommers-Schlösser & Blanc, 1991). La longueur tête-corps est comprise entre 25-32 mm pour le mâle et 24-34 mm pour la femelle (Glaw & Vences, 2007). Les narines sont équidistantes de l'œil et de l'extrémité du

museau. Selon la description de Blommers-Schlösser & Blanc (1991), le têtard a la bouche petite, avec une musculature caudale forte.



**Figure 5 : Schéma d'une paire de glandes fémorales d'un amphibiens, chez le mâle, vue ventrale**  
(Schéma : Glaw & Vences, 1994)

Lors de la fécondation, le mâle se pose tout simplement au-dessus du dos de la femelle et les œufs sont pondus hors de l'eau (Glaw & Vences, 2007) et le support est encore inconnu. Le têtard est exotrophique et se nourrit sur le fond de l'eau.

*Mantidactylus pauliani* vit dans des ruisseaux rocheux à haut débit avec leurs têtards, plutôt aquatique et passe la plupart de son temps sous l'eau (Glaw & Vences, 2007).

Cette espèce est localisée dans la haute altitude de l'Ankaratra, la montagne d'Ambohimandrana, de Nosiarivo (Glaw & Vences, 2007) et dans la forêt de Betay S19°20' et E47°17' à 2200 m (Blommers-Schlösser & Blanc, 1991). Son statut IUCN est en danger critique d'extinction ou CR depuis 2004 (IUCN, 2012).

## **II.2. Période et durée de l'étude**

L'étude s'est tenue du 18 juin au 23 décembre 2011. Quatre descentes ont été réalisées : mois de juin (18/06-02/07), août (17-31), novembre (01-15) et décembre (09-23). Chaque descente a duré 15 jours. Ces quatre descentes ont permis un suivi optimal des variations de l'effectif en fonction de la saison (sèche et humide).

## **I.3. Méthodologie**

### **I.3.1. Site d'étude**

Vu la situation générale du milieu d'étude, le choix des sites d'étude tient compte des différents types de milieux (forêt, savane). Les transects sont placés à différents niveaux d'altitude (vallées, versants et crêtes), allant de 1600 m à 2400 m pour que l'échantillonnage soit représentatif de l'Ankaratra. De plus, l'emplacement suivant ces différentes fourchettes d'altitude permet de vérifier l'hypothèse concernant la distribution altitudinale des deux espèces cibles. Ainsi, trois sites sont établis (Figure 1, page 4) dont chacun comporte deux transects (Tableau I).

**Tableau I : Localisation des sites ainsi que les différentes caractéristiques des transects d'étude**

Site	Transect	N°	Altitude (m)	L (m)	Coordonnée géographique	Description et caractéristique
Tranofotsy	Andraraty	T1	1605-1620 (Vallée)	500	S19°21'42.0" E47°19'14.5"	Présentant une relique de la forêt naturelle. En dessous de 2000m
	Ambatomalama	T2	1794-1802 (mi-versant)	100	S19°21'12.4" E47°11'38.3"	
Tavolotara	Tavolotara	T3	2002-2015 (Versant)	100	S19°20'45.2" E47°16'45.2"	Constitué principalement de forêt naturelle et de ruisseau sur une pente moyenne
	Ambohimi-randrana crête	T4	2264-2309 (Crête)	100	S19°20' 27.2" E47°16'24.19"	Localisé dans un talweg milieu savanien et de reste d'arbre, avec un milieu ouvert sur une pente abrupte
Ambohimi-randrana	Maharavana	T5	2086-2089 (Versant)	100	S19°20'27.1" E47°16'04.9"	Présentant une relique de forêt naturelle et de ruisseau sur une pente moyenne
	Tsimiara-mianadahy	T6	2380-2400 (Crête)	100	S19°20' 00.1" E47°16'44.8"	Constitué de savane localisée près d'un sommet

N° : numéro des transects, L : longueur, m : mètre

D'après les inventaires (Vences *et al.*, 2002) et suivi (Rabemananjara *et al.*, 2010 ; Rabemananjara & Razafindrabe, 2011) de *Boophis williamsi* et *Mantidactylus pauliani*, ces deux espèces ne sont localisées qu'auprès ou dans les ruisseaux rocheux. Les transects sont donc installés spécifiquement le long des ruisseaux rocheux.

La largeur moyenne des transects est de 0,5 à 3 mètres, selon les ruisseaux. Il est à noter que chaque ligne de transect est considérée, dans cette étude, comme microhabitats ayant sa propre caractéristique (un transect = un microhabitat). Le transect T1 qui est de 500 m a été ainsi fait pour avoir plus de précision sur l'absence ou présence de *B. williamsi* et *M. pauliani* en dessous de 2000 m d'altitude.

### I.3.2. Méthode de collecte des données

La méthode de transect a été faite pour effectuer l'échantillonnage. Dans chaque transect les méthodes suivantes sont réalisées : l'observation directe, la fouille systématique (Raxworthy & Nussbaum, 1996) et la capture-marquage-recapture (Donnelly & Guyer, 1994). Le transect (Figure 1, page 4) est une ligne longeant les ruisseaux sur une distance de 100 m (sauf pour T1 qui est de 500 m), (Tableau I). Il est balisé tous les 10 m par un « flag ». Deux transects par site sont faits, avec un espacement de 1,5 km à 3 Km (Figure 1, page 4), soit un total de six transects. A chaque descente, la durée de l'étude par site est de cinq jours et chaque transect est visité pendant cinq jours successifs.

**Tableau II : Effort de travail**

	<b>Site 1</b>	<b>Site 2</b>	<b>Site 3</b>
Personnes (hommes)	4	4	4
Transects	2	2	2
Nombre de jours	5	5	5
Total des descentes	4	4	4
Homme.jours	160	160	160
Total		480	

Quatre observateurs se constituent en binômes au cours de chaque inventaire. Au total un effort de 160 Homme.jours a été déployé du mois de juin à décembre 2011 pour chaque site. Ce qui constitue 480 Homme.jours pour l'ensemble des sites étudiés dans le massif de l'Ankaratra.

#### **a. Observation directe**

Il s'agit d'une observation à vue des animaux dans leur biotope pendant leurs activités, repos et sommeil. L'observation est diurne et quotidienne, généralement entre 7h30 et 12h pour la matinée et de 14h à 17h pour l'après-midi. Deux visites nocturnes par site ont été effectuées à partir de 19h du soir, parcourant le transect en s'aidant d'une lampe frontale à 4,5volts, avec une vitesse moyenne de 1h 30mn par 100 m de ruisseau.

#### **b. Fouille systématique**

La fouille systématique consiste à explorer en soulevant délicatement les rochers et les branches d'arbre coupées, ainsi que les petits trous susceptibles d'abriter ou de cacher des individus. Dans un transect, chaque équipe fouille méticuleusement les zones balisées à chaque intervalle de 10 m. La vitesse moyenne de fouille, tout le long du cours d'eau, ne dépasse pas 40 m/h. Cette vitesse est maintenue, car chaque recoin est susceptible d'abriter un ou plusieurs individus. Après chaque fouille, tout objet déplacé (par exemple des pierres) est remis à sa place initiale.

#### **c. Capture-marquage-recapture**

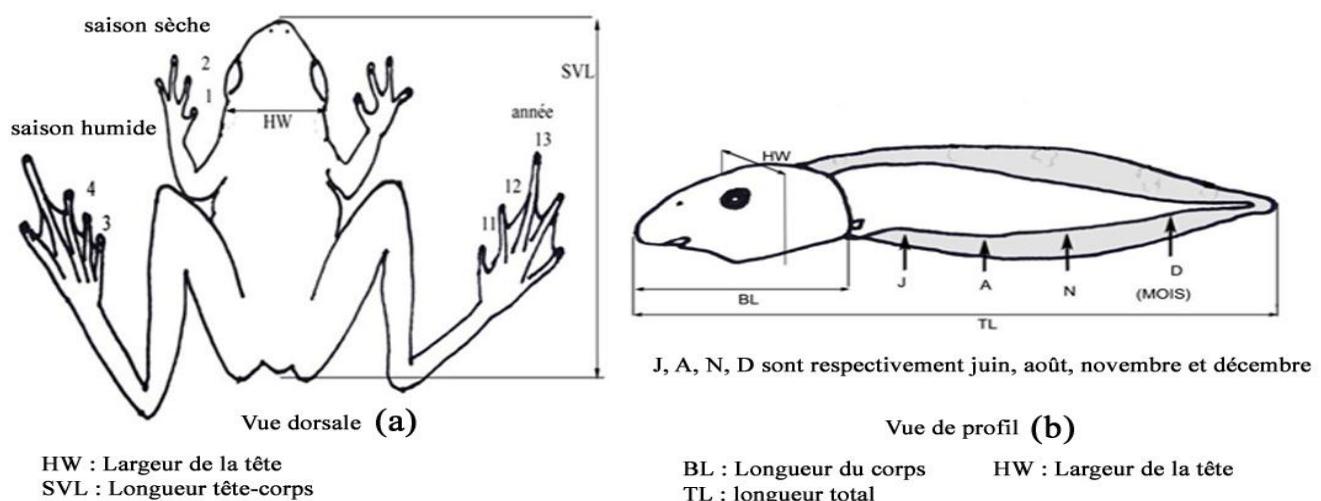
Cette méthode consiste à déterminer l'abondance par le marquage des individus rencontrés, permettant ainsi de calculer l'effectif ou la taille de la population selon la méthode de Schnabel.

##### **⇨ Capture**

Les adultes-juvéniles sont capturés à la main et les têtards à l'aide d'une passoire. Les individus capturés sont placés dans des sacs en plastique.

## ☛ Marquage

Le mode de marquage adopté lors de cette étude est celui décrit par Begon (1979). Il s'agit d'un marquage des individus par date (Figure 6). Ce mode de marquage a déjà été appliqué par Rabemananjara *et al.* (2010), Rabemananjara & Razafindrabe (2011) pour le suivi de *Boophis williamsi* et *Mantidactylus pauliani* de l'Ankaratra. Chaque individu est marqué une seule fois à chaque période de descente. Mais il subit un re-marquage s'il est recapturé, selon les périodes de descente. Les individus capturés au cours d'une même descente portent la même marque.



**Figure 6 : Mode de marquage et de mensuration : (a) adulte et juvénile ; (b) têtard**  
(Schémas : Rakotononely, 2012)

Pour les adultes et les juvéniles, le marquage consiste à faire une coupure de la dernière phalange à l'aide d'une paire de ciseaux en commençant toujours par le pouce (Figure 6a) :

- la patte inférieure droite marque l'année (ex : 11 pour l'année 2011) ;
- la patte supérieure gauche marque la saison sèche (juin : 1 ; août : 2) ;
- la patte inférieure gauche marque la saison humide (novembre : 3 et décembre : 4).

Pour les têtards, il s'agit d'effectuer des incisions au niveau des nageoires (Figure 6b). L'incision commence toujours par la partie de la nageoire la plus proche de la tête : l'incision de la nageoire ventrale marque le mois de capture (juin : J et août : A).

Après chaque manipulation (mensuration, prise de photo et marquage), les individus font l'objet d'une précaution sanitaire (cf. I.3.3) puis ils sont relâchés dans leur biotope.

## ← Recapture

La durée entre deux sessions de capture est d'un jour. Cette durée est jugée nécessaire pour que les individus relâchés retrouvent leurs comportements habituels (non traumatisés) et leur réintégration dans la population. Chaque individu recapturé fait l'objet d'une deuxième morphométrie et d'une vérification du sexe, pour éliminer l'artefact et erreur de manipulation.

### I.3.3. Précaution sanitaire

Tous les matériels utilisés lors du marquage des amphibiens sont, à chaque fois, essuyés avec du coton imbibé d'alcool à 95°C, pour éviter toute contamination. La substance antiseptique « farmagel » a été utilisée, pour nettoyer les mains du manipulateur et les plaies des amphibiens après marquage.

Cette précaution est prise dans le but de minimiser le risque de blessure et d'éviter de biaiser la probabilité de recapture. En effet, tout handicap chez un animal facilite sa capture ou recapture.

### I.3.4. Identification de l'espèce

Pour l'identification de l'espèce, la clé de détermination de Glaw & Vences (1994, 2007) a été adoptée. Voici quelques paramètres prise en compte au cours de cette étude : la peau et sa coloration, type de peau (lisse ou granuleuse), taille, forme de la pupille et coloration de l'iris, disque terminal, calotte nuptiale, glande fémorale et la pointe du museau.

Concernant les têtards, la coloration de la peau, la morphologie du museau et la taille sont les paramètres utilisés pour l'identification sur terrain.

### I.3.5. Description morphologique

#### a. Morphométrie et évaluation de l'âge relatif

La morphométrie a été réalisée à l'aide d'un pied à coulisse à 0,05 mm de précision. La mesure de la tête-corps ou SVL (*Snout-Vent Length*) et celle de la largeur de la tête ou HW (*Head Width*), sont réalisées pour les adultes et juvéniles (Figure 6a). D'après la description de Glaw & Vences (2007), les individus sont classés juvéniles lorsque leur SVL est inférieur à 24 mm pour *Mantidactylus pauliani* et 37 mm pour *Boophis williamsi*.

Pour les têtards, ont été également mesurés : HW ; longueur totale allant de la tête jusqu'à l'extrémité inférieure ou TL (*Total Length*) et la longueur du corps ou BL (*Body Length*) (Figure 6b).

## b. Identification du sexe

Le sexe est identifié par la présence des glandes fémorales (Figure 5 page 9) pour *Mantidactylus* et des calottes nuptiales (Figure 3, page 7) pour *Boophis*.

### I.3.6. Analyse structurale de la population

#### a. Estimation de la taille de la population selon la méthode de Schnabel (1938)

Le but de cette méthode est d'évaluer la taille des populations des deux espèces cibles. La méthode de Schnabel a été choisie car cette étude fait suite à celle des auteurs antérieurs (Rabemananjara *et al.*, 2010 ; Rabemananjara & Razafindrabe, 2011) qui ont utilisé la même méthode sur les mêmes espèces de la même région.

Cette méthode exige certaines conditions :

- Les données devront être représentatives de la population entière (non biaisées par le sexe ou l'âge) ;
- La population doit être close c'est-à-dire qu'il ne doit pas y avoir de migration (immigration et émigration) ni de mortalité durant tout le séjour d'inventaires sur chaque transect ;
- Tous les animaux capturés à la première prise sont tous marqués, la marque doit être permanente et enregistrée correctement durant toute l'étude ;
- Les individus marqués sont relâchés dans leurs milieux originels (sans condensation),
- La marque ne doit pas affecter la probabilité de recapture ni le taux de survie (les individus marqués et non marqués doivent avoir la même probabilité d'être retrouvés) ;
- La probabilité de capture, pour tous les individus, est la même, à chaque session de capture, mais varie au cours du temps (Otis *et al.*, 1978) ;

L'échantillonnage n'est pas restreint à deux occasions. Dans le cas de la présente étude l'échantillonnage est de cinq occasions. La formule de Schumacher-Eschmeyer (1943) est utilisée pour la présente étude :

$$\widehat{N}_S = \frac{\sum n_i M_i^2}{\sum m_i M_i}$$

$\widehat{N}_S$  : effectif de la population selon Schnabel

$n_i$  : nombre d'individus capturés dans l'échantillon *i*

$M_i$  : somme des individus déjà marqués dans la population d'échantillon *i-1*

$$M_i = \sum U_i$$

$U_i$  : nombre d'individus nouvellement marqués puis relâchés dans l'échantillonnage i  
 $m_i$  : nombre d'individus déjà marqués dans chaque capture  
 $i$  : nombre d'échantillonnage, autrement dit le nombre de jour d'inventaire sur le site d'étude.

La variance  $S^2$  est calculée comme suit :

$$S^2 = \left\{ \sum \left( \frac{m_i^2}{n_i} \right) - \frac{(\sum m_i M_i)^2}{\sum n_i M_i^2} \right\} / (k - 2)$$

Avec les limites d'intervalle de confiance  $IC$  ci-après :

$$IC = \frac{\sum n_i M_i^2}{\sum m_i M_i \pm t_\alpha [S^2 \sum n_i M_i^2]^{1/2}}$$

$\pm$  : détermine respectivement les limites inférieures et supérieures

$t_\alpha$  : est la valeur obtenue par la table de Student (pour  $\alpha$  sélectionné) et  $k-2$  le degré de liberté. Dans cette étude le choix de  $\alpha$  est de 95% avec une probabilité d'erreur inférieure ou égale à 0,05. Un exemple pour le calcul de l'effectif est illustré en ANNEXE IV.

### b. Effectif $n$

L'effectif  $n$  généralise la taille réelle de la population, d'après l'estimation de Schnabel. L'effectif  $n$ , dans ce présent travail, est évalué suivant la longueur du ruisseau selon la méthode décrite par Jaeger (1994). L'effectif  $n$  est basé sur ce choix car la largeur varie entre 0,5 à 3 m d'autant plus que les deux espèces cibles ne vivent, typiquement, que près ou dans les ruisseaux.

$$n = \frac{\widehat{N}_S}{\text{longueur du ruisseau}}$$

$n$  : effectif de la population, pour faciliter l'interprétation la longueur du ruisseau est maintenue de 100 m

$\widehat{N}_S$  : effectif calculée selon Schnabel

### c. Taux de recapture

C'est le pourcentage ( $T_r$ ) des individus totalement recapturés (Eberhardt, 1969).

$$T_r = (n_T - n_c) * 100$$

$n_T$  : nombre d'individus totalement rencontrés

$n_c$  : nombre d'individus capturés

#### **d. Sex-ratio**

C'est le rapport entre le nombre de mâles sur le nombre de femelles.

$$\text{sex - ratio} = \frac{\text{effectif total observé mâle}}{\text{effectif total observé femelle}}$$

### **I.3.7. Paramètres physiques de l'habitat**

La description de l'habitat se fait le long du transect. Elle détermine la vitesse de l'eau et sa profondeur (Inger, 1994), la température de l'habitat. En outre, elle précise localisation de ce dernier, s'il s'agit d'un milieu forestier ou savane.

Les mêmes techniques que celles de Moisan & Pelletier (2008) ont été appliquées pour la mesure de la vitesse du courant, la profondeur de l'eau et le mode de collecte des données sur les roches.

#### **a. Température**

La température ambiante a été relevée à l'aide d'un thermomètre à minima et à maxima, chaque matin (6h 30mn) dans chaque site d'étude.

#### **b. Vitesse du courant**

La vitesse du courant est la vitesse à laquelle une masse d'eau se déplace. Elle est mesurée à l'aide du chronométrage d'un objet flottant (bouchon de liège) sur une distance de cinq mètres (mesuré par un décamètre). Le point de départ de l'objet flottant et l'arrivée sont marqués par deux fanions ou «*flags*». Le chronomètre est déclenché en même temps que la mise en place de l'objet flottant sur son point de départ jusqu'à son arrivée à 5 m. Trois mesures sont effectuées à des endroits représentatifs des points d'échantillonnage du ruisseau (vitesse moyenne, lente et rapide). L'unité de mesure est le m/s. Chaque mesure est répétée trois fois à chaque type de vitesse et la moyenne est déduite.

