RECHERCHES POUR LE DEVELOPPEMENT

Série Sciences Biologique

N°33-2024
Antananarivo - Madagascar

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

ISSN 1025 – 3467

RECHERCHES
POUR
LE DEVELOPPEMENT

Série Sciences Biologique

N°33

2024

RECHERCHES
POUR
LE DEVELOPPEMENT

Série

Sciences Biologique

N° 33-2024

Membres du Comité de lecture :

- Pr RAMIARISON Claudine
- Pr RAKOTOARIVELO Marie Laure
- Dr RAHARIJAONA Nivoniaina Fahendrena
- Dr VOLAMPENO Sylviane

Ce numéro a été édité avec le concours de

Université d'Antananarivo

et

Centre d'Information et de Documentation Scientifique et Technique

Toute correspondance concernant les publications
RECHERCHES POUR LE DEVELOPPEMENT
doit être adressée au :

Centre d'Information et de Documentation
Scientifique et Technique
BP 6224 – Email : edition.cidst@gmail.com
Antananarivo – Madagascar

ISSN 1025-3467

SOMMAIRE

Densité, comportement et pression sur l'habitat naturel de *Propithecus coronatus* (Milne Edwards, 1871) au niveau de la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema durant l'année 2018 à 2021

Jean Michel Herinaivo, Herimalala Raveloson, Solofonirina Rasoloharijaona **7**

***Bismarckia nobilis* : une filière à ne pas négliger**

Vavindraza, Sondrota Rico, Hery Lisy Tiana Ranarijaona **29**

Inventaire et étude des activités comportementales de *propithecus coronatus* (Milne Edwards, 1871) dans le complexe- Mahavavy Kinkony

Jean Michel Herinaivo, Herimalala Raveloson, Solofonirina Rasoloharijaona **43**

Evaluation de risque d'érosion hydrique par approche cartographique a Ambohitsara – Faravohitra, commune Tritriva

RANDRIANARISOA Aronantenaina, RAMIANDRISOA Njararivelo Louisa, RAKOTONDRAZAFY Raymond **60**

Caractérisation écologique des mangroves restaurées de la région Boeny : cas de Boanamary

SOAFIA B. A., TAVENTY R. A., VAVINDRAZA.., RANARIJAONA H.L.T **91**

Pétrographie et provenance des formations gréseuses du massif ruiniforme de l'Isalo

HANDONIAINA Jean Aline Nadia, MADISON RAZANATSEHENO Marie Olga, RAKOTONDRAZAFY Amos Fety Michel, RANDRIANALY Hasina Nirina, RAHARIMAHEFA Tsilavo, RASOAZANAMPARANY Christine **121**

Etude comparative de la production et diètes des larves de *Tenebrio molitor*

MAMISOA Colette Vincentine, RATSIRARSON Joelisoa, RAZAFIARISOA Berthine, RANDRIAMAHATODY Zo, RATSIMBAZAFY Jonah, RANDRIANATORO Hery, RAKOTOMANANA Olga Rachel. **138**

Analyse multidimensionnelle de la dégradation des ressources forestières du parc national d'Ankarafantsika dans l'optique du dividende démographique

Noahery Tahiana RANDRIAMBELOMAHENINA, Claudine RAMIARISON, Rado ANDRIAMIFALIHARIMANANA, Zo Hasina RABEMANANJARA , Holy RANDRIAMANAMPISOA, Fenosoa Andriamasiarivo RANDRIANANTOANDRO, Bruno RAMAMONJISOA, **156**

Forêts sèches Antrema : nurserie à ciel ouvert pour *Propithecus coronatus*

Vavindraza, Hery Lisy Tiana Ranarijaona, Edmond Roger **182**

Perception paysanne sur le changement climatique dans la commune rurale de Marosakoa

RAMIZASON Veromanitra Noëlle , RANDRIAMINAHY Ziva Mbolamanana, RANARIJAONA Hery Lisy Tiana , RAMANANKIERANA Heriniaina **204**

Evaluation de niveaux d'émissions de référence des forêts, cas de la forêt du parc national Ankarafantsika

Fridonatien Peguy RAVELONDRAMAMY, Mbolamanana Ziva RANDRIAMINAHY, BEN Anthoy Moussa, Achille Thierry RAKOTO, Rasoloarisoa Vololomboahangy RANDRIANJAFY, Hery Lisy Tiana RANARIJAONA **223**

Développement rural et développement durable via l'instauration d'un système de gravitation hydroagricole

Vavitsara M. E., Andrianantenaina J. F. **252**

Densité, comportement et pression sur l'habitat naturel de *Propithecus coronatus* (Milne Edwards, 1871) au niveau de la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema durant l'année 2018 à 2021

Par

Jean Michel Herinaivo[1], Herimalala Raveloson[2], Solofonirina Rasoloharijaona [3],

[1] *Doctorant à l'Ecole Doctorale des Ecosystèmes Naturels de l'Université de Mahajanga,*

[2]*Maître de Conférences, Co- Directeur de thèse,*

[3]*Professeur Titulaire, Directeur de thèse*

RÉSUMÉ

Madagascar, la quatrième plus grande île du monde, est réputée pour sa biodiversité exceptionnelle. Toutefois, cette biodiversité fait face à une série de défis, principalement dus aux activités humaines, ce qui menace sa survie à long terme. L'étude s'est concentrée sur la Nouvelle Aire Protégée Bioculturelle d'Antrema, située dans le district de Mitsinjo, où réside notamment *Propithecus coronatus*. L'objectif est d'évaluer la population de cette espèce, ses comportements et les menaces qui pèsent sur son habitat. Les méthodes utilisées comprennent l'inventaire, le suivi de l'activité, et l'évaluation des pressions environnementales.

Les résultats ont révélé une augmentation du nombre de groupes et d'individus de *P. coronatus* au fil des années. Leurs principales activités sont le repos, l'alimentation, le déplacement et les interactions sociales. Les pressions anthropiques ont été évaluées et ont montré une perturbation significative dans certains sites.

La réduction de la surface forestière et les activités humaines ont un impact sur la densité des lémuriens. Leurs comportements varient en fonction de la disponibilité des ressources alimentaires. Les activités humaines telles que les feux de brousse et la coupe sélective des arbres ont un impact significatif sur leur habitat.

Malgré ces pressions, l'augmentation de la population de *P. coronatus* dans l'Aire Protégée d'Antrema témoigne de l'efficacité de cette initiative de conservation. Des mesures de sensibilisation et de préservation sont recommandées, ainsi que le lancement des programmes de restauration forestière et de développement économique visent à impliquer les populations locales dans la conservation de la biodiversité.

Mots clés : *P. coronatus*, pression, densité

ABSTRACT

Madagascar, the fourth largest island in the world, is renowned for its exceptional biodiversity. However, these animals face a series of challenges, primarily due to human activities, which threaten their long-term survival. The study focused on the New Protected Area of Antrema, located in the Mitsinjo district, where the Propithecus coronatus resides. The aim was to assess the population of this species, its behaviors, and the threats to its habitat. The methods used included inventory, activity monitoring, and environmental pressure assessment.

The results revealed an increase in the number of groups and individuals of P. coronatus over the years. The main activities of these animals are resting, feeding, movement, and social interactions. Anthropogenic pressures were evaluated and showed significant disturbance in certain sites. The reduction of forest cover and human activities have an impact on lemur density. Their behaviors vary depending on the availability of food resources. Human activities such as bushfires and selective tree cutting have a significant impact on their habitat.

Despite these pressures, the increase in the population of P. coronatus in the Antrema Protected Area demonstrates the effectiveness of this conservation initiative. Awareness and preservation measures are recommended, as well as forest restoration and economic development programs aimed at involving local populations in biodiversity conservation.

Keywords: *P. coronatus*, pressure, density

INTRODUCTION

Madagascar, quatrième plus grande île dans le monde, est reconnue par sa grande richesse en matière de biodiversité. La quasi- totalité des espèces floristiques et faunistiques qu'elle abrite sont toutes endémiques, parmi lesquelles les lémuriens.

Les lémuriens sont les espèces animales les plus représentatives de Madagascar. Ils peuvent être observés dans presque toutes ses forêts. Malgré tout, ces animaux sont actuellement confrontés aux différentes pressions surtout d'origine anthropique *telles que les feux de brousse, le pâturage, la conversion des forêts en terres agricoles, le braconnage. (Godfrey et Irwin., 2007).* Les lémuriens sont menacés d'extinction à cause du déclin de certains facteurs, surtout socio- économiques et environnementaux.

Afin d'anticiper cette menace, l'état malagasy en 2003, par sa politique gouvernementale sur la préservation de l'environnement, s'est engagé à augmenter le nombre d'aires protégées dans le pays.

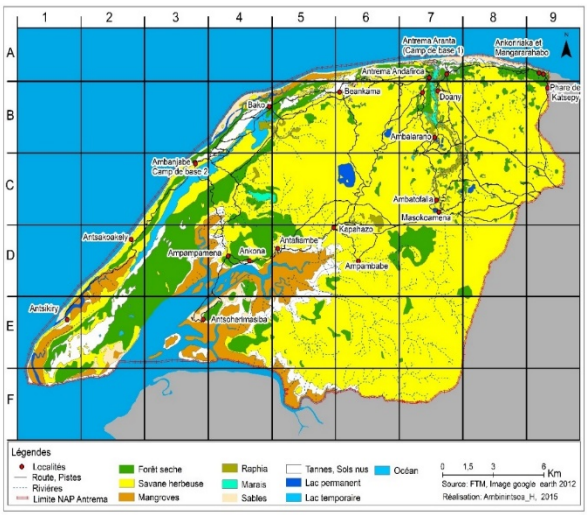
Au niveau *de la Nouvelle Aire Protégée bioculturelle d'Antrema qui se situe dans le district de Mitsinjo de la région Boeny, s'observe l'une des espèces de lémuriens diurnes,* Propithecus coronatus. *Depuis longtemps, cette espèce est considérée comme étant en danger* (EN) et est répertoriée *sur la liste rouge de l'IUCN. (Baillie et Groombridge, 1996). De plus, sa distribution géographique est limitée aux forêts caducifoliées du Nord-Ouest de la grande Ile, en particulier entre les rivières de Betsiboka et de Mahavavy, et au centre-ouest, entre les rivières de Manambolo et de Tsiribihina (Salmona et* al*, 2013). Ces trente dernières années, la densité de sa population a été réduite de presque de moitié, c'est-à-dire : de 50 % (Ramanankirahina, 2004).*

Le présent article relate les résultats des études effectuées à Antrema durant l'année 2018 à l'année 2021 ayant pour objectifs de: 1) déterminer le nombre d'individus du groupe et sa composition, 2) évaluer les activités effectuées par l'animal ; et 3) connaître les pressions et menaces pesant sur son habitat.

METHODOLOGIE

Site d'étude

La Nouvelle Aire Protège ou « Site Bioculturel d'Antrema » fait partie intégrante du district de Mitsinjo, commune rurale de Katsepy, Fokontany d'Antrema. Elle se trouve à 12 km de Katsepy et est limitée au Nord-Ouest par le Canal de Mozambique, au Sud par la route qui mène à Mitsinjo, à l'Est, par la route qui mène vers le phare de Katsepy. Le Site Bioculturel d'Antrema s'étend sur une superficie de 21.620 ha dont les 1.000 ha sont attribués au parc marin. Concernant les coordonnées géographiques, elle se situe entre 15°42 à 15°50 de latitude Sud et 46° à 46°15 de longitude Est (Gauthier et al., 1999).



Matériels

L'animal d'étude

Selon sa position taxonomique Propithecus coronatus*, l'animal qui fait l'objet de cette étude appartient à la famille de lémurien diurne appelé* Indriidae*. Il est classé*

en Annexe I de la Convention (CITES) et est répertorié comme étant « en danger critique » sur la Liste Rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN, 2014, version 2019-2).

Matériels

La collecte des données a requis un **Global Positioning System (GPS)**, permettant d'obtenir les coordonnées exactes des lieux de localisation de tous les individus de lémuriens recensés, ainsi que des **Jumelles pour** observer de loin les lémuriens, les énumérer et de les identifier.

Les autres matériels de terrain comprennent les flags pour marquer les lieux où ont été rencontrés les lémuriens. Ils servent de repère pour la suite de l'étude pour la collecte des coordonnées géographiques, nom de l'arbre support. Un **appareil photo numérique** est requis pour numériser les images des individus inventoriés.

Méthodes

Inventaire de l'espèce par le transect

La collecte des données de cette étude a été effectuée à partir de l'observation directe à l'œil nu et à l'aide d'une paire de jumelles. L'inventaire a été fait par comptage systématique et non pas par estimation à partir d'un échantillon testé statistiquement.

Le recensement a commencé de 06 heures du matin à 18h. Pendant l'observation, la vitesse de l'observateur est très lente et les écoutes actives ont été effectuées. Pour le groupe détecté, les données suivantes ont été enregistrées :

a) Nombre des groupes, localisations géo référencées et les activités

b) Composantes des groupes en nombre de mâles et de femelles (adultes), jeunes (plus de trois mois) et petits (moins de trois mois).

Suivi des activités de l'animal

Trois individus de Propithecus coronatus *ont été : deux femelles nommées respectivement « PETA »et « SOA» et un mâle nommé « NGALO». Pour le suivi de l'animal, les méthodes suivantes ont été adoptées :*

La méthode « animal focal sampling » : (Zuberbuhler et Wittig, 2011). Durant l'étude et toutes les cinq minutes, cinq activités principales ont été enregistrées :

- *Le repos : l'individu reste inactif soit en position assise soit couchée (Herbers, 1981).*

- *Le déplacement : l'individu se met en mouvement dans le but de rechercher de la nourriture ou bien un abri.*
- *L'alimentation : l'individu se nourrit*
- *Les activités sociales : qui peuvent être le jeu, le toilettage, le marquage et l'agression.*

Et la dernière, « Hors vue » au moment où l'individu s'échappe de l'observation

Evaluation des pressions et menaces

Durée

Au sein du site, la durée des pressions anthropiques est jugée :

-permanente lorsque l'action constatée est en permanence (03points)

- temporaire lorsque l'action constatée ne dure que pendant un laps de temps bien limité et n'est que passagère. (02 points)

- occasionnelle quand l'action constatée est tout à fait hasardeuse ou ponctuelle (01 point).

Au niveau des sites d'études, l'intensité des pressions anthropiques est jugée :

- forte lorsque l'action constatée entraine une immédiatement la destruction rapide de l'habitat (03 points).

- moyenne lorsque l'action constatée peut entrainer une destruction moyennement rapide niveau du site (02 points).

- faible lorsque l'action constatée au niveau du site peut entrainer une destruction de l'habitat plus tardive (01 point).

Importance

Pour les sites étudiés, si l'importance des pressions anthropiques concerne :

- l'ensemble du site étudié, alors elle est dite régionale (03 points).

- quel que soit la localité du site étudié, elle est dite zonale (02 points).

- uniquement en un endroit bien précis, elle est dite locale (01point).

Evaluation des pressions

L'évaluation des pressions anthropiques correspond à la somme de la durée de :

1) l'intensité et de l'importance.

2) l'évaluation totale de la pression est jugée mineure si la somme des points affectés est inférieure ou égale à 4.

3) l 'évaluation totale de la pression est jugée moyenne si la somme des points affectés est comprise entre 5 et 6.

Analyse des données

Statistique descriptive

Les paramètres estimatifs sont décrits sous forme de médianes, écarts types. Ensuite, ils sont visualisés sous forme de graphes pour apporter plus de clarté. Ce n'est qu'après que les hypothèses peuvent être émises

Statistiques analytiques

Le test de *Chi- carré :*

Année	2018	2019	2020	2021
Nombre de groupe ANTR	4	4	5	6
Nombre d'individu ANTR	24	25	30	34

Le test de Chi-carré (x^2) est un test statistique qui permet de savoir si les différences existantes entre les paramètres étudiés sont significatives ou non (Zar 1999). Pour la présente étude ce test a été utilisé pour comparer les fréquences de la partie consommée par les individus.

Ce test est exprimé par la formule :

$$x^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(Oi - Ti)^2}{Ti}$$

Avec $\boldsymbol{Oi}$: effectif observé des variables étudiés

$\boldsymbol{Ti}$: effectif théorique ou calculé

Pour ce test, le seuil d'erreur ou de risque (α) est limité à p= 0,05 ou 5% et le degré de liberté (ddl) est égale au nombre des lignes moins un multiplié par des colonnes moins un :

ddl= (L-1) × (C-1)

RESULTATS

La densité

Le tableau 1 montre le nombre de groupes et individus des animaux recensés durant l'année 2018 jusqu'en 2021.

Tableau 1 : *Nombre de groupes et individus des animaux recensés*

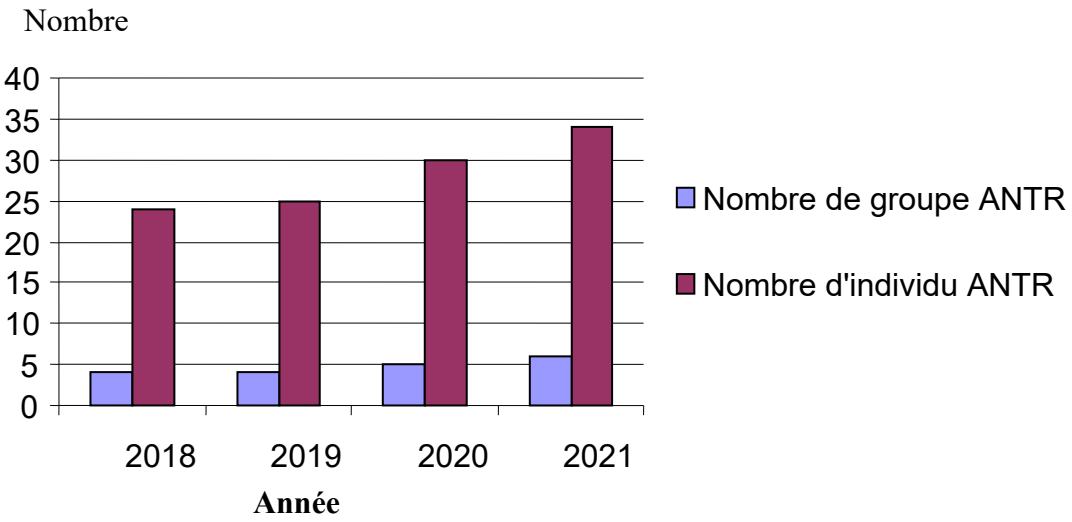


Figure 1 : Nombre de groupe et d'individus par année

La Figure 1 illustre une augmentation progressive du nombre de groupes et d'individus observés au fil des années. Deux nouveaux groupes ont été repérés en 2020 et 2021, tandis que quatre groupes ont été observés en 2018 et 2019.

Rythmes d'activités de l'animal d'étude

D'après le tableau 2 ci- dessous, en général, les activités de l'animal se décomposent en repos, alimentation, déplacement et autres. Cependant, la fréquence de ces activités peut varier d'un individu à l'autre.

Tableau 2 : Tableau indicatif des rythmes d'activités de l'animal d'étude

Nom	Activité sociale	Alimentation	Autres	Déplacement	Repos
NGALO	72	214	60	150	419
PETA	18	211	83	240	298
SOA	44	254	55	177	563

Test	
Khi² (Valeur observée)	121,251
Khi² (Valeur critique)	15,507
DDL	8
Valeur de p	< 0,0001
Seuil alpha	0,05

La différence est très hautement significative entre les activités comportementales des trois individus

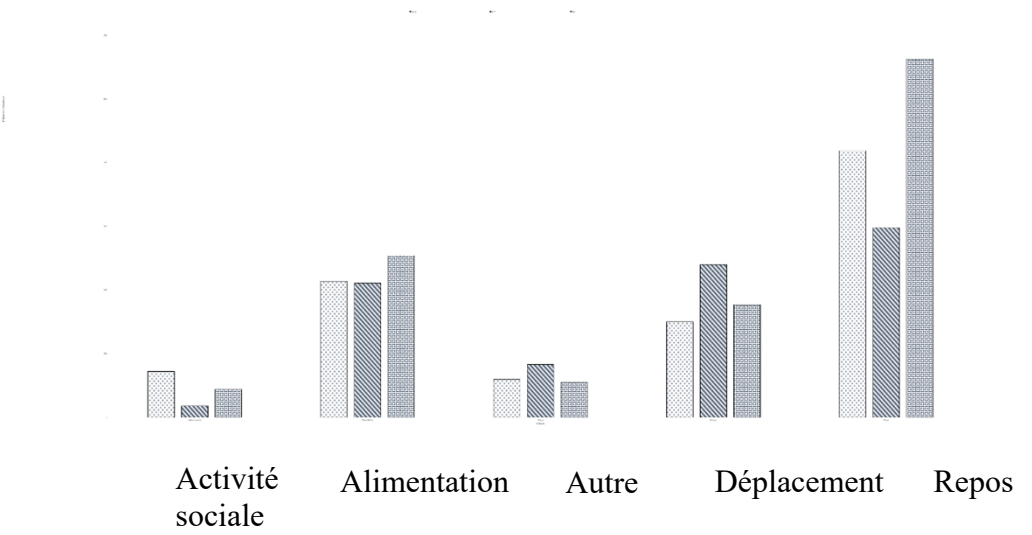


Figure 2 : Rythme d'activité de l'animal d'étude

La figure 2 montre qu'il a une différence très hautement significative sur le rythme d'activités de ces individus.

Evaluation quantitative des pressions sur l'habitat

Pour les sites de Badrala, Beankama et Ambanjabe, l'évaluation totale a révélé des scores respectifs de 18, 19 et 21. Les indices de pression (Ip) correspondants étaient de 0,4 pour Badrala et Beankama, et de 0,5 pour Ambanjabe. Ces valeurs indiquent un faible niveau de pression dans les trois sites. En revanche, pour les sites à faible densité, l'évaluation totale des pressions a montré des scores variant de 31 à 38, avec des indices de pression de 0,7 et 0,8. Cela suggère que ces sites sont fortement perturbés (voir tableau 9).

Le tableau suivant présente une synthèse des types et de la qualité des pressions présentes dans certains sites d'inventaire.

Sites	Types de pressions	Durée	Intensité	Importance	Evaluation
Ambanjabe	Trace du feu	Temporaire (2)	Faible (1)	Locale (1)	Mineur (4)
	Feux de brousse	Temporaire (2)	Faible (1)	Zonale (2)	Moyenne (5)
	Divagation de zébus	Permanente (3)	Moyenne (2)	Zonale (2)	Majeur (7)
	Coupe illicite	Occasionnelle (1)	Moyenne (2)	Locale (1)	Moyenne (4)
	Chasse et braconnage	Occasionnelle (1)	Faible (1)	Locale (1)	Mineur (3)
Evaluation total (Indice de pression (*Ip*))					**23 (*Ip*=0,5)**
Beankama	Trace du feu	Occasionnelle (1)	Faible (1)	Locale (1)	Mineur (3)
	Feux de brousse	Occasionnelle (1)	Faible (1)	Locale (1)	Mineur (3)
	Divagation de zébus	Permanente (3)	Moyenne (2)	Zonale (2)	Majeur (7)
	Coupe illicite	Occasionnelle (1)	Faible	Locale (1)	Moyenne

			(1)		(3)
	Chasse et braconnage	Occasionnelle (1)	Faible (1)	Locale (1)	Mineur (3)
Evaluation total (Indice de pression (*Ip*))					**19 (*Ip*=0,4)**
Badrala	Trace du feu	Occasionnelle (1)	Faible (1)	Locale (1)	Mineur (3)
	Feux de brousse	Occasionnelle (1)	Faible (1)	Locale (1)	Mineur (3)
	Divagation de zébus	Permanente (3)	Moyenne (2)	Locale (1)	Majeur (6)
	Coupe illicite	Occasionnelle (1)	Faible (1)	Locale (1)	Mineur (3)
	Chasse et braconnage	Occasionnelle (1)	Faible (1)	Locale (1)	Mineur (3)
Evaluation total (Indice de pression (*Ip*))					**18 (*Ip*=0,4)**
Kapahazo	Trace du feu	Permanente (3)	Forte (3)	Régionale (3)	Majeur (9)
	Feux de brousse	Permanente (3)	Forte (3)	Régionale (3)	Majeur (9)

	Divagation de zébus	Permanente (3)	Forte (3)	Régionale (3)	Majeur (9)
	Coupe illicite	Permanente (3)	Moyenne (2)	Zonale (2)	Majeur (7)
	Chasse et braconnage	Occasionnelle (1)	Moyenne (2)	Locale (1)	Moyenne (4)
Evaluation total (Indice de pression (*Ip*))					**38(*Ip*= 0,8)**
Masokoamena	Trace du feu	Permanente (3)	Forte (3)	Zonale (2)	Majeur (8)
	Feux de brousse	Permanente (3)	Forte (3)	Zonale (2)	Majeur (8)
	Divagation de zébus	Permanente (3)	Moyenne (2)	Zonale (2)	Majeur (7)
	Coupe illicite	Temporaire (2)	Moyenne (2)	Locale (1)	Moyenne (5)
	Chasse et braconnage	Occasionnelle (1)	Faible (1)	Locale (1)	Mineur (3)
Evaluation total (Indice de pression (*Ip*))					**31 (*Ip*= 0,7)**

DISCUSSIONS

Sur la densité de l'animal d'étude

Durant la période d'étude entre 2018 à 2021, le nombre d'individu et de groupe de P. coronatus au niveau de site d'Antrema a augmenté.