#### **c. Profondeur de l'eau**

Il s'agit de la mesure entre la surface externe et le fond d'un ruisseau à l'aide d'un bâton droit maintenu verticalement. L'évaluation se fait à l'aide d'un décamètre. Le fond doit être une roche enfouie et qui ne se déplace pas pour que la mesure ne soit biaisée. Trois prélèvements sont aussi effectués suivant l'endroit où la vitesse du courant a été chronométrée, ces endroits sont repérés par des «*flags*». La mesure de la vitesse du courant et la profondeur de l'eau sont effectuées à chaque descente dans ces mêmes endroits.

#### **d. Roche**

Les roches sont les principaux abris de ces animaux. Les roches prélevées sont catégorisées en cinq types selon leur grandeur. Deux diamètres (diagonales) le plus grand et le plus court passant par le milieu de ces roches sont mesurés à l'aide d'une règle graduée. Le nombre total, par type de roches, à chaque 100 m du ruisseau étudié est évalué. Le rang est attribué selon l'hétérogénéité, la grosseur et le nombre de la roche.

#### **I.3.8. Prise de photo**

L'appareil photo utilisé est un appareil photo numérique (14 mégapixels). Des clichés représentant des vues dorsales, latérales et ventrales ont été recueillis à chaque prise de photo d'un individu.

A titre de remarque, les différentes informations collectées lors des descentes et suivis ont été transcrites sur un carnet de note. Le modèle de l'agencement des données peut être consulté en ANNEXE III.

#### **I.3.9. Analyses statistiques des données**

Toutes les données collectées sont agencées sur Microsoft Excel 2007, en utilisant, selon le type d'analyse, les logiciels XLSTAT 7.0 et SPSS 19 IBM, sous Windows 7.

##### **a. Test de normalité des données de Shapiro-Wilk**

Le test de normalité des données est primordial avant chaque test, afin de garantir si l'analyse envisagée est réellement adéquate ou non, selon l'homogénéité et la distribution des données, mais surtout pour éviter des erreurs d'interprétation des résultats. Le test de Shapiro-Wilk est un test de description de données. La distribution suit la loi normale, lorsque la probabilité calculée est supérieure à  $\alpha = 0,05$  ; dans le cas contraire (la probabilité calculée est inférieure à alpha), on aura une distribution qui ne suit pas la loi normale et on procède à des rangs des données.

##### **b. Tests de comparaison**

Le test de  $X^2$  est utilisé pour déterminer si les résultats prévus sont vérifiés par une expérimentation (Bouyer, 1996). Deux autres tests ont été employés suivant la distribution des données. Dans le cas où il s'agit de données paramétriques c'est le test  $t$  de Student qui est pratiqué pour la comparaison (cas des *Boophis williamsi*). Si les données sont non paramétriques, le test de Mann Whitney est utilisé (cas des *Mantidactylus pauliani*). Ces deux

tests sont utilisés, dans la présente étude, pour comparer la taille du mâle avec celle des femelles.

### ☞ Test ***t*** de student

C'est un test paramétrique utilisé pour comparer les moyennes de deux séries de données (Sokal & Rohlf, 1981). Dans cette étude, les hypothèses sont :

L'hypothèse nulle ou  $H_0$  : il n'y a pas de différence de taille entre les mâles et les femelles ;

L'hypothèse alternative ou  $H_1$  : stipule qu'il existe une différence de taille entre ces deux entités.

### ☞ Test de Mann-Whitney

Le test de Mann-Whitney est un test non paramétrique à deux échantillons indépendants (Sokal & Rohlf, 1981).

$H_0$  : les valeurs de la taille du mâle sont toujours égales à celle des femelles ( $p > 0,05$ ) ; Dans le cas contraire,  $H_1$  est soutenu qu'il y a une différence significative et que la taille du mâle est donc différente de la taille des femelles ( $p < 0,05$ ).

### ☞ **$X^2$**

Dans cette étude, le test de  $X^2$  est employé pour vérifier l'évolution de l'effectif  $\widehat{N}_S$  et du sex-ratio au cours du temps et dans l'espace.

$H_0$  : la distribution quantitative des espèces est identique entre les variables étudiés ( $p > 0,05$ ). L'hypothèse alternative  $H_1$  : dit qu'il y a une différence significative entre la distribution quantitative et les variables. ( $p < 0,05$ ).

Pour  $X^2$  table, le degré de liberté ( $ddl$ ) est calculé d'après la formule :

$$ddl = (l - 1)(c - 1)$$

$l$  : nombre de ligne

$c$  : nombre de colonne

Le test  $X^2$  n'est valide que si tous les  $C_i > 5$ . Le test corrigé de Yates est utilisé quand : au moins un des  $C_i < 5$  et tous les  $C_i \geq 3$  ; et le test exact de Fisher lorsque l'un des  $C_i \leq 3$ .

### c. Tests de corrélations de Pearson

C'est un test paramétrique qui est utilisé pour analyser la relation entre deux variables ( $x, y$ ) sur le même sujet (Sokal & Rohlf, 1981). Il est utilisé pour cette étude pour connaître l'influence de la température, la vitesse et la profondeur de l'eau, avec le nombre d'individus recensés.

La corrélation de Pearson  $r$  varie de +1 à -1. Une corrélation de +1 signifie qu'il existe une relation linéaire positive parfaite entre les variables et une corrélation de -1 signifie qu'il y a une parfaite relation linéaire négative entre les variables.

$r^2$  indique le pourcentage de variations du nombre des individus recensés qui pourrait être expliquées par celles de la température, vitesse du courant et la profondeur de l'eau.

L'hypothèse nulle stipule que le nombre d'amphibiens recensés n'ont aucune corrélation avec la température d'abord, puis la vitesse et enfin la profondeur de l'eau. L'hypothèse  $H1$  stipule qu'il y a corrélation entre ces deux variables (testé deux par deux).

### III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

#### III.1. Effort d'échantillonnage en fonction de la période de capture

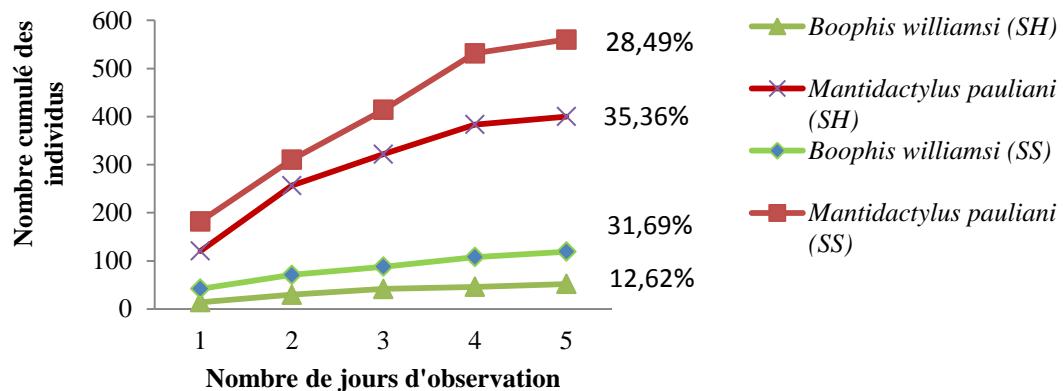


Figure 7 : Courbes cumulatives des individus capturés suivant la saison

SH : saison humide ; SS : saison sèche ; % : Taux de recapture

La Figure 7 montre l'efficacité de l'échantillonnage évaluée en pourcentage (taux de recapture). L'allure générale des quatre courbes a tendance à se mettre à l'horizontale à partir des quatrièmes jours, alors que les taux de recapture sont tous encore inférieurs à 50%.

#### III.2. Diagnose et description morphologique

##### III.2.1. *Boophis williamsi*

###### a. Diagnose

*Boophis williamsi* reconnaissable par la peau dorsale de couleur marron sombre teintée d'orange doré, plus claire ventralement ; pupille noire ovoïde horizontale ; disques terminaux de l'extrémité des doigts semi-circulaires ; présence de calotte nuptiale ; absence de glande fémorale ; taille (SVL) des adultes 36,1-47,5 mm ( $n = 75$ ).

###### b. Morphométrie

Le test  $t$  de student est utilisé pour la comparaison de la taille du mâle et de la femelle.

Tableau III : Tableau de comparaison de la taille (SVL) et largeur de la tête (HW) du mâle et de la femelle de *B. williamsi*

Mesure	Mâle	Femelle	$t$	$ddl$	$p$
SVL	$38,6 \pm 1,47$ ( $n = 36$ )	$42 \pm 2,74$ ( $n = 39$ )	1,993	73	< 0,0001
HW	$11 \pm 1$ ( $n = 36$ )	$12,2 \pm 0,9$ ( $n = 39$ )	1,993	73	< 0,0001

SVL : longueur tête corps

$t$  : valeur de  $t$  de Student

$p$  : probabilité calculée

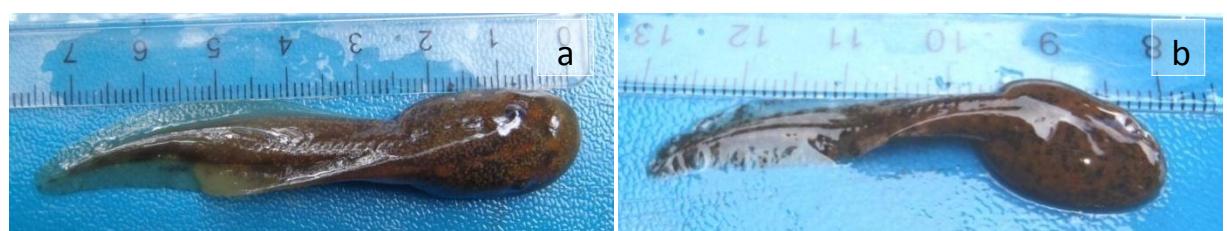
HW : largeur de la tête

$ddl$  : dégrée de liberté

La tête mesure  $12,2 \pm 0,9$  mm chez la femelle et  $11 \pm 0,9$  mm chez le mâle. La différence des moyennes est significative, la tête du mâle est plus petite que celle de la femelle (Tableau III). La taille de *B. williamsi* est de  $42 \pm 2,7$  mm ( $n = 39$ ) pour la femelle et de  $38,64 \pm 1,47$  mm ( $n = 36$ ) pour le mâle. D'après la comparaison de moyenne selon le test *t* de Student, la différence est significative, la taille du mâle est plus petite que celle de la femelle.



**Figure 8 : Adulte *B. williamsi* (a et c): femelle ; (b et d) : mâle ; (a-b) vue dorsale, (c-d) vue ventrale** (Photos : Serge Rakotononely, 2011)



**Figure 9 : Têtard : a - *B. williamsi*, b - *M. pauliani* ; vue de dos**  
(Photos : Serge Rakotononely, 2011)

### a. Description morphologique

Par la couleur marron sombre teintée d'orange doré du dos et pattes, *Boophis williamsi* est difficile à distinguer avec les feuilles mortes. La face ventrale est blanche. La peau présente des rangées de taches punctiformes le long du dos, plus accentuées chez le mâle (Figure 8). La pupille est noire, de forme ovoïde horizontale. L'iris est de couleur dorée. Les disques terminaux sont semi-circulaires (Figure 3, page 7). Le mâle présente des calottes nuptiales à la base du pouce (Figure 8d). Les têtards sont faciles à distinguer par la présence de petites taches punctiformes de teinte orange dorée (Figure 9a).

#### III.1.2. *Mantidactylus pauliani*

##### a. Diagnose

*Mantidactylus pauliani* se distingue par la peau dorsale de couleur brune ponctuée de taches noires ; côté ventral plus claire ; pupille noire trilobée ; iris doré cristallisé ; disque terminal à l'extrémité des doigts peu développé ; présence de glandes fémorales ; absence de calotte nuptiale ; pointe du museau arrondie ; taille des adultes (SVL) entre 24-37,1 mm ( $n = 1412$ ).

##### b. Morphométrie

Les données de la mensuration pour *M. pauliani* n'est pas normale d'après le test de Shapiro-Wilk. Ainsi, le test de Mann-Whitney est employé pour la comparaison de la taille et de la largeur de la tête, entre mâle et femelle. Pour la taille, le mâle est de  $29 \pm 3,4$  mm ( $n = 889$ ) et la femelle est de  $30,5 \pm 3,05$  mm ( $n = 523$ ). D'après le test de Mann-Whitney (Tableau IV), la différence est significative, les femelles sont beaucoup plus grandes que les mâles.

**Tableau IV : Tableau de comparaison de la taille (SVL) et largeur de la tête (HW) du mâle et de la femelle de *M. pauliani*.** Médiane (Interquartile) et  $n$  nombre d'individus

	<b>Mâle</b>	<b>Femelle</b>	<b><i>U</i></b>	<b><i>p</i></b>
<b>SVL</b>	29,1 (5,9) ( $n = 889$ )	30,9 (4,3) ( $n = 523$ )	176205	< 0,0001
<b>HW</b>	9,9 (2,6) ( $n = 889$ )	9,5 (1,3) ( $n = 523$ )	264306	< 0,0001

SVL : longueur tête corps

*U* : variable de Mann Whitney

HW : largeur de la tête

*p* : probabilité

La largeur de la tête pour le mâle est de  $9,79 \pm 1,6$  mm ( $n = 889$ ) et celle de la femelle est de  $9,41 \pm 1,24$  mm ( $n = 523$ ). D'après le test de Mann-Whitney (Tableau IV) la variation est significative, autrement dit, la largeur de la tête du mâle est beaucoup plus grande que celle de la femelle.



**Figure 10 : *M. pauliani* adulte ; (b et d) : mâle, (a et c) femelle ; (a-b) : vue dorsale, (c-d) : vue ventrale**  
 (Photos : Serge Rakotononely, 2011)



**Figure 11 Photo de l'œil de *M. pauliani* vue de profil**  
 (Photo : Serge Rakotononely, 2011)

### c. Description morphologique

La peau dorsale, de couleur brunâtre tachetée de noires punctiformes, présente des granulations irrégulières pour les deux sexes. La teinte est plus claire au niveau ventral. L'œil est globuleux cristallisé, la pupille est noire trilobée et l'iris est doré avec de petites taches noires (Figure 8). Le museau est légèrement arrondi. Les disques terminaux de l'extrémité des doigts sont peu développés. Le mâle a des glandes fémorales arrondies développées à la base des cuisses (Figure 10d). Le têtard de *M. pauliani* se rapproche de celui de *Mantidactylus* aff. *curtus* « Ankaratra », par sa couleur brune sombre ponctuée de taches noires mais il en diffère par la forme du museau : le museau des *M. pauliani* étant arrondi, tandis que celui des *M. aff. curtus* « Ankaratra » est beaucoup plus pointu.

### III.2. Variation temporelle et altitudinale de l'effectif *n*

Pour vérifier la première hypothèse stipulant que ces deux espèces dépendent de l'altitude et ne peuvent vivre qu'au-dessus de 2000 m, il est nécessaire de connaître les effectifs calculés selon Schnabel ainsi que l'effectif total *n* des deux espèces en vue de suivre leur évolution au cours du temps et selon le gradient altitudinal, tout ceci durant toute l'étude du mois de juin au décembre.

#### III.2.1. Effectif totale *n* dans leurs habitats naturels

Le mode de calcul de l'effectif selon la méthode de Schnabel est consultable en ANNEXE IV.

**Tableau V : Effectif calculé  $\hat{N}_S$  des adultes matures selon la méthode de Schnabel sur toutes les longueurs des ruisseaux**

	$\hat{N}_S$ Saison sèche		$\hat{N}_S$ Saison humide		Moyenne sur 400 m de ruisseau
	juin	août	novembre	décembre	
<i>Boophis williamsi</i>	14 [12-50]	31 [17-165]	66 [40-195]	7 [4-11]	29 [27-117]
Total sur 400 m de transect	23 [15-180]		36 [24-53]		
<i>Mantidactylus pauliani</i>	579 [419-758]	1273 [1238-2845]	1006 [1112-1464]	715 [493-1185]	898 [816-1564]
Total sur 400 m de transect	936 [829-1802]		860 [803-1325]		

$\hat{N}_S$  : effectif calculé selon la méthode de Schnabel ;  
[ ] : Intervalle de confiance *IC*, à  $\alpha = 0,05$

Les intervalles de confiance (*IC*) sont d'autant plus éloignés de la valeur des effectifs calculés, lorsque le taux de recapture est faible (de l'ordre de 0 à 1 individu recapturé par jour).

Seuls les transects : T3, T4, T5, T6 ont montré la présence des deux espèces. Cette zone est limitée à 2,8 km<sup>2</sup> entre l'intervalle d'altitude allant de 2000 m à 2400 m durant la présente étude. La carte est consultable sur la Figure 1, page 4. La longueur totale de ces transects sont : 100 m + 100 m + 100 m + 100 m = 400 m.

L'effectif générale des adultes matures est de 29 individus/400 m de ruisseau avec IC : [27-117] pour *Boophis williamsi*, soit : 7 individus sur 100 m de ruisseaux, IC : [6-29].

Quant à *Mantidactylus pauliani*, l'effectif générale des adultes matures est de 898 individus/400 m de ruisseau, IC : [816-1564], soit 224 individus sur 100m de ruisseau avec IC : [204-391].

### III.2.2. Variation de l'effectif des deux espèces sur 100 m de ruisseau pour chaque mois d'observation

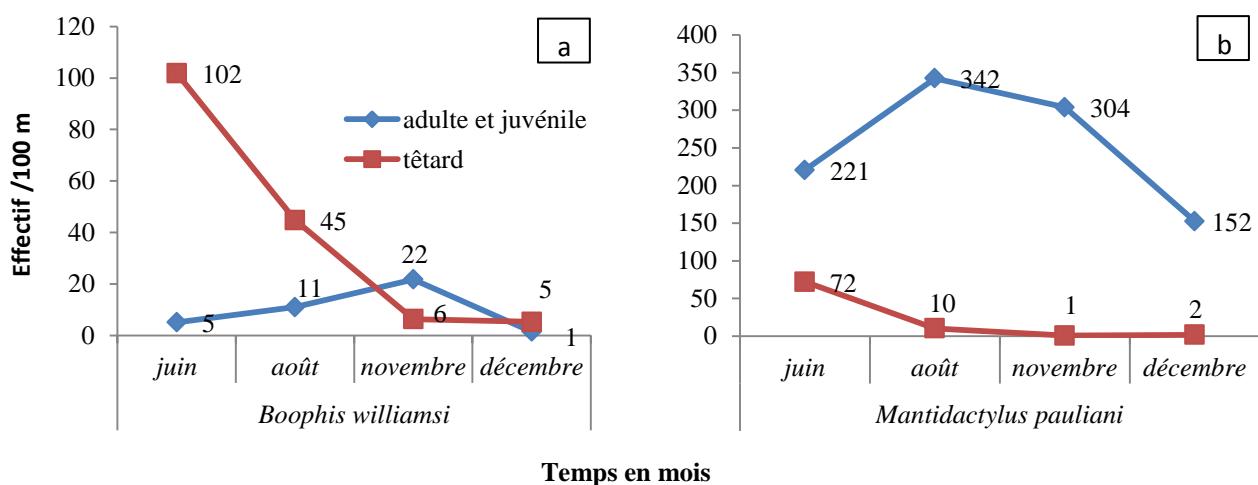


Figure 12 : Variation de l'effectif des adultes-juvéniles et têtards sur 100m de ruisseau pour les deux espèces *B. williamsi* (a) et *M. pauliani* (b) en fonction du temps

Avec le même effort, le nombre d'individus rencontrés à chaque session de capture de *Boophis williamsi* est inférieur à celui de *Mantidactylus pauliani*. D'après le test de Mann-Whitney ( $U = 102, p < 0,0001$ ), la variation est significative.

Concernant l'évolution de l'effectif sur 100 m de ruisseau, le maximum pour les adultes-juvéniles est de 22 individus (novembre), et le minimum est de 1 individu en décembre pour *Boophis williamsi*. L'effectif des têtards diminue en fonction de la période de descente (Figure 12). Dans le cas de *Mantidactylus pauliani*, le maximum se situe au mois d'août : il est de 342 individus pour les adultes-juvéniles, tandis que le minimum est de 152 individus en décembre. Les têtards oscillent de 1 (novembre) à 72 (juin) individus.

### III.2.3. Variation de l'effectif en fonction du gradient altitudinal et suivant les saisons

#### a. Adultes et juvéniles

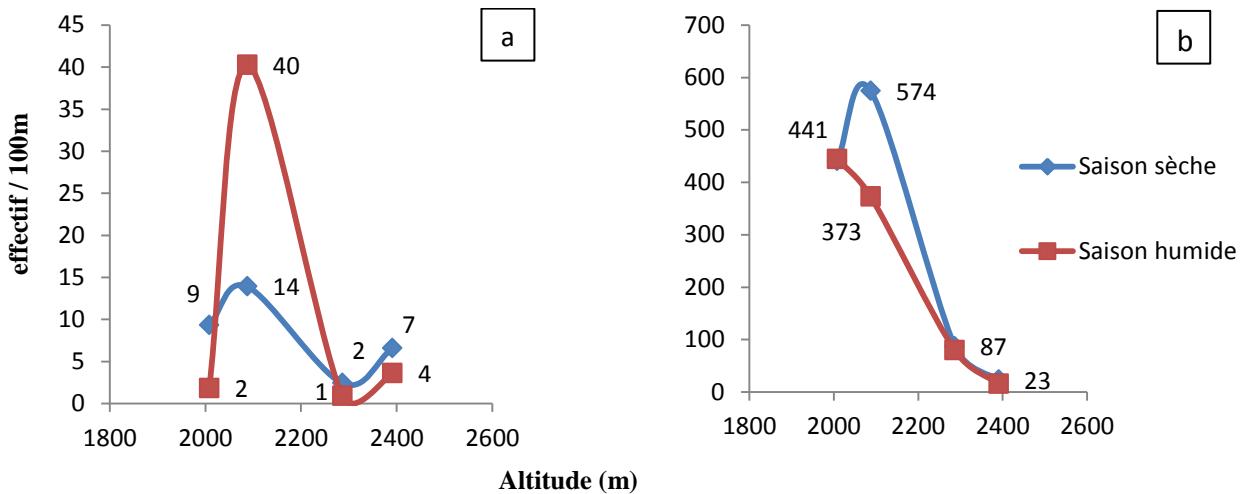


Figure 13 : Variation de l'effectif des adultes-juvéniles en fonction de l'altitude et de la saison  
 (a) *B. williamsi*, (b) *M. pauliani*

Les deux espèces ne se rencontrent qu'entre 2000 m à 2400 m d'altitudes. Leur préférendum altitudinal est entre 2002-2200 m. L'optimum est 2100 m d'altitude avec 14 individus adultes et juvéniles pour *Boophis williamsi* et 574 pour *Mantidactylus pauliani* durant la saison sèche. Par contre en saison humide : 40 adultes et juvéniles pour *B. williamsi* et 441 à 2002 m pour *M. pauliani*.

L'amplitude générale de l'effectif des adultes et des juvéniles varie d'une saison à l'autre : elle est élevée à la saison humide pour *Boophis williamsi*, tandis que c'est l'inverse pour *Mantidactylus pauliani* (Figure 13).

Tableau VI : Tableau du test  $X^2$  de l'effectif des adultes et juvéniles suivant l'altitude et la saison

Adultes et juvéniles	<i>Boophis williamsi</i>			<i>Mantidactylus pauliani</i>		
	Altitude	sèche	humide	Total	sèche	humide
2008 <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	9 (5)	2 (7)	11	441 (489)	444 (396)	885
2088 <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	14 (22)	40 (32)	54	87 (92)	80 (75)	167
2286 <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	2 (1)	1 (2)	3	574 (523)	373 (424)	947
2391 <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	7 (4)	4 (6)	10	23 (22)	16 (17)	39
Total	32	46	79	1126	912	2038

*Oi* : effectif observé, *Ci* : effectif calculé, *ddl* = 3

*Boophis williamsi*,  $X^2 = 17,43$  (test exact de Fischer),  $p = 0,01 < 0,05$

*Mantidactylus pauliani*  $X^2 = 22,67$  et  $p = 0,0001 < 0,05$

La variation des effectifs suivant la saison dépend de l'altitude pour les deux espèces.

## b. têtards

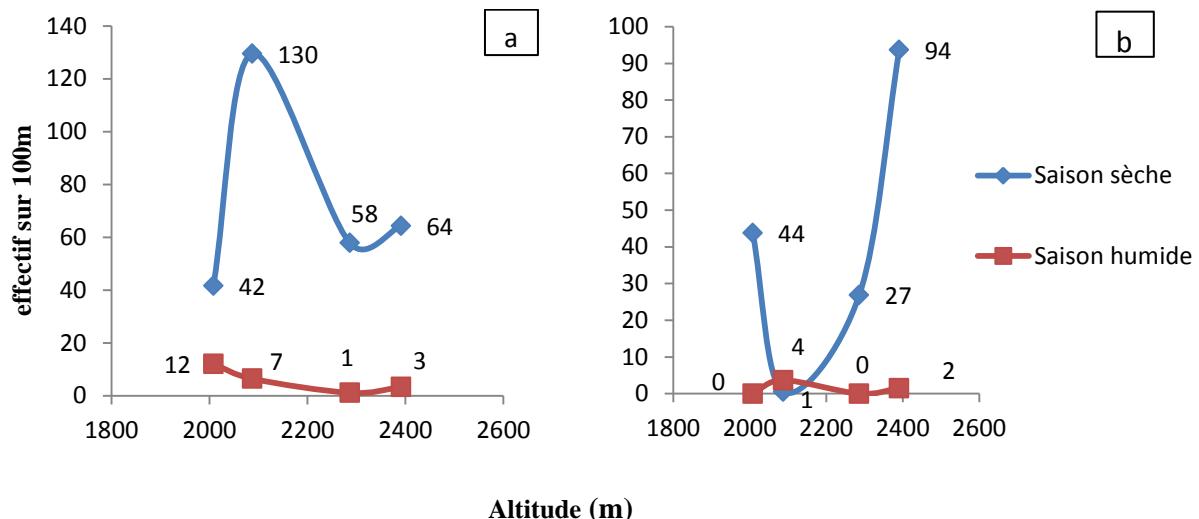


Figure 14 : Variation de l'effectif des têtards en fonction de l'altitude et de la saison  
(a) *B. williamsi*, (b) *M. pauliani*

têtards de *Boophis williamsi* préfèrent le gradient d'altitude comprise entre 2002-2200 m avec un optimum de 130 individus au cours de la saison sèche et 12 individus pour la saison humide (Figure 14).

Les têtards de *Mantidactylus pauliani* ont deux préférendums qui sont les 2002 m (44 individus) et 2395 m (94 individus) en saison sèche. En ce qui concerne la saison humide, le maximum n'est plus que quatre individus à 2088 m.

L'allure générale des courbes montre que l'effectif dans la saison humide a de faible amplitude que dans la saison sèche pour les deux espèces (Figure 14).

Tableau VII : Tableau du test  $X^2$  de la variation de l'effectif  $n$  des têtards pour chaque saison et en fonction de l'altitude

Têtard	<i>Boophis williamsi</i>			<i>Mantidactylus pauliani</i>		
	Altitude	sèche	humide	Total	sèche	humide
2008 <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	42 (50)	12 (4)	54	44 (42)	0 (1)	44
2088 <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	130 (126)	7 (10)	136	1 (4)	4 (0)	4
2287 <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	58 (55)	1 (4)	59	27 (26)	0 (1)	27
2391 <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	64 (63)	3 (5)	68	94 (92)	2 (3)	95
Total	293	23	316	165	5	170

*Oi* : effectif observé ; *Ci* : effectif calculé ; *ddl* = 3

$X^2 = 22,7$  (test corrigé de Yates) et  $p = 0,0001 << 0,05$  Pour *Boophis williamsi*

$X^2 = 104,98$  (Test exact de Fisher) et  $p = 0,0001 << 0,05$  pour *Mantidactylus pauliani*

L

es

Le test  $X^2$  est significatif pour les deux espèces. La variation des effectifs suivant la saison dépend de l'altitude.

Les résultats ci-dessus confirment la première l'hypothèse stipulant que ces deux espèces dépendent réellement d'un certain niveau d'altitude, qui sont à partir de 2002 m à 2395 m. En dehors de ces limites elles sont absentes.

### III.3. Analyse écologique

Ce volet sert à vérifier la deuxième hypothèse stipulant que ces deux espèces dépendent d'habitats spécifiques pour survivre. Il permet de savoir quelles sont les préférences écologiques de chaque classe d'âges. La démarche suivante est adoptée pour cette présentation : une première partie sert à évoquer l'évolution structurale de la population dans son habitat naturel selon la saison. Une seconde partie traite des préférendums, selon les paramètres physiques de l'habitat.

#### III.3.1. Structure et évolution de la population selon la saison et le type d'habitats

##### a. Variation de l'effectif de chaque classe d'âges suivant la saison

L'agencement des données est consultable en ANNEXE VII.

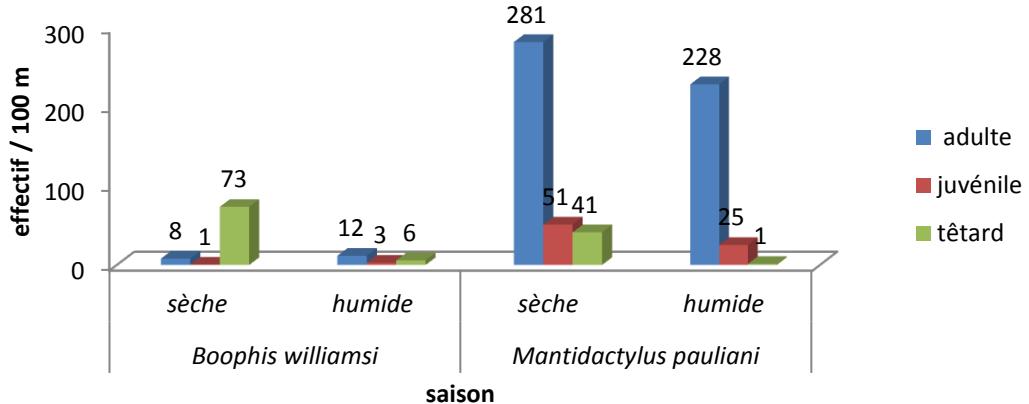


Figure 15 : Variation des effectifs de chaque classe d'âges suivant la saison

Pour *Boophis williamsi*, les têtards prédominent sur les adultes et juvéniles (73 individus contre 8 et 1 individus) en saison sèche. C'est l'inverse en saison humide (6 têtards contre 12 et 3 individus). Pour *Mantidactylus pauliani*, ce sont les adultes (281-228) qui sont les plus nombreux, puis les juvéniles (51-25). Ces résultats sont confirmés par le test  $X^2$  dans le Tableau VIII. L'allure générale des effectifs de chaque sexe et de chaque classe d'âges diminue de la saison sèche à la saison humide pour les deux espèces.

Tableau VIII : Tableau du test  $X^2$  de l'effectif de toutes les classes d'âges

Classe d'âges	<i>Boophis williamsi</i>			<i>Mantidactylus pauliani</i>		
	sèche	humide	Total	sèche	humide	Total
Adulte <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	8 (16)	12 (4)	20	281 (303)	228 (207)	510
Juvénile <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	1 (1)	3 (1)	3	51 (44)	25 (33)	76
Têtard <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	73 (65)	6 (15)	79	41 (24)	1 (18)	43
Total	79	18	97	324	241	566

*Oi* : effectif observé sur 100 m de ruisseau ;

*Ci* : effectif calculé

*ddl* = 1

$X^2 = 35,433$  (test exact de Fisher)  $p < 0,0001 << 0,05$  pour *B. williamsi*

$X^2 = 30,298$   $p < 0,0001 << 0,05$  pour *M. pauliani*,

Les variations sont donc significatives, autrement dit : il y a dépendance entre les effectifs de chaque classe d'âges et la saison. C'est-à-dire que la structure de population varie réellement en fonction de la saison pour les deux espèces.

### b. Variation de l'effectif de chaque classe d'âges selon le type d'habitat

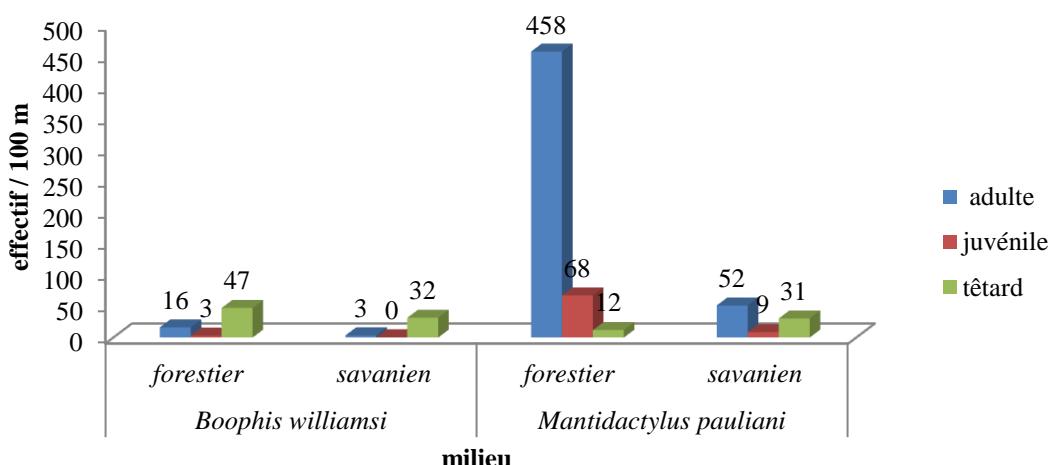


Figure 16 : variation de la structure de population selon le type d'habitat

Une affinité en milieu forestier est notée pour chaque classe d'âges des deux espèces. Sauf pour le cas du têtard de *Mantidactylus pauliani*, celui-ci a une préférendum en milieu savanien (31 individus savanien contre 12 individus forestier) confirmé par le test  $X^2$  (Tableau IX) qui est significatif d'où la variation de l'effectif de chaque classe d'âges dépend réellement du type d'habitat. Le test  $X^2$  est non significatif pour *Boophis williamsi*, ce qui veut dire que la variation de l'effectif de chaque classe d'âges est indépendante du milieu et se fait au hasard.

**Tableau IX : Tableau du test de  $X^2$  de la variation de chaque classe d'âges selon le type d'habitat**

Classe d'âges	<i>Boophis williamsi</i>			<i>Mantidactylus pauliani</i>		
	forestier	savane	Total	forestier	savane	Total
Adulte <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	16 (13)	3 (7)	20	458 (436)	52 (74)	510
Juvénile <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	3 (2)	0 (1)	3	68 (65)	9 (11)	76
Têtard <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	47 (52)	32 (27)	79	12 (36)	31 (6)	43
Total	67	35	102	538	91	628

*Oi* : effectif observé sur 100 m de ruisseau ;

*Ci* : effectif calculé

*ddl* = 1

$X^2 = 4,592$  (test exact de Fisher)  $p = 0,101 > 0,05$  pour *B. williamsi*

$X^2 = 121,541$   $p < 0,0001 << 0,05$  pour *M. pauliani*

### c. Evolution du sex-ratio

#### ◆ Cas des *Boophis williamsi*

Pour cette espèce, il existe des valeurs de la colonne  $Ci \leq 3$  le test de Fisher est donc utilisé.

**Tableau X : Variation des effectifs du mâle et de la femelle en fonction de la saison**

	juin	août	novembre	décembre	Total
mâle <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	1 (1,51)	3 (3,22)	9 (8,07)	1 (0,89)	14
femelle <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	2 (1,81)	4 (3,84)	9 (9,63)	1 (1,06)	16
Total	3	7	18	2	30
SR	1 : 2	3 : 4	1	1	7 : 8

*Oi* : effectif observé sur 100 m de ruisseau ;

*Ci* : effectif calculé ;

*ddl* = 3

SR : sex-ratio

$X^2 = 0,63$  (de Fisher) avec  $p = 0,89 > 0,05$  ; variation non significative

L'hypothèse  $H_0$  stipulant qu'il n'y a pas de variation de l'effectif du mâle et de la femelle au cours des mois d'études est soutenu. Autrement dit, le sex-ratio (SR) est invariant au cours des différentes saisons, on aura donc  $SR = 7 : 8$ .

**Tableau XI : Variation des effectifs du mâle et de la femelle selon le type d'habitat et de l'altitude**

	T4 (2287 m)	T5 (2088 m)	T3 (2008 m)	T6 (2391 m)	Total
mâle <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	1 (0,72)	10 (9,32)	2 (1,61)	2 (2,02)	14
femelle <i>Oi</i> ( <i>Ci</i> )	1 (0,86)	11 (11,12)	2 (1,92)	3 (2,42)	16
Total	2	20	4	4	30
SR	1	10 : 11	1	2 : 3	7 : 8

*Oi* : effectif observé sur 100 m de ruisseau ;

*Ci* : effectif calculé ;

*ddl* = 3

SR : sex-ratio

$X^2 = 0,35$  avec  $p = 0,95 > 0,05$  ; variation non significative

$H_0$  est donc soutenu, il n'y a pas de variation de l'effectif du mâle et de la femelle, ni dans les différents types d'habitats, ni dans différentes altitudes (comprise entre 2000m à 2400m). Le sex-ratio est alors  $SR = 7 : 8$ .