Toutefois, la diminution de la surface forestière et l'ouverture de la canopée ont des effets sur la pression des prédateurs (Michalski et Peres, 2005), ainsi les individus sont obligés de chercher des endroits plus sûrs. Quand la canopée est ouverte, il est facile pour les oiseaux prédateurs d'attaquer les lémuriens arboricoles. Le risque de prédation par les rapaces diurnes est faible dans une forêt à végétation dense (Gautier- Hion et al. 1985). C'est la raison pour laquelle le nombre d'individus recensés à Ambanjabe, Badrala et Beankama est plus abondant par rapport aux autres sites. Campbell et al (2005) confirmait que le choix de la canopée est lié à la prédation.

L'exploitation des ressources varie dans le temps et dans l'espace chez les Primates. La densité élevée de Propithecus coronatus au niveau de ces trois sites pourrait être due au degré d'activités anthropiques. De plus, Ganzhorn (1988) affirmait que la taille et la biomasse des groupes de lémuriens qui peuvent s'alimenter sur un arbre augmentent avec le diamètre de couronne de ce dernier. Par conséquent, l'extraction des ressources naturelles comme la coupe illicite et le défrichement dans le site d'étude ne font qu'accentuer la disparition des ressources existantes et facilite l'accès aux prédateurs.

De plus, durant l'observation la préférence d'arbre moyennement haut avec une DBH élevée a été constatée. En effet, la perte des grands arbres par les coupes sélectives semble affecter la densité de ces espèces qui est confirmé par Anderson et al (2007) en disant que la densité des lémuriens de grande taille (folivore et frugivore) varie probablement en fonction du nombre des arbres.

Sur les rythmes d'activités de l'animal

Les principales activités du Propithecus coronatus sont généralement le repos, l'alimentation, le déplacement et les activités sociales. A cet effet, elle attribue la majorité de leur temps au repos et à l'alimentation qui s'accompagnent de rares déplacements.

Le repos prend une proportion de temps considérable pour ces trois individus. Car selon Ramanankirahina, (2004), P. coronatus consacre 61,77 % à l'ensemble des phases calmes. En 2009, lors de travail de recherche dans la RNI Betampona, Randrianarimanana a observé que Propithecus diadema dépense 41,90 % à se reposer. De même, Rakotondrabe en 2012 affirmait que durant la journée,

Propithecus coronatus alloue 54,69 % de leur temps au repos. L'ensemble de ces études montre qu'il y a une dominance de repos qui est aussi la tendance de cette étude.

La dominance de la fréquence du repos peut être expliquée par l'habitude alimentaire, folivore de l'animal. En effet, les folivores sont connus par les caractéristiques tels qu'un long repos ainsi que de moindres déplacements (Hladik et Charles., 1974). Dans ce site, la majorité des feuilles que l'espèce consomme est riche en fibre. D'après Andrianandrasana (2011), la digestion de ces aliments fibreux nécessite beaucoup plus de temps ainsi l'animal est contraint par ce fait de chercher un endroit plus calme dans son territoire pour se reposer. Puis, le mécanisme de la digestion s'effectue de manière à ce que celle-ci se ralentisse voire s'arrête quand un animal fait un mouvement car le système nerveux sympathique envoie le sang de l'appareil digestif vers le cœur et le muscle (Smith, 1977 et Randrianarimanana, 2009). Pour le cas de cette espèce, la recherche de nourriture est la principale cause de déplacement

Concernant le déplacement, son taux est assez faible par rapport à celui du repos. Cette activité est généralement variée en fonction de la disponibilité des aliments. C'est pourquoi Wasser (1977) affirmait que le déplacement correspond à la distribution spatiale des aliments. De plus, Hladik (1978), Oates (1987) et Mihaminekena (2010) disaient aussi que l'activité de l'animal est conditionnée par la régulation du gain et/ou de la perte d'énergie et par celle du métabolisme des aliments (balance énergétique). Le faible taux de déplacement pourrait être dû à l'accès à la nourriture relativement disponible. En effet, en saison humide, beaucoup d'espèces de plantes acquièrent de nouvelles feuilles, d'autres entrent en état de floraison ou de fructification qui deviennent ainsi de nouveau ressources alimentaires exploitables par cette espèce. A cet effet, ce dernier n'a plus besoin d'effectuer plus de déplacement pour satisfaire ses besoins. Cette étude coïncide avec celles de Ramanankirahina (2004) et Ramanamisata (2012).

Evaluation des pressions

Les traces des feux ont été constatées au cours des travaux de terrain. La cause principale est le renouvellement de pâturage, et parfois la collecte de miel. Cette pression conduit à un niveau de fragmentation élevée et par conséquent, à la perte progressive d'habitat qui assure la survie des lémuriens. Elle dégrade directement les différentes niches écologiques et réduit la surface forestière. Par l'effet de fragmentation forestière, le domaine vital des différents groupes de lémuriens diminue. Kull, (2000), Harper et al. (2007) disaient que, la culture sur brûlis et la coupe sélective de bois constituent la principale menace pour les lémuriens à Madagascar. Cela pourrait expliquer par l'absence d'individu dans les différents sites

où le degré des ac²tivités anthropiques est très élevée (Ankonkabo, Kapahazo, Potse, Ambovongidro et Ambalihabe). En plus de ces différents types de pression, l'exode rural constitue aussi une menace non négligeable dans ces endroits.

Ainsi, leur vie dépend principalement de l'abondance des arbres donc la pression a eu des influences sur le nombre d'individus de propithèques observés sur terrain. Ce qui affirme que la présence d'Aire Protégée contribue à la sauvegarde et à la préservation de ces espèces.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude qui a été conduite au niveau de la NAP Antrema a permis de mettre à jour les informations concernant l'effectif, les rythmes d'activités et les types de pression que subit l'habitat naturel de cette espèce étudiée.

En se basant à la période d'étude de 2018 à 2021, une augmentation en termes de nombre d'individu et de groupe sur l'animal a été constatée. Cette augmentation de nombre peut déjà témoigner en d'autres termes l'efficacité de la mise en place de l'Aire Protégée malgré le fait que les différents types pressions restent présents sur le site.

Concernant le rythme des activités, la différence a été significative entre les trois individus étudiés (Ngalo, Peta et Soa) c'est-à-dire chaque individu mène un style de vie différent, des autres bien que sur chaque type d'activité observé, le repos occupe la majorité de leur temps à tous.

Comme cet animal est une espèce strictement folivore, les pressions anthropiques surtout le feu de brousse affecte le nombre des groupes. Sur ce, il est important de préserver et conserver la biodiversité en sensibilisant les populations riveraines à travers l'éducation environnementale.

Bien que de fortes pressions anthropiques soient ressenties au niveau de la forêt de la NAP d'Antrema engendrant ainsi un habitat actuellement en voie de dégradation, elle a une grande spécificité particulière. Par conséquent, elle mérite d'être protéger et bien conserver.

Ainsi, en plus des objectifs pour la gestion de la zone, il est recommandé de :

- Améliorer les connaissances nécessaires à la réalisation de la conservation.

- Sensibiliser et intégrer les populations locales à l'importance de la conservation des milieux faunistique et floristique.

- Renforcer les surveillances de la forêt et des ressources naturelles pour arrêter les dégâts causés par l'exploitation forestière. Sur la conservation :

- Impliquer la population dans la compréhension de l'importance de la forêt afin qu'elle puisse prendre part à sa préservation.

- Développer des activités génératrices de revenus pour réduire la dépendance de la population locale à la forêt (exemple : développer la pêche).

- Impliquer toutes les activités interactives de conservation au sein de de la population locale pour pouvoir les responsabiliser.

Sur la restauration forestière :

- Plusieurs ouvertures ont été observées dans la NAP d'Antrema. Il faut prioriser la restauration des zones défrichées ou des terrains abandonnés au milieu de la forêt pour assurer sa continuité et ainsi permettre les flux génétiques intra-spécifique pour les animaux.

- La culture des espèces utiles comme les espèces commerciales et les essences à bois de construction est recommandée pour donner une source de revenus à la population et subvenir à leur besoin.

- La création d'une pépinière communautaire est une bonne alternative pour que la population locale puisse cultiver les essences de leur choix et participer à la reforestation et restauration écologique de la réserve.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1) Altman, J., 1974. Observational study of behavior: Sampling methods. Behavior 49: 227-267
2) Anderson, J., Cowlishaw, G. and Rowcliffe, J.M. 2007. Effects of Forest Fragmentation on the Abundance of Colobus angolensis palliates in Kenya's Coastal Forests. International Journal Primatology, 28: 637–655
3) Association RENIALA, 2013. Plan d'Aménagement et de Gestion Simplifié (PAGS) de la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema. 88 pages
4) Baillie, J. and B. Groombridge. 1996. 1996 IUCN Red List of Threatened Animals. IUCN – The World Conservation Union, Gland, Switzerland. Biodiversité de Madagascar (ed. Goodman, S.M.) pp 615-626.
5) Britt, A. 1997. Environmental influences on the behavioural ecology of the Black and White Ruffed Lemur (Varecia variegate variegata, Kerr, 1972). University of Liverpool.
6) Campbell, C.J., Aureli, F., Chapman, C.A., Ramos-Fernández, G., Matthews, K., Russo,Curtis, D. J., A. Velo, E. O. Raheliarisoa, A. Zaramody and P. Müller. 1998. Surveys on Propithecus verreauxi deckeni, a melanistic variant, and P. v. coronatus in north-west Madagascar. Oryx 32: 157–164

7) Donque, G. 1975. Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar.
8) Ganzhorn, J. U. 1988. Food partitioning among Malagasy primates. Oecologia, 75: 436-450.
9) Gautier-Hion, A., Duplantier, J-M., Quris, R., Feer, F., Sourd, C., Decoux, J-P., Dubost, G.,Emmons, L., Erard , C., Hecketsweiler, P., Moungazi, A.,
10) Roussilhon, C., Thiollay, JM.1985. Fruit characters as a basis of fruit choice and seed dispersal in a tropic forest vertebrate community. Oecologia, 65: 324-337.
11) Godfrey, L. R. and. Irwin, M. T. 2007. The evolution of extinction risk: Past and present anthropogenic impacts on the primate communities of Madagascar. Folia Primatologie. 78: 405–419
12) Goodman, S.M., Connor, O& Langrand, O., 1993. A review of predation on lemurs: implications for the evolution of social behavior in small nocturnal primates. In: Lemur social systems and their ecological basis (eds. Kappeler, P.M. & Ganzhorn, J.U.) Plenum Press, New York, 51-66.
13) Harper, G. J., Steininger, M. K., Tucker, C. J., Juhn, D. and Hawkins, F. 2007. Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. Environmental Conservation, 34: 1-9
14) Herbers J.M., 1981. Time Ressources and Laziness in Animals. In: Oecologia: 252- 262 history of Madagascar. Environment History, 6: 423-450
15) Hladik, C. M. 1978. Alimentation en forêt tropical. Volume I. 639pages.
16) Hladik, C.M. and P. CHARLES D. 1974. The bihavioral and ecology of the sportive lemur (Lepilemur mustelinus) in relation to its dietary peculiarities. In, Prosimian Biology. Eds., R.D. Martin. G.A. Doyle and A.C. Waler. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh.
17) Hladik, C.M., 1978. Adaptative strategies of primates in relation to leaf-eating. In, The Ecology of Arboreal Folivores, eds. Montgomery. Smithsonian Institution Press. Washington D.C. 373-395
18) Irven, D. et Sarel, E. Rédacteurs des éditions TME6LIFE, (1969). Les Primates.
19) IUCN (International Union for Conservation of Nature) 2014. Propithecus coronatus. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-2.
20) IUCN. 2008. IUCN Red List of Threatened Species. International Union for Conservation of Nature (IUCN), Species Survival Commission, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Website: <http://www.iucnredlist.org/>. Accessed 22 October 2011.
21) Jolly, A. 1996. Lemur behavior: A Madagascar Field Study. The University of Chicago Press, Chicago, USA.
22) Journal of Primatology, 26(5) : 1039–1051

23) Koechlin, J; J. L. Guillaumet, et P, Morat, 1974. Flore et Végétation de Madagascar. Germany. Cramer. 622pages
24) Kull, C. A. 2000. Deforestation, erosion and fire: degradation myths in the environmental
25) Leclerc C. et C.A. Gauthier., 2000. Projet Pilote Bioculturel d'Antrema. Rapport d'activité. Parc zoologique. Zoo de Bois de Vincennes de Paris. 53 pages
26) Lehman, S. M. 2007. Spatial Variations in Eulemur fulvus rufus and Lepilemur mustelinus Densities in Madagascar. Folia. Primatol., 78: 46–55
27) Manjaribe, C. 2014. Reforestation et restauration écologique des fragments forestiers de Kianjavato à partir des grains disséminés par Varecia variegata editorium et Eulemur rufifrons., Thèse de Doctorat en Sciences de la vie et de l'Environnement, spécialité Ecologie végétale, Université d'Antananarivo. 137p.
28) Manjaribe, C., Frasier, L. C., Rakouth, B., and Louis, E. E. Jr. 2013. Ecological restoration and reforestation of fragmented forests in Kianjavato, Madagascar. International Journal of ecology, 13 : 1-13.
29) Manjaribe, C. 2008. Essai de restauration écologique et réhabilitation de la forêt de Vohimana par plantation d'arbres
30) Michalski, F and Peres, C. A. 2005. Anthropogenic determinants of primate and carnivore local extinctions in a fragmented forest landscape of southern Amazonia. Biological Conservation, 124: 383–396.
31) Ministère de l'Environnement des Eaux et Forêts. 2016. Décret N° 2016-128 du 23 février 2016 portant adoption de la Stratégie et Plans d'Action Nationaux pour la Biodiversité de Madagascar de 2015-2025
32) Ministère de l'Environnement et des Forêts. 2009. Quatrième rapport national de la convention sur la diversité biologique de Madagascar. 156 pages.
33) Mittermeier, I; W. R. Konstant et M, Meyer. 1994. Lemurs of Madagascar. Conservation International. New-York. 356pages
34) Mittermeier, R. A., Louis, E. E., Jr., Richardson, M., Schwitzer, C., Langrand, O., Rylands, A. B., Hawhinks, F., Rajaobelina, S., Ratsimbazafy, J., Rasoloarison,
35) R., Roos, C., Kappeler P. M. &MacKinnon, J., 2010. Lemurs of Madagascar (3rd ed.). Conservation International Tropical Field Guide Series. Arlington, VA: Conservation International.
36) Mittermeier, R. A., Tattersall, I. Konstant, W. R. Meyers, D. M &. Mast, R. B 1994. Lemurs of Madagascar. Washington, DC: Conservation International. Tropical Field Guide Series. 355 pages.
37) Mittermeier, R. A., W. R. Konstant., A. F. A. Hawkins., E. Louis., O. Langrand., H. J. Ratsimbazafy., M. R. Rasoloarison., J. U. Ganzhorn., S. Rajaobelina., I. Tattersall., et D. M. Meyers., 2006. Lemurs of Madagascar. 2nd

Edition, Tropical Field Guide Series Washington, D.C., Conservation International 520 pages.

38) Moral, L. (2009). Etude des interactions sociales et l'activité d'un groupe de propithèques couronnés en captivités. Mémoire de Masters éthologie, spécialité éthologie appliquée. UFR lettre, Sciences de l'homme et des sociétés. Université Paris XIII.

39) Müller, P. 1997. Ökologie und Ernährungs straegie des Kronen sifakas (Propithecus verreauxi coronatus). PhD thesis, Universität Zürich, Zürich.

40) Paulian, M., Andriamampianina, J. Blanc, C. 1981. Madagascar, un sanctuaire de la nature. Paris: Oberla Philippe. 117 pages.

41) Perrier de la Bathie, 1921. La végétation malgache. Annales du Muséum colonial Marseille 9. 266 pages

42) Petter, J. J.; Andriatsarafara, F. (1987). Recherches sur l'écologie et l'éthologie des lémuriens Malgaches. Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle. Serie A, Zoologie. Tome XXVII. Fascicule 1.

43) Rabemananjara, T.H.E. 2009. Etude de faisabilité écotouristique dans la station forestière à usage multiple d'Antrema-Katsepy (Région Boeny). Mémoire de D.E.S.S. Option Biologie de Conservation. Université d'Antananarivo. 109 pages

44) Rakotonirina, L. H.; Rakotoarisoa A. H. (2010). Rapport d'étude préliminaire sur la vérification de la présence des sifakas Propithecus sp. Dans les Régions de Bongolava, Betsiboka et Boeny, ainsi que leurs alentours. The Aspinall Foundation / GERP, Antananarivo, Madagascar. 68 pages.

45) Ramanamisata, 2012. Dénombrement des Propithèques couronnés en fonction de la fragmentation dans la NAP Antrema. Rapport, association Reniala, Projet Antrema, MNHN.

46) Ramanankirahina, R., 2004. Rythme d'activité et régime alimentaire de Propithecus verreauxi coronatus et d'Eulemur mongoz dans la Station Forestière d'Antrema. Mémoire de DEA. Département de Biologie Animale. Faculté des Sciences. Université d'Antananarivo. 78 pages

47) Randrianjafy, F.1999. Rapport de mission sur les formations végétales d'Antrema. 2 pages

48) Ratsirarson, J., 2008. La Réserve Spéciale de Beza Mahafaly. In Paysages Naturels et Razafindramanana, J. (2009). Preliminary conservation program for crowned sifaka, Propithecus coronatus, in the Miandrivazo District: survey for new groups around 67 Dabolava and surrounding area. In press. GERP / The Aspinall Foundation. Antananarivo, Madagascar

49) Razafindramanana, S.2001 « Rapport d'Activités 2001.Projet Pilote Bio-Culturel d'Antrema Madagascar. Parc zoologique. Zoo de Bois de Vincennes de Paris ». 28pages
50) Razakanirina, H. 2010. Suivi phénologique global et statut de conservation de 4 espèces végétales (Strychnos decussata, Diospyrosferrea, Gardeniadecaryi et Capurodendro gracifolium) consommées par Propithecus coronatus dans la forêt de Badrala (Antrema-Région Boeny).Mémoire de DEA. Département de Biologie et Ecologie Végétale. Faculté des Sciences. Université d'Antananarivo.117 pages
51) Richard, A. (2003). Propithecus, Sifaka. In Natural History of Madagascar. The University of Chicago Press. Pp: 1344-1347.
52) Richard, A. F., & Dewar, R. E. 1991. Lemur ecology. Annu. Rev. Ecol. Syst. 22: 145175
53) Richard, A.F.1977. The feeding behaviour of Propithecus verreauxi. IN Clutton Brock.
54) Ed. Primate ecology: studies of feeding and ranging behaviour in Lemurs, Monkeys and Apes. Academic press. London 71-96
55) Roger, E. Gauthier, C. A; Rakotondravony, D, Razafindramanana, S.2000. Diagnostic physico-éco- biologique de la Station Forestière à Usages Multiples d'Antrema. DRAFT. Parc Zoologique de Paris/ Faculté de Sciences Antananarivo / MEF.
56) Rylands A. B., Rajaobelina, S., Ratsimbazafy, J., Rasoloarison, R., Hawkins, F.,
57) Roos, C., Richardson, M., Kappeler, P. M. 2014. Lémuriens de Madagascar4ème édition. Publications scientifiques du Muséum, Conservation International. 836p
58) Salmona, J. E, Rasolondraibe. F, Jan. A, Besolo. H, Rakotoarisoa. S, V, Meyler. S, Wohlhauser. C, Rabarivola.et L, Chikhi. 2013. Conservation Status and Abundance of the Crowned Sifaka (Propithecus coronatus); Primate Conservation, 28:73-83
59) Tattersall, I. 1986. Notes on the distribution and taxonomic status of some subspecies of Propithecus in Madagascar. Folia Primatol. 46: 51–63
60) Tsavohitra, J. B.(2010). Comportement et disponibilités alimentaires de Propithecus edwardsi (Bennet, 1832) dans les deux sites (Talatakely et Sakaroa) du Parc National de Ranomafana, Ifanadiana, Fianarantsoa. Mémoire de DEA, Primatologie, Biologie évolutive, Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar.
61) Vavindraza. 2016. Ecologie et conservation des espèces forestières disséminées par Propithecus coronatus: cas de la nouvelle aire protégée

d'Antrema. Ecole Doctorale:Ecosystèmes Naturels, Université de Mahajanga Madagascar. Thèse de doctorat 176 pages.

62) Vavindraza, 2016. Suivi écologique des espèces de Propithecus coronatus dans les NAP Antrema et Complexe Mahavavy.

63) Wilmé, L.; Callmander, M. W. 2006. Les populations reliques de primates : les Propithèques. Lemur news 11. Pp 24 – 31.

64) Vieillefon, J. 1977. Les sols des mangroves et tannes de bas Casamance (Sénégal). ORSTOM, 291p

65) Washington, H. G. 1984. Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. Water Research, 18: 653-694.

66) Wilmé, L. ; Callmander, M. W. 2006. Les populations reliques de primates : les Propithèques. Lemur news 11. Pp 24 – 31

67) Wranghan, R. W., Chapman, C. A., and Chapman, L. J. 1994. Seed dispersal by forest chimpanzees in Uganda. Journal of Tropical Ecology, 10 : 355-368.

68) 153. Wright, P. C. 1997. The future of biodiversity in Madagascar: a view from Ranomafana Nationaln Park. In: Patterson, B. D., Goodman, S. M. (eds.) Environnemental change in Madagascar. Washington, pp. 381-405.

69) Zaonarivelo, J. R., Andriantompohavana, R., Razafindrakoto, A., Andrianasolo, J., Rajaobelina, S., Brenneman, R. A., Wolhauser, S., and Louis, Jr., E. E. 2007. Preliminary

70) Zaonarivelo, Z. R. 1999. Analyse des modalités d'adaptation de Varecia variegata variegata à un milieu perturbe. Cas de Manombo, Farafangana. Memoire de DEA. Département de Paleontologie et d'Anthropologie Biologique, Université d'Antananarivo, 81p.