## Cas des *Mantidactylus pauliani*

Tableau XII : Variation du sex-ratio en fonction de la saison

	juin	août	novembre	décembre	Total
mâles $Oi (Ci)$	105 (86,31)	173 (185,96)	169 (158,55)	77 (93,30)	524
femelles $Oi (Ci)$	43 (60,94)	144 (131,30)	101 (111,94)	82 (65,87)	370
Total	147	317	270	159	894
SR	3 : 1	2 : 1	2 : 1	1	-

$Oi$  : effectif observé sur 100 m de ruisseau ;  $Ci$  : effectif calculé ;  $ddl = 3$   
 $X^2 = 19,97$  et la probabilité  $p < 0,0001 < 0,05$  variation hautement significative

SR : sex-ratio

L'hypothèse  $H_0$  stipulant qu'il n'y a pas de variation des effectifs du mâle et de la femelle au cours des différentes saisons est donc rejetée. Ce qui veut dire que le sex-ratio varie d'un mois à l'autre en fonction de l'effectif. Le sex-ratio pour le mois de juin est donc 105 : 43 et 43 : 36 pour le mois d'août, tandis que 34 : 54 au mois de novembre et 39 : 41 au décembre. Le sex-ratio est en faveur du mâle pour la totalité de l'étude.

Tableau XIII : Variation du sex-ratio en fonction de l'habitat et de l'altitude

	T4 (2287 m)	T5 (2088 m)	T3 (2008 m)	T6 (2391 m)	Total
mâles $Oi (Ci)$	45 (34,25)	221 (240,95)	254 (237,95)	5 (10,98)	524
femelles $Oi (Ci)$	14 (24,18)	190 (170,12)	152 (168)	14 (7,76)	370
Total	58	411	406	19	894
SR	3 : 1	3 : 1	2 : 1	1 : 3	-

$Oi$  : effectif observé sur 100m de ruisseau;  $Ci$  : effectif calculé ;  $ddl = 3$   
 $X^2 = 23,21$  et la probabilité  $p < 0,0001 < 0,05$  la variation est hautement significative

$H_0$  rejeté, ce qui signifie qu'il y a vraiment une variation significative du sex-ratio en fonction de l'effectif suivant les habitats et altitudes (Figure 17). Il y a plus de mâles que de femelles sauf au T6 (2391 m) (Figure 18).

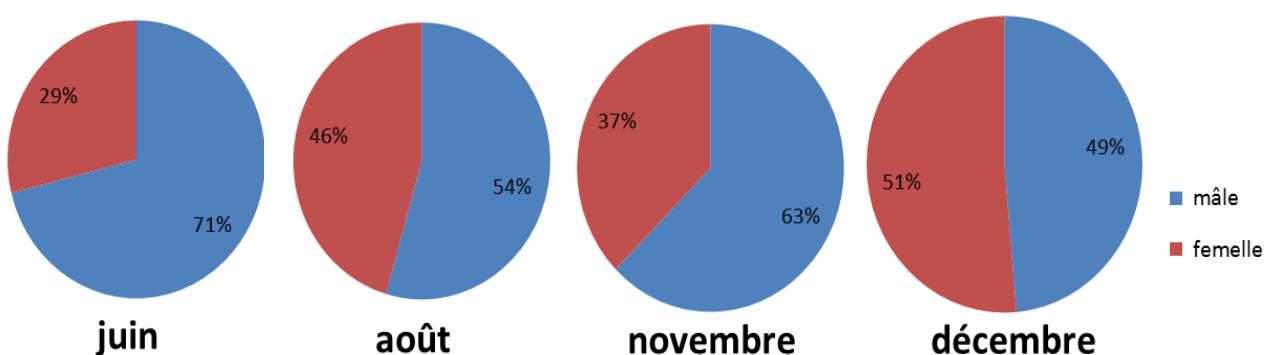


Figure 17 : L'évolution du Sex-ratio en fonction de la saison de *M. pauliani*

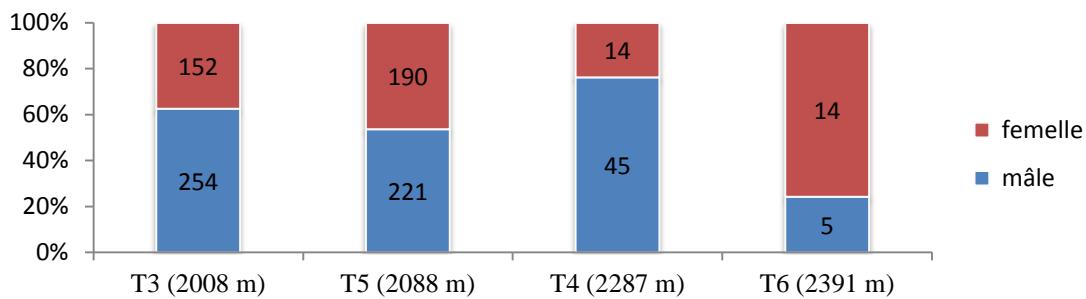


Figure 18 : Evolution du sex-ratio en fonction de l'habitat et de l'altitude de *M. pauliani*

### III.3.2. Analyse du préférendum en microhabitats

Cette analyse permet d'expliquer les préférendums en microhabitats des deux espèces suivant les paramètres physiques de l'habitat (température, vitesse et profondeur de l'eau). Pour le roche, les différents types sur 100 m de ruisseau sont notés en ANNEXE VI.

#### a. Variation de l'abondance de l'espèce sous l'influence de la Température

Le nombre total des individus est de  $n = 92$  pour *B. williamsi* et  $n = 1746$  pour *M. pauliani*.

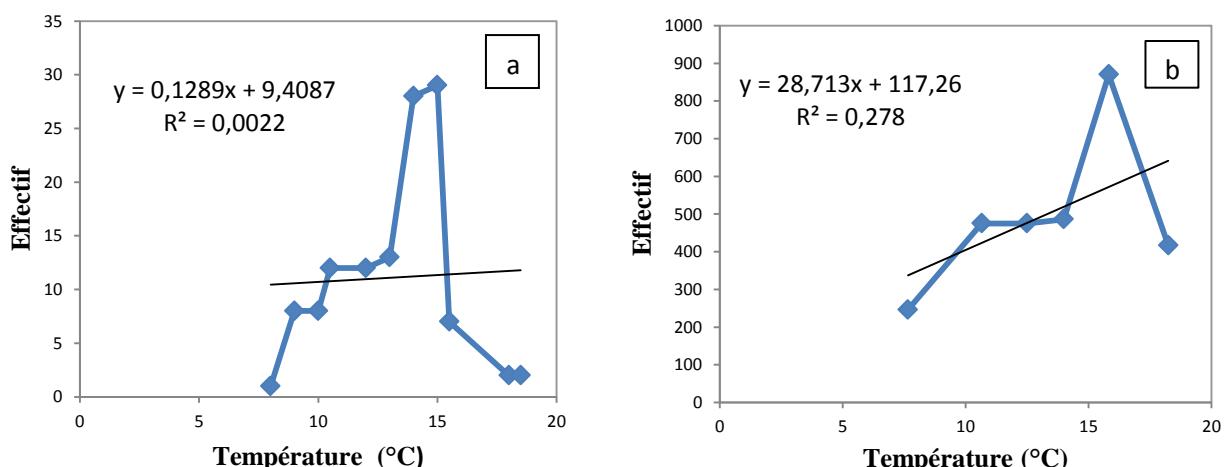


Figure 19 : Courbe représentative de l'affinité en température de tous les individus capturés et recapturés durant toute l'étude des *B. williamsi* (a) et les *M. pauliani* (b)

Les relevés de la température journalière durant toute l'étude sont ANNEXE I.

#### ➡ *Boophis williamsi*

La Figure 19a montre un pic où le nombre d'individus recensés est maximum (29 individus) à une température de 15°C, avec une fourchette de température aux environs de 10,5 à 15,1°C. Cependant, la valeur de  $p = 0,890$  montre que la relation entre la température et l'effectif est non significative, avec seulement 2% ( $R^2 = 0,002$ ) de la variation du nombre d'individus recensés sont expliquées par celles des températures.

### ⌚ *Mantidactylus pauliani* (Figure 19b)

Le coefficient de corrélation de Pearson  $R = 0,527$  est positif, donc il existe une relation positive entre les deux variables comparées. L'allure de la droite avec  $a = 28,71$  révèle que l'effectif augmente au fur et à mesure que la température augmente. Mais  $p = 0,282$  montre que la relation entre l'effectif et la température est non significative, avec  $R^2 = 0,278$  implique que 27,8% des variations des effectifs sont expliquées par celles des températures. Néanmoins la préférendum pour *M. pauliani* est de 14 à 18°C où il y a le plus d'effectif d'après la Figure 19b. Le pic est à 15,8°C, dans lequel le maximum d'individus recensés durant l'étude, de juin à décembre est de 870 individus.

### b. Analyse par section de 10 m et affinité de l'espèce vis à vis de la profondeur et de la vitesse de l'eau

Cette analyse va permettre de trouver quelle section présente le plus d'individus et de voir quels sont les facteurs en jeu dans cette préférence de section pour chaque ruisseau. (Pour l'agencement des données cf. ANNEXE IX).

### ⌚ *Boophis williamsi*

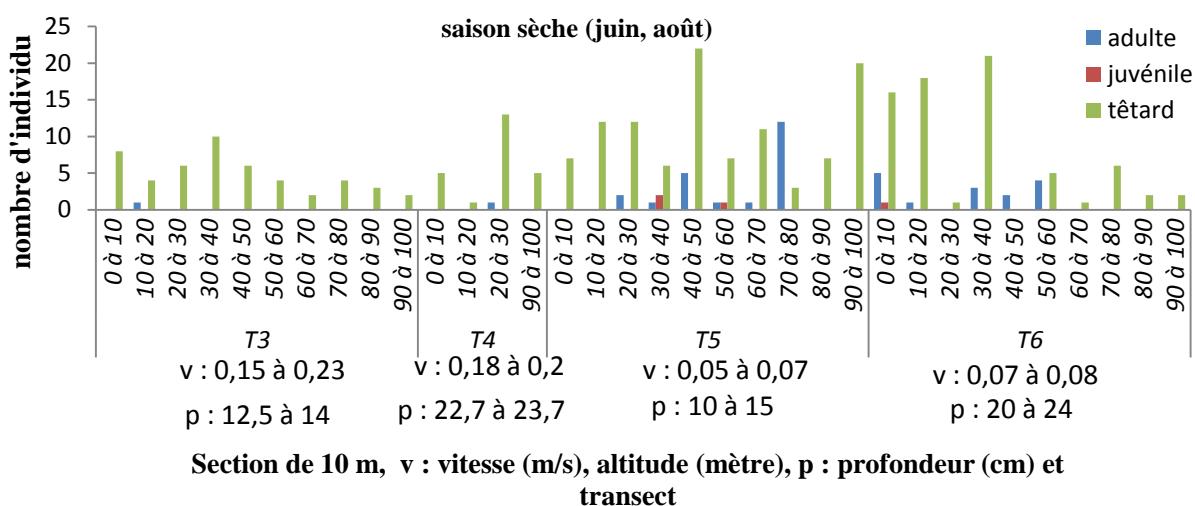


Figure 20 : Variation de l'effectif sur section de 10 m durant la saison sèche de *B. williamsi*

Les têtards sont dominants pour la majorité des transects (Figure 20). Les sections comme 30 à 70 de T4 est sec, donc il n'y a aucun individu en période de saison sèche (exemple milieu asséché cf. ANNEXE X). Les adultes et les juvéniles ne se trouvent qu'à un certain endroit dans chaque ruisseau. De ce fait, la distribution de chaque classe d'âges est irrégulière.

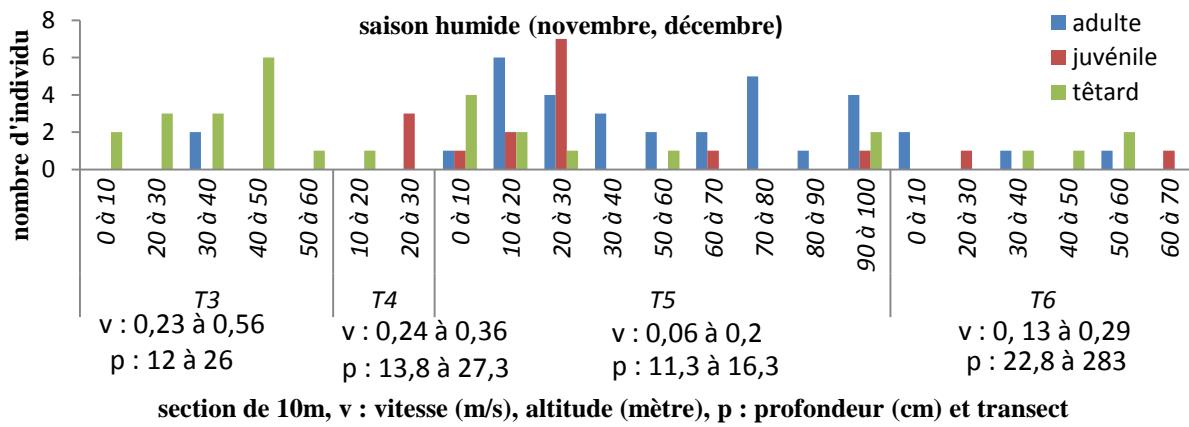


Figure 21 : Variation de l'effectif sur section de 10 m pendant la saison humide de *B. williamsi*

En saison humide (Figure 21), la dominance des têtards est notée : 1 à 6 têtards contre 1 à 3 adultes-juvéniles. A Maharavana (T5 ; 2088 m) les adultes et les juvéniles y dominent sur toutes les sections (1 à 7 adultes-juvéniles sur 1 à 4 têtards). La distribution de chaque classe d'âges est donc plus ou moins irrégulière à chaque ruisseau, l'absence d'individus à certaines sections est notée (ex : à T3 de 70 à 100 et T5 : 40 à 50) d'une part, et une présence d'une seule classe d'âges, d'autre part (ex : seul les têtards existe pour la majorité des transects). Sur le transect T4, l'eau ne coule qu'en décembre pour les sections de 40 à 70 m, d'où absence d'individus.

#### - Profondeur de l'eau

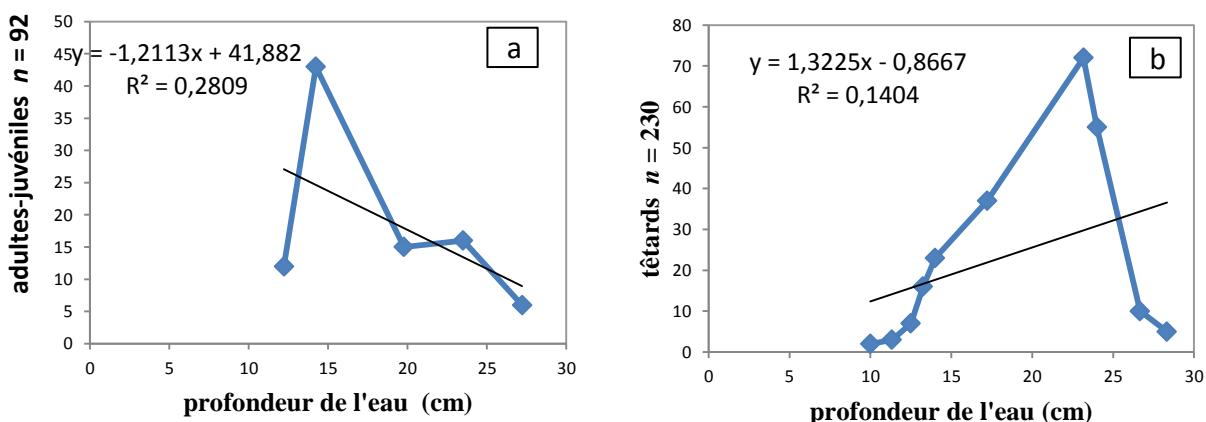
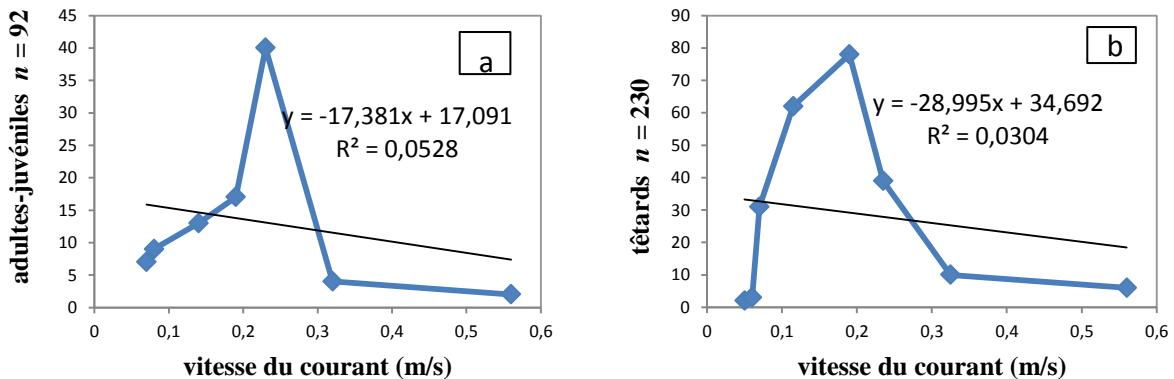


Figure 22 : Variation du nombre des (a) adultes-juvéniles et (b) têtards rencontrés durant toute l'étude de *B. williamsi* en fonction de la profondeur de l'eau

Les tableaux récapitulatifs sont donnés en ANNEXE IX. Pour les adultes et les juvéniles, le pic est de 14,2 cm (entre 14 à 20 cm) où le maximum d'individus est recensés (43 individus). Mais  $p = 0,358 > 0,05$  donc le test de corrélation de Pearson est non significatif, cette corrélation serait le fait du hasard. Avec  $R^2 = 0,28$  indique que 28% des variations d'individus

recensés seraient expliquées par celle de la profondeur. La pente  $a = -1,211$  avec  $R = -0,53$  stipule que les individus recensés diminuent lorsque la profondeur augmente. Pour les têtards le pic est de 23,2 cm (entre 14 à 25 cm) avec 72 individus recensés.  $R = 0,375$  et  $a = 1,322$  signifie que le nombre d'individus têtards recensés augmente avec la profondeur. Le test de Pearson est non significatif ( $p = 0,286 > 0,05$ ).