BISMARCKIA NOBILIS : UNE FILIERE A NE PAS NEGLIGER

Par

Vavindraza[1], Sondrota Rico[2], Hery Lisy Tiana Ranarijaona[3]

[1-3]-*Ecole Doctorale Ecosystèmes Naturels, Université de Mahajanga,*

[2]-*Institut Universitaire de Technologie et d'Agronomie, Université de Mahajanga*

viviane.vavy@yahoo.fr, sondrotarico@yahoo.com, hranarijaona@gmail.com

RESUME :

Sur les 204 espèces de palmier connues, 98% ne se trouvent qu'à Madagascar. *Bismarckia nobilis*, palmier endémique de Madagascar, est largement distribuée dans la zone herbeuse sèche et sub-aride de l'ensemble de l'ouest ainsi que de l'extrême nord et fait partie des ressources les plus exploitées. La présente étude, axée sur l'importance de *Bismarckia nobilis* de trois Fokontany de la commune rurale Ambodimanary, district Antsohihy, région Sofia, vise à faire comprendre la place de la vannerie dans la vie quotidienne de la population et de déterminer ainsi les nombre de feuilles de palmier nécessaires pour ces activités. Des enquêtes ethnobotaniques, ethnoécologiques et socio - économiques ont été menées auprès de 30 hommes et 19 femmes, âgés de 30 à 50 ans. Les résultats ont montré que les feuilles fraîches et jeunes pousses sont employées traditionnellement pour traiter la diarrhée et le vomissement chez les enfants ; la moelle ou « Hovaka », est considérée comme complément alimentaire pendant la période de soudure. Ces feuilles sont aussi nécessaires à la construction des cases d'habitation et surtout très recherchées pour la vannerie. Selon les types de produits (panier, natte, soubique…), en moyenne 30 à 40 articles confectionnés génèrent un revenu mensuel de 95 000 à 285 000 Ariary. Ces revenus supplémentaires permettent d'améliorer le niveau de vie des ménages, d'instaurer une stabilité financière et permet ainsi de meilleures conditions de vie. La gestion et la conservation de la formation à *Bismarckia nobilis* est le cœur de l'économie de cette région Sofia.

Mots clés : *gestion durable, Bismarckia nobilis, vannerie*

ABSTRACT:

Of the 204 known species of palm trees, 98% are found only in Madagascar. *Bismarckianobilis, an endemic Malagasy palm*, is widely distributed in the dry and sub-arid grasslands of the west and far north, and is one of the most exploited resources. This study, which focuses on the importance of *Bismarckianobilis* in three Fokontany in the rural commune of Ambodimanary, Antsohihy district, Sofia region, aims to gain an understanding of the place of basketry in the daily lives of the

population and to determine the number of leaves required for these activities. Some ethnobotanical, ethnoecological and socio-economic surveys were carried out on 30 men and 19 women aged between 30 and 50. The results showed that fresh leaves and young shoots are traditionally used to treat diarrhoea and vomiting in children; the pith or « Hovaka » is considered a food supplement during the lean season. The leaves are also used to build huts and are much sought-after for basketry. Depending on the type of product (baskets, mats, straw bags usually called soubiques, etc.), an average of 30 to 40 made-up items generate a monthly income of between Ariary 95,000 and Ariary 285,000. This additional income helps to improve the standard of living of households, establish financial stability and thus improve living conditions. Bismarckianobilis is at the heart of the Sofia region's economy.

Keywords: *sustainable management, Bismarckianobilis, basketry*

INTRODUCTION

Madagascar est l'un des pays qui enregistre des proportions élevées d'espèces endémiques mais qui affrontent les plus grandes menaces de leur biodiversité (Kerr et Burkey, 2002). Elle constitue un « point chaud » de biodiversité pour les palmiers. 98 % des 204 espèces connues aujourd'hui ne se trouvent en effet que sur cette grande île de l'océan Indien située au large du Mozambique (R. Mijoro, 2017). Une telle variété s'explique par le fait que le territoire malgache a connu une longue période d'isolement après s'être détaché du Gondwana. Mais cette situation exceptionnelle ainsi que la présence dominante de ces arbres dans l'écosystème malgache en ont fait une des ressources végétales les plus courantes et les plus exploitées. Selon Myers et *al.* en 2000, notre île fait partie des 25 premières régions prioritaires possédant des concentrations exceptionnelles d'espèces endémiques mais avec un degré considérablement élevé de déforestation. Ce phénomène de déforestation se manifeste par la disparition des centaines de milliers d'hectares de forêts et de couvertures végétales chaque année par les feux de brousse, les tavy et les différentes formes d'exploitation.

Des efforts ont été déployés pour trouver l'équilibre entre la protection de la nature, de l'habitat et les besoins économiques et sociaux de la société (Randriatomposon, 2007). C'est dans ce contexte que cette étude s'est focalisée sur l'espèce *Bismarckia nobilis,* un palmier Malagasy. Endémique de Madagascar, connu sous le nom de « satrana, satranabe », *Bismarckia nobilis* est l'une des rares espèces vivaces, avec un grand stipe résistant aux incendies périodiques d'origine humaine. Tous les organes de la plante sont utilisés par la population ; le cœur et les fruits mûrs rentrent dans l'alimentation et les feuilles sont employées en vannerie (Razakanirina, 1994).

La vannerie est pratiquée par, environ, 30% de la population active et contribue jusqu'à 30% du produit intérieur brut du pays (Fanjanarivo, 1998). C'est une activité des femmes malagasy depuis longtemps (Grandidier, 1928). Les espèces et les parties utilisées varient suivant les régions à Madagascar, pour ne citer que : *Raphia farinifera* (Arecaceae), dans la région orientale (Bussmann et al., 2015) ; *Bismarckia nobilis*, dans les savanes de la côte ouest et nord-ouest de l'île. La présente étude a été effectuée dans le district d'Antsohihy, Région Sofia, plus précisément, dans trois Fokontany de la Commune rurale Ambodimanary. Elle concerne la filière *Bismarckia* dont l'objectif est d'examiner le mode d'utilisation rationnelle de cette espèce en analysant la place de la vannerie dans la vie quotidienne de la population locale, et de déterminer ainsi la quantité des feuilles utilisées par les femmes de la région, afin de gérer durablement cette espèce endémique.

MATERIELS ET METHODES

Site d'étude :

L'étude a été effectuée dans trois fokontany à savoir : Ambodimanary, Amborokambo, Ankazomahita, de la commune rurale d'Ambodimanary, district d'Antsohihy, de la Région Sofia (figure 1).

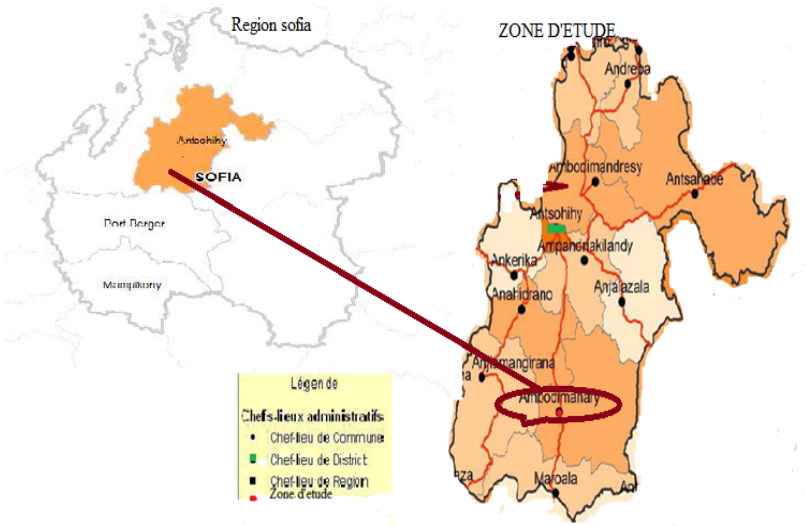


Figure 1 : la zone d'étude (Source : blogspot et googleMaps, 2019)

Le District Antsohihy siège du Chef-lieu de la Région Sofia, se situe à près de 440 km environ de Mahajanga, sur la RN6, à mi-chemin d'Antsiranana. La Région SOFIA est la plus peuplée de la province de Mahajanga (2 /3 des habitants de la province). Cette population est très jeune avec plus de 45% de la population de 15

ans). L'ethnie *Tsimihety* prédomine, à l'exception du district d'Analalava où la majorité des habitants sont des pêcheurs *Sakalava*.

La région possède de nombreux lacs à savoir Sofia à Bealanana, les lacs Andrampongy, Matsaboribe, Mangilihilia et Maroankoay à Antsohihy.

D'importantes formations forestières existent dans la partie Nord-Ouest et Est de la Région, des Forêts denses telles que dans la baie de Sahamalaza et à l'Est, la réserve d'Anjanahary Be Sud, les aires protégées de Marotandrano, les forêts de Makira. La forêt sèche qui prédomine dans le Centre et le Sud est particulièrement menacée par l'intensité des feux de brousse.

85% des ménages tirent leur principal revenu de l'agriculture. Le potentiel agricole important de la région est lié à la grande variété d'écosystèmes.

Matériel biologique :

Bismarckia nobilis Hildebrandt & H. Wendl. (1881)

***Systématique* :** (Source : Dransfield & Beentje, 1995) :

Famille : Arecaceae

Sous famille : Coryphoideae

Tribu : Borasseae

Sous tribu : Hyphaeninae

Genre : *Bismarckia*

Espèces : B. *nobilis*



Catégorie UICN : Préoccupation mineure (LC) ; Non CITES

***Morphologie*:**

Bismarckia nobilis Hildebrandt & H. Wendl. (1881) est une espèce dioïque (c'est-à-dire chaque individu porte soit uniquement des fleurs mâles ou des fleurs femelles), avec un stipe unique, imposant, jusqu'à 20 m et plus de haut et un diamètre d'environ 40 cm dans la partie médiane et jusqu'à 80 cm à la base. Il est couvert par les restes des bases foliaires chez les jeunes plants, de couleur brun-grisâtre et marqué par les anneaux de cicatrices des bases foliaires, proches les unes des autres, et par des fissures verticales, épaisses chez les plants adultes.

Les feuilles sont costapalmées, presque circulaires, larges parfois de plus de 2 m, cireuses, de couleur gris à gris-bleu avec 50-70 segments rigides, à peine bifides à l'extrémité dont les plus externes sont réunis à la base sur environ ¼ - ½ de leur longueur, les plus internes sur environ 80% ; le pétiole, long de 1,5 à 2 m et à peine indenté sur les bords, est recouvert d'une pellicule cireuse blanche. Il existe aussi une variété de plants avec des feuilles entièrement vertes.

Les inflorescences, ramifiées, apparaissent entre les feuilles, de structure similaire chez les plants mâles et les plants femelles ; elles sont formées par un axe principal avec des ramifications latérales, portant, regroupées au sommet chez les plants mâles, jusqu'à neuf branches florifères de 15- 25 cm de long, de couleur rouge brun, généralement en quantité moindre chez les plants femelles ; ces fleurs sont minuscules et blanchâtres. Les fruits sont ovoïdes ou globuleux, de 3-6 cm de long, de couleur brun foncé. Il se reproduit par les graines. L'habitat est une formation herbeuse de l'Ouest, sur calcaires, granites, grès siliceux et sables ; de 1 à 600 m d'altitude. Sa distribution est la région occidentale entre Daraina et Isalo.

Méthodes

Etude préliminaire

La phase préliminaire a été entreprise tout au long de l'étude, au sein de différents centres de documentation et sur site web. Toutes les informations nécessaires ainsi que les recherches archivées en relation avec le thème traité ont été collectées. Une reconnaissance préliminaire a été réalisée pour cibler les zones à étudier, avec l'aide du guide local dans le but de découvrir les différents types d'habitat.

Enquêtes :

La plupart du temps, les enquêtes ont été menées de manière informelle, permettant d'avoir le plus d'informations possibles ; d'autres types d'approche était aussi utilisés comme des enquêtes individuelles formelles, des enquêtes semi-structurées ainsi que des réunions villageoises.

Des enquêtes ethnobotaniques ont été effectuées pendant trois mois (de mars à juin 2019) au sein des trois Fokontany de la Commune rurale d'Ambodimanary afin d'examiner la place de la vannerie dans la vie quotidienne, d'identifier les espèces cibles ainsi que la quantité des feuilles utilisées par la population locale. Pour cela, 30 hommes et 19 femmes, âgés de 30 à 50 ans ont été enquêtés à partir des questionnaires préétablis (Alexiades 1996). Ces personnes cibles ont été observées directement (Blanchet et al. 1987) depuis la collecte des feuilles de *Bismarckia nobilis* jusqu'à la finition de la fabrication de la soubique, du panier et de la natte.

Des enquêtes ethnoécologiques ont été aussi réalisées afin de connaitre la perception de la communauté de base par rapport à la notion de conservation de l'espèce cible.

Afin de compléter ces données, les enquêtes socio-économiques ont permis de déterminer si les activités socio-économiques pratiquées dans les localités ont des impacts sur l'évolution spatiale des forêts de *Bismarckia nobilis*. Deux agents locaux ont participé à toutes les étapes de l'enquête.

RESULTATS

Activités des villageois de la commune Ambodimanary

Concernant les activités quotidiennes, les enquêtes effectuées auprès de 49 personnes cibles ont souligné que 43% des villageois s'intéressent à la filière *Bismarckia* contre 33% à l'agriculture et 24% à l'élevage (figure 2).

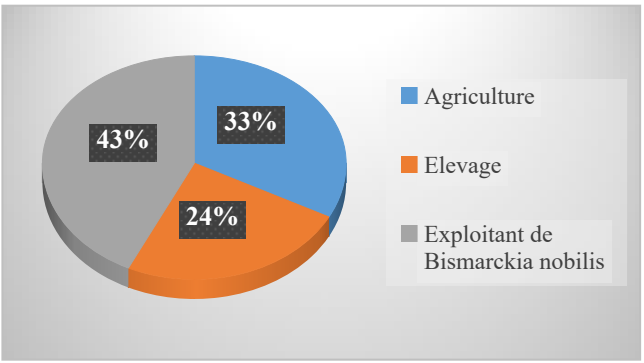


Figure 2 : activités des villageois de la commune Ambodimanary (Source : auteur, 2019)

Les villageois des trois Fokontany cibles présentent le même intérêt pour cette filière. Ceux d'Ankazomahita possèdent un pourcentage d'utilisation plus élevé par rapport aux deux autres Fokontany (figure 3).

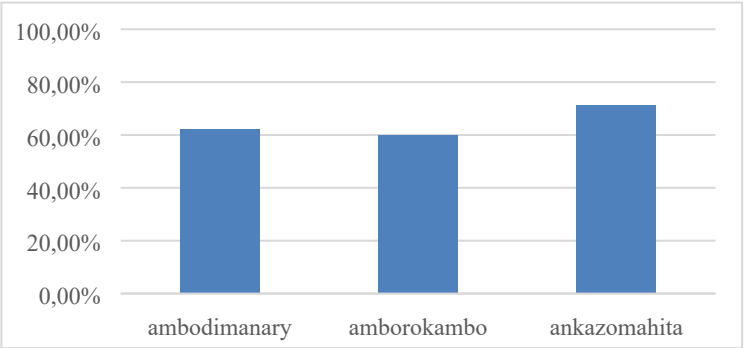


Figure 3 : pourcentage des villageois intéressés par la filière *Bismarckia* dans trois Fokontany de la commune Ambodimanary

Place de la vannerie dans la vie quotidienne de la population locale

La vannerie consiste surtout à la confection de soubique, de panier et de natte ; les autres articles (balai, chapeau) ne sont fabriqués que sur commande.

D'après les enquêtes, une personne pouvait fabriquer 30 à 40 articles par mois et génère en moyenne un revenu mensuel de 95 000 ariary (tableau 1). Cette somme est variable selon la saison.

Tableau 1 : revenu mensuel des villageois en vannerie

Espèce	**Partie exploitée**	**Produits de la vannerie**	**Nombre vendus par mois**	**Prix unitaire (Ar)**	**Revenu mensuel par ménage (Ar)**
Bismarckia nobilis	Feuille	Panier	20	1 000	20 000
		Soubique	5	3 000	15 000
		Natte	4	15 000	60 000
				TOTAL	**95 000**

Lors de la période de collecte de crabes au cours de laquelle les pêcheurs locaux ont une forte demande en soubique pour conserver leur production, et pendant les vacances scolaires, chaque vannière bénéficie d'un revenu mensuel pouvant aller jusqu'à 285 000 Ariary (tableau 2).

Tableau 2 : revenu mensuel des villageois en vannerie lors des périodes de collecte de crabes et pendant les vacances

Espèce	Partie exploitée	Produits de la vannerie	Nombre vendu par mois	Prix unitaire (Ar)	Revenu mensuel par ménage (Ar)
Bismarckia nobilis	Feuille	Panier	30	1 000	30 000
		Soubique	50	3 000	150 000
		Natte	5	15 000	75 000
		Chapeau	15	2 000	30 000
				TOTAL	**285 000**

Cette somme permet à chaque ménage de financer les dépenses liées aux produits de première nécessité.

Les produits finis sont soit achetés directement par les collecteurs (cas des soubiques), soit acheminés vers les marchés Antsohihy où les touristes et les gens venant d'autres régions s'approvisionnent.



Auteur, 2019

Photo1 : soubiques



Auteur, 2019

Photo 2 : nattes



Auteur, 2019

Photo 3 : paniers



Auteur, 2019

Photo 4 : troncs vidés, aplatis : « banty »

Matières premières et récolte

Les feuilles de *Bismarckia nobilis* constituent la principale matière pour la fabrication de soubique, de panier et de la natte dans la zone d'étude.

La collecte des feuilles se fait en matinée. Une fois coupée, les feuilles sont déchirées en deux le long de sa longueur au niveau du rachis puis séchées sur place pendant une demi – journée. A la fin de l'après-midi, elles sont ramassées et apportées au village.

D'après les enquêtes ethnoécologiques et socio-économiques effectuées, ces vannières ont constaté la diminution de la production foliaire chez les individus

cibles ; les villageois devaient parcourir une distance de 800m pour chercher les matières premières.

Pour la réalisation et selon les types de produits à confectionner, 3 feuilles de « satrana » sont nécessaires pour un panier et 5 feuilles pour la soubique. La confection d'une natte moyenne demande 30 feuilles de *Bismarckia nobilis* (figure 4).

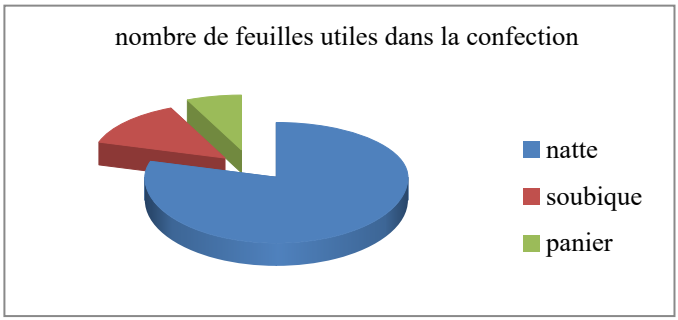


Figure 4 : nombre de feuilles de *Bismarckia nobilis* utilisées selon les types de produits (Source : auteur, 2019)

En moyenne, les personnes cibles collectent 26 240 à 62 720 feuilles par mois. L'effectif des vannières de la zone d'étude était de 128 ; le nombre de feuilles coupées pendant une année est estimé à une quantité comprise entre 314 880 à 752 640 feuilles de *Bismarckia nobilis*.

Durant la descente sur le terrain, et d'après les enquêtes effectuées, il a été constaté qu'en plus de la vannerie, les feuilles fraîches ainsi que les plus jeunes pousses de *Bismarckia nobilis*, en décoction, sont utilisées traditionnellement pour traiter la diarrhée et aussi contre le vomissement chez les enfants. En outre, ces feuilles sont utiles dans la construction et les toitures des cases ainsi que pour les cloisons.

La moelle de l'intérieur du stipe ou « Hovaka » en langue locale est comestible, féculente, et considérée comme complément alimentaire pendant la période de soudure, du mois de décembre au mois de mars.

DISCUSSION

Toutes les parties de la plante sont utilisées par la communauté locale sauf la racine. L'exploitation est fréquente et dure toute l'année. Seules les feuilles sont collectées du mois de mai au mois de décembre, car le séchage est difficile pendant la saison de pluie.

Une étude de la filière vannerie (cas de *Bismarckia nobilis*) a été réalisée au sein de l'aire protégée Antrema (Rakotondranaivo, 2011), une aire protégée qui se trouve

à 12 km du village de Katsepy, district de Mitsinjo et Région Boeny. Les résultats ont montré que les femmes villageoises s'intéressent à l'exploitation des feuilles de « satrana » et chaque ménage qui pratique de la vannerie a gagné mensuellement une somme moyenne de 97 000 ariary ; une somme similaire à celle obtenue par les villageois de la commune rurale Ambodimanary.

En se référant aux travaux de Rakotonandrasana en 2014 à baie de Rigny (Antsiranana) sur *Hyphaene coriacea*, une espèce connue aussi sous le nom de « satrana », et largement distribuée dans la zone herbeuse de l'ouest depuis Antsiranana jusqu'au sud de Toliara, le nombre de feuilles coupées par les vannières du site d'étude a augmenté de 15%. Cette augmentation est due principalement à la différence de type de produit confectionné car en plus de la fabrication de panier, les villageois produisent aussi des soubiques et des nattes qui ont besoin respectivement 5 et 30 feuilles de *Bismarckia nobilis* pour la confection.

Les feuilles de satrana sont aussi employées dans la construction des cases d'habitation, cette utilisation implique que les villageois n'ont besoin que quelques pieds d'arbres pour servir des poteaux. Ce qui réduit le nombre de bois coupés au niveau de la formation forestière.

Dans d'autres régions de Madagascar, les feuilles de cette plante sont également utilisées pour confectionner des cordes et des tapis (Razakanirina, 1994, Rabefarihy, 2007), comme en Afrique du Sud, au Botswana et au Soudan (Mckean, 2003). Outre les feuilles, les troncs, de *Bismarckia nobilis*, vidés et aplatis font des planches pour les parquets de certaines cases. Les plus gros pieds, coupés parfois à 1m de hauteur, évidés à leur base, tiennent lieu de petits poulaillers. Le tronc percé à diverses hauteurs pour l'insertion des barres horizontales, sert de pieu pour édifier les barricades entourant les parcs à bœufs (R. Decary, 1964).

Les travaux de Rakotonandrasan et al. en 2014 ont mis le point sur les impacts de l'activité humaine sur la production des feuilles de *Hyphaene coriacea*. La production foliaire doit être plus grande que les besoins en feuilles de la population cible. Les prélèvements répétés tout au long de l'année sur un même individu avaient un effet négatif en diminuant le nombre de feuilles produites. Cela a été confirmé dans le cas présent car les villageois devaient aller de plus en plus loin pour cueillir des feuilles de *Bismarckia nobilis*.

La perte de *Bismarckia nobilis* aura sans aucun doute un énorme impact négatif sur la faune et la flore de l'île. Leurs fruits sont consommés par de nombreux animaux tels *Propithecus coronatus* et *Eulemur fulvus rufus* (Vavindraza, 2003), leurs feuilles et leur couronne sont souvent utilisés comme nids pour les oiseaux, les insectes, les reptiles. Cela illustre comment l'absence d'une espèce particulière de

palmier pourrait entraîner l'extinction des animaux qui en dépendent, que ce soit en raison de la perte d'aliments adéquats, d'abris ou d'habitat de reproduction.

Par souci d'utilisation durable des feuilles de *Bismarckia nobilis*, les villageois ont déjà développé des stratégies pour atténuer les impacts négatifs des modes de cueillette sur les individus, à savoir la rotation de la collecte et la limitation du nombre de feuilles prélevées sur chaque individu pendant une année.

Pour une bonne gestion de cette espèce, une étude approfondie concernant l'abondance et la production foliaire de cette plante est recommandée dans la commune rurale Ambodimanary, lieu de la présente recherche, afin d'équilibrer la relation entre la conservation de la nature et les besoins de la société. Des travaux multidisciplinaires sont indispensables dans le but de créer une aire de conservation.

Pour sauvegarder cet héritage naturel, comme l'a déclaré l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), un plan d'action doit être mis en place d'urgence. La gestion pérenne repose en priorité sur la fréquence de collecte sur les individus les plus accessibles et aussi vis-à-vis des effets des feux périodiques pratiqués par ces villageois. Les efforts de conservation doivent inclure les communautés locales dans les activités et être axés sur la sensibilisation et l'augmentation du taux de survie des espèces. Plus de recherches et de projets doivent se pencher sur l'amélioration du taux de germination des semences et sur la manière dont les connaissances locales peuvent être intégrées pour leur gestion durable.

CONCLUSION

La finalité de cette étude est l'analyse de la place de la vannerie dans la vie quotidienne de la population locale ainsi que la détermination de la quantité des feuilles de *Bismarckia nobilis* utilisées par les femmes de la région. Au terme de ce travail, l'objectif est démontré puisque *Bismarckia nobilis* est très utile aux communautés locales. Le tressage de leurs feuilles est une filière importante car elle génère des revenus mensuels assez significatifs (95 000 à 285 000 Ar selon la saison), une somme complémentaire permettant aux bénéficiaires de financer les produits de première nécessité comme le sel, le sucre, le café, les vêtements. En outre, ces feuilles sont utilisées traditionnellement pour traiter la diarrhée et le vomissement chez les enfants ; elles sont aussi nécessaires dans la construction des cases d'habitation. Concernant la quantité des feuilles utilisées, les 128 vannières cibles ont besoin chaque année de 314 880 à 752 640 feuilles de *Bismarckia nobilis* pour leurs activités.

L'originalité de ce travail réside sur deux points : premièrement, il a mis en évidence que *Bismarckia nobilis*, est parmi les palmiers les plus utiles, et tient une

place importante dans la vie quotidienne de la population de la commune rurale d'Ambodimanary. Deuxièmement, Il a signalé que l'utilisation de feuilles de *Bismarckia nobilis* pour la construction de maisons réduit l'exploitation d'arbres à croissance lente et contribue ainsi à l'utilisation durable des ressources forestières naturelles. La gestion et la conservation de la formation à *Bismarckia nobilis* s'avèrent nécessaires car la filière constitue le cœur de l'économie de la commune rurale Ambodimanary, voire la région Sofia. Les acquis de cette étude serviront donc à enrichir les bases de données existantes.

REFERENCES

1) Alexiades, M. N. 1996. Standard Techniques for Collecting and preparing herbarium specimens. In: A Selected Guidline for Ethnobotanical Research: *A Field Manual. M. N. Alexiades (Ed)*. Pp 97-99. New York Botanical Garden, New York.
2) Blanchet, A., Ghilione, R., Massonnat, J. et Trognon, A. 1987. Les Techniques d'Enquête en Sciences Sociales. *Dunod, Paris*.
3) Bussmann, R. W., Zambrana, N. P., Kuhlman, A., Rakotoarivony, F., Razanatsima, A., Rakotoarivelo, N., Razafitsalama, J. L. & Randrianasolo, A. 2015. Palms and palm uses in Ambalabe, a community in Eastern Madagascar. *Ethnobotany Research & Applications* 114: 17-26
4) Dransfield, J. and Beentje, H. J. 1995. The Palms of Madagascar. *Kew Publishing*. 475p
5) Fanjanarivo, S. 1998. Artisanat : les groups d'artisans spécialisés sont plus efficaces. Dans *les Média Demain*. N. 561 : 19-20
6) Grandidieri, G. 1928. Ethnographie de Madagascar. Histoire Physique, Naturelle et Politique de Madagascar. *Masson et Compagnie, Paris*.
7) Mckean, S. 2003. Toward sustainable use of palm leaves by a rural community in Kwazulu-Natal. South Africa. *Economy Botany* 57, 1: 65-72
8) Rabefarihy, A. 2007. Valorisation économique de *Bismarckia nobilis* Hild. & Wendl. Dans le Menabe Central. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies es Agronomie, Université d'Antananarivo
9) Rakotoarinivo, M. 2017. Les palmiers malgaches victimes de leur succès local et mondial. https://theconversation.com/les-palmiers-malgaches-victimes-de-leur-succès-local-et-mondial
10) Rakotonandrasana, S. R. 2014. Les Formations Végétales autour de la baie de Rigny –Antsiranana : Flore, Structure, Ethnobotanique et Impacts des Utilisations locales. Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo.

11) Rakotondranaivo, M., D., D., 2011. Etude de la filière vannerie dans la Station Forestière à Usage Multiple d'Antrema (Région Boeny) : cas de *Bismarckia nobilis* Hild. & Wendl. ou « Satrana » (Arecaceae) comme une activité génératrice de revenu féminine. Mémoire de DESS-SE. Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo. 87p.
12) Razakanirina, D. 1994. Note sur les palmiers de Madagascar. *Akon'ny Ala* 15: 16-19
13) Schatz, G. E. 2001. *Generic Tree Flora of Madagascar*. Royal Botanic Gardens, Kew & Missouri Botanical Garden, St. Louis.
14) Vavindraza, 2003. Caractérisation des quelques types de forêts fréquentées et étude phénologique des espèces végétales consommées par trois espèces de lémuriens. Mémoire de DEA, Département de Biologie et Ecologie Végétales, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 84 p.

INVENTAIRE ET ETUDE DES ACTIVITES COMPORTEMENTALES DE *PROPITHECUS CORONATUS* (MILNE EDWARDS, 1871) DANS LE COMPLEXE- MAHAVAVY KINKONY

Par

Jean Michel Herinaivo[1], Herimalala Raveloson[2], Solofonirina Rasoloharijaona [3]

[1] *Doctorant à l'Ecole Doctorale des Ecosystèmes Naturels de l'Université de Mahajanga,*

[2]*Maître de Conférences, Co- Directeur de thèse,*

[3]*Professeur Titulaire, Directeur de thèse*

RESUME

Madagascar est une Ile remarquable par ses écosystèmes d'une importance écologique et économique considérable. Elle abrite une biodiversité unique mais cette biodiversité exceptionnelle est confrontée à diverses pressions anthropiques, à l'exemple des lémuriens qui se distinguent par leur grande diversité d'espèces et par leur fort taux d'endémisme. L'espèce *Propithecus coronatus* en fait partie. Cet article présente les résultats d'une étude menée de 2018 à 2021 dans le Complexe Mahavavy-Kinkony, visant à quantifier la population de *Propithecus coronatus*, à évaluer leurs comportements et à répertorier le modèle de régime alimentaire. L'étude a révélé une augmentation du nombre total d'individus de *Propithecus coronatus* par rapport aux études antérieures, tandis que le nombre de groupes est resté stable. Leurs activités principales de comportements se basent sur le repos, l'alimentation, le déplacement et les interactions sociales, avec une prédominance du repos et de l'alimentation. Cette tendance au repos prolongé peut être attribuée au régime folivore de l'animal. En effet, les feuilles riches en fibres nécessitent un temps de digestion plus lente. Le régime alimentaire montre des variations saisonnières, avec une préférence pour les fruits pendant la saison humide qui bascule vers une folivore pendant la saison sèche. Les résultats soulignent l'importance cruciale de la stratégie de la politique gouvernementale de création d'aires protégées pour la conservation de ces espèces menacées. Cependant, les pressions anthropiques, en particulier les feux de brousse, persistent et affectent la disponibilité des ressources alimentaires, réduisant ainsi l'aire de vie de ces animaux. Il est donc recommandé de sensibiliser les populations locales par le biais de l'éducation environnementale afin de préserver la biodiversité de Madagascar et de favoriser un développement durable.

Mots clés : *P. coronatus, rythme d'activité, régime alimentaire*

ABSRACT:

Madagascar, as an ecosystem of considerable ecological and economic importance, harbors unique biodiversity facing various anthropogenic pressures. Among the predominant non-human primates of Madagascar, *Propithecus coronatus* stands out for its wide species diversity and high endemism rate. This article presents the results of a study conducted from 2018 to 2021 in the Mahavavy-Kinkony Complex, aiming to quantify the population of *P. coronatus*, assess their behaviors, and document their dietary habits. The study revealed an increase in the total number of *P. coronatus* individuals during the study period, while the number of groups remained stable. The main activities of these lemurs include resting, feeding, moving, and social interactions, with a predominance of resting and feeding. This tendency for extended resting periods can be attributed to the animal's folivorous diet, with fiber-rich leaves requiring prolonged digestion. The dietary habits show individual variations, with a preference for fruits during the wet season and a transition to a folivorous diet during the dry season. The results underscore the crucial importance of establishing protected areas for the conservation of these endangered species. However, anthropogenic pressures, particularly bushfires, persist and affect the availability of food resources, thus reducing the habitat range of these animals. Therefore, it is recommended to raise awareness among local populations through environmental education to preserve Madagascar's biodiversity and promote sustainable development.

Keywords: *P. coronatus*, activity rhythm, diet

INTRODUCTION

Madagascar, quatrième plus grande île au monde, est située dans la zone intertropicale entre l'océan Indien et le canal de Mozambique, couvrant une superficie de 594 000 km² (MEF, 2009). Le pays est principalement agricole, avec une économie domestique étroitement liée aux ressources naturelles, en particulier la faune et la flore (MEEF, 2016). Ces données soulignent l'importance cruciale de la préservation de la biodiversité malagasy, non seulement pour ses écosystèmes, mais aussi pour ses implications économique et culturelle, afin d'assurer un développement durable.

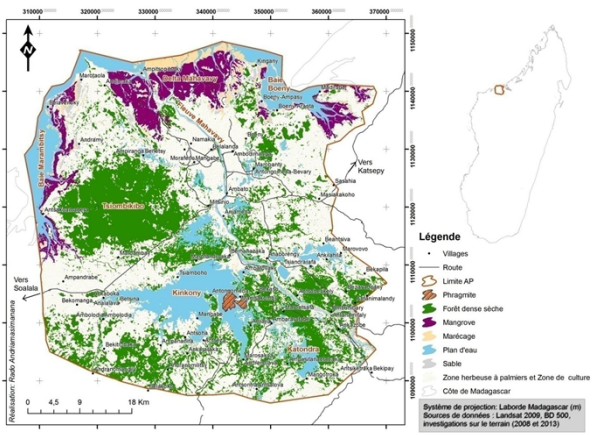
L'histoire géologique associée à la grande diversité géomorphologique et climatique de type tropicale permet d'expliquer l'originalité en tant que sanctuaire de la nature. La flore et la faune sont caractérisées comme étant très riches en espèces archaïques et dotées d'un taux d'endémisme presque inégalable dans le monde (Paulian et al., 1981).

Cependant cette biodiversité si unique se dégrade à cause de la pression due aux activités humaines telle que les feux de brousses, le pâturage, la dégradation, la conversion des forêts en terres agricoles et le braconnage se conjuguent. Ainsi, cette diminution de la couverture forestière menace la diversité au sein des grands taxa à l'exemple des Mammifères, Oiseaux, Reptiles, Amphibiens et Poissons.

Selon Richard & Dewar (1991), Madagascar est le lieu où se trouvent les Primates non humains écologiquement dominants. En effet, la faune de lémuriens y est la plus diversifiée au monde (Mittermeier et al. 1994). Ces lémuriens font partie d'un large groupe de Prosimiens dont les 90% de la population sont endémiques de Madagascar. Certains ont un mode de vie diurne, tandis que d'autres sont plutôt nocturnes (Irven. et Sarel. 1969). *Propithecus coronatus* fait partie des lémuriens de Madagascar et elle est menacée d'extinction. C'est la raison pour laquelle le présent article relate les résultats des études d'inventaires et d'activités comportementales dans le Complexe Mahavavy- Kinkony durant l'année 2018 à l'année 2021. Les objectifs de cette étude sont de 1) déterminer le nombre d'individus du groupe et sa composition, 2) d'évaluer les activités effectuées par l'animal ; et 3) Déterminer le régime alimentaire de l'animal.

METHODOLOGIE

Site d'étude



Le Complexe Mahavavy-Kinkony se trouve dans le farintany de Mahajanga, Région de Boeny et District de Mitsinjo. Il est localisé entre 15°46' et 16°12' de latitude Sud et 45°27' et 45°56' de longitude Est. Le site s'ouvre dans sa partie nord sur le Canal de Mozambique, avec des altitudes variant de 0 à 150 m. Son paysage est constitué par plusieurs écosystèmes et lui a conféré son nom. C'est un complexe d'écosystèmes forestier (forêt et mangrove), lacustre, marins et côtier. C'est un refuge pour les espèces endémiques et menacées terrestres et aquatiques très importantes qui sont réparties dans les différents habitats naturels comme les lacs, les rivières, les marais, la mangrove et les forêts denses sèches. L'objectif d'une gestion durable est de renforcer la gestion

communautaire de la zone afin d'assurer la pérennisation de la NAP pour l'amélioration de conditions de vie et la conservation de la biodiversité.

Matériels

Le matériel biologique qui a fait l'objet de cette étude est l'espèce *Propithecus coronatus* appartenant à la famille de lémurien diurne, *Indriidae.*

La collecte des données a requis un GPS ou Global Positioning System, permettant d'obtenir les coordonnées exactes des lieux de localisation de tous les individus de lémuriens recensés, ainsi que des Jumelles pour observer de loin les lémuriens, les énumérer et de les identifier.

Ensuite, les flags ont permis de marquer les lieux où ont été rencontrés les lémuriens. Ils servent de repère pour la suite de l'étude pour la collecte des coordonnées géographiques, nom de l'arbre support, un appareil photo numérique pour numériser les images des individus inventoriés.

Méthodes

Inventaire des animaux par transect

La collecte des données de cette étude a été effectuée à partir de l'observation directe à l'œil nu et à l'aide d'une paire de jumelles. L'inventaire a été fait par comptage systématique et non pas par estimation à partir d'un échantillon testé statistiquement.

Le recensement a commencé de 06 heures du matin à 18h l'après-midi. Pendant l'observation, la vitesse de l'observateur est très lente et les écoutes actives ont été effectuées. Pour le groupe détecté, les données suivantes ont été enregistrées :

a) Nombre des groupes, localisations géo référencées et les activités

b) Composantes des groupes en nombre de mâle et de femelle (adulte), jeunes (plus de trois mois) et petits (moins de trois mois).

Suivi des activités d'animaux

Trois individus de Propithecus coronatus *ont été l'objet de suivi avec : deux femelles nommées respectivement « Jaolahibe» et « Jobihely» ; et un mâle nommé « Solo».*

La méthode « animal focal sampling » : (Zuberbuhler et Wittig, 2011) a été adoptée pour le suivi. Durant l'étude et toutes les 5 minutes, cinq activités principales ont été enregistrées, à savoir :

- *Le repos : l'individu reste inactif soit en position assise ou couchée (Herbers, 1981).*
- *Le déplacement : l'individu se met en mouvement dans le but de rechercher de nourriture ou bien un abri.*
- *L'alimentation : l'individu se nourrit*
- *Les activités sociales : qui peuvent être le jeu, le toilettage, le marquage et l'agression.*

La dernière est « Hors vue », au moment où l'individu s'échappe de l'observation

Analyse des données

Statistique descriptive

Les paramètres estimatifs sont décrits sous forme de médianes, écarts types. Ils sont ensuite visualisés sous forme de graphes pour apporter plus de clarté. Après cela, les hypothèses peuvent être émises

Statistique analytique

- **Le test de *Chi- carré :***

Le test de Chi-carré (x^2)est un test statistique qui permet de savoir si les différences existantes entre les paramètres étudiés sont significatives ou non (Zar 1999). Pour la présente étude ce test a été utilisé pour comparer les fréquences de la partie des plantes consommées ainsi que la comparaison des études de l'activité comportementale par les individus.

Ce test est exprimé par la formule :

$$x^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(Oi - Ti)^2}{Ti}$$

Avec $\boldsymbol{Oi}$: effectif observé des variables étudiés

$\boldsymbol{Ti}$: effectif théorique ou calculé

Pour ce test, le seuil d'erreur ou de risque (α) est limité à *p*= 0,05 ou 5% et le degré de liberté (ddl) est égale au nombre des lignes moins un multiplié par des colonnes moins un :

ddl= (L-1) × (C-1)

Ainsi, si le seuil *p* > 0,05 c'est-à-dire x^2 théorique (table) >x^2 observé, il n'y pas de différence significative entre les valeurs calculées et les valeurs observés alors, l'hypothèse nulle (***Ho***) est acceptée.

RESULTATS

Sur la densité de l'espèce étudiée

Le tableau 1 et la figure 1 présentent les données de l''inventaire sur l'espèce *Propithecus coronatus* menée de 2018 à 2021. Une augmentation significative de la taille des groupes a été observée au fil du temps : en 2018, cinq groupes ont été recensés, totalisant 25 individus, tandis qu'à la fin de la période étudiée, le nombre de groupes était resté constant à cinq, mais avec un total de 30 individus.

Tableau 1 : Site CMK : nombre d'individus et de groupe pour chaque année

Année	2018	2019	2020	2021
Nombre de groupe CMK	5	5	5	5
Nombre d'individus CMK	25	27	30	30

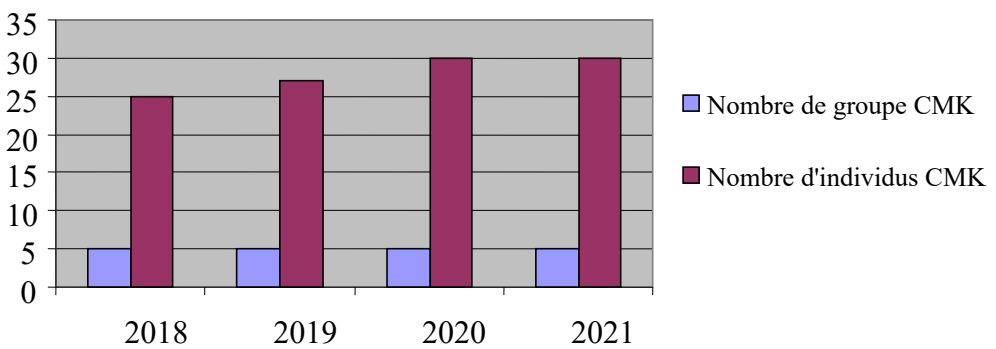


Figure 2 : Nombre de groupe et individus par année

Rythme d'activité de l'espèce

La figure 2 ci-dessous présente la répartition du temps d'activité de l'animal suivi, mettant en évidence la prédominance du repos suivi de l'alimentation. Par ailleurs, l'analyse du tableau 2 ci-dessous révèle des variations individuelles dans la répartition du temps d'activité, malgré la tendance générale qui accorde une part prépondérante au repos et à l'alimentation.

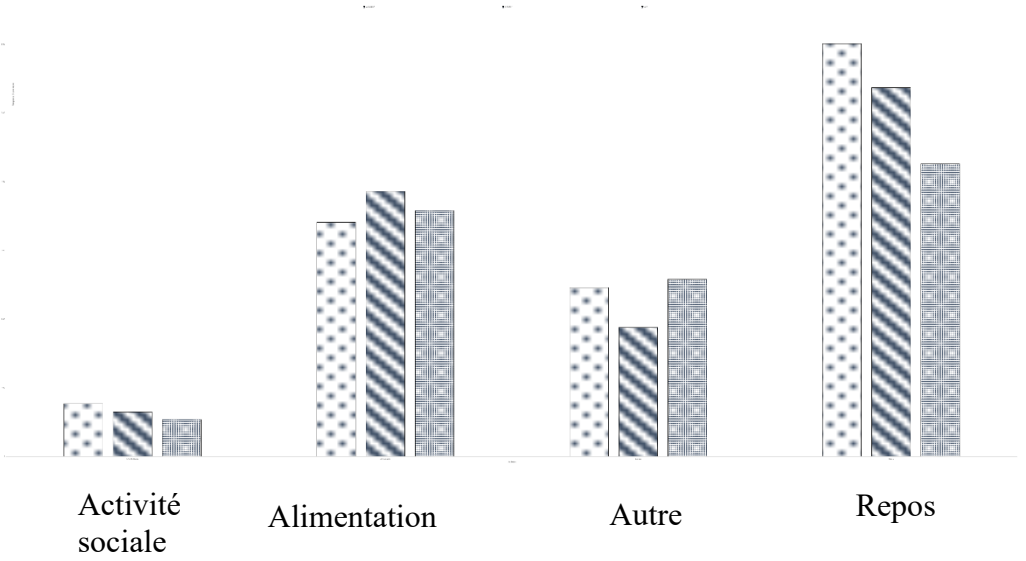


Figure 2 : Rythme d'activité de *Propithecus coronatus*

Tableau 2 : Rythme d'activité des trois individus étudiés

Nom de l'Ind	Activité Sociale	Alimentation	Déplacement	Repos
JAOLAHIBE	77	341	246	601
JOBIHELY	65	386	188	537
SOLO	54	358	258	426

Test de Khi²	
Khi² (Valeur observée)	37,619
Khi² (Valeur critique)	12,592
ddl	6
Valueur de *p*	< 0,0001
alpha	0,05

La différence est très significative sur l'ensemble du rythme d'activité des trois individus

Le régime alimentaire

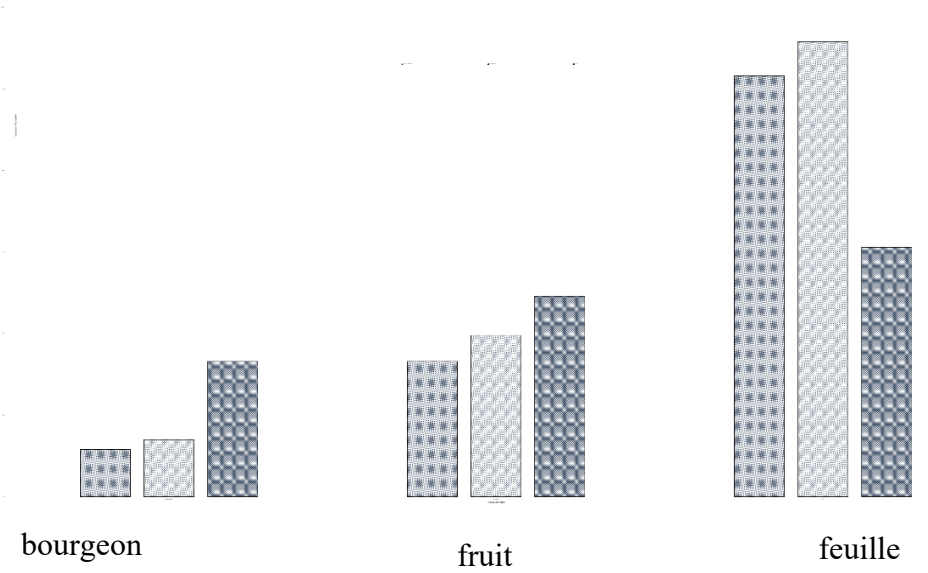


Figure 3 : Sur le régime alimentaire de l'animal d'étude

La figure 3 ci- dessus montre que les feuilles sont les parties les plus consommées par l'espèce quel que soit les individus par rapport aux fruits et bourgeons.

Le tableau 3 en dessous montre que la quantité consommée varie d'un individu en un autre. Le test de Khi-deux corrobore la signification de cette différence. Etant donné que $X^2_{calculée}$ (81,75) est strictement supérieur à la $X^2_{théorique}$ (9,49) avec p = 0,0001 inférieure au seuil $\alpha = 0,05$, avec ddl = 4, la différence est donc significative.

Cela explique aussi que le régime alimentaire dépend de chaque individu et peut changer en fonction de la saison.