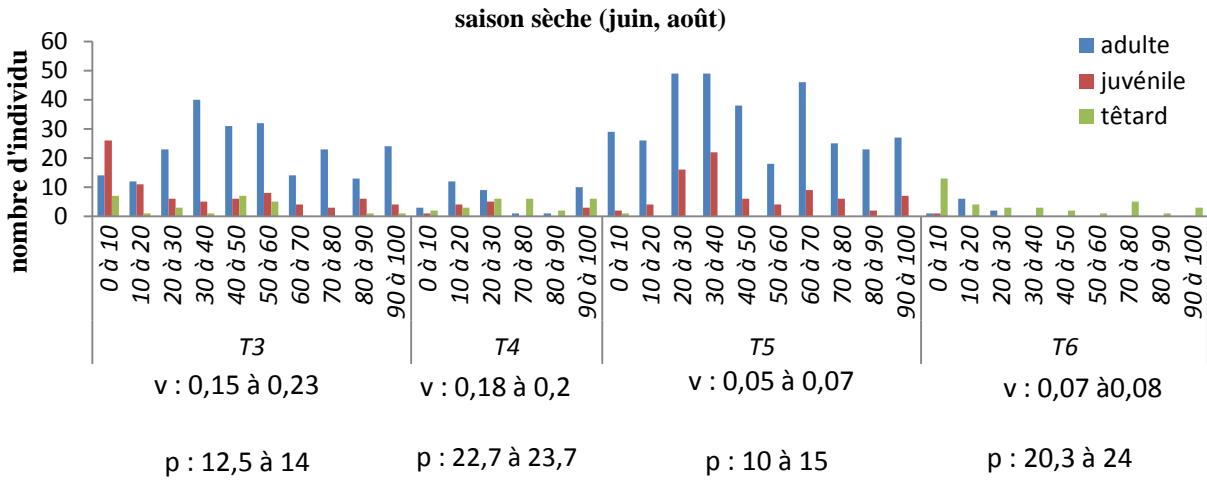
#### - Vitesse du courant



**Figure 23 : Variation de l'effectif des adultes-juvéniles (a) et têtards(b) rencontrés durant toute l'étude de *B. williamsi* en fonction de la vitesse de l'eau**

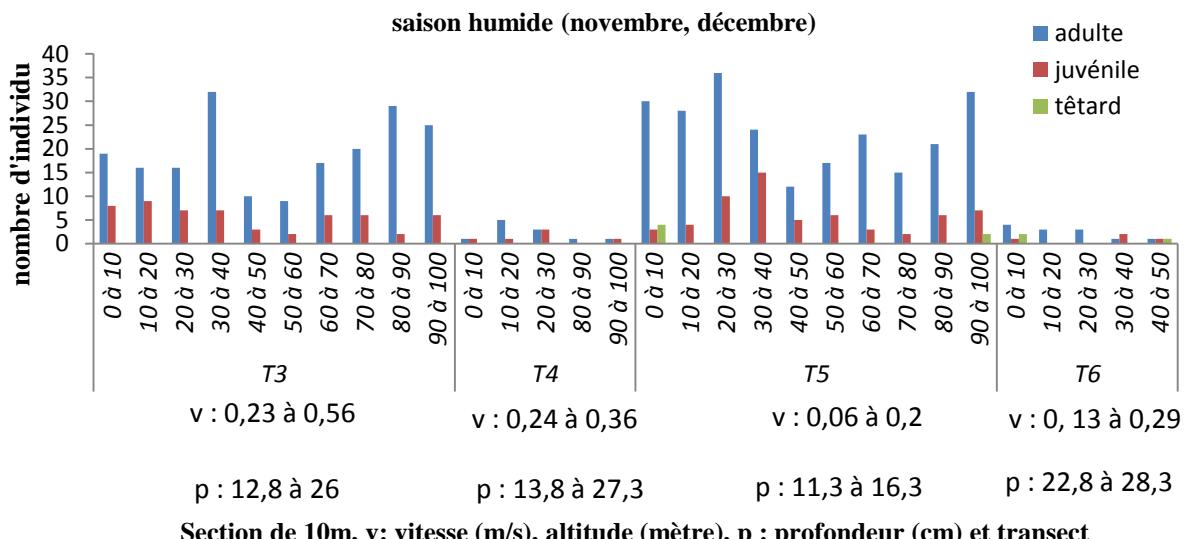
Les adultes et juvéniles ont un pic de 0,23 m/s (entre 0,19 à 0,29 m/s) de la vitesse de l'eau où on a recensé 40 individus. Le coefficient de corrélation de Pearson  $R = -0,23$  signifie qu'il existe une relation négative entre la vitesse et le nombre d'individus recensés, c'est-à-dire que le nombre d'individus adultes-juvéniles capturés baisse, au fur et à mesure que la vitesse de l'eau augmente. La valeur de la pente  $a = -17,38$  le confirme, mais  $R^2 = 0,052$  signifie que 5,2% des variations seraient expliquées par celles de la vitesse. Avec  $p = 0,62 > 0,05$  le test est non significatif entre ces deux variables, donc cette corrélation serait le fait du hasard. Pour les têtards le pic est de 0,19 m/s (entre 0,1 à 0,26m/s).  $R = -0,173$  et  $a = -28,99$  signifie que le nombre de têtards recensés diminue au fur et à mesure que la vitesse augmente. Le test de corrélation est non significatif ( $p = 0,68 > 0,05$ ) donc cette variation n'est que le fait du hasard.

## ♂ *Mantidactylus pauliani*



Section de 10m, v: vitesse (m/s), altitude (mètre), p : profondeur (cm) et transect

Figure 24 : Variation de l'effectif sur section de 10 m pendant la saison sèche de *M. pauliani*



Section de 10m, v: vitesse (m/s), altitude (mètre), p : profondeur (cm) et transect

Figure 25 : Variation de l'effectif sur section de 10 m pendant la saison humide de *M. pauliani*

La distribution de *M. pauliani* est plus ou moins régulière que ce soit au cours de la saison sèche ou humide, avec dominance des adultes et des juvéniles. Les adultes sont les plus nombreux, puis les juvéniles et enfin les têtards, qui sont les moins nombreux.

### - Profondeur de l'eau

La Figure 26a montre un pic de 560 individus recensés sur une profondeur de 12,7 cm avec une fourchette de 14,5 à 24 cm de profondeur.  $R^2 = 0,183$  d'où 18,3% des variations d'individus recensés seraient expliquées par celle de la profondeur.  $R = -0,428$  et  $a = -11,87$  les individus capturés diminuent avec l'augmentation de la profondeur de l'eau. Mais

$p = 0,29 > 0,05$  signifie que le test de Pearson est non significatif, la corrélation serait le fait du hasard.

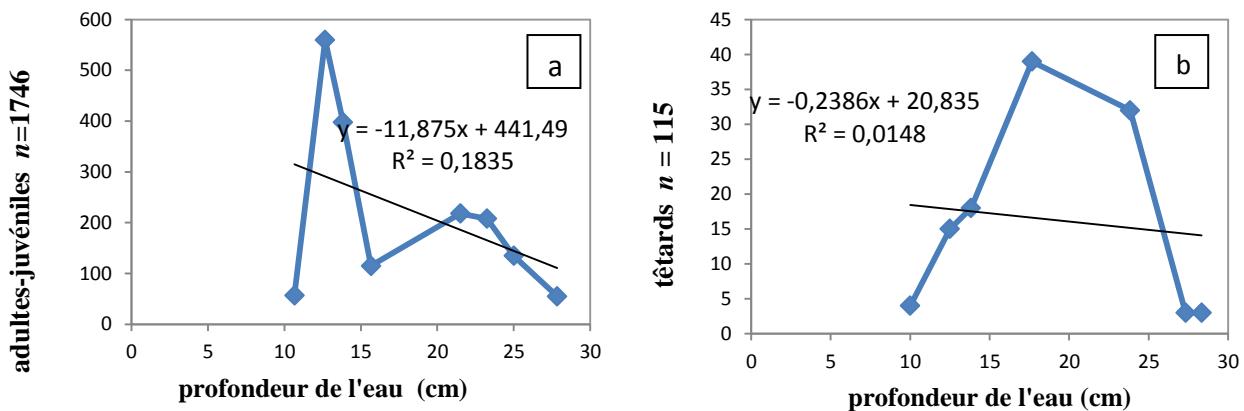


Figure 26 : Variation de l'effectif des adultes-juvéniles (a) et têtards (b) durant toute l'étude des *M. pauliani* en fonction de la profondeur de l'eau

Pour le cas des têtards, le pic est de 17,6 cm de profondeur (entre 13 à 26 cm).  $R = -0,122$  et  $a = -0,238$  donc le nombre de têtards recensés diminue lorsque la profondeur de l'eau augmente. Le test de corrélation de Pearson est non significatif ( $p = 0,795 > 0,05$ ), d'où cette variation n'est que le fait du hasard.

#### - Vitesse du courant

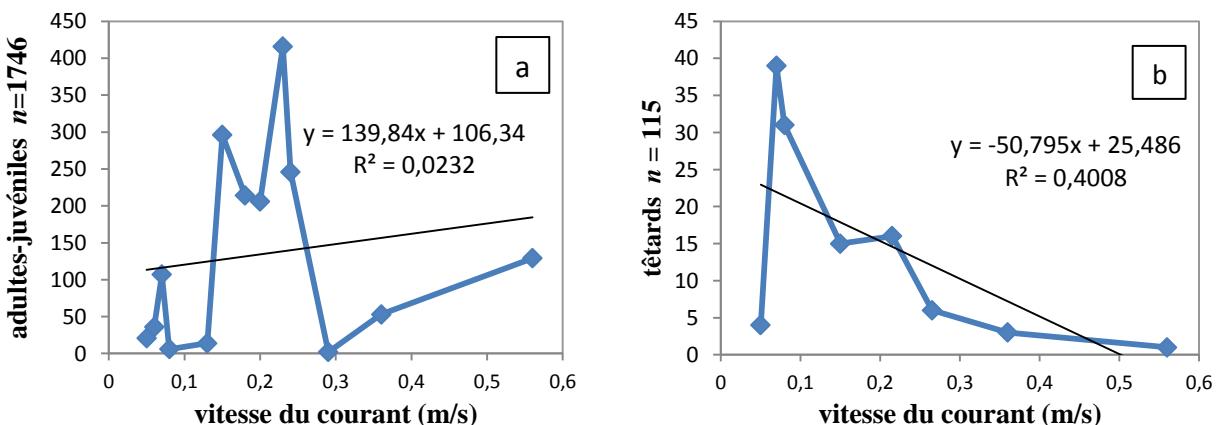


Figure 27 : Variation de l'effectif des adultes-juvéniles (a) et têtards (b) durant toute l'étude de *M. pauliani* en fonction de la vitesse de l'eau en m/s

La Figure 27a montre un pic de 0,23 m/s (entre 0,15 à 0,24 m/s) sur lequel les individus recensés sont au maximum (416 adultes-juvéniles). Or  $R^2 = 0,023$ , donc 2,3% seulement des variations des adultes et juvéniles seraient expliquées par celles de la vitesse, avec  $p = 0,619 > 0,05$  le test est non significatif. Cette corrélation serait donc le fait du hasard. Néanmoins,  $R = 0,152$  avec la valeur de la pente  $a = 139,8$  veut dire que le nombre d'individus recensés augmente lorsque la vitesse augmente, mais a une faible amplitude.

Pour les têtards, le pic est de 0,07 m/s (entre 0,06 à 0,15 m/s) avec 39 têtards recensés.  $R = -0,663$  et  $a = -50,79$  d'où le nombre de têtards recensés diminue au fur et à mesure que la vitesse augmente. Le test de corrélation de Pearson est non significatif ( $p = 0,092 > 0,05$ ) ainsi cette corrélation ne serait que le fait du hasard.

En bref, pour les deux espèces, les adultes-juvéniles vivent avec une profondeur à un intervalle plus étroit (12 à 19 cm) et une large gamme de vitesse de courant rapide (0,17 à 0,3 m/s) se dit seuil ou radié (*riffle*); tandis que les têtards vivent abondamment dans les plats courants (vitesse du courant d'eau plus faible : 0,08 à 0,22 m/s) et plus profond (15 à 27 cm).

### c. Roche

Le nombre de roche selon leur taille est évalué en ANNEXE VI.

**Tableau XIV : Rang des habitats selon leur richesse en abris**

Transect	T5	T3	T4	T2	T6	T1
RANG	1	2	3	4	5	6

D'après la variété et le nombre de chaque taille des roches. C'est T5 qui a le plus de roche diversifiée d'où, l'abri optimal, tandis que T1 est le plus pauvre.

### III.3.3. Analyse de la taille selon l'habitat

**Tableau XV : Variation de la taille de *M. pauliani* du milieu forestier et savane.** Médiane (Interquartile) et  $n$  nombre d'individus

	Forestier (2000 m à 2200 m)	Savane (2300 m à 2400 m)	$U$	$p$
mâle	$29,1 \pm 5,7$ ( $n = 781$ )	$30,9 \pm 5,3$ ( $n = 104$ )	30811,500	< 0,0001
femelle	$30,6 \pm 4,3$ ( $n = 470$ )	$32,3 \pm 5,0$ ( $n = 55$ )	9801,000	0,003

$U$  : variable de Mann Whitney ;

$p$  : probabilité ;

$\pm$  : moyenne

La taille des individus pour les deux sexes (Tableau XV), d'après le test Mann Whitney, de *Mantidactylus pauliani*, est plus conséquente en haute altitude (2300 m à 2400 m) dans la savane, avec un effectif moins important, comparativement à ceux qui sont en altitude dans le milieu forestier (2000m à 2200 m). Pour *Boophis williamsi* le test Mann Whitney est non significative, la variation de la taille serait donc le fait du hasard.

### III.3.4. Observations nocturnes

Les visites nocturnes (ANNEXE VIII) ont permis de trouver quatre adultes dont trois sont des mâles au mois de novembre et une femelle au mois de décembre. Tous ces quatre individus sont tous localisés sur des sous-bois aux environs de 10 cm à 1 m 50 de hauteur par rapport au sol. Aucun individu trouvé pour *Mantidactylus pauliani*.

# DISCUSSION

## IV.1. Méthodologie

Les quatre courbes cumulatives des individus suivant la saison (Figure 7, page 20) tendent à se mettre à l'horizontal, à partir des quatrièmes jours, mais les taux de recapture sont tous encore inférieurs à 50%. Il faudrait donc augmenter l'effort d'échantillonnage pour que le taux de recapture augmente et avoir plus de précision. La méthode de capture-marquage-recapture (C.M.R) a été adoptée à défaut d'avoir pu obtenir le recensement total de la population. Cependant, cette méthode a des avantages et des inconvénients. L'avantage est qu'elle permet de trouver l'effectif  $n$  de la population et de son évolution au cours du temps (déclin, variation). Mais les inconvénients sont qu'en coupant la dernière phalange de chaque individus, ce dernier risque d'être plus facile à capturer par les prédateurs. Par ailleurs, la blessure par amputation pourrait induire une infection et une maladie (Parris & McCarthy, 2001), voire un risque de mortalité élevée. Ainsi, pour minimiser les infections dues aux marquages par coupure de l'orteil (dernière phalange), des précautions ont été prises, en utilisant de l'alcool et du farmagel, cités dans la méthodologie (Martin & Hong, 1991). En outre, les fouilles systématiques entraînent de l'eau trouble, une perturbation de l'habitat, ainsi que des espèces.

D'autres nouvelles méthodes devraient voir le jour pour l'identification de chaque individu. Par exemple, la prise de photo individuelle (face ventrale, dorsale montrant l'individualisation), avec utilisation d'un logiciel qui traite la reconnaissance de chaque individu (Rabibisoa, communication personnelle).

## IV.2. Choix du modèle de l'estimation de l'effectif $n$

S'exprimer sur le meilleur modèle à utiliser, se rapprochant de la réalité pour l'estimation de la taille d'une population, pose beaucoup de difficultés. Pour cette étude, le choix du modèle pour l'estimation de l'effectif  $n$  est la méthode de Schnabel (1938). Les conditions stipulent que la probabilité de capture et d'être recapturé soit la même à chaque session de capture (chaque jour) et que cette probabilité puisse changer d'une journée à l'autre, mettent l'accent pour le choix de cette méthode et ceci, malgré le fait que, dans la réalité, les conditions climatiques varient d'une journée à l'autre (température, pluie, givre). Par exemple, le froid et la pluie qui sévissent lors de la fouille diminuent l'activité de l'animal et peuvent réduire sa probabilité de capture (Otis *et al.*, 1978), étant donné que l'activité des poikilothermes (vertébrés dont la température du corps varie en fonction du milieu) décroissent toujours quand baisse la température ambiante. De plus, Rabemananjara *et al.* (2010), Rabemananjara & Razafindrabe (2011) ont déjà appliqué cette méthode pour l'étude des deux espèces en question pour

l'estimation de leurs effectifs. Il faudrait donc que la méthode soit la même, si l'on veut comparer l'évolution de l'effectif au cours du temps. Mais, ce choix est arbitraire. Normalement, le déroulement du choix des méthodes doit suivre les étapes suivantes : en premier lieu, le test d'ouverture ou de fermeture de la population, bien illustré par Stanley & Burnham (1999) ; en second lieu, la sélection des modèles appropriées, par le test « Maximum Likelihood » en comparant la valeur d'AIC (*Akaike's Information Criterion*) de Link & Barker (2006). Pour le cas d'une population close, il existe quatre modèles suivant la probabilité de capture et de recapture. D'abord, le modèle Mo (*model-zero*) pour lequel la probabilité de capture et de recapture est toujours la même, ensuite, le modèle Mt (*model-time*), pour lequel la probabilité de capture et de recapture varie au cours du temps, le modèle Mb (*model-behavior*) la probabilité varie avec le comportement de l'animal, ensuite, le modèle Mh (*model-heterogeneity*), pour lequel la probabilité varie avec l'hétérogénéité de l'animal et enfin, la combinaison de ces trois derniers modèles donnent : Mtb, Mth, Mbh et Mtbh (Otis *et al.*, 1978). Pour les populations ouvertes, les modèles sont illustrés par Jolly (1965), Seber (1965), Robson (1969), Pollock (1975). La méthode de Schnabel est catégorisée dans le modèle Mt (Otis *et al.*, 1978).

Le problème pour l'accomplissement de toutes ces démarches, est le fait que le mode de collecte des données ne permet pas de les appliquer. Toutes ces démarches, notamment, le test de fermeture de la population et la sélection des modèles, exigent un marquage unique, individuel (chaque individu a sa propre marque), ce qui n'est pas le cas des données présentes. Ces démarches exigent l'historique de la capture et de recapture de chaque individu (Otis *et al.* 1978, Link et Barker, 2006). La méthode de marquage utilisée dans cette étude est le marquage des individus par date. La reconnaissance individuelle est donc non envisageable. Malgré la détermination du sexe et la morphométrie pour chaque individu, une identification à 100% de l'espèce a été impossible. Il peut y avoir une erreur lors de la mensuration et cela pourrait induire vers d'autres résultats biaisés. Pour les adultes et les juvéniles, il est possible de faire un marquage individuel en appliquant la méthode de Donnelly *et al.* (1994). Avec cette méthode, 1000 individus peuvent être marqués par la coupure seulement des deux derniers phalanges à chaque patte, tout au plus. Dans notre cas, cette méthode de marquage ne peut pas être pratiquée car il existe déjà des individus marqués depuis 2010 et début 2011. Ces marques peuvent être confondues au nouveau système de marquage individuel. Cela induirait aussi à des résultats biaisés. La meilleure solution est donc de se baser sur le nouveau système de reconnaissance individuel par photo comme il a été cité plus haut.

#### **IV.3. Effectif générale *n* et répartition géographique**

Selon l’IUCN (2012), la taille de population est exprimée seulement aux nombres des individus matures et capables de se reproduire. Ainsi, seul l’effectif des adultes mâles et femelles sont pris en compte. Pour *Boophis williamsi* trois individus adultes sont trouvés par Rabemananjara *et al.* (2010), tandis que pour la présente étude sept adultes matures ont été rencontrés sur 100 m de ruisseau. Quant à *Mantidactylus pauliani*, Rabemananjara *et al.* (2010) ont pu trouver 78 individus (adultes matures), contre 224 individus (adultes matures) sur 100 m de ruisseau pour le présent travail. *Boophis williamsi* est donc plus rare, par conséquent la plus menacée pour les deux espèces. La surface où leur présence est notée n’est qu’au voisinage de 2,8 km<sup>2</sup> sur les 79,4 km<sup>2</sup> de la zone de conservation de Manjakatombo (Figure 1, page 4). L’effort de la restauration de la forêt naturelle et la protection des points d’eau au-dessus de 2000 m pourraient augmenter cette surface de présence.

#### **IV.4. Cause de la variation structurale de la population dans le temps**

Les adultes et juvéniles ont le même style et mode de vie (terrestre et aquatique) d’où leurs noms Amphibiens. Du point de vue biologique, selon Noble (1931), les amphibiens présentent un cycle sexuel annuel qui se superpose à un comportement également cyclique. L’hiver, ils sont au repos et entrent en hibernation ; ils se dissimulent, s’enterrent même, dans les berges des mares ou des ruisseaux, sous les roches ou sous les écorces d’arbre. En été, l’activité reprend et les animaux sortent de leur retraite. Pour s’hiberner, ils sont en quête d’humidité en saison sèche. Le seul endroit favorable est donc dans les ruisseaux, en cette saison. D’où la hausse des effectifs pour les deux espèces pendant saison sèche. Par contre, en saison d’été (humidité omniprésente), ils peuvent être hors des ruisseaux comme dans le cas de notre visite nocturne avec quatre adultes de *B. williamsi* trouvés en saison humide (ANNEXE VIII). Dans ces contextes, la distribution spatiale de chaque classe d’âges pourrait donc être en agrégat en saison sèche. Les adultes-juvéniles, sont regroupés dans des endroits où il y a de l’eau et des ressources selon leurs besoins. D’autant plus qu’un site de petite taille se réchauffe et se dessèche plus rapidement qu’une zone humide de grande taille (Baber *et al.*, 2004). En saison humide, leur distribution serait donc plus ou moins uniforme, car les ressources sont abondantes et l’humidité est omniprésente. Il en est de même pour les têtards qui sollicitent un habitat disposant de l’eau en permanence (mode de vie totalement aquatique). Ils sont abondants là où l’eau existe en quantité suffisante pour leur survie et leur développement. La distribution des têtards suit donc les mêmes faits que ceux des adultes-juvéniles pour chaque saison. Toutes ces propositions sont vérifiables par l’analyse par section de 10 m (III.3.2 page 32). Ce sont des espèces « hygrophiles » c’est-à-dire qu’elles ne peuvent vivre que dans des milieux très humides. Pour la

survie de chaque classe d'âges, il existe un minima et un maxima de tolérance en quantité d'eau. Les ruisseaux de haute altitude de Manjakatombo peuvent donc être classés comme un « facteur limitant » pour le développement des deux espèces, c'est-à-dire que l'eau exerce l'action la plus efficace sur la présence de ces organismes : s'il tombe au-dessous d'un certain seuil (valeur minimale), la vie de ces espèces n'est plus possible en ce milieu.

La question se pose alors, relativement à l'importance de l'eau pour les amphibiens.

#### **IV.5. Cause de la variation structurale de la population en fonction des habitats**

##### **IV.5.1. Propriété physique de l'habitat**

La conductivité thermique, déterminée par le coefficient  $\lambda$ , est environ 25 fois plus rapide pour l'eau que pour l'air (Lide, 2009), ce qui explique qu'un animal se refroidit beaucoup plus vite dans l'eau que dans l'air à la même température. De plus, ce coefficient  $\lambda$  augmente encore si l'eau est en mouvement (Lide, 2009) comme le cas du courant rapide. Pour la présente étude, les préférendums thermiques sont de 10,5 à 18°C pour les deux espèces cibles durant toute l'étude (Figure 19, page 32). Par conséquent, *Boophis williamsi* et *Mantidactylus pauliani*, ont une préférence en température basse pour le bon fonctionnement de leur organisme. Paradoxalement, la température globale pour ces cent dernières années ne cesse d'augmenter par l'effet de serre (GIEC, 2007). Ainsi, pour maintenir la constance de leur température corporelle, les deux espèces adoptent une vie majoritairement aquatique comme stratégie, pour que leur peau soit humide et pour qu'ils puissent lutter contre le réchauffement climatique (dans l'eau, la température cutanée de l'animal est égale à celle de l'eau). D'autant plus que, la respiration cutanée est un fait bien établi chez tous les Amphibiens. Leur peau molle, humide et fortement vascularisée, réalise les échanges gazeux et osmotique. Aussi, les Amphibiens doivent-ils constamment rester dans un milieu dont le degré hygrométrique est élevé. C'est ainsi qu'ils s'adaptent plus difficilement dans des habitats relativement secs et où les conditions écologiques sont sévères (Raselimanana, 2008).

D'autre part Moisan et Pelletier (2008) ont pu constater que, les roches de dimensions et de formes diversifiées composant les seuils, sont des habitats favorables, car ils sont stables. Le sable et le gravier fin ne sont pas des habitats favorables, car ils se déplacent avec le courant. Des roches de dimensions variées sont susceptibles d'abriter une plus grande diversité d'organismes qu'un substrat homogène. Malgré la présence des roches de différentes tailles et la présence de l'eau en dessous de 2000 m, ces deux espèces ne sont trouvées qu'à partir de 2000 m d'altitude. La réponse probante à cette problématique pourrait être que ce n'est qu'à cette altitude que leur condition de vie est possible.

Une autre question se pose, en ce qui concerne les facteurs écologiques qui conditionnent cette viabilité si étroite et les stratégies de survie des deux espèces face à cette difficulté.

#### **IV.5.2. Altitudes dépendantes**

*Boophis williamsi* et *Mantidactylus pauliani* ont une basse « valence écologique » en altitude, c'est-à-dire : faible capacité de peupler différent gradient d'altitude. Ces deux espèces ne vivent qu'à partir de 2000 m à 2400 m. Elles sont donc catégorisées « sténoèces » par rapport à l'altitude. En 1979 Blommers-Schlösser (1979b) a récolté neuf spécimens à 2200 m. Le recensement de Vences *et al.* (1994) de *B. williamsi* avait conclu que cette espèce vit à 2200 m d'altitude, puis à partir de 2300 m (Rabemananjara *et al.*, 2010). Le résultat du suivi de Rabemananjara & Razafindrabe (2011) n'a trouvé qu'un individu juvénile à 2100 m, le reste est constitué de têtards qu'ils ont découvert entre 2000-2300 m. Le cas de *M. pauliani* ne se rencontre qu'à partir de 2200 m (Blommers-Schlösser, 1979a Vences *et al.*, 2002). Rabemananjara *et al.* (2010) ont pu la trouver à partir de 2100 m, puis entre 2000 m à 2300 m (Rabemananjara & Razafindrabe, 2011). Le présent travail affirme encore un élargissement de ce gradient altitudinal de 2000 m jusqu'à 2400 m (Figure 13, page 26). Par contre, la destruction par le feu de la partie exotique et des savanes de haute montagne de la station forestière de Manjakatombo, en février 2010, pourrait expliquer leur absence au-dessus de 2300 m au cours de l'année 2011. Les séquelles du feu seraient à l'origine de la restriction des milieux de vie pour les deux espèces en majorité aquatique et abondantes en milieu forestier (Figure 16, page 29), là où il y a de l'humidité.

La question se pose sur les raisons qui poussent ces deux espèces à ne vivre qu'entre ces intervalles d'altitude.

#### **IV.5.3. Stratégies utilisées et déduction**

La température diminue de l'ordre de 0,5 à 1°C tous les 100 m d'altitude (Puy De Goyne *et al.*, 2009). Du point de vie biologique, la température contrôle la vitesse des réactions biochimiques (loi de van't Hoff) et par là, il conditionne directement, en tout milieu, toute vie (Trienke, 2006). C'est l'une des variables qui expliquent l'absence des deux espèces au-dessous de 2000 m d'altitude. La température pourrait être, en ce milieu, en dehors de leur tolérance. D'autres hypothèses, telles que la pollution et la perturbation de l'habitat peuvent être émises pour expliquer cette absence. Cependant, suivant une visite dans la forêt d'Ambitsika (S 19°20'6'' et E 47°16'4'', à 2240 m), incluse dans le noyau dur de Manjakatombo, montre que 14 individus adultes-juvéniles de *Mantidactylus pauliani* sont rencontrés seulement sur une longueur de 2 m de ruisseau (Obs. pers. 2012). Ce nouvel habitat est très dégradé et très perturbé

par la confection de charbons de bois et les feux de brousse, en amont du ruisseau et même dans l'endroit où le recensement a été effectué. D'après cette constatation, l'on peut conclure que *M. pauliani* peut supporter des dégradations inestimables d'habitat dans l'intervalle d'altitude où il évolue (2000-2400 m). Des études récentes ont montré que l'une des conséquences biologiques du réchauffement de la planète est le changement de la distribution des espèces en haute altitude (Andreone & Randriamahazo, 2008). Une des réponses biologiques au réchauffement climatique est le déplacement ascendant de la répartition des espèces (Rabibisoa *et al.*, 2008). Ce déplacement n'est donc pas strictement ascendant, mais dépend énormément de chaque préférendum et tolérance de chaque espèce. Le mouvement ou le déplacement pour trouver l'endroit adéquat pour ces deux espèces est conditionné par le besoin de son organisme (eau, nourriture, refuge), mais surtout de tous les facteurs écologiques qui les entourent. Sur ce point, ces deux espèces peuvent être catégorisées comme étant de « bons indicateurs de la sensibilité de la biodiversité » sur le réchauffement climatique global.

L'analyse de la taille suivant l'altitude et l'habitat, (Tableau XV, page 38) de *Mantidactylus pauliani* a montré qu'en haute altitude, dans le milieu savanien (2300 m à 2400 m), la taille des individus est plus conséquente, avec un effectif moins important, comparativement à ceux qui sont en altitude dans le milieu forestier (2000 m à 2200 m). Ainsi, la compétition intraspécifique, pour la recherche de nourriture, en milieu savanien est très faible, contrairement à celle du milieu forestier. *Mantidactylus pauliani* peut trouver sa nourriture même dans un milieu savanien de haute altitude. La stratégie d'adaptation de *M. pauliani* à la basse température, en haute altitude, se traduit donc par une augmentation notable de la taille du corps. La règle de l'écogiste Bergmann stipulant qu' « à l'intérieur d'une espèce, la taille la plus grande se rencontre dans les régions les plus froides » est donc adoptée par cet organisme (Demangeot, 1997). Pour le cas de *Boophis williamsi*, le test est non significatif, la variation de la taille entre ces deux endroits serait donc le fait du hasard.

Pour les variations du sex-ratio en fonction de l'habitat, altitude et saison, le sex-ratio est totalement déséquilibré en milieu savanien de haute altitude (T4 et T6). Chaque sexe a sa propre affinité en habitat. Les Mantellinae pondent rarement dans l'eau, parfois juste près de la surface de l'eau (Glaw & Vences, 2007). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les femelles sont en état réceptive et secrètent de la phéromone (Rajchard, 2005) en migrant vers le milieu savanien. De ce fait, elles attirent les mâles pour y pondre. Tel est le cas du transect T6, où les femelles sont beaucoup plus abondantes que les mâles au mois de décembre. Dans ce milieu, l'habitat est ouvert, l'ensoleillement est donc fort, malgré la baisse de la température ambiante. Cette condition favorise l'éclosion et le développement des têtards (Skelly *et al.*, 2005). En soutenant l'hypothèse de Rabemananjara et Razafindrabe (2011) que « c'est en milieu savanien de haute

altitude que *M. pauliani* pond ces œufs », le milieu de reproduction et de ponte serait donc surtout dans les milieux savaniens. Tous ces faits expliqueraient l'abondance des têtards en milieu savanien de haute altitude (Figure 16, page 29). En ce qui concerne la diminution progressive de l'effectif des têtards des deux espèces, allant de la saison sèche à la saison humide, elle pourrait s'expliquer par le fait que les individus passent progressivement au stade juvénile. Les têtards de *Boophis williamsi* se rencontrent abondamment dans le milieu forestier, la majorité de leur lieu de ponte pourrait donc être dans ce milieu. Des suivis continus pourront apporter plus de précision à ces hypothèses.

#### **IV.6. Priorisation des habitats et conservation des espèces**

L'arrêt des perturbations anthropiques, notamment le feu, la pratique du charbon, l'exploitation illicite de la forêt et la destruction des habitats par passage du bétail seraient primordiaux. La priorisation de conservation des milieux savaniens de haute altitude, les milieux forestiers ainsi que leurs ruisseaux sont donc capitaux pour le maintien de la survie de ces amphibiens.

#### **IV.7. Diagnose et taxonomie**

Les diagnoses des caractères généraux de la morphologie des deux espèces cibles permettent de bien les distinguer. La présente étude apporte une précision au niveau de l'œil, plus précisément sur la forme de la pupille de *Mantidactylus pauliani*. La différence de taille du mâle et de la femelle citée par Glaw & Vences (2007) est confirmée par morphométrie. La présente étude fait ressortir que c'est non seulement au niveau de la longueur totale du corps (SVL) qu'il y a différence mais surtout au niveau de la largeur de la tête (HW). Pour *M. pauliani* le mâle a la tête plus élargie que la femelle (Tableau IV, page 22).

# CONCLUSION

La diagnose permet, de bien distinguer *Boophis williamsi* et *Mantidactylus pauliani* des autres Amphibiens de l'Ankaratra, la distinction du dimorphisme sexuel entre les deux espèces. La méthode de Schnabel modifiée par Schumacher-Eschmeyer a permis de bien suivre l'évolution de la structure de population de *B. williamsi* et *M. pauliani*, suivant la saison et dans leurs habitats respectifs de Manjakatompo. L'effectif sur 100 m de ruisseau pour *B. williamsi* et *M. pauliani* est respectivement de 7 et 224 individus adultes matures. C'est donc *B. williamsi* qui est l'espèce la plus rare, donc la plus menacée des deux espèces. La surface où on note leur présence est de 2,8 km<sup>2</sup>.

En outre, depuis l'étude de Blommers-Schlösser en 1979, ces deux espèces cibles ne se retrouvent qu'à une altitude moyenne de 2200 m. La présente étude rapporte, avec plus de précision, que, *B. williamsi* et *M. pauliani* ne se rencontrent qu'à une altitude comprise entre 2000 à 2400 m. Ainsi ce sont des espèces sténoèces sur l'altitude. Des facteurs écologiques existent et déterminent leur présence sur ces intervalles d'altitude. L'eau, par exemple, joue un rôle de facteur limitant pour leur développement et leur survie, car sans eau, la vie de ces organismes n'est plus possible même si les autres conditions existent (nourriture, habitat adéquat, refuge) en quantité suffisante. Il en est de même pour la température qui joue un rôle déterminant pour la vie et la répartition géographique de ces deux espèces poikilothermes. Elle baisse quand le gradient d'altitude augmente d'une part et d'autre part, elle augmente par l'effet de serre. En outre, le présent travail montre que l'intervalle de préférendum en température est de 10,5 à 18°C. Ce sont des espèces « sténothermes » et ne supportent pas la forte chaleur. Les études des microhabitats permettent de découvrir que les têtards vivent dans les sections à plat courant (0,08 à 0,22 m/s) et plus profond (15 à 27 cm). Les adultes et juvéniles peuvent vivre dans les ruisseaux à courant rapide (0,17 à 0,3 m/s) et de faible profondeur (12 à 19 cm) se dit seuil. Le type d'habitat pour lequel ces deux espèces ont l'affinité est celle du milieu forestier (eau, nourriture, refuge abondant) au-dessus de 2000 m d'altitude. L'habitat « savane » de haute altitude serait parmi le principal site de ponte pour *M. pauliani*.

Les deux hypothèses émises sont donc vérifiées, *B. williamsi* et *M. pauliani* sont des espèces d'altitude dépendante et il existe des habitats spécifiques pour le maintien de leur survie. Si l'un de ces facteurs écologiques (habitat, eau, température) change, cela affecte directement le mode de vie et le comportement de ces deux espèces. Néanmoins, la stratégie d'adaptation de *M. pauliani* à la basse température des hautes altitudes (savane) se traduit par l'augmentation de leur taille. Ainsi, les deux espèces cibles peuvent être catégorisées comme étant « de bons indicateurs

de la sensibilité de la biodiversité » sur la variation climatique globale. A titre de remarque, aucune menace sous forme de prédation n'est observée durant toute l'étude.

Malgré les difficultés durant les inventaires et la collecte des données sur terrain, ainsi que les analyses des données, l'objectif a été atteint. Cependant, beaucoup reste encore à faire pour bien suivre et connaître la biologie de l'espèce, comprenant le régime alimentaire et le chant des deux espèces. Ces travaux nécessitent des matériels sophistiqués et largement plus de temps, ce dont nous n'avons pas à proprement parler pu bénéficier. Le prochain suivi devrait être orienté vers ces optiques.

## RECOMMANDATIONS

Pour avoir un résultat plus précis sur l'évolution de ces espèces, au cours du temps il faudrait déployer les activités suivantes :

L'enregistrement complet de la variation climatique (température, humidité relative) à chaque transect serait un atout (utilisation d'un data logger). Pour la précipitation, l'utilisation d'un pluviomètre est cruciale.