Tableau 3 : Sur le régime alimentaire de l'animal d'étude

Nom de l'ind	Bourgeon	Fruit	Feuille
JAOLAHIBE	29	83	258
JOBIHELY	35	99	279
SOLO	83	123	153

Khi² (Valeur observée)	**81,755**
Khi² (Valeur critique)	**9,488**
DDL	**4**
Valeur de *p*	**< 0,0001**
Seuil alpha	**0,05**

La différence est très hautement significative sur le choix des différentes de la partie de la plante

DISCUSSIONS

Sur la densité de l'animal d'étude

Au cours de la période d'étude entre 2018 et 2021, une augmentation du nombre total d'individus de l'espèce étudiée a été observée, tandis que le nombre de groupes reste constant. Ce résultat met en évidence l'importance de la mise en place d'une aire protégée. Bien que l'augmentation de la taille des groupes n'ait pas été enregistrée au cours de cette période, celle de la taille par contre a été conséquente. En effet, selon Ranarijaona, (2019), elle est due à une pression anthropique persistante au sein du Complexe Mahavavy Kinkony. Le cas des écosystèmes fluviaux-littoraux des Mangroves du Delta de Mahavavy", vient appuyer cette conclusion.

Rythmes d'activités *de l'animal d'étude*

Les activités principales du *Propithecus coronatus* comprennent généralement le repos, l'alimentation, le déplacement et les interactions sociales. D'après les

résultats, cette espèce attribue une grande partie de temps au repos et à l'alimentation, avec plutôt des déplacements moins fréquents.

La prédominance de la fréquence du repos peut s'expliquer par le régime folivore de l'animal. Les animaux folivores sont connus pour leur tendance à passer de longues périodes de repos et à se déplacer moins fréquemment (Hladik et Charles, 1974). Dans cette région, la majorité des feuilles consommées par l'animal sont riches en fibres. Selon Andrianandrasana (2011), la digestion de ces aliments fibreux nécessite un temps considérable, ce qui contraint l'animal à chercher des endroits calmes dans son territoire pour se reposer. De plus, le mécanisme de digestion est conçu de manière à ralentir, voire à suspendre, la digestion lorsque l'animal se déplace, car le système nerveux sympathique détourne le sang de l'appareil digestif vers le cœur et les muscles (Smith, 1977 et Randrianarimanana, 2009). Ainsi, la recherche de nourriture est la principale cause de déplacement pour cette espèce. Le taux de déplacement est relativement faible par rapport au repos. Cette activité varie généralement en fonction de la disponibilité alimentaire. Selon Wasser (1977), le déplacement est souvent une réponse directe à la distribution spatiale des ressources alimentaires. De plus, Hladik (1978), Oates (1987) et Mihaminekena (2010) ont noté que l'activité des animaux est influencée par la régulation de l'énergie et du métabolisme alimentaire. La faible fréquence des déplacements peut être attribuée à la disponibilité des ressources alimentaires. Pendant la saison des pluies, de nombreuses espèces végétales produisent de nouvelles feuilles, entrent en floraison ou en fructification, ce qui fournit de nouvelles ressources exploitables pour cette espèce. Par conséquent, il est possible que cette espèce n'ait pas besoin de se déplacer fréquemment pour satisfaire ses besoins alimentaires. Ces résultats sont en accord avec les observations antérieures de Ramanankirahina (2004) et Ramanamisata (2012). De plus, Randriahaingo (2011) a noté que Varecia variegata, bien que frugivore, présente également des déplacements limités. La capacité à se déplacer sur de longues distances dépend de la taille du groupe, les groupes plus importants nécessitant des déplacements plus fréquents pour répondre aux besoins de tous les membres. Les activités sociales comprennent le toilettage, les bains de soleil, le marquage du territoire, la vocalisation, l'agression et le jeu. Le toilettage contribue au développement et au maintien des relations sociales, favorisant ainsi les alliances, comme observé chez de nombreuses espèces de Primates (Watts, 2000).

Sur le régime alimentaire de l'animal d'étude

En général, le régime alimentaire du *Propithecus coronatus* comprend les fruits, les feuilles et les bourgeons. Sur le terrain, elle a été observée que pendant la saison humide, ce lémurien présente un comportement alimentaire hautement frugivore, tandis que pendant la saison sèche, elle bascule vers la folivorie. Ces observations corroborent avec les conclusions de l'étude menée par Vavindraza en 2016. En effet,

elle a montré que pendant la saison humide, 93% du temps sont consacrés à la consommation de fruits, les feuilles , 5,3% et les fleurs, 1,6% sont consommées en petite quantité, dans le site d'étude. Ces résultats suggèrent que ce lémurien frugivore joue un rôle important dans la dissémination des graines de plusieurs espèces végétales dans les forêts fragmentées de la zone. Au cours de la saison sèche (de juillet à octobre), le régime alimentaire de *Propithecus* coronatus se tourne davantage vers la folivorie, avec une moyenne de consommation saisonnière de 62%. La consommation de fruits est alors réduite à 23,6%, tandis que celle des fleurs augmente à 14,4%.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail repose sur le dénombrement et l'étude des activités comportementales du *Propithecus coronatus* dans la nouvelle Aire Protégée du Complexe Mahavavy-Kinkony.

Pendant la période d'étude, une augmentation du nombre d'individus a été observée, tandis que le nombre de groupes est resté constant. Cette augmentation peut témoigner de l'efficacité de la mise en place de l'Aire Protégée, mais elle suggère également l'existence de fortes pressions exercées sur le domaine vital de l'animal étudié. En ce qui concerne les rythmes d'activités, des différences significatives ont été observées entre les trois individus étudiés (Jaolahibe, Jobihely et Soa), avec chaque individu adoptant un style de vie distinct, bien que le repos occupe la majorité de leur temps à tous.

Étant une espèce strictement folivore, les pressions anthropiques, en particulier les feux de brousse, ont un impact sur le nombre de groupes. Il est ainsi essentiel de sensibiliser les populations riveraines par le biais de l'éducation environnementale pour préserver et conserver durablement la biodiversité. De plus, l'observation pendant l'étude a révélé que le domaine vital du *Propithecus coronatus* est très limité, en raison probablement des pressions anthropiques dans son habitat naturel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1) Altman, J., 1974. Observational study of behavior: Sampling methods. Behavior 49: 227-267

2) Anderson, J., Cowlishaw, G. and Rowcliffe, J.M. 2007. Effects of Forest Fragmentation on the Abundance of Colobus angolensis palliates in Kenya's Coastal Forests. International Journal Primatology, 28: 637–655

3) Baillie, J. and B. Groombridge. 1996. 1996 IUCN Red List of Threatened Animals. IUCN – The World Conservation Union, Gland, Switzerland. Biodiversité de Madagascar (ed. Goodman, S.M.) pp 615-626.

4) Britt, A. 1997. Environmental influences on the behavioural ecology of the Black and White Ruffed Lemur (Varecia variegate variegata, Kerr, 1972). University of Liverpool.

5) Campbell, C.J., Aureli, F., Chapman, C.A., Ramos-Fernández, G., Matthews, K., Russo,Curtis, D. J., A. Velo, E. O. Raheliarisoa, A. Zaramody and P. Müller. 1998. Surveys on Propithecus verreauxi deckeni, a melanistic variant, and P. v. coronatus in north-west Madagascar. Oryx 32: 157–164

6) Donque, G. 1975. Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar.

7) Ganzhorn, J. U. 1988. Food partitioning among Malagasy primates. Oecologia, 75: 436-450.

8) Gautier, A.C ; J, Deniaud. ; M, Rakotomalala; S, Razafindramanana; G, Renson.1999 « Observation des trois espèces de lémuriens dans des mangroves au Nord-Ouest de Madagascar. Xème colloque de la société Francophone de Primatologie. Paris

9) Gautier-Hion, A., Duplantier, J-M., Quris, R., Feer, F., Sourd, C., Decoux, J-P., Dubost, G.,Emmons, L., Erard , C., Hecketsweiler, P., Moungazi, A.,

10) Roussilhon, C., Thiollay, JM.1985. Fruit characters as a basis of fruit choice and seed dispersal in a tropic forest vertebrate community. Oecologia, 65: 324-337.

11) Godfrey, L. R. and. Irwin, M. T. 2007. The evolution of extinction risk: Past and present anthropogenic impacts on the primate communities of Madagascar. Folia Primatologie. 78: 405–419

12) Goodman, S.M., Connor, O& Langrand, O., 1993. A review of predation on lemurs: implications for the evolution of social behavior in small nocturnal primates. In: Lemur social systems and their ecological basis (eds. Kappeler, P.M. & Ganzhorn, J.U.) Plenum Press, New York, 51-66.

13) Harper, G. J., Steininger, M. K., Tucker, C. J., Juhn, D. and Hawkins, F. 2007. Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. Environmental Conservation, 34: 1-9

14) Hladik, C.M. and P. CHARLES D. 1974. The bihavioral and ecology of the sportive lemur (Lepilemur mustelinus) in relation to its dietary peculiarities. In, Prosimian Biology. Eds., R.D. Martin. G.A. Doyle and A.C. Waler. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh.

15) Irven, D. et Sarel, E. Rédacteurs des éditions TME6LIFE, (1969). Les Primates.

16) IUCN (International Union for Conservation of Nature) 2014. Propithecus coronatus. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-2.

17) IUCN. 2008. IUCN Red List of Threatened Species. International Union for Conservation of Nature (IUCN), Species Survival Commission, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Website: <http://www.iucnredlist.org/>. Accessed 22 October 2011.

18) Jolly, A. 1996. Lemur behavior: A Madagascar Field Study. The University of Chicago Press, Chicago, USA.

19) Journal of Primatology, 26(5) : 1039–1051

20) Koechlin, J; J. L. Guillaumet, et P, Morat, 1974. Flore et Végétation de Madagascar. Germany. Cramer. 622pages

21) Kull, C. A. 2000. Deforestation, erosion and fire: degradation myths in the environmental

22) Leclerc C. et C.A. Gauthier., 2000. Projet Pilote Bioculturel d'Antrema. Rapport d'activité. Parc zoologique. Zoo de Bois de Vincennes de Paris. 53 pages

23) Lehman, S. M. 2007. Spatial Variations in Eulemur fulvus rufus and Lepilemur mustelinus Densities in Madagascar. Folia. Primatol., 78: 46–55

24) Michalski, F and Peres, C. A. 2005. Anthropogenic determinants of primate and carnivore local extinctions in a fragmented forest landscape of southern Amazonia. Biological Conservation, 124: 383–396.

25) Ministère de l'Environnement des Eaux et Forêts. 2016. Décret N° 2016-128 du 23 février 2016 portant adoption de la Stratégie et Plans d'Action Nationaux pour la Biodiversité de Madagascar de 2015-2025

26) Ministère de l'Environnement et des Forêts. 2009. Quatrième rapport national de la convention sur la diversité biologique de Madagascar. 156 pages.

27) Mittermeier, I; W. R. Konstant et M, Meyer. 1994. Lemurs of Madagascar. Conservation International. New-York. 356pages

28) Mittermeier, R. A., Louis, E. E., Jr., Richardson, M., Schwitzer, C., Langrand, O., Rylands, A. B., Hawhinks, F., Rajaobelina, S., Ratsimbazafy, J., Rasoloarison,

29) R., Roos, C., Kappeler P. M. &MacKinnon, J., 2010. Lemurs of Madagascar (3rd ed.). Conservation International Tropical Field Guide Series. Arlington, VA: Conservation International.

30) Mittermeier, R. A., Tattersall, I. Konstant, W. R. Meyers, D. M &. Mast, R. B 1994. Lemurs of Madagascar. Washington, DC: Conservation International. Tropical Field Guide Series. 355 pages.

31) Mittermeier, R. A., W. R. Konstant., A. F. A. Hawkins., E. Louis., O. Langrand., H. J. Ratsimbazafy., M. R. Rasoloarison., J. U. Ganzhorn., S. Rajaobelina., I. Tattersall., et D. M. Meyers., 2006. Lemurs of Madagascar. 2nd Edition, Tropical Field Guide Series Washington, D.C., Conservation International 520 pages.

32) Moral, L. (2009). Etude des interactions sociales et l'activité d'un groupe de propithèques couronnés en captivités. Mémoire de Masters éthologie, spécialité éthologie appliquée. UFR lettre, Sciences de l'homme et des sociétés. Université Paris XIII.

33) Müller, P. 1997. Ökologie und Ernährungs straegie des Kronen sifakas (Propithecus verreauxi coronatus). PhD thesis, Universität Zürich, Zürich.

34) Paulian, M., Andriamampianina, J. Blanc, C. 1981. Madagascar, un sanctuaire de la nature. Paris: Oberla Philippe. 117 pages.

35) Perrier de la Bathie, 1921. La végétation malgache. Annales du Muséum colonial Marseille 9. 266 pages

36) Petter, J. J.; Andriatsarafara, F. (1987). Recherches sur l'écologie et l'éthologie des lémuriens Malgaches. Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle. Serie A, Zoologie. Tome XXVII. Fascicule 1.

37) Rabemananjara, T.H.E. 2009. Etude de faisabilité écotouristique dans la station forestière à usage multiple d'Antrema-Katsepy (Région Boeny). Mémoire de D.E.S.S. Option Biologie de Conservation. Université d'Antananarivo. 109 pages

38) Rakotonirina, L. H.; Rakotoarisoa A. H. (2010). Rapport d'étude préliminaire sur la vérification de la présence des sifakas Propithecus sp. Dans les Régions de Bongolava, Betsiboka et Boeny, ainsi que leurs alentours. The Aspinall Foundation / GERP, Antananarivo, Madagascar. 68 pages.

39) Ramanamisata, 2012. Dénombrement des Propithèques couronnés en fonction de la fragmentation dans la NAP Antrema. Rapport, association Reniala, Projet Antrema, MNHN.

40) Ramanankirahina, R., 2004. Rythme d'activité et régime alimentaire de Propithecus verreauxi coronatus et d'Eulemur mongoz dans la Station Forestière d'Antrema. Mémoire de DEA. Département de Biologie Animale. Faculté des Sciences. Université d'Antananarivo. 78 pages

41) Randrianjafy, F.1999. Rapport de mission sur les formations végétales d'Antrema. 2 pages

42) Ratsirarson, J., 2008. La Réserve Spéciale de Beza Mahafaly. In Paysages Naturels et Razafindramanana, J. (2009). Preliminary conservation program for crowned sifaka, Propithecus coronatus, in the Miandrivazo District: survey for new groups around 67 Dabolava and surrounding area. In press. GERP / The Aspinall Foundation. Antananarivo, Madagascar

43) Razafindramanana, S.2001 « Rapport d'Activités 2001.Projet Pilote Bio-Culturel d'Antrema Madagascar. Parc zoologique. Zoo de Bois de Vincennes de Paris ». 28pages

44) Razakanirina, H. 2010. Suivi phénologique global et statut de conservation de 4 espèces végétales (Strychnos decussata, Diospyrosferrea, Gardeniadecaryi et Capurodendro gracifolium) consommées par Propithecus coronatus dans la forêt de Badrala (Antrema-Région Boeny).Mémoire de DEA. Département de Biologie et Ecologie Végétale. Faculté des Sciences. Université d'Antananarivo.117 pages

45) Richard, A. (2003). Propithecus, Sifaka. In Natural History of Madagascar. The University of Chicago Press. Pp: 1344-1347.

46) Richard, A. F., & Dewar, R. E. 1991. Lemur ecology. Annu. Rev. Ecol. Syst. 22: 145175

47) Richard, A.F.1977. The feeding behaviour of Propithecus verreauxi. IN Clutton Brock.

48) Ed. Primate ecology: studies of feeding and ranging behaviour in Lemurs, Monkeys and Apes. Academic press. London 71-96

49) Roger, E. Gauthier, C. A; Rakotondravony, D, Razafindramanana, S.2000. Diagnostic physico-éco- biologique de la Station Forestière à Usages Multiples d'Antrema. DRAFT. Parc Zoologique de Paris/ Faculté de Sciences Antananarivo / MEF.

50) Rylands A. B., Rajaobelina, S., Ratsimbazafy, J., Rasoloarison, R., Hawkins, F.,

51) Roos, C., Richardson, M., Kappeler, P. M. 2014. Lémuriens de Madagascar4ème édition. Publications scientifiques du Muséum, Conservation International. 836p

52) Salmona, J. E, Rasolondraibe. F, Jan. A, Besolo. H, Rakotoarisoa. S, V, Meyler. S, Wohlhauser. C, Rabarivola.et L, Chikhi. 2013. Conservation Status and Abundance of the Crowned Sifaka (Propithecus coronatus); Primate Conservation, 28:73-83

53) Tattersall, I. 1986. Notes on the distribution and taxonomic status of some subspecies of Propithecus in Madagascar. Folia Primatol. 46: 51–63

54) Tsavohitra, J. B.(2010). Comportement et disponibilités alimentaires de Propithecus edwardsi (Bennet, 1832) dans les deux sites (Talatakely et Sakaroa) du Parc National de Ranomafana, Ifanadiana, Fianarantsoa. Mémoire de DEA, Primatologie, Biologie évolutive, Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar.

55) Vavindraza. 2016. Ecologie et conservation des espèces forestières disséminées par Propithecus coronatus: cas de la nouvelle aire protégée d'Antrema. Ecole Doctorale:Ecosystèmes Naturels, Université de Mahajanga Madagascar. Thèse de doctorat 176 pages.

56) Wilmé, L.; Callmander, M. W. 2006. Les populations reliques de primates : les Propithèques. Lemur

EVALUATION DE RISQUE D'EROSION HYDRIQUE PAR APPROCHE CARTOGRAPHIQUE A AMBOHITSARA – FARAVOHITRA, COMMUNE TRITRIVA

par

RANDRIANARISOA Aronantenaina[(1)], RAMIANDRISOA Njararivelo Louisa[(2)], RAKOTONDRAZAFY Raymond[(3)]

[(1)] Ecole Doctorale Sciences de la Terre et de l'Evolution, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo-Madagascar, BP 101

[(2)]Docteur-HDR Mention Sciences de la Terre et de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo-Madagascar, BP 101.

[(3)]Professeur Titulaire, Faculté de Sciences, Université d'Antananarivo-Madagascar, BP 101

RESUME

L'érosion hydrique des sols n'est pas juste de la terre qui s'en va dans le cours d'eau. Celle-ci emporte avec elle de nombreux autres éléments qui peuvent détériorer la qualité de l'eau. Elle provoque de nombreux inconvénients environnementaux et socio-économiques, il est donc nécessaire d'établir une évaluation détaillée de ce processus avant tout aménagement.

Afin d'estimer spatialement et quantitativement l'érosion des sols pour faire face à ce phénomène et donner les meilleures stratégies de lutte, de conservation et d'aménagement des terrains, il a été fait appel à l'équation universelle de perte en sol USLE, couplée à un SIG. La spatialisation et la quantification de l'érosion ont été réalisées dans la Commune Urbaine de Tritriva du District de Betafo, Région Vakinankaratra.

Mots-clés **:** Erosion, SIG, USLE, Tritriva, Madagascar

ABSTRACT

Water erosion of soils is not just soil that goes into the waterway. This takes with it many other elements that can deteriorate the quality of the water. It brings many environmental and socio-economic disadvantages. It is therefore necessary to establish a detailed assessment of this process before any development.

In order to spatially and quantitatively estimate the disguises of soil erosion in order to cope with this phenomenon and provide the best strategies for land control, conservation and development, the universal soil loss equation USLE was used,

coupled with a GIS. The spatialization and quantification of erosion were carried out in the Urban Commune of Tritriva in Betafo District, Vakinankaratra Region.

Keywords : Erosion, SIG, USLE, Tritriva, Madagascar

INTRODUCTION

La zone d'étude se localise à Faravohitra-Ambohitsara, appartenant aux quartiers de Faravohitra et Ambohitsara, Commune de Tritriva, District de Betafo, qui s'étale sur une superficie de 11,11 km^2.

Pour conserver la productivité dans cette zone, garantir l'habitabilité à long terme et contribuer à la protection de la biodiversité, une gestion durable des terres est nécessaire. C'est ainsi que les recherches sur la cartographie des risques d'érosion sont importantes pour la planification de l'aménagement du territoire et la conservation des ressources afin d'atteindre les objectifs de développement durable dans le territoire de Tritriva. Plusieurs approches sont utilisées dans la cartographie du risque d'érosion. L'approche par mesure directe est la plus fiable, mais demande un coût énorme en termes de temps et d'argent pour la collecte des données (Ganasri et Ramesh, 2015). C'est ainsi qu'en l'absence de stations de suivi permanentes de perte de sol par l'érosion, l'approche par la modélisation spatiale utilisant le Système d'Information Géographique (SIG) peut permettre d'avoir une première approximation du risque d'érosion à l'échelle d'un bassin versant ou d'un territoire plus large en identifiant les zones à premier risque (Tamene et *al*., 2017) (Tadesse et *al*., 2017). Cette approche contribue également à la priorisation des zones pour la conservation (Singh et Kumar, 2017) (Gashaw et *al*., 2017).

Dans le territoire de Tritriva, quelques études ont associé le SIG et la télédétection pour déterminer les facteurs d'ensablement de sous-bassin de la rivière de Mangorokoba. Ces travaux ne portent que sur des superficies limitées en raison du manque de données hydrométéorologiques de terrain (données météorologiques, données de débit fluvial et de flux des sédiments) qui sont nécessaires pour déterminer les différents facteurs sur de vastes étendues et pour une longue période. Il manque cependant des informations à l'échelle du territoire pour guider le choix de décideur lors de l'aménagement du territoire de Tritriva. C'est dans ce contexte que ce travail tente de montrer comment l'intégration des données multi sources, à travers l'utilisation d'un SIG (QGIS, ArcGis et SAGA GIS) et l'Equation Universelle de perte en sol (USLE) de Smith et Wischmeier (1978), offrent une possibilité pour évaluer par cartographie rapide et à moindre coût le risque d'érosion hydrique à l'échelle du territoire. Cette approche permettra de déterminer les zones à haut risque d'érosion et prioritaires pour la conservation des sols.

MATERIELS ET METHODES

Localisation de la zone

Situation géographique

La zone d'étude se trouve à 125 km à vol d'oiseau au Sud d'Antananarivo, en suivant la route nationale RN7 jusqu'à Antsirabe (170 km), ensuite, continuer vers la route nationale RN34 sur 12 km, puis bifurquer vers la gauche en suivant la route en terre sur 500 m.

Situation administrative

Tritriva est une Commune Urbaine située dans la partie Sud-Centre de la Région de Vakinankaratra, 19° 55' 00'' latitude Sud et 46° 56' 00'' longitude Est.

La zone d'étude se localise à Faravohitra-Ambohitsara, appartenant aux quartiers de Faravohitra et Ambohitsara, Commune de Tritriva, District de Betafo, qui s'étale sur une superficie de 11,11 km^2. L'ensemble de la zone d'étude est délimité par les coordonnées géographiques suivantes (Tableau 1) selon le système de projection Mercator Laborde.

Tableau 1. Coordonnées géographiques de la zone d'étude

X	Y
450 296	692 960
454 295	692 960
450 296	688 492
454 295	688 492

Relief

La partie Sud-Est et la partie Centrale de la zone d'étude est dominée par des collines de haute altitude (1650 m), et la partie Nord-Ouest Ouest est occupée par un bassin, donnant ainsi un relief diversifié avec de vieux massifs aux sommets arrondis. L'ensemble est marqué par des vallées profondes servant souvent de champs de cultures et de pâturages. Le relief offre des paysages de plaines et de collines escarpées. La pratique des cultures perpendiculaires au courbe de niveau

active l'altération superficielle des roches, ainsi tout l'ensemble est presque latéritisé, déchiqueté par l'érosion qui y creuse d'innombrables « lavaka », de ravins d'effondrement à parois verticales, taillés à flanc de colline en digitations plus ou moins serrées et rendant très délicate la construction de piste en dehors des lignes de crête.

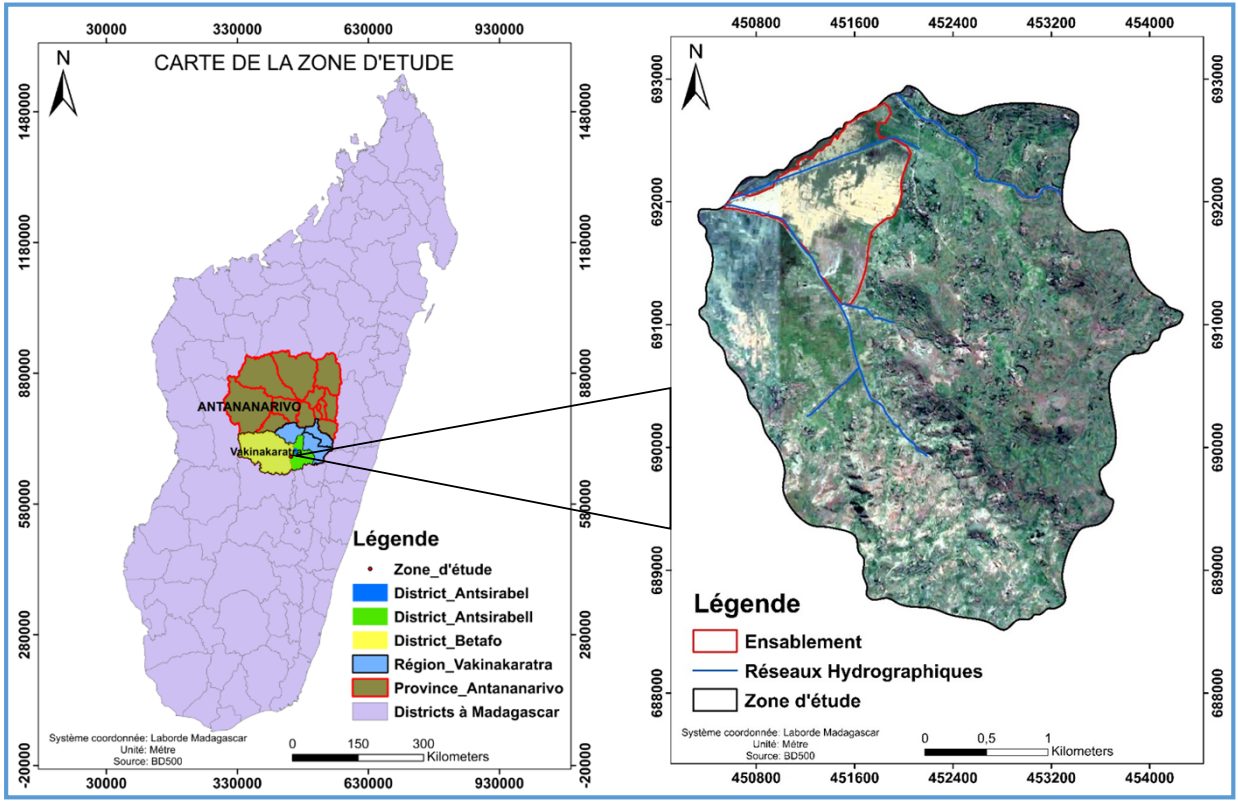


Figure 1. Carte de la localisation de la zone d'étude (BD500, Google Earth)

Matériels

Pour atteindre l'objectif, parmi les matériels et outils, ont été utiles pour la préparation et l'analyse des données figurent le SIG (Système d'Information Géographique), utilisé à partir des logiciels comme ArcGis 10.3.1, QGIS 2.18.24, Google Earth 1.3 et Google Engine. Ces logiciels permettent l'acquisition, la gestion, l'analyse, ainsi que la présentation de l'information localisée géographiquement pour cartographier. En outre, la télédétection avec ENVI (*Environnement for Visualing Images*) est utilisée pour avoir une meilleure visualisation, analyser et traiter les images pour extraire des données ; de même le GPS (*Global Positioning System*) est utile pour prendre les coordonnées géographiques sur terrain.

Données

Les données utilisées (Tableau 2) sont de différentes sources et ont été projetées dans le système Laborde Madagascar. Il s'agit des données climatiques issues de la base des données Google Engine, les données pédologiques issues de la base des données Pédologie de Madagascar, les données SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) et les images Landsat 7 du 25 avril 2012 et du 15 août 2022 issues du site de l'USGS, pour voir l'évolution de la densité du couvert végétal sur une période de 10 ans. Ces données ont permis d'estimer les paramètres de l'Équation universelle des pertes en sol (USLE - *Universal Soil Loss Equation*) de Smith et Wischmeier (1978). Ce modèle permet de calculer les pertes en sol annuelles moyennes possibles à long terme (A) par l'érosion hydrique en fonction des paramètres climatiques, topographiques, pédologiques et le mode d'usage et de conservation des terres.

Tableau 2. Données utilisées (Used Data)

Types de données	Facteur associé	Format	Echelle/Taille de pixel	Sources des données
Climat	R	Raster (ESRI grids)	1 km	http://googleengine.gov
SRTM	LS	Raster (Géo Tif)	30 m	http://earthexplorer.usgs.gov
Carte pédologique	K	Vecteur (Shape)	1/100.000	Carte pédologique de Madagascar

Landsat 7	C	Raster (Shape)	30 m	http://earthexplorer.usgs.gov
Pentes	P	Raster (Shape)	30 m	http://earthexplorer.usgs.gov

ESRI (***E**nvironmental **S**ystems **R**esearch **I**nstitute*)

Méthodologie

Un important travail de **documentation** a été accompli pour recueillir les informations essentielles nécessaires à la réalisation du projet. La reconnaissance générale de la zone d'étude est faite grâce aux revues bibliographiques (livres ou ouvrages, mémoires, thèses et sites en ligne), la maîtrise de la manipulation des outils informatiques à l'aide de différents logiciels afin d'obtenir des résultats fiables et réalistes.

Après, la **phase de reconnaissance**, avant la descente sur terrain, consiste à rassembler toutes les données et informations générales sur la zone d'étude pour mieux comprendre et analyser les facteurs et processus du phénomène d'érosion.

Ensuite, la descente sur le terrain s'est déroulée à Ambohitsara et Faravohitra pendant quinze (15) jours dans la Commune Urbaine de Tritriva**.** Les zones sujettes et à risque d'érosion y ont été repérées et vérifiées.

Puis, le **traitement des données** et informations collectées consiste en leur assemblage, c'est-à-dire acquisition et intégration des informations géographiques sur les facteurs et paramètres de l'érosion.

Par la suite, le **traitement cartographique** a pour but de traiter les images numériques spatiales pour obtenir des bases de données à référence spatiale et pour délimiter la zone d'étude. Les trois types de traitement cartographique sont : le pré-traitement, l'importation d'image satellitaire, la visualisation, la superposition de deux images, le découpage de la zone d'intérêt ; le traitement, la classification non superposée et supervisée ; le post-traitement, la détection de changement d'image, l'interprétation et l'analyse.

L**a cartographie quantitative du risque d'érosion par approche SIG/USLE** : L'Equation Universelle de Perte en Sol (USLE) a été choisie pour évaluer la perte en sol provoquée par l'érosion (Smith et Wischmeier, 1978). Ce modèle permet de calculer les pertes en sol annuelles moyennes possibles à long terme (A) par l'érosion hydrique en fonction des paramètres climatiques, topographiques,

pédologiques et le mode d'usage et de conservation des terres. Cette équation est définie par :

$$A = R * K * LS * C * P \text{ (en t/ha.an)}$$

- R : indice d'érosivité des pluies (MJ.mm/ha.h.an),
- K : indice d'érodibilité des sols (t.ha.h/ha.MJ.mm),
- LS : facteur topographique (adimensionnel),
- C : facteur de végétation (adimensionnel),
- P : facteur de pratique de soutien ou facteur de protection (adimensionnel).

Enfin, la proposition de mesure d'atténuation après l'évaluation quantitative du taux d'érosion annuelle dans la zone pour restaurer la qualité environnementale sur la zone d'étude.

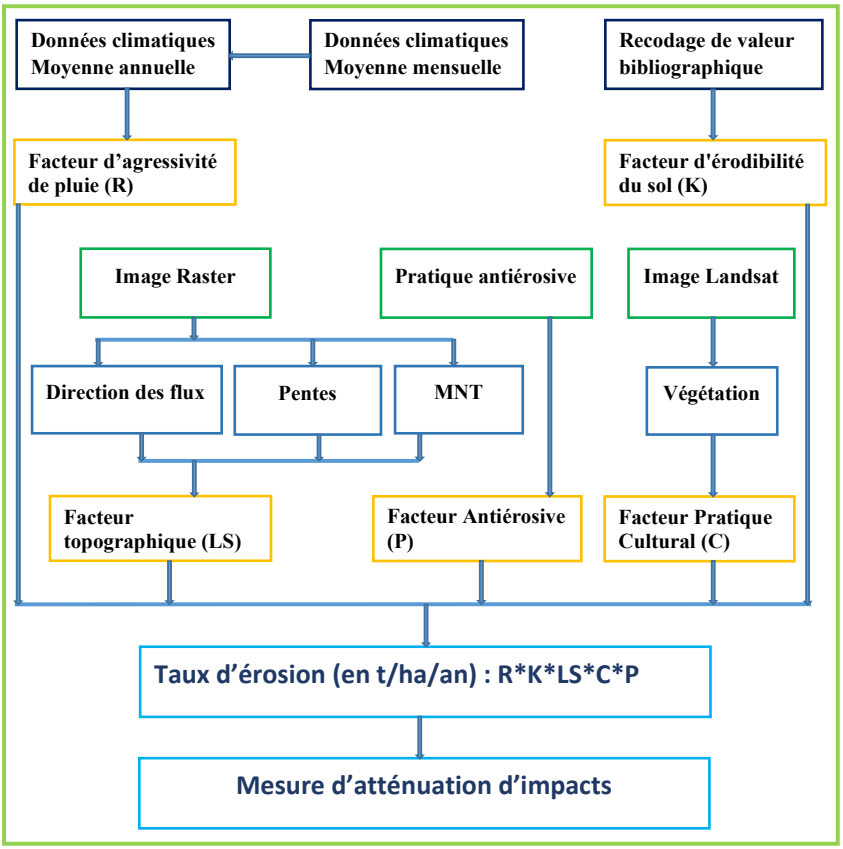


Figure 1. Organigramme méthodologique du modèle USLE

Erosion potentielle (Ap)

Le potentiel érosif est déterminé par la combinaison des facteurs suivants (Wischmeier et *al*.,1971) : - Facteur d'agressivité des pluies, R ;

- Facteur d'érodibilité des sols, K ;

- Facteur physiographique lié à la pente et la longueur de pente, LS.

Le potentiel érosif (Ap) est déterminé selon la formule suivante :

$$Ap = R . K . LS$$

Le facteur R est obtenu à partir du dépouillement des données de la pluviométrie portant sur plusieurs années. Les valeurs du facteur R sont déterminées pour la zone d'étude à l'aide de la formule suivante :

$$R = -8,12 + (0,562*P), \text{ (Hurni, 1985) (Belayneh } et\ al.\text{, 2019).}$$

Où : R : agressivité de pluie.

P : précipitations inter annuelles de la zone

Le facteur R a été calculé séparément pour chaque station, puis on a interpolé les résultats par la méthode d'interpolation IDW, pour avoir la carte du facteur d'érosivité de la zone d'étude.

Le facteur d'érodibilité d'un sol K est sa résistance à deux sources d'énergie, la battance des gouttes de la pluie à la surface du sol et l'entaille du ruissellement entre les mottes dans les griffes ou les rigoles. Certains auteurs, dont Wischmeier (1978), ont trouvé une corrélation entre ce facteur et les paramètres liés à la structure des sols. Wischmeier et *al*. (1971), proposèrent un modèle pour calculer le facteur K selon l'équation :

$$\mathbf{1000\ K = 2,1\ M1,4 . 10\text{-}4\ (12 - a) + 3,25\ (b - 2) + 2,5\ (c - 3)}$$

Où :

K : facteur d'érodibilité

a : pourcentage de matière organique

b : le code de structure

c : la classe de perméabilité

M : (% sable fin + % limon) (100 - % argile).

Dans le cas présent, la valeur de K est déterminée par recodage d'après les valeurs bibliographiques (notice explicative de la feuille pédologique d'Antsirabe) et la visualisation des abaques de Wischmeier pour estimer l'indice d'érodibilité des sols à l'érosion hydrique, le triangle de la texture du sol et le tableau d'USDA Soil Texture Class.

Le facteur LS est le produit de deux sous facteurs, à savoir le sous facteur longueur de la pente et le sous facteur gradient de la pente. Ils proviennent du Modèle Numérique du Terrain

(MNT). La longueur de la pente (L) est définie comme étant la distance parcourue par une goutte d'eau depuis la source de ruissellement jusqu'à un point donné du bassin.

Les logiciels informatisés, tel ArcGis, ont amplement facilité les calculs de certains paramètres, tels que le cas du facteur topographique, qui ont été calculés à partir du MNT, de la carte des classes de pentes et la carte des flux selon l'expression suivante :

LS=[(Flow.Acc*Résolution)/22,1]m*[(sin(pente)*0,01745)/0,0896]1,4*1,4

La valeur de m = 0,5 a été prise car plus de 80% de la carte des pentes ont une valeur supérieure à 5% (Tableau 3). Le tout sera divisé par 100 car des pentes en % ont été utilisé comme unité pour le calcul LS.

Pourcentage de la pente (%)	Facteur m
≥ 5	0,5
3,5≤ e <5	0,4
1≤ e <3,5	0,3
<1	0,2

Tableau 3. Valeurs du facteur m

Erosion actuelle (A)

L'érosion actuelle est définie comme étant la perte en sol découlant de l'interaction des facteurs R, LS et P. L'expression du calcul est :

Aa = R . K . LS . C . P = Ap . C . P

Elle est donc fonction de l'érosion potentielle (Ap), du mode cultural (C) et des aménagements antiérosifs de la pente (P) (Wischmeier et *al*., 1971).

Le facteur cultural C est un simple rapport des pertes de terre d'un sol dans un système de production sur les pertes de ce même sol traité en jachère nue continuellement travaillée.

Il prend en compte le fait que la pluie agit proportionnellement sur un sol nu que sur un sol couvert : le couvert végétal, son niveau de production, les techniques culturales qui y sont associées, la qualité de la couverture et la croissance des racines, l'utilisation de l'eau par les plantes en cours de croissance et le mode de traitement des résidus. La détermination de ce facteur se base sur l'occupation des terres et grâce à l'outil *google.earth.pro* pour une meilleure visualisation de l'image satellite. Les valeurs de C varient de 1 pour les sols nus à 0,001 pour les forêts denses et cultures paillées abondamment (Roose, 1994) (Tableau 4).

Tableau 4. Coefficient du sol C en fonction du type d'occupation du sol

Le facteur antiérosif P est déterminé à partir de la carte des aménagements existants. Il varie en fonction de l'aménagement effectué sur la pente et de la valeur de la pente elle-même.

Type d'occupation du sol	Facteur C
Sol nu	1
Forêt dégradée	0,7
Savane herbeuse dégradée	0,6
Mosaïque de culture	0,5
Savane arborée et arbustive	0,3
Mangrove	0,28
Surface bâtie	0,2
Zone reboisée	0,18
Rizière	0,15
Forêt dense	0,001
Plan d'eau	0

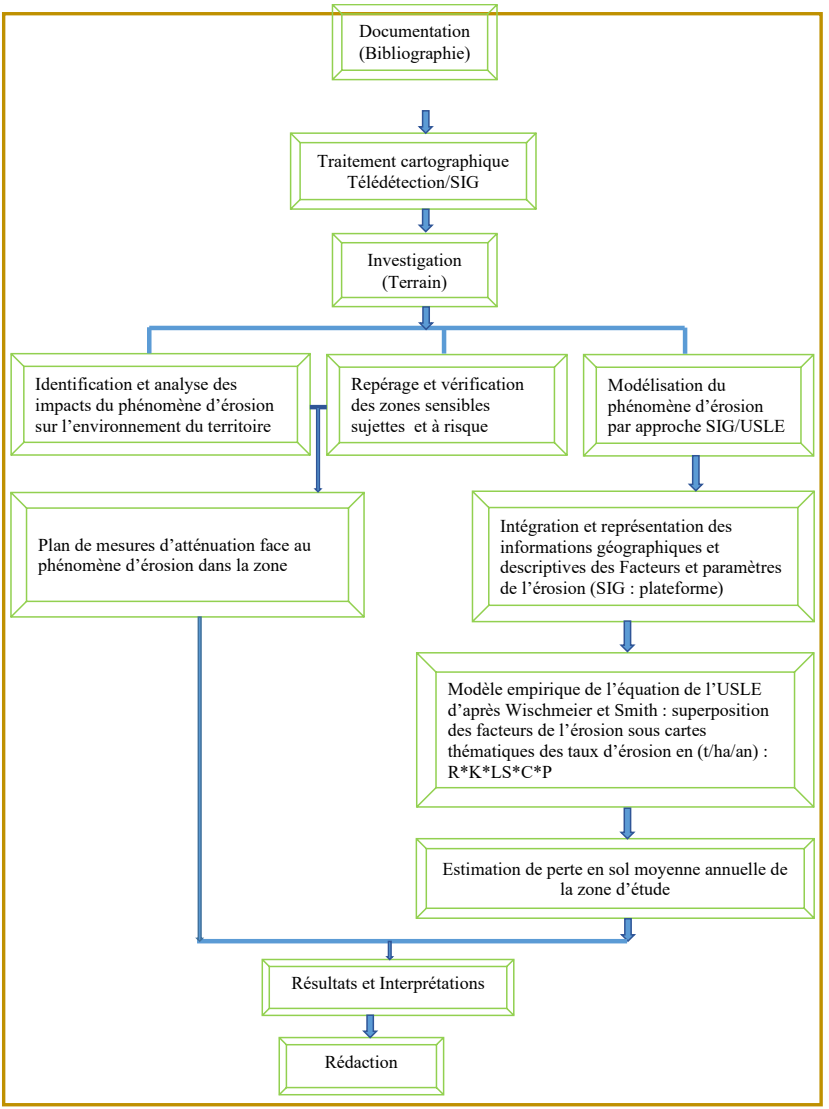


Figure 1. Organigramme méthodologique du Travail

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Avant d'arriver à la carte d'évaluation du taux d'érosion du sol sur la zone d'étude, on obtient plusieurs cartes des facteurs du risque d'érosion du sol par une approche SIG/USLE.

Altitude de la zone d'étude

La zone d'étude est constituée par différents types de relief avec une variation des altitudes comprises entre 1510 m et 1709 m. L'altitude moyenne est de 1593,57 m.

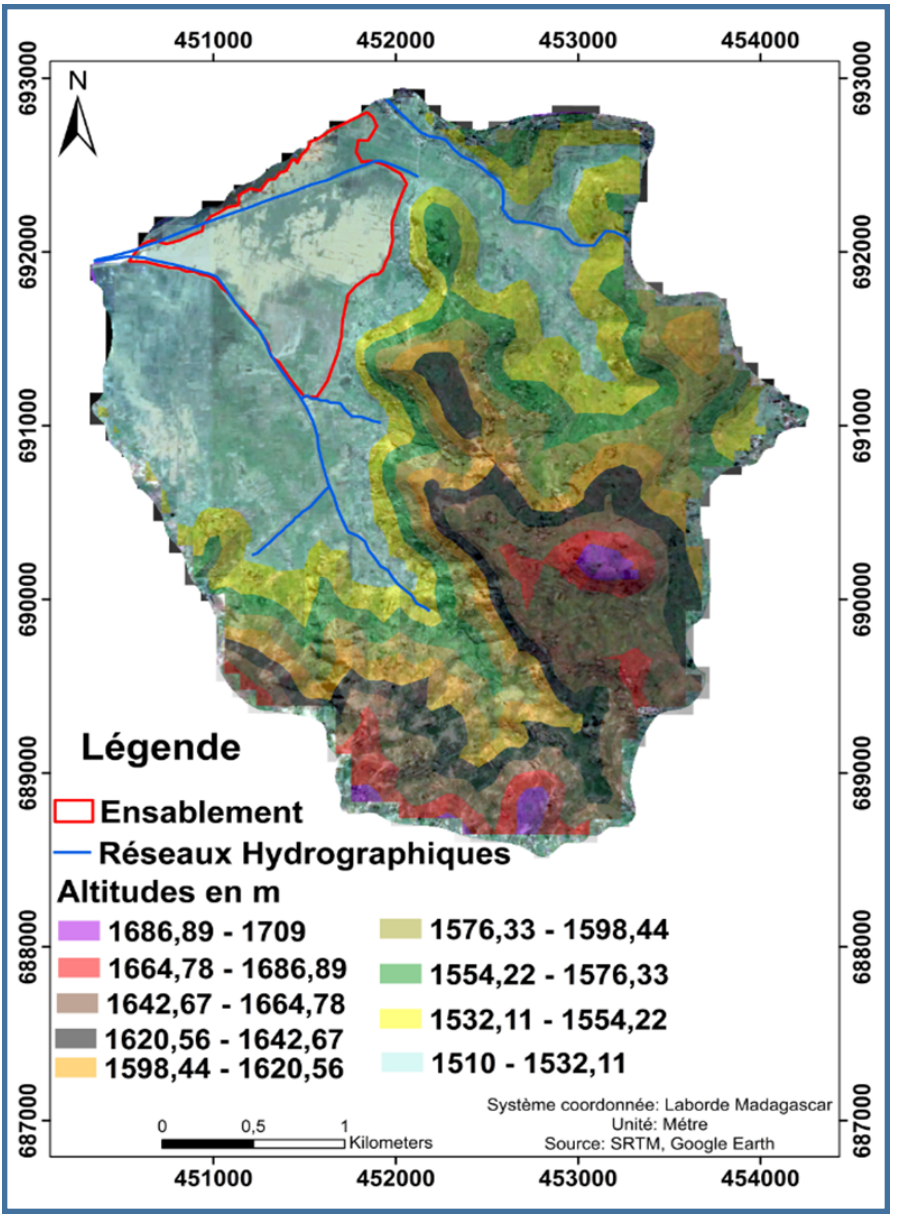


Figure 1. Carte des altitudes de la zone d'étude (Google Earth, SRTM)

Pentes dans la zone d'étude

Les pentes dans la zone d'étude sont variées en fonction de la forme du relief. Les pentes faibles se trouvent dans la partie Nord-Ouest du territoire. Par contre, les pentes fortes sont au centre de la zone et dans le versant de la zone.