La recherche de nouvelles méthodes pour l'identification individuelle (adulte et têtard), autre que la méthode de marquage par coupure des orteils est primordiale. Ce qui permet d'appliquer les démarches mentionnées ci-dessus pour le choix des modèles et donnerait ainsi une effectif *n* plus précise de la population, mais surtout pour assurer la survie de chaque individu capturé.

Une étude plus poussée de la pollution de l'eau d'amont en aval est également nécessaire, pour mieux éclaircir les causes de l'absence des espèces au-dessous de 2000 m.

La mesure des diamètres de(s) roche(s) cachant chaque individu capturé donnerait plus de précision sur la relation entre l'effectif des individus capturés en fonction de la taille de roche.

L'étude comportementale (éthologie) notamment le régime alimentaire, le chant et la reproduction, est nécessaire dans l'apport de nouvelles connaissances de ces deux espèces.

Toutes ces informations pourraient servir à la fin aux élevages ex-situ.

Concernant les suggestions relatives à la stratégie de conservation, il s'avère nécessaire :

- de protéger l'habitat forestier et la savane de haute altitude contre les feux de brousse, coupe illicite et la confection du charbon ;
- d'éloigner les bétails qui perturbent les points d'eau par leur passage dans les ruisseaux (problème que les villageois eux même ont soulevé).
- L'appui et le renforcement des activités déjà effectuées par le V.I.F concernant la formation et la sensibilisation des autorités et associations locales, ainsi que la protection de la forêt de Manjakatompo doivent être effectifs.

# BIBLIOGRAPHIE

- Andreone, F. & Randriamahazo, H. (eds.) 2008.** *Sahonagasy Action Plan : Conservation Programs for the Amphibians of Madagascar / Programmes de conservation pour les amphibiens de Madagascar.* Museo Regionale di Scienze Naturali, Conservation International, IUCN/SSC Amphibian Specialist Group. Turin, Italy. 97 p.
- Andreone, F., Bungard, M. & Freeman, K. 2008.** *Amphibiens menacés de Madagascar.* Museo Regionale di Scienze Naturali, Turin, Italy. 33 p.
- AZE 2010.** 2010 Alliance for Zero Extinction Update <[www.zeroextinction.org](http://www.zeroextinction.org)>. Consulté le 30 mai 2012.
- Baber, M. J., Fleishman, E., Babbitt, K. J. & Tarr, T.L. 2004.** The relationship between wetland hydroperiod and nestedness patterns in assemblages of larval amphibians and predatory and macroinvertebrates. *OIKOS*, 107 : 16-27.
- Beebee, T. J. C. & Griffiths, R. A. 2005.** The amphibian decline crisis : A watershed for conservation biology ? *Biological Conservation*, 125 : 271-285.
- Begon, M. 1979.** *Investigating Animal abundance : Capture-recapture for Biologists.* Arnold, London. 464p.
- Besairie, H. 1954.** Documents pour la géographie de Madagascar. *Travaux du bureau géologique*, 54 : 1-275.
- Besmer, G., Ranaivomanana, Ratsimbazafy, I. S. & Ratsinjomanana, K. 2007.** Résultat de l'inventaire de la forêt naturelle : Station Forestière de Manjakatombo. Rapport de l'inventaire de la forêt exotique de la Station Forestière de Manjakatombo. PGDRN / GTZ, Ambatolampy. 22 p.
- Blommers-Schlösser, R. M. A., 1979a.** Biosystematics of the Malagasy frogs. I. Mantellinae (Ranidae). *Beaufortia*, 29 : 1-77.
- Blommers-Schlösser, R. M. A., 1979b.** Biosystematics of the Malagasy frogs. II. The genus *Boophis* (Rhacophoridae). *Bijdragen Dierkunde*, 49 : 261-312.
- Blommers-Schlösser, R.M.A. & Blanc, C.P. 1991.** Amphibien (première partie). *Faune de Madagascar*, 75 : 1-340.
- Bouyer, J. 1996.** *Méthodes statistiques-Médecine-Biologie.* Editions INSERM, Paris, France. 353 p.
- Caughley, G. & Gunn, A. 1996.** *Conservation biology in theory and practice.* Blackwell Science, Oxford. 142 p.
- Demangeot, J. 1997.** La Biodiversité Tropicale. *Finisterra*, XXXII, 63 : 107-113.
- Desroches, J. F. & Picard, I. 2004.** Pour la sauvegarde des amphibiens : La conservation et non la relocalisation. *Le Naturaliste Canadien*, 128 : 29-34.

- Donnelly, M. A. & Guyer, C. 1994.** Mark-Recapture. In *Measuring and Monitoring Biological Diversity : Standard Methods for Amphibians*, eds. W. R. Heyer, M. A. Donnelly, R. W. MacDiarmid, L. C. Hayek et M. S. Foster, pp. 183-200. Smithsonian Institution, Washington.
- Donnelly, M. A., Guyer, C., Juterbock, J. E. & Alfrod, R. A. 1994.** Techniques for Marking Amphibians. In *Measuring and Monitoring Biological Diversity : Standard Methods for Amphibians*, eds. W. R. Heyer, M. A. Donnelly, R. W. MacDiarmid, L. C. Hayek et M. S. Foster, pp. 277-283. Smithsonian Institution, Washington.
- Donque G., 1975.** *Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar*. Publication Association Géographie, Madagascar, Tananarive. 447 p.
- Ducenne Q., 1994.** Etude économique de la Station Forestière de Manjakatombo (Madagascar). Assistance Technique au Projet « Développement Forestier Intégré dans la Région du Vakinankaratra ». PN86.2260.07-01.100. Rapport N°8. GTZ, Antananarivo. 64 p.
- EAZA 2007.** *Info pack : Amphibian Alarm*. Aarhus, Denmark. 87 p.
- Eberhardt, L. L. 1969.** Population estimates from recapture frequencies. *Journal of Wildlife Management*, 33 : 28-39.
- GIEC, 2007.** *Bilan 2007 des changements climatiques : Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. GIEC, Genève, Suisse. 103 p.
- Glaw F. & Vences M., 1994.** *A Fieldguide to the amphibians and reptiles of Madagascar*. 2nd edition. Vences and Glaw Verlag, Köln, Germany. 480 p.
- Glaw, F. & Vences, M. 2006.** Phylogeny and genus level classification of mantellid frogs (Amphibia, Anura). *Organisms, Diversity and Evolution*, 6 : 236-253.
- Glaw, F. & Vences, M. 2007.** *A field guide to the amphibians and reptiles of Madagascar*. 3 rd edition. Vences and Glaw Verlag, Köln, Cologne. 495 p.
- Goodman, S. M., Rakotondravony, D., Schatz, G. & Wilmé, L. 1996.** Species Richness of Forest-dwelling Birds, Rodents And Insectivores in a Planted Forest of Native Treets : A Test Case from the Ankaratra, Madagascar. *Ecotropica*, 2 : 109-120.
- Guibé, J. 1974.** Batraciens nouveaux de Madagascar. *Bulletin du Muséum National d'histoire Naturelle* : 1009-1017.
- Inger, R. F. 1994.** Key to Successful Project : Microhabitat description. In *Measuring and Monitoring Biological Diversity Standard Methods for Amphibians*, eds. W. R. Heyer, M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. C. Hayek, M. S. Foster, pp. 60-66. Smithsonian Institution, Washington.

**Jaeger, G. R. 1994.** Transect Sampling. In *Measuring and Monitoring Biological Diversity : Standard Methods for Amphibians*, eds. W. R. Heyer, M. A. Donnelly, R. W. MacDiarmid, L. C. Hayek et M. S. Foster, pp. 103-107. Smithsonian Institution, Washington.

**Jolly, G. M. 1965.** Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration-stochastic model. *Biometrika* 52 : 225-247.

**Lehtinen, R. M., Glaw, F. & Vences, M. 2011.** Two new plant-breeding frog species (Anura : Mantellidae, *Guibemantis*) from southeastern Madagascar. *Herpetological Journal*, 21 : 95-112.

**Lennertz, R., Pieper, Y. & Rajaonarison, N. 1994.** Résultats de l'inventaire forestier de la Station forestière de Manjakatombo (Madagascar). Rapport N°5 PGDRN / GTZ, Ambatolampy. 55 p.

**Lide, D. R. 2009.** *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press Inc, 90<sup>e</sup> édition, Reliée, Floride, USA. 2804 p.

**Link, W. & Barker, R. J. 2006.** Model weights and the foundations of multimodel inference. *Ecology Ecological Society of America*, 87 : 2636-2635.

**Lips, K. R., Diffendorfer, J., Mendelson, J. R. & Sears, M. W. 2008.** Riding the wave : Reconciling the roles of disease and climate change in amphibian declines. *Journal Plos Biology*, 6 : 71-72.

**Martin, D., & Hong, H. 1991.** The use of Bactine in the treatement of open wounds and other lesions in captive anurans. *Herpetological Review*, 22 : 21.

**Mensing, D. M., Galatowitsch, S. M. & Tester, J. R. 1998.** Anthropogenic effects on the biodiversity of riparian wetlands of a northern temperate landscape. *Journal of Environmental Management*, 53 : 349-377.

**Moisan, J. & Pelletier, L. 2008.** *Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec : Cours d'eau peu profonds à substrat grossier*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec. 86 p.

**Nicoll, M. E. & Langrand, O. 1989.** *Madagascar : Revue de la Conservation et des Aires Protégés*. Gland, Switzerland: World Wide Fund for Nature. 374 p.

**Noble, G. K. 1931.** *The biology of the Amphibia*. New York and London, McGraw-Hill. 577 p.

**Otis, D. L., Burnham, K. P., White, G. C. & Anderson, D. R. eds. 1978.** *Statistical Inference From Capture Data on Closed Populations*. Wildlife Society, USA. 133 p.

- Parris, K. M. & McCarthy, M. A. 2001.** Identifying effects of toe clipping on anuran return rates : the importance of statistical power. *Amphibia-Reptilia*, 22 : 275–289.
- Pollock, K. H. 1975.** A K-sample tag-recapture model allowing for unequal survival and catchability. *Biometrika* 62 : 577-583.
- Puy De Goyne, Plays, Y., Lepourry, P. & Besse, J. 2009.** Initiation à L'aéronautique. Brevet d'Initiation Aéronautique. Académie de LILLE, France. 30 p.
- Rabemananjara, F. C. E. e&t Razafindrabe, T. 2011.** Suivi des *Boophis williamsi* et *Mantidactylus pauliani*, Amphibiens en Danger Critique dans le massif de l'Ankaratra, après destruction de leur habitat par les feux. Rapport final, Conservation International, Antananarivo. 47 p.
- Rabemananjara, F. C. E., Randriambahiniarime, M., Randrianirina, J. & Randriantsoa, J. 2010.** Evaluation rapide des populations des deux espèces en Danger Critique d'extinction *Boophis williamsi* et *Mantidactylus pauliani* du Massif de l'Ankaratra. Rapport N°55339, Conservation International, Antananarivo. 32 p.
- Rabibisoa, N. H. C., Raxworthy, C. J. & Andreone, F. 2008.** Changement climatique et Amphibien. In *Sahonagasy Action Plan. Conservation Programs for the Amphibians of Madagascar / Programmes de conservation pour les amphibiens de Madagascar*, eds. F. Andreone et H. Randriamahazo, pp. 43-48. Turin, Italy.
- Rajchard, J. 2005.** Sex pheromones in Amphibians : a review. *Veterinary Medecine - Czech*, 50 : 385-389.
- Rakotoarison, A. 2011.** Contribution à l'étude de la biologie et de l'écologie de deux espèces de *Platypelis* (Amphibiens, Anoures, Microhylidae), dans le massif de Tsaratanana-Région Sofia-Madagascar. Mémoire de DEA, Département biologie Animale, Faculté des Sciences d'Antananarivo, Antananarivo. 45 p.
- Randrianasolo, H. 2012.** AZE : des sites pour enrayer l'extinction des espèces. *Songadina*, 12 : 1-2.
- Raselimanana, A. P. 2008.** Herpétofaune des forêts sèches malgaches : Dans Les forêts sèches de Madagascar. *Malagasy Nature*, 1 : 46-75.
- Raxworthy, C. J. & Nussbaum, R. A. 1996.** Montane Amphibians and Reptiles Communities in Madagascar. *Conservation Biology*, 10 : 750-756.
- Robson, D. S. 1969.** Mark-recapture methods of population estimation. In *New developments in survey sampling*, eds. N. L. Johnson et H. Jr. Smith, pp. 120-140. Wuket-Interscience, New York.
- Schnabel, Z. E. 1938.** The estimation of the total fish of a lake. In *American Mathematical Monthly*, 45 : 348-352.

- Schumacher, F. X. & Eschmeyer, R. W. 1943.** The estimation of fish populations in lakes and ponds. *Journal of the Tennessee Academy of Sciences*, 18 : 228-249.
- Seber, G. A. 1965.** Note on the multiple-recapture census. *Biometrika* 52 : 249-259.
- Skelly, D. K., Halverson, M. A., Freidenburg, L. K. & Urban, M. C. 2005.** Canopy Closure and Amphibian Diversity in Forested Wetlands. *Wetlands Ecology and Management*, 13 : 261-268.
- Sokal, R. & Rohlf F. J. 1981.** Biometry. *W. H. Freeman and Company*. San Fransico, New York. 859 p.
- Stanley, T. R. et Burnham, K. 1999.** A closure test for time-specific capture-recapture data. *Environmental and Ecological Statistics* 6 : 197-209.
- Trienke M. van der Spek 2006.** Selling a Theory : The Role of Models in J. H. van't Hoff's Stereochemistry Theory. *Annals of Science*, 63 : 157-177.
- IUCN 2012.** 2012 IUCN Red List of Threatened Species <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Consulté le 25 mai 2012.
- Vences, M. & Glaw, F. 2001.** When molecules claim for taxonomic change : New proposals on the classification of old world tree-frogs. *Spixiana*, 24 : 85-92.
- Vences, M., Andreone, F., Glaw, F., Raminosoa, N., Randrianirina, J. E. & Vietes, D. R. 2002.** Amphibians and Reptiles of the Ankaratra Massif : reproductive diversity, biogeography and conservation of a montane fauna in Madagascar. *Italian Journal of Zoology*, 69 : 263-284.
- VIF 2010.** Gestion durable des ressources naturelles des zones forestières de l'Ankaratra : élaboration du schéma global d'aménagement. Rapport final N°56 544. Conservation International Madagascar, Antananarivo. 103 p.
- Ward, J. V. 1998.** Riverine landscapes : Biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Conservation Biology*, 83 : 269-278.

## GLOSSAIRE

- **AZE ou alliance for Zero Extinction** : c'est une catégorisation d'un site contenant au minimum une espèce vertébrée oiseau, mammifère amphibien et reptile en danger (EN) ou en danger critique d'extinction (CR).
- **Facteur limitant** : c'est un facteur qui joue un rôle efficace sur la vie ou la mort d'un organisme et détermine sa présence ou son absence dans un milieu donné.
- **Plat courant** : zone d'un cours d'eau où la profondeur est uniforme et plutôt faible. Il se situe souvent dans les portions rectilignes des cours d'eau.
- **Préférendum** : région d'un gradient physique ou chimique choisie par l'animal de préférence à une autre.
- **Savanien** : relatif à la savane, vaste prairie des régions tropicales.
- **Seuil ou radier (*riffle*)** : zone peu profonde d'un cours d'eau où le courant est rapide et entravé par des roches ou des morceaux de bois submergés qui produisent une agitation de surface.
- **Sténoèces** : organisme dont l'existence dépend des conditions très strictes et étroites pour vivre.
- **Sténothermes** : organismes qui ne peuvent vivre qu'entre des limites de température plus ou moins étroite.
- **Têtard exotrophique** : besoin d'un apport nutritif externe après épuisement du vitellus.

## ANNEXES

### ANNEXE I : Données climatiques du District d'Ambatolampy de 1961 à 1990

Source : Direction Générale de la Météorologie, Ampandrianomby Antananarivo.

Mois	Température (°C)			Précipitation (mm)	Nombre de jours de pluies
	minimale	maximale	moyenne		
<b>Janvier</b>	13,7	25,4	19,55	247,9	16
<b>Février</b>	14,1	25,6	19,85	226,7	15
<b>Mars</b>	13,7	24,6	19,15	151,9	15
<b>Avril</b>	12,2	24,3	18,25	76,5	10
<b>Mai</b>	9	22,2	15,6	40,1	7
<b>Juin</b>	6,6	20	13,3	14,4	6
<b>Juillet</b>	7,1	19,3	13,2	22,9	7
<b>Août</b>	6,2	19,8	13	24,5	7
<b>Septembre</b>	7,6	22,7	15,15	15,2	3
<b>Octobre</b>	10,4	25	17,7	85,2	9
<b>Novembre</b>	12,4	24,7	18,55	203,7	15
<b>Décembre</b>	12,9	25,2	19,05	272,6	19

Les températures journalières minimales et maximales durant toute l'étude sont résumées dans le tableau ci-après.