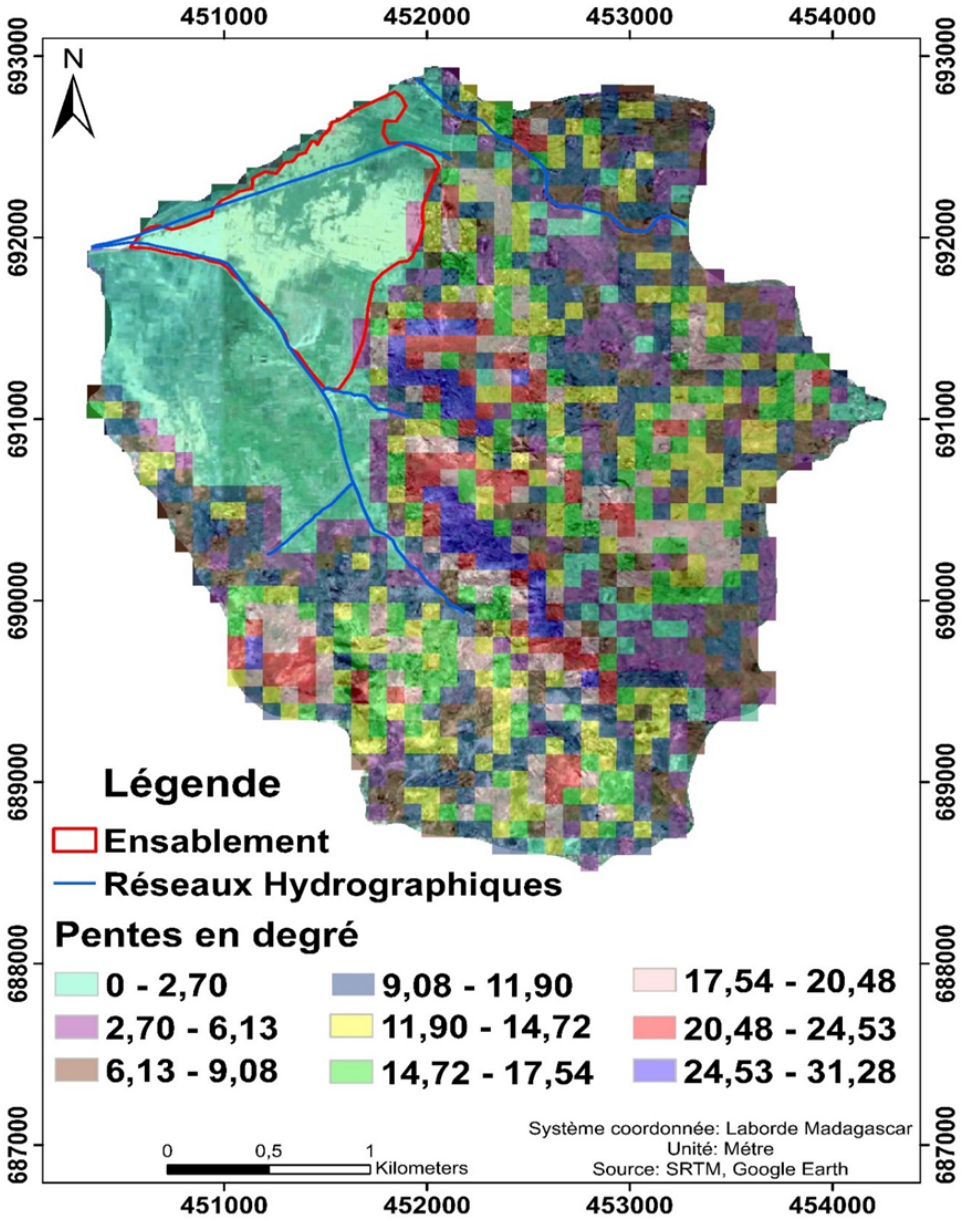


Figure 4. Carte des pentes en degré (Google Earth, SRTM)

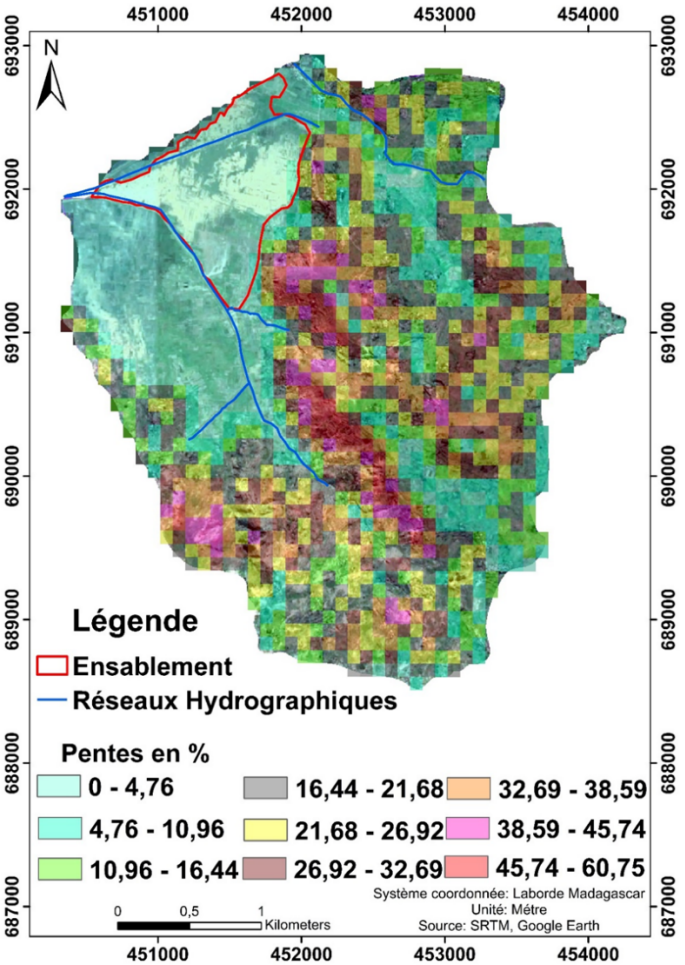


Figure 5. Carte des pentes en pourcent (Google Earth, SRTM)

Evaluation des facteurs USLE

L'équation USLE est une multiplication des cinq facteurs d'érosion, à savoir l'érosivité de la pluie R, l'érodibilité du sol K, l'inclinaison et la longueur de pente LS, le couvert végétal C et les pratiques antiérosives P. Chacun de ces facteurs a été exprimé sous forme de carte thématique.

Facteur d'agressivité de pluie (R)

La pluviométrie de la zone

La zone d'étude jouit d'un climat tropical qui est contrasté par le relief. Les précipitations sont variées selon les altitudes et les types de sol. Elles sont comprises entre 1251,69 et 1326,79 mm. Les précipitations moyennes annuelles sont de 1287,58 mm.

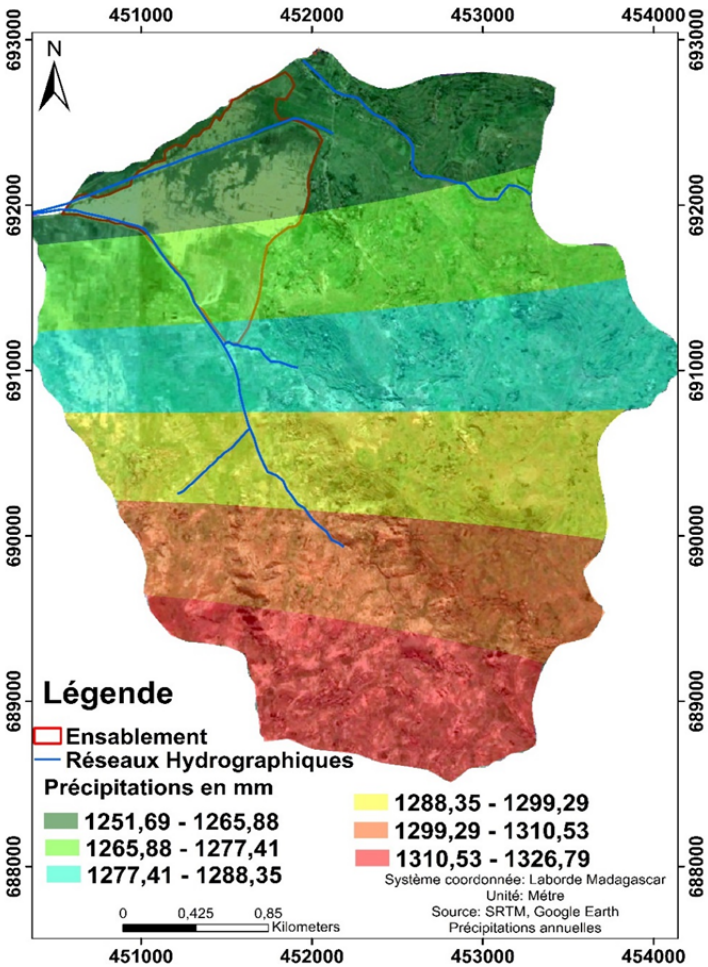


Figure 6. Carte des précipitations de la zone (Google Earth, Google Engine)

Facteur d'agressivité R

La Figure 8 ci-dessous correspond à la carte du facteur d'érosivité de la pluie R dans la zone d'étude, avec des valeurs variant entre 695,33 et 715,88 mégajoule millimètre par hectare par heure par an (MJ.mm/ha.h.an). L'érodibilité de pluie R dépend de la texture du sol et la topographie de la zone.

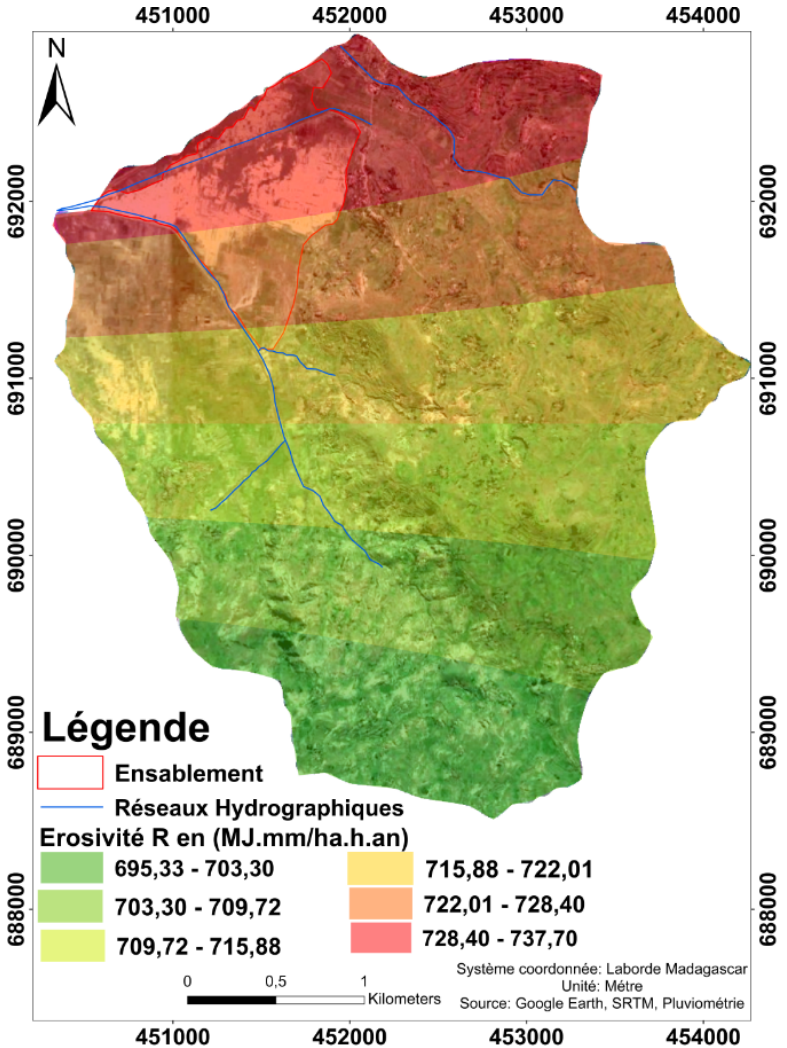


Figure 7. Carte du facteur d'érosivité de la pluie R (Google Earth, SRTM)

Facteur d'érodibilité du sol (K)

Caractérisation des sols de la zone d'étude

La classification du sol repose sur une association de critères, tels le degré d'évolution, le type d'altération lié aux facteurs climatiques et édaphiques, les caractères physico-chimiques situationnels. Il y a quatre (04) types de sol sur la zone d'étude.

Grace à l'utilisation du SIG, il est possible de former des banques de données qui admettent un stockage des informations fournies par la carte pédologique de la feuille d'Antsirabe et la notice explicative.

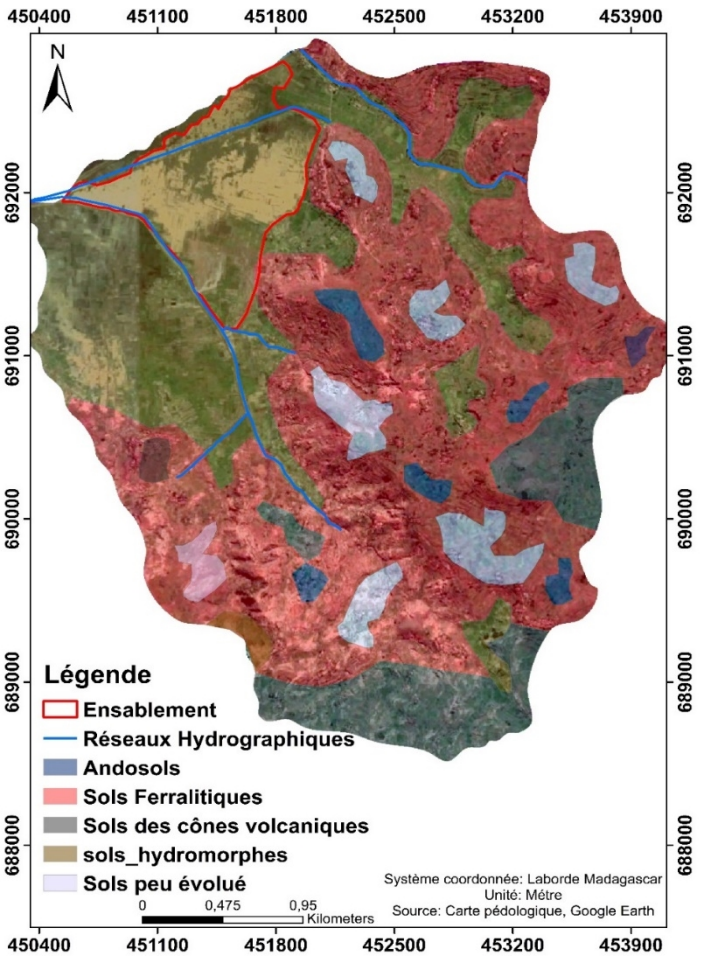


Figure 8. Carte des types des sols dans la zone (Google Earth, Feuille pédologique)

L'érodibilité des sols (K)

La carte ci-dessous (Figure 10) présente la classification spatiale des différentes classes du facteur d'érodibilité du sol K dans la zone d'étude. Les valeurs de l'indice d'érodibilité sont comprises entre 0,02 et 0,28 et sont réparties sur la zone d'étude selon les différentes unités homogènes. La zone présente généralement une érodibilité faible (0,02 - 0,04) couvrant 5,81% de la zone d'étude avec une superficie de 644.714 m^2, suivie d'une érodibilité moyenne (0,04- 0,21) avec 12,50% de la zone soit 1,39 km^2 de la superficie, et une érodibilité forte (0,21-0,28) avec 81,69% de la surface totale soit 9,07 km^2 de la superficie.

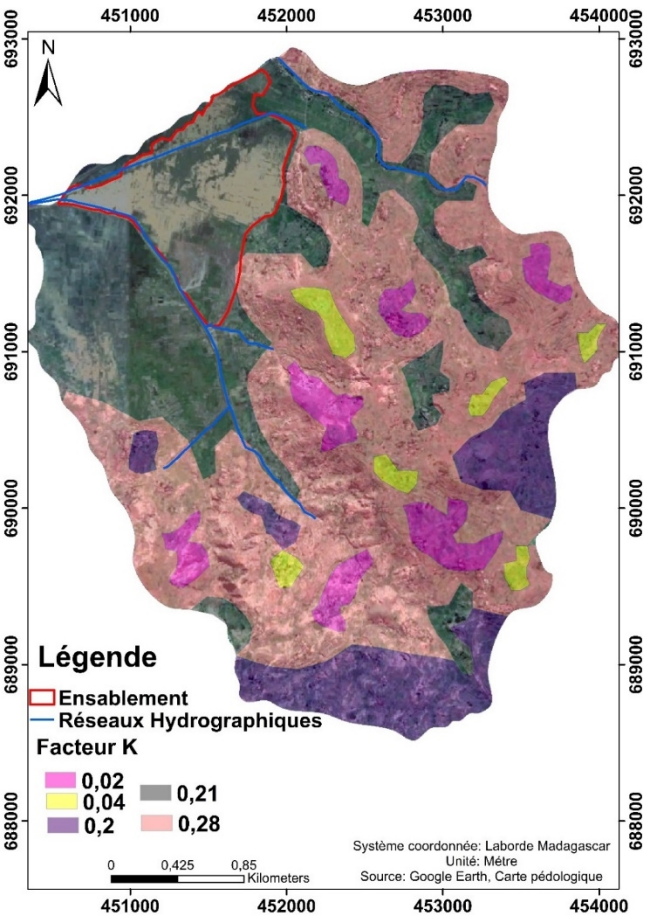


Figure 9. Carte du facteur d'érodibilité K (Google Earth, Feuille pédologique)

Facteur topographique (LS)

Le facteur topographique LS est classé selon des valeurs variant entre 0 et 3,99. La lecture de la carte (Figure 11) reflète généralement la topographie du terrain. Les valeurs minimales (0-0,11) couvrent 58,09 % de la superficie totale de la zone d'étude soit 6,44km^2 de la superficie avec des pentes inférieures à 17,54°. Les valeurs comprises entre 0,11 et 0,34 sont réparties dans toute la zone à pente moyenne entre 17,54° à 20,48°. Les 10,91% restants de la superficie correspondent aux valeurs supérieures à 0,34 coïncidant généralement avec des zones à hautes altitudes et pentes élevées (supérieures à 30°).

Le facteur topographique (LS) dépend du degré de la pente dans la zone d'étude, et il y a une relation entre le facteur topographique (LS) et l'action d'érosion, c'est-à-dire que la pente est élevée, alors l'érosion est plus intense.

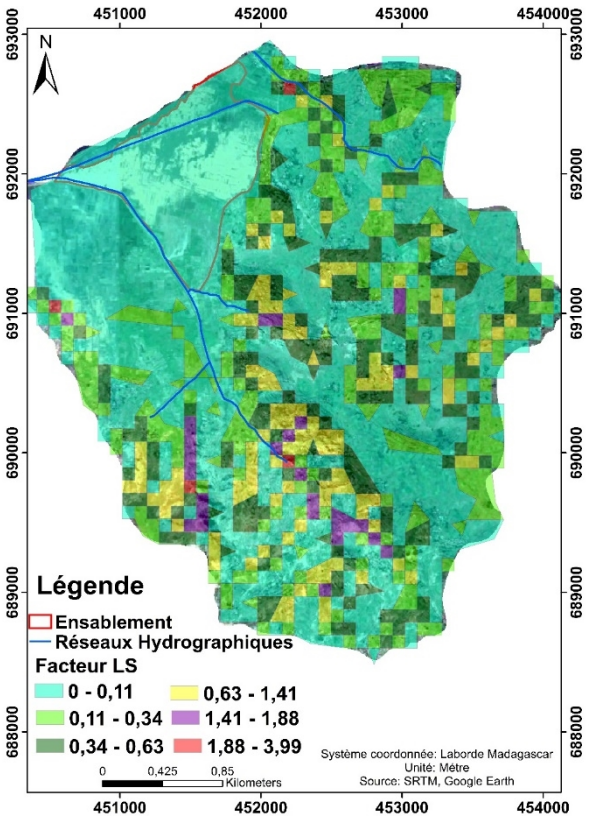


Figure 10: Carte du facteur topographique LS (Google Earth, SRTM)

Erosion potentielle (Ap)

La superposition multiplicative des trois couches thématiques R, K, LS, représentant les facteurs de l'érosion sous format Raster a permis l'obtention de la carte d'érosion potentielle, exprimant la valeur d'érosion potentielle en t/ha/an par unité spatiale. La carte obtenue (Figure 12) montre des taux d'érosion variant entre 0 et 603 t/ha/an répartis sur l'ensemble de l'aire d'étude avec un taux moyen annuel de 40,33 tonnes/ha/an. Le Tableau 5 présente la répartition des classes d'érosion au niveau de la zone d'étude.

Dans ce travail, les pertes en sol ont été réparties en 5 classes pour une meilleure visualisation spatiale, pourtant, la discussion des résultats tiendra en compte des seuils suivants: si le taux d'érosion est de 0 à 10 t/ha/an, c'est une classe d'érosion faible, couvrant 55,38% de la zone d'étude ; 10 à 20 c'est l'érosion modérée, répartie dans les 3,96% de la zone ; pour la zone ayant un taux d'érosion entre 20 et 30 t/ha/an, cette zone est considéré à érosion élevée, 4,23% de la zone d'étude est occupé par ce type d'érosion ; le taux d'érosion 30 à 50 t/ha/an est classé comme érosion sévère, 8,62% de la zone est occupé par ce type d'érosion ; et le taux d'érosion supérieur à 50 t/ha/an est considéré comme très sévère, 27,81% de la zone d'étude est occupé par ce type d'érosion.

Tableau 5. Répartition des classes d'érosion potentiel (AP)

Pertes en sol (tonne/ha/an)	**Classe d'érosion**	**Classe de sévérité**	**Superficie en m²**	**Moyenne annuelle (t/ha/an)**	**Superficie en %**
0 – 10	Faible	I	5940330 ,74	1,35	55 ,38
10 – 20	Modérée	II	424404,41	15,55	3,96
20 – 30	Elevée	III	454041,45	25,36	4,23
30 – 50	Sévère	IV	923990,46	40,75	8,62
50 – 603	Très sévère	V	2983420,66	118,64	27,81

La carte d'érosion potentielle indique les zones qui sont caractérisées par une vulnérabilité élevée sur la base des facteurs naturels tels que la précipitation, les propriétés du sol et la topographie et qui ne peuvent pas être facilement contrôlées (Karamage *et al*., 2016). Pour déterminer le risque maximum d'érosion hydrique dans le territoire d'Ambohitsara, la carte de l'érosion potentielle (Figure 12) a été établie. Cette carte d'érosion potentielle indique les zones qui sont naturellement vulnérables à l'érosion hydrique suite à une forte intensité de précipitation et suite aux pentes fortes (Karamage *et al*., 2016).

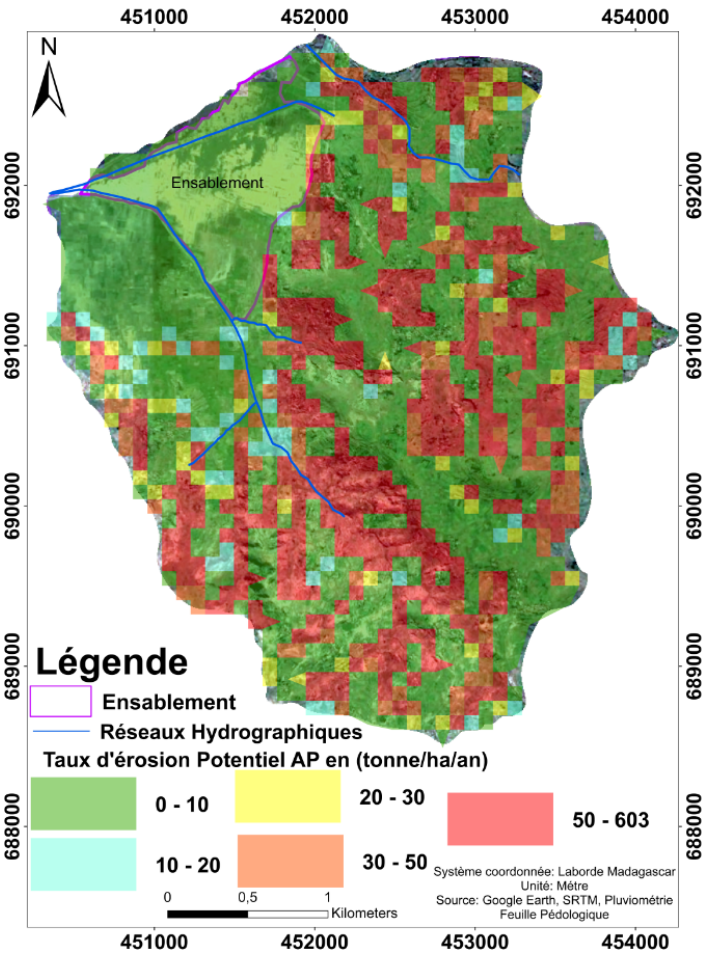


Figure 11. Carte du taux d'érosion potentielle Ap (Google Earth, Google Engine, SRTM)

Erosion actuelle (A)

La situation de l'érosion représente l'état actuel de l'érosion potentielle en tenant en compte des effets de la végétation et des méthodes de culture. Ainsi, les coefficients C et P sont inclus dans l'équation de situation de l'érosion (Le Van et *al.*, 2014). Contrairement à l'érosion potentielle qui ne tient compte que de trois (3) facteurs naturels (érosivité de pluie, érodibilité de sol, les facteurs de longueurs et du gradient de pente) pour indiquer les zones avec une vulnérabilité élevée, le risque d'érosion est estimé en faisant le produit des facteurs naturels anthropiques (érosivité de pluie, érodibilité de sol, les facteurs de longueurs et du gradient de pente, facteur de couverture du sol et de pratique de protection) (Karamage et *al*., 2017).