Tableau de la température enregistrée au cours des études sur terrains

Date et Saison	Températures moyennes (°C)	
	minimales	maximales
<b>sèche</b>	<b><math>6 \pm 0,8 (n = 28)</math></b>	<b><math>17,8 \pm 1,9</math></b>
18 juin au 01 juillet	$6 \pm 1,1$	$16,9 \pm 3,6$
18 – 30 août	$6,1 \pm 1,6$	$18,8 \pm 1,7$
<b>humide</b>	<b><math>10,2 \pm 0,7</math></b>	<b><math>22,6 \pm 1,3</math></b>
01 – 14 novembre	$10,2 \pm 1,1$	$22,5 \pm 1,6$
10 – 23 décembre	$10,1 \pm 0,9$	$22,7 \pm 2,4$

*n* : nombre de jours de prélèvements

$\pm$  : Déviation standard

**ANNEXE II : Liste des espèces de la station forestière de Manjakatompo avec leurs habitats respectifs**

Espèces	Basse montagne 1500 – 2000m	Haute montagne 2000 – 2600m
<b>MANTELLIDAE</b>		
1- <i>Boophis ankaratra</i>	RF	-
2- <i>Boophis goudotii</i>	RF, M, MF	R
3- <i>Boophis microtympanum</i>	-	R
4- <i>Boophis williamsi</i> (CR)(*)	-	R
5- <i>Blommersia domerguei</i>	M, MF	-
6- <i>Blommersia kely</i>	M, MF, H	-
7- <i>Mantidactylus alutus</i>	M, H	-
8- <i>Mantidactylus aff. curtus</i> Ankaratra(*)	RF	R
9- <i>Mantidactylus brevipalmatus</i>	RF	R
10- <i>Mantidactylus pauliani</i> (CR) (*)	RF	R
<b>RANIDAE</b>		
11- <i>Ptychadena mascareniensis</i>	M, MF, H	-
<b>MICROHYLIDAE</b>		
12- <i>Pletodontohyla tuberata</i>	F	S
13- <i>Scaphiophryne madagascariensis</i>	F, MF	-
<b>HYPEROLIIDAE</b>		
14- <i>Heterixalus betsileo</i>	M, MF, H	-
15- <i>Heterixalus rutenbergi</i>	H	-
<b>CHAMAELEONIDAE</b>		
1- <i>Calumma hilleniusi</i>	F	F
2- <i>Furcifer campani</i>	H	S
3- <i>Furcifer lateralis</i>	D	-
<b>GEKKONIDAE</b>		
4- <i>Lygodactylus mirabilis</i> (CR)	-	S
5- <i>Phelsuma barbouri</i>	-	S
<b>SCINCIDAE</b>		
6- <i>Amphiglossus macrocercus</i>	F	S
7- <i>Mabuya boettgeri</i>	D, H	-
8- <i>Mabuya madagascariensis</i>	-	S
<b>GERRHOSAURIDAE</b>		
9- <i>Zonosaurus ornatus</i>	D, F	-
<b>COLUBRIDAE</b>		
10- <i>Geodipsas infralineata</i>	F	-
11- <i>Liopholidiphis lateralis</i>	M, H	-
12- <i>Liopholidophis sexlineatus</i>	M, H	-
<b>MAMMIFERES</b>		
1- <i>Eliurus minor</i>	F	
2- <i>Microgale thomasi</i>	F	
3- <i>Microgale cowani</i>	F	

4- <i>Microgale gracilis</i>	F	
5- <i>Microgale koopmani</i>	F	
6- <i>Microgale longicaudata</i>	F	
7- <i>Rattus rattus</i>	F	
8- <i>Setifer setosus</i>	F	
OISEAUX		
1- <i>Aviceda madagascariensis</i>	F	
2- <i>Polyboroides radiatus</i>	F	
3- <i>Accipiter francesi</i>	F	
4- <i>Accipiter madagascariensis</i>	F	
5- <i>Buteo brachypterus</i>	F	
6- <i>Falco newtoni</i>	H	S
7- <i>Falco peregrinus</i>	F	S
8- <i>Dryolimnas cuvieri</i>	F	S
9- <i>Canirallus kiloides</i>	F	
10- <i>Sarothrura insularis</i>	F	
11- <i>Streptopelia picturata</i>	F	
12- <i>Alectroenas madagascariensis</i>	F	
13- <i>Cuculus rochii</i>	F	
14- <i>Tyto alba</i>	F	
15- <i>Otus rutilus</i>	F	
16- <i>Asio capensis</i>	F	
17- <i>Caprimulgus madagascariensis</i>	F	S
18- <i>Apus barbatus</i>	F	S
19- <i>Leptosomus discolor</i>	F	
20- <i>Phedina borbónica</i>	F	S
21- <i>Motacilla flavigaster</i>	F	S
22- <i>Coracina cinerea</i>	F	
23- <i>Hypsipetes madagascariensis</i>	F	
24- <i>Copsychus albospecularis</i>	F	
25- <i>Saxicola torquata</i>	F	S
26- <i>Pseudocossyphus sharpei</i>	F	S
27- <i>Nesillas typica</i>	F	
28- <i>Dromacocercus seeboldi</i>	F	S
29- <i>Newtonia brunneicauda</i>	F	
30- <i>Terpsiphone mutata</i>	F	
<b>Richesses spécifiques par classe d'altitude</b>	<b>61 espèces</b>	<b>23 espèces</b>

R, ruisseaux en dehors de la forêt ; RF, ruisseaux dans la forêt; D, aire dégradée ou dénudée en dessous de 2000 m ; F, Forêt indépendante des ruisseaux; S, savane naturelle herbeuse de montagne indépendante des ruisseaux ; H, Bruyère en herbes courtes en dehors de la forêt ; M, étang et marais en dehors de la forêt; MF, étang et marais dans la forêt. Les espèces avec (\*) sont endémiques du massif. (source : VIF, 2010)

**ANNEXE III: Tableau ayant servi aux collectes de données**

**Site :**

**Date :**

**Température :**

**Précipitation :**

**Transect :**

Type de roche	R1	R2	R3	R4	R5
Taille Transect	6x5 (cm)	10x15 (cm)	20x15 (cm)	20x35 (cm)	40x60 (cm)
Nombre sur 100 m	T3	450	270	70	50

N°	Nom de l'espèce	Stade	Sexe	SVL (mm)	HW (mm)	TL (mm)	BL (mm)	altitude	Distance section De 10m	Capturé/ recapturé	Eau		Observation	photos
											Vitesse	profondeur		
1	<i>M. pauliani</i>	Ad	M	33,10	11,55			2002-2014	<b>0 à 10</b> <b>10 à 20</b>	C	0,06	15		1 - 3

#### ANNEXE IV: Exemple de calcul de Schnabel

Tableau nécessaire pour le calcul de l'Estimation de l'effectif, exemple de *Mantidactylus pauliani* du mois de juin à T3 (Tavolotara) des adultes matures.

Echantillonnage (jour)	TOTAL CAPTURE par $k$	RECAPTURE	NOUVELLEMENT MARQUE	TOTAL MARQUE		
$k$	$ni$	$mi$	$Ui$	$Mi$	$miMi$	$niMi^2$
1	30	0	30	0	0	0
2	28	8	20	30	240	25200
3	18	5	13	50	250	45000
4	34	4	30	63	252	134946
5	19	9	10	93	837	164331
<b>Somme</b>				<b>236</b>	<b>1579</b>	<b>369477</b>

Ce tableau permet de calculer l'estimation de l'effectif selon la méthode de Schnabel modifié par Schumacher-Eschmeyer :

$$\widehat{N}_S = \frac{\sum n_i M_i^2}{\sum m_i M_i}$$

$$\widehat{N}_S = \frac{369477}{1579} = 233$$

Le calcul de la variance est :

$$S^2 = \left\{ \sum \left( \frac{m_i^2}{n_i} \right) - \frac{(\sum m_i M_i)^2}{\sum n_i M_i^2} \right\} / (k - 2)$$

$$S^2 = \frac{1}{3} \left[ 8,4083 - \frac{884173}{369477} \right] = 0,5534$$

A 95% d'intervalle de confiance,  $t_\alpha = 1,96$  l'intervalle de confiance est donc :

$$IC = \frac{\sum n_i M_i^2}{\sum m_i M_i \pm t_\alpha [S^2 \sum n_i M_i^2]^{\frac{1}{2}}}$$

Tableau récapitulatif

calcul			effectif	variance	Interval de confiance	Interval de confiance
$\sum niMi^2$	$\sum (mi^2/ni)$	$\sum (miMi)^2$	$\widehat{N}_S$	$s^2$	$-IC$	$+IC$
369477	8,4083	884173	233,99	0,5534	149,87	533,39385

Sur 100 m de long de ruisseau, l'effectif calculé de *Mantidactylus pauliani* à T3 (Tavolotara) est estimé à 234 adultes matures avec un intervalle de confiance entre [149-533].

**ANNEXE V : Tableau Récapitulatif des résultats des effectifs observés d'après capture-marquage-recapture**

Espèce	Saison sèche (juin, août)		Saison humide (novembre, décembre)	
	Capturé	Recapturé	Capturé	Recapturé
<i>Boophis williamsi</i>				
adulte et juvénile	44	14	49	9
têtard	191	95	41	4
<i>Mantidactylus pauliani</i>				
adulte et juvénile	1012	418	756	418
têtard	105	27	10	1

**ANNEXE VI : la taille de la roche selon chaque transect**

Type de roche	R1	R2	R3	R4	R5	
Taille transect	6x5 (cm)	10x15 (cm)	20x15 (cm)	20x35 (cm)	40x60 (cm)	RANG
Nombre sur 100 m	T1	100	50	10	2	0
	T2	360	110	40	20	12
	T3	450	270	70	50	20
	T4	380	120	25	15	12
	T5	620	320	80	70	22
	T6	250	150	33	25	4

**ANNEXE VII : Tableau des effectifs calculés sur 100 m de ruisseau selon Schnabel modifié par Schumacher-Eschmeyer**

	$\widehat{N}_S$ adulte-juvénile	$\widehat{N}_S$ mâle	$\widehat{N}_S$ femelle	$\widehat{N}_S$ juvénile	$\widehat{N}_S$ Têtard
<i>Boophis williamsi</i>					
Total	10	3	4	2	40
<b>ADULTE MATURE</b>	-		<b>7</b>	-	-
Saison sèche	8	2	3	1	73
juin	5	1	2	1	102
forêt	3	1	1	1	87
savane	7	2	3	1	117
août	11	3	4	0	45
forêt	20	5	6	1	84
savane	2	0	3	0	5
Saison humide	12	5	5	3	6
novembre	22	9	9	6	6
forêt	41	17	17	11	12
savane	3	1	0	1	1
décembre	1	0	1	0	5
forêt	1	0	1	0	7
savane	2	0	1	0	4
<i>Mantidactylus pauliani</i>					
Total	255	131	93	38	21
<b>ADULTE MATURE</b>	-		<b>224</b>	-	-
Saison sèche	281	139	93	51	41
juin	221	105	43	73	72
forêt	384	181	76	128	31
savane	57	29	9	19	113
août	342	173	144	29	10
forêt	631	317	267	51	13
savane	54	29	22	7	7
Saison humide	228	123	92	25	1
novembre	304	169	101	32	1
forêt	549	309	182	57	2
savane	59	29	21	6	0
décembre	152	77	82	19	2
forêt	268	144	159	35	2
savane	37	11	4	3	2

$\widehat{N}_S$  : L'effectif calculé est maintenu sur 100 m de ruisseau pour toutes les interprétations.

T : Transect

**ANNEXE VIII : Tableau récapitulatif des visites nocturnes**

Espèce	Stade	Sexe	Date	D. horizontal par rapport au bord de ruisseau	D. par rapport au sol	Transect
<i>B. williamsi</i>	ad	m	02/11/2011	1 m 60	1 m 50	T3
<i>B. williamsi</i>	ad	m	02/11/2011	2 m 40	70 cm	T3
<i>B. williamsi</i>	ad	m	02/11/2011	1 m 10	10 cm	T3
<i>B. williamsi</i>	ad	f	15/12/2012	9 m	40 cm	T3

ad : adulte ; m : mâle ; f : femelle ; D. : distance

**ANNEXE IX: Nombre d'individus recensés au cours des descentes, en fonction de la vitesse, de la profondeur de l'eau et de la température**

<i>Boophis williamsi</i>		Total M : 92 Total T : 230						
Vitesse (m/s)	Nombre d'individus		Profondeur (cm)	Nombre d'individus		Température (°C)	Nombre d'individus	
	M	T		M	T		M	T
<b>0,05</b>		2	<b>10</b>		2	<b>6</b>		4
<b>0,06</b>		3	<b>11,33</b>		3	<b>8</b>	1	17
<b>0,07</b>	7	31	<b>12,5</b>	10	7	<b>9</b>	8	18
<b>0,08</b>	9	55	<b>12,83</b>	2	10	<b>10</b>	4	11
<b>0,13</b>	3		<b>13,67</b>	38	6	<b>10,5</b>	10	70
<b>0,15</b>	10	7	<b>14</b>		23	<b>11,5</b>		3
<b>0,18</b>	12	11	<b>15</b>	5	29	<b>12</b>	4	26
<b>0,2</b>	5	67	<b>16,33</b>	1	6	<b>12,5</b>	2	3
<b>0,23</b>	2	33	<b>20,33</b>	2	2	<b>13</b>	4	5
<b>0,24</b>	38	6	<b>22,67</b>	12	11	<b>13,5</b>	6	20
<b>0,29</b>	2	5	<b>22,83</b>	3		<b>14</b>	20	7
<b>0,36</b>	2	4	<b>23,67</b>	4	61	<b>14,5</b>		1
<b>0,56</b>	2	6	<b>24</b>	9	55	<b>15</b>	24	16
			<b>26</b>	2	6	<b>15,5</b>	5	18
			<b>27,33</b>	2	4	<b>17</b>		4
			<b>28,33</b>	2	5	<b>18</b>	2	2
<i>Mantidactylus pauliani</i>			Total M : 1746 Total T : 115					
Vitesse (m/s)	M	T	Profondeur (cm)	M	T	Température (°C)	M	T
<b>0,05</b>	21	4	<b>10</b>	21	4	<b>6</b>	11	2
<b>0,06</b>	36		<b>11,33</b>	36		<b>8</b>	43	14
<b>0,07</b>	107	39	<b>12,5</b>	296	15	<b>9</b>	123	15
<b>0,08</b>	6	31	<b>12,83</b>	264		<b>10</b>	88	9
<b>0,13</b>	14		<b>13,67</b>	246	3	<b>10,5</b>	190	27
<b>0,15</b>	296	15	<b>14</b>	152	15	<b>11,5</b>	34	5
<b>0,18</b>	214		<b>15</b>	103	35	<b>12</b>	136	12
<b>0,2</b>	206	1	<b>16,33</b>	12		<b>12,5</b>	119	7
<b>0,23</b>	416	15	<b>20,33</b>	4	4	<b>13</b>	95	7
<b>0,24</b>	246	3	<b>22,67</b>	214		<b>13,5</b>	83	2
<b>0,29</b>	2	3	<b>22,83</b>	14		<b>14</b>	173	1
<b>0,36</b>	53	3	<b>23,67</b>	194	1	<b>14,5</b>	18	
<b>0,56</b>	129	1	<b>24</b>	6	31	<b>15</b>	167	9
			<b>26</b>	129	1	<b>15,5</b>	239	4
			<b>27,33</b>	53	3	<b>17</b>	46	1
			<b>28,33</b>	2	3	<b>18</b>	34	
						<b>18,5</b>	147	

M : nombre d'adultes et juvéniles ; T : nombre de têtards

**ANNEXE X : Quelques types d'habitats rencontrés à Manjakatompo (photos : Rakotononely, 2011)**



a et b : (T6) Tsimiaranadianahy (2380-2400 m) ; c : milieu asséché (T4) Ambohimirandrana



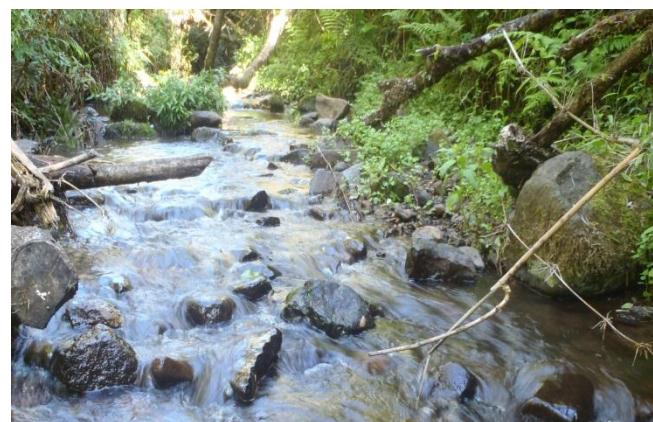
T4 Ambohimirandrana (2264-2309 m)



T5 Maharavana (2086-2089 m)



T3 Tavolotara (2002-2015 m)



T2 Ambatomalama (1794-1802 m)

**TITRE : BIOLOGIE ET ECOLOGIE DE DEUX ESPECES D'AMPHIBIENS *Boophis williamsi* (GUIBE, 1974) ET *Mantidactylus pauliani* GUIBE, 1974 CRITIQUEMENT EN DANGER DU MASSIF DE L'ANKARATRA**

**RESUME**

Les études biologique et écologique de *Boophis williamsi* et *Mantidactylus pauliani*, deux amphibiens des cours d'eau, critiquement en danger (CR) et endémiques de l'Ankaratra ont été menée en quatre phases, relativement à la chronologie suivante : juin, août, novembre et décembre 2011. L'estimation de l'effectif total  $n$  par la méthode de Schnabel a été obtenue par le biais de la méthode de transect, la fouille systématique et le capture-marquage-recapture. Des relevés de la température, de la vitesse, de la profondeur de l'eau, ainsi que l'évaluation du type de la roche servant d'abris le long du ruisseau ont été effectués pour l'analyse écologique. Les effectifs généraux des adultes matures sont de sept pour *B. williamsi* et 224 pour *M. pauliani*, s'étalant sur 100 m de ruisseau. Elles varient avec l'altitude et le type d'habitat, généralement, en faveur du milieu forestier (2008 m à 2100 m). Ces deux espèces ne vivent qu'à 2000 m et 2400 m d'altitudes. L'analyse morphométrique de ces dernières a démontré que la femelle a une taille supérieure à celle du mâle. Il s'avère que la température et l'eau ont des rôles déterminants pour leurs survies. Ces deux espèces sont altitudes dépendantes et vivent aux dépends des ruisseaux. Chaque classe d'âge présente, selon la vitesse et la profondeur de l'eau, une affinité particulière dans le choix du microhabitat. Elles adoptent diverses stratégies pour leur survie dans un intervalle d'altitude étroit, selon la saison et le type d'habitat. La présente étude va aider à la connaissance des deux espèces, ainsi qu'un document aidant à la priorisation des habitats de l'Ankaratra.

**Mots clés :** Amphibien, *Boophis williamsi*, *Mantidactylus pauliani*, Habitat, Altitude, Station forestière Manjakatompo, Massif de l'Ankaratra, Madagascar

**ABSTRACT**

Biological and ecological studies of *Boophis williamsi* and *Mantidactylus pauliani*, two amphibians rivers, critically endangered (CR) and endemic Ankaratra were conducted in four phases, with respect to the following timeline : June, August, November and December 2011. The total number  $n$  estimation by the method of Schnabel was obtained through the transect method, systematic search and capture-mark-recapture. Readings of temperature, speed, water depth, as well as evaluating the type of rock for shelter along the stream were made for environmental analysis. The general number of mature adults are seven *B. williamsi* and 224 for *M. pauliani*, spanning 100 m of stream. They vary with altitude and habitat type, generally in favor of the forest (2008 m to 2100 m). Both species live only 2000 m and 2400 m altitude. Morphometric analysis of these showed that the female larger than the male. It turns out that the temperature and water have key roles for their survival. These two species are dependent altitudes and live at the expense of streams. Each age has, depending on the speed and depth of water, an affinity specific choice of the microhabitat. They adopt various strategies for survival in a narrow altitude range, depending on the season and type of habitat. This study will help understanding of the two species, and a document helping to prioritize habitats Ankaratra.

**Keywords :** Amphibian, *Boophis williamsi*, *Mantidactylus pauliani*, Habitat, Altitude, Forest Station Manjakatompo, Ankaratra Massif, Madagascar.

**Encadreur :**

Pr RABETAFIKA Lydia

**Impétrant :**

**Nom et Prénom** RAKOTONOELY Arifetra Serge Xavier

**Adresse** II G 3 FF bis Ambatomaro Antananarivo 101

**Tél** +261331160548

**e-mail** sergefetra@gmail.com