Facteur cultural (C)

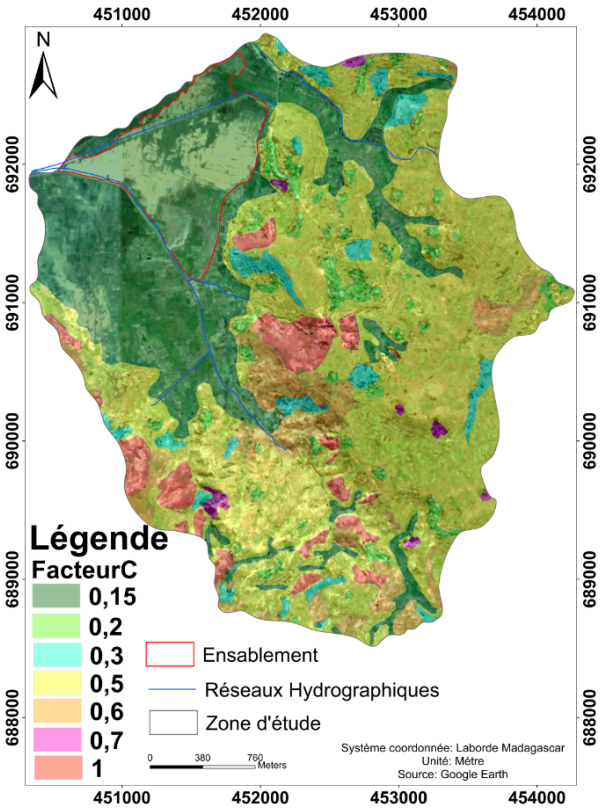


Figure 12. Carte du facteur cultural C (Google Earth)

Erosion actuelle (A)

A partir de l'analyse statistique du taux d'érosion de la zone d'étude, pilotée avec le logiciel ArcGis, on obtient les valeurs moyennes des pertes en sol sans et avec aménagement du territoire, montrées dans les Figures ci-dessous (Figures 14, 15). Sans pratique antiérosive, les taux d'érosion dans la zone sont de 0 à 300 tonnes/ha/an, avec un taux moyen annuel de 34,57 tonnes/ha/an.

Tableau 6. Evaluation théorique des superficies soumises à l'érosion actuelle sans P

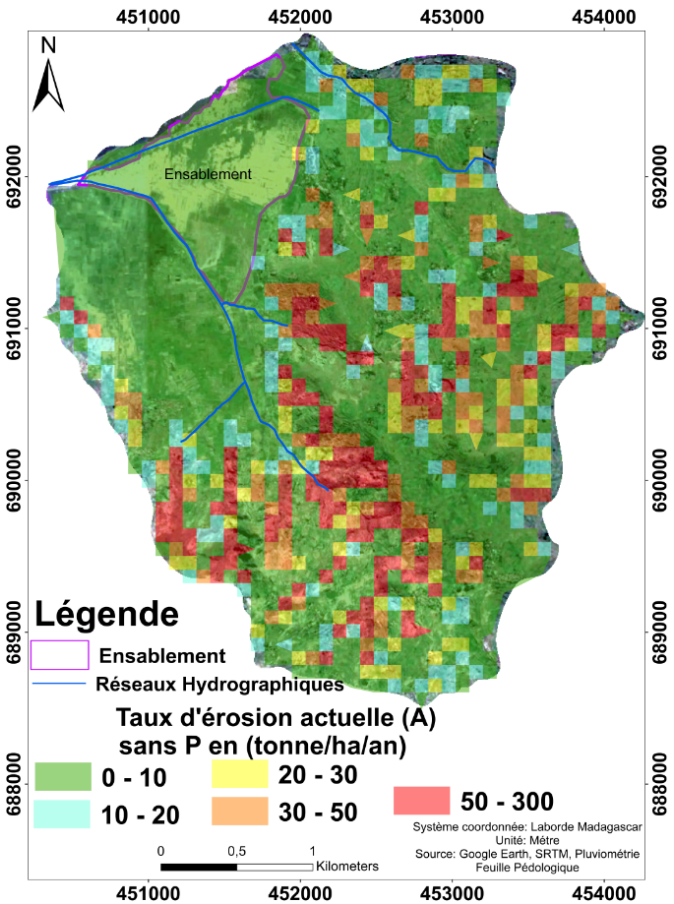
Erosion Actuelle sans P (tonne/ha/an)	Classe d'érosion	Classe de sévérité	Superficie en m²	Moyenne annuelle (t/ha/an)	Superficie en %
0 – 10	Faible	I	6900600,48	1,18	64,41
10 – 20	Modérée	II	1012319,23	14,92	9,45
20 – 30	Elevée	III	781132,16	25,08	7,29
30 – 50	Sévère	IV	834947,87	39,86	7,79
50 – 300	Très sévère	V	1184527,56	91,92	11,06

Pour le taux d'érosion actuelle avec aménagement, on prend la valeur de la pratique antiérosive P entre 0,5 et 1, d'où avec pratique antiérosive les taux d'érosion dans la zone sont compris entre 0 et 270 tonnes/ha/an (Figure 15), avec un taux moyen annuel de 24,56 tonnes/ha/an.

Tableau 7. ***Evaluation théorique des superficies soumises à l'érosion actuelle avec P***

Erosion Actuelle avec P (tonne/ha/an)	Classe d'érosion	Classe de sévérité	Superficie en m²	Moyenne annuelle (t/ha/an)	Superficie en %

0 – 10	Faible	I	7246487,59	1,01	67,84
10 – 20	Modérée	II	853971,85	13,94	7,99
20 – 30	Elevée	III	730781,44	24,36	6,84
30 – 50	Sévère	IV	786573,86	38,27	7,36
50 – 270	Très sévère	V	1063592,54	90,02	9,96



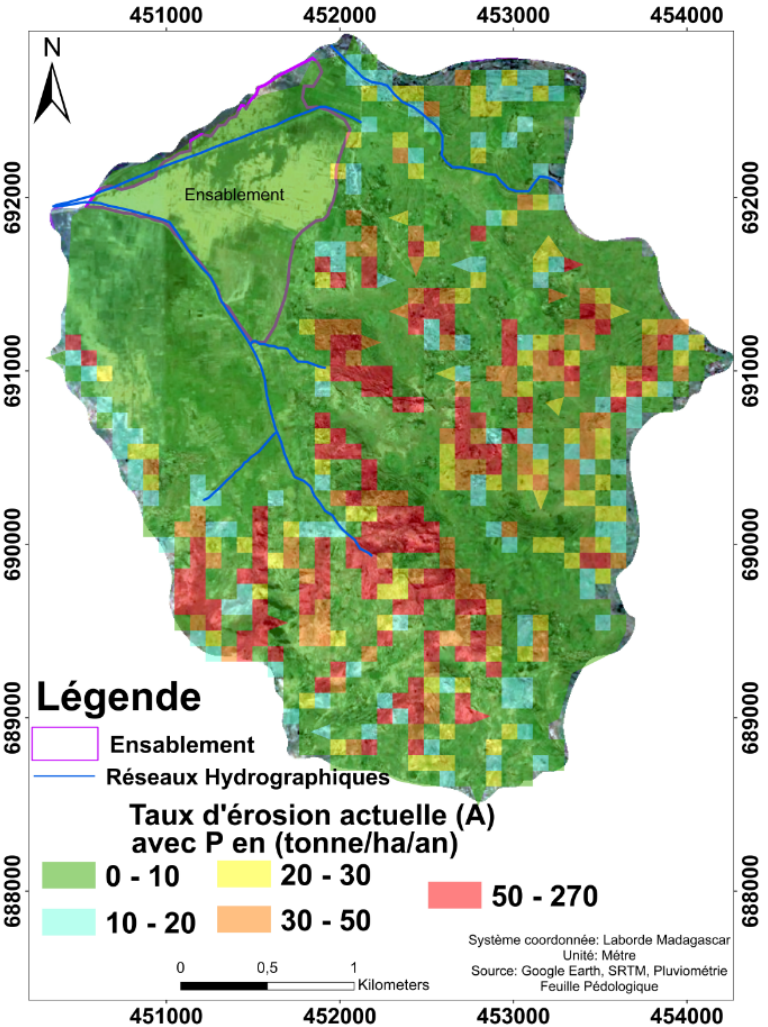


Figure 15. Carte des taux d'érosion actuelle A avec P (Google Earth, Google Engine, Feuille Pédologique, SRTM)

DISCUSSION

Les problèmes environnementaux rencontrés dans la zone

A partir des descentes sur terrain et des analyses, quelques problèmes environnementaux ont été identifiés dans la zone d'étude comme le feu de brousse, la déforestation et le défrichement, la méthode de production agricole inadéquate, les briqueteries, l'obturation du canal d'évacuation d'eau et l'exploitation irrationnelle des ressources. Ces problèmes sont favorisés par l'accélération du phénomène d'érosion sur cette zone. A cause de l'érosion, le tiers des rizières (environ 102,3 ha) dans le bassin du Mangorokoba sont couverts par les sables.

Mesure d'atténuation face à ces problèmes

Voici quelques mesures d'atténuation possibles à réaliser sur la zone, dépendant des caractéristiques de celle-ci (pente, altitude, lieu, …) :

- **Canal de ruissellement** : il s'installe en amont de la zone cible ou la zone protégée. L'utilisation de la méthode a pour but d'arrêter ou diminuer le ruissellement dans la zone sensible ou dans la zone menacée par l'érosion.
- **Empilement des moellons ou des sacs de sables** : le bord de la rivière est la première cible de la réalisation de la méthode pour lutter contre le glissement ou l'érosion de la rive conduisant à l'ensablement de la rivière.
- **Remblayage ou reboisement** : il s'effectue sur la zone très attaquée à l'érosion pour arrêter ou diminuer l'action de l'érosion et pour restaurer la structure du sol.

A partir des analyses et de la descente sur terrain, on constate que la réhabilitation du canal d'évacuation dans le bassin du Mangorokoba a apporté beaucoup d'avantages dans cette zone, parce que si ce canal est bien entretenu, l'inondation dans cette zone est réduite ou absente. Dans ce cas, la zone de culture augmente, alors les productions augmentent aussi.

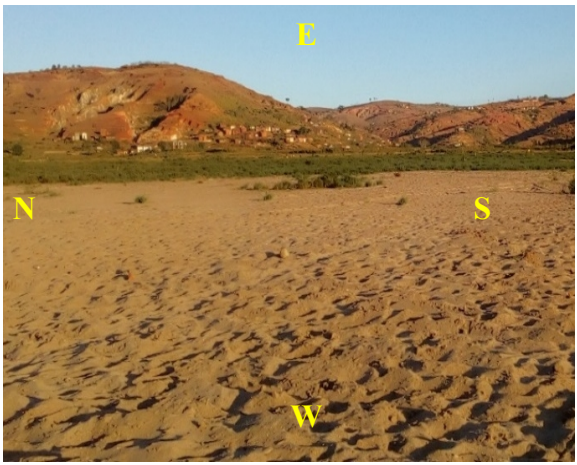


Figure 16. Ensablement dans le bassin de Mangorokoba

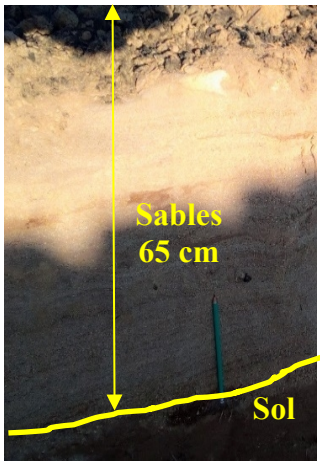


Figure 15. Profil du bassin

CONCLUSION

La zone de Tritriva est située dans les socles cristallins. Elle est marquée par de vastes zones volcaniques de couleur noire, presque des sols volcaniques. Ces zones sont déjà rongées par les érosions. En plus, les activités effectuées par la population locale et les feux de brousse ne font qu'accélérer davantage l'érosion dans cette partie.

D'après les résultats de l'étude sur l'estimation empirique, la perte en sol de la zone de Tritriva est classée parmi les plus alarmantes.

L'utilisation du modèle USLE conduit à des résultats plus fiables qui peuvent donner une aide précieuse, à coûts très bas, aux décideurs et aménageurs du territoire, dans le but d'apprécier l'évolution et par la suite, cibler les zones prioritaires qui nécessitent des actions de conservation et de lutte contre l'érosion. Les résultats obtenus sous forme de carte de risque d'érosion montrent que la zone d'étude présente des pertes en sols qui varient de 0 à 85 t/ha/an avec une perte moyenne annuelle de 32,8 t/ha/an, donc l'érosion y est classée parmi la très forte à Madagascar.

L'utilisation des terres est une meilleure façon pour contrôler l'augmentation du taux d'érosion. Elle a un effet énorme sur les taux d'érosion ; les pertes de sol sur les terres nues ou à végétation fortement dégradée sont, sans doute, plus élevées que celles sur les surfaces avec végétation permanente, même sur de fortes pentes. Sur ces terres, l'érosion est contrôlée surtout par le facteur topographique. Et pour le cas de cette zone d'étude, la réhabilitation du canal d'évacuation d'eau est parmi les mesures pour éviter l'ensablement des bas-fonds.

Enfin, cette approche a aidé à mieux estimer les taux d'érosion potentielle à l'échelle de la zone d'étude. Elle a grandement contribué à la classification des risques d'érosion. Plus encore, suite à cette classification, les dispositions environnementales sont également classées en fonction des risques. A partir de cette étude, la perspective est l'utilisation de la méthode USLE et SIG pour d'autres zones ou d'aménagement du territoire à Madagascar.

BIBLIOGRAPHIE

1) Bourgeat, F. et *al.* (1995). Les unités pédomorphologiques à Madagascar, les facteurs de pédogenèse, potentialités et contraintes régionales. ORSTOM, pp. 40-49.
2) Cox, R. et *al.* (2009). Erosion Rates and Sediment Sources in Madagascar Inferred from Be Analysis of Lavaka, Slope, and River Sediment. The Journal of Geology, vol. 117, pp. 363-376.

3) Dabin, B. (1984). Les sols tropicaux acides. Cahier ORSTOM, série Pédologie, vol. XXI (1), 1984-1985 : 7-19.
4) Drouet, T. (2010). Pédologie. BING-F-302, 138 p.
5) Duchaufour, P. (1988). Abrégés de Pédologie. Masson. Paris, 224 p.
6) FAO. (1974). Carte pédologique de Madagascar.
7) Ganasri, B. P., Ramesh H. (2015). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin, Geoscience Frontiers.
8) Gashaw, T., Tulu, T. et Argaw, M. (2017). Erosion risk assessment for prioritization of conservation measures in Geleda watershed, Blue Nile basin, Ethiopia, Environmental Systems Research.
9) Hervieu, J. (1967). Géographie des sols malgaches. Essai synthétique. ORSTOM, pp. 39-82.
10) Jean Nacishali, N. (2020). Cartographie de l'érosion hydrique des sols et priorisation des mesures de conservation dans le territoire d'Uvira (République démocratique du Congo). La revue électronique en sciences de l'environnement, Département de géologie, faculté des sciences, Université officielle de Bukavu (UOB), BP 570, Bukavu, R.D. Congo.
11) Ministère de l'Environnement et des Forêts. (2012). Rapport sur l'Etat de l'Environnement à Madagascar. pp. 102-129.
12) PGRM (2012). Carte géologique de Madagascar.
13) Rabeharisoa, L. (2004). Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes-terres de Madagascar. Thèse de Doctorat d'Etat es-Sciences Naturelles, Département de Biologie et Ecologie végétales, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 186 p + annexes.
14) Rasambainarivo, J. H. et *al.* (2003). Profil fourrager Madagascar. FAO, 24 p.
15) Razafinjatovo, M. C. (2019). Cartographie Quantitative du risque d'érosion et mesures de conservation du sol du projet d'exploitation de pouzzolane d'Ambohijatovo Mandritsara et d'Alakamisy Anativato dans le district Betafo-Region Vakinakaratra. Mem. Master II, mention RME, Fac.Science, Univ.Antananarivo, 25figs.17tab.63p.
16) Roose, E. (1990). Erodibilité de quelques sols tropicaux Vingt années de mesure en parcelle d'érosion sous pluies naturelles. Fig.09-Tab.08, 27p.
17) Singh, S. and Kumar, P.R. (2017). Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: a casestudy in the Kapgari watershed, India, International Soil and Water Conservation Research [En ligne], 5, pp. 202-211.
18) Smith et Wischmeier (1978). Factors of soil formation, a system of quantitative pedology.

19) Tadesse, L., Suryabhagavan, K.V., Sridhar, G. et Legesse, G. (2017). Land use and land cover changes and Soil erosion in Yezat Watershed, North Western Ethiopia, International Soil and Water Conservation Research [En ligne], pp. 85-94.
20) Tamene, L., Adimassu,, Z., Aynekulu, E. et Yaekob,T. (2017). Estimating landscape susceptibility to soil erosion using a GIS-based approach in Northern Ethiopia, International Soil and Water Conservation Research [En ligne], 5, pp. 221-230.
21) Wischmeier et *al.* (1971). Factors of soil formation, a system of quantitative pedology

WEBOGRAPHIE

22) Assessment of soil erosion by RUSLE (12 mars 2023) http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007
23) Erosion risk assessment for prioritization of conservation measures (17 Avril 2023) https://doi.org/10.1186/s40068-016-0078-x
24) Estimating landscape susceptibility to soil erosion (02 Mai 2023) http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.002
25) Facteur climatique (25 Juillet 2023) http://googleengine.gov
26) Facteur topographique (25 Juillet 2023) http://earthexplorer.usgs.gov
27) FAO (19 juin, 2022) http://www.érosion hydrique.fao.org/3/t1765f0v.htm
28) Géographie de Madagascar (15 mars, 2022) http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%Geographie de Madagascar.
29) Google Earth (20 mars, 2022) http://www.googleearth.exe
30) Grid-cell based assessment of soil erosion potential (11 juin 2023) https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.006
31) La chaine météo (05 avril, 2022) http://www.lachainemeteo.com.
32) Land use and land cover changes and Soil erosion (10 Mai 2023) https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.004
33) Larousse (27 mai, 2022) http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/pédogenèse/77823.
34) Lutte hydrique (10 juin, 2022) http://www.ma.auf.org/érosion/chapitre/VI.Lutte.html

CARACTERISATION ECOLOGIQUE DES MANGROVES RESTAUREES DE LA REGION BOENY : CAS DE BOANAMARY

Par

SOAFIA B. A.[1-2], TAVENTY R. A.[2], VAVINDRAZA.[1-2]., RANARIJAONA H.L.T[1]

[1-]Ecole Doctorale Ecosystèmes Naturels (EDEN)

[2-] Institut Universitaire de Technologies et de l'Environnements (IUTAM)

bintyalisoafia@yahoo.com (032 04 554 54), aldonirolice@gmail.com (032 83 505 00), viviana.vavy@yahoo.fr (032 04 462 28), hranarijaona@gmail.com (032 05 579 82).

RESUMÉ

La mangrove est dégradée en général malgré les services écosystémiques qu'elle offre**.** C'est ce qui justifie l'existence des différents projets de restauration. Mais la question de la réussite des actions de restauration se pose. Tel est le cas dans le site étudié. L**'**objectif est de determiner les caractéristiques écologiques des mangroves restaurées de Boanamary (Morahariva, Amboanio, et Ambalakisoa). Après l'analyse bibliographique, un inventaire, des relevés écologiques y ont été réalisés durant une année (2022 - 2023). L'analyse statistique des données a été faite avec le logiciel R (Anova, Test de Kruskal – Wallis, Shapiro-Wilk et AFC). Huit espèces de palétuviers ont été inventoriées dans les trois stations. Morahariva est marqué par l'abondance des plantes adultes et des jeunes pousses de *Avicennia marina* tandis qu'à Amboanio, *Rhizophora mucronata* prédomine. *Avicennia marina* (plantes adultes), et *Rhizophora mucronata* (jeunes pousses) sont abondantes à Ambalakisoa. Les formations sont composées de trois strates à Morahariva, 2 strates à Ambalakisoa et 1 strate à Amboanio. Les individus ayant un diamètre ≥ 35 cm sont moins nombreux dans les trois stations, et des individus dont la hauteur ≥ 10m sont présents seulement à Morahariva. La régénération naturelle est mauvaise avec un taux très faible. La famille de Rhizophoraceae, où des fleurs et des fruits toute l'année si les autre espèces fleurissent et fructifient pendant 3 à 8 mois. En outre, la coupe illicite d*'Avicennia marina* existe dans la mangrove restaurée de Boanamary. La restauration et la gestion sont nécessaires pour envisager la pérennisation et la survie de ce qui reste de ces ressources côtières.

Mots-clés : mangrove, caractérisation écologique, Morahariva, Amboanio, Ambalakisoa, Boanamary.

ABSTRACT:

The mangrove is generally degraded despite the ecosystem services it offers. This is why the existence of different restoration projects. But the question arises whether the restoration is successful or not? This is the case for our study site. The objective is to determine the ecological characteristics of the restored mangroves of Boanamary (Morahariva, Amboanio, and Ambalakisoa). After the bibliographic analysis, an inventory and ecological surveys were carried out for a year (2022 - 2023). Statistical analysis of the data carried out with R software (Anova, Kruskal – Wallis test, Shapiro-Wilk and AFC). Eight species of mangrove trees were inventoried in the three stations. Morahariva is marked by the abundance of adult plants and young shoots of Avicennia marina while in Amboanio, Rhizophora mucronata predominates. Avicennia marina (adult plants), and Rhizophora mucronata (young shoots) are abundant in Ambalakisoa. The formations are composed of three strata at Morahariva, 2 strata at Ambalakisoa and 1 stratum at Amboanio. Individuals with a diameter ≥ 35 cm are less numerous in the three stations, and individuals with a height ≥ 10m are present only at Morahariva. Natural regeneration is poor with a very low rate. The Rhizophoraceae family, where flowers and fruits all year round while other species flower and fruit for 3 to 8 months. Additionally, illegal logging of Avicennia marina exists in the restored Boanamary mangrove. Restoration and management are necessary to consider the sustainability and survival of the remainder of these coastal resources.

Key-word: mangrove, ecological characterization, Morahariva, Amboanio, Ambalakisoa, Boanamary.

INTRODUCTION

La diversité biologique de la grande île est constituée par les ressources naturelles dont côtières et littorales y compris la mangrove (FAO., 2005). Les palétuviers, sont des plantes qui ne se développent que dans les régions tropicales ou subtropicales. Les mangroves recouvrent à peine 1 % de la superficie de l'ensemble des forêts tropicales, mais 75 % des côtes tropicales du monde (FAO, 2005). Elles constituent un écosystème côtier primaire de grande diversité biologique (FAO, 2005). Les palétuviers jouent un grand rôle sur la photosynthèse, ils séquestrent du carbone et rejettent de l'oxygène, ils sont des abris et des zones de nidification des différentes espèces faunistiques. Les diverses utilisations de ces ressources naturelles peuvent provoquer certains heurts qui sont connexes entre la conservation et les intérêts d'exploitation (Rajerisoa, 2006). L'intérêt économique des mangroves est reconnu par la grande production de bois et l'abondance de faune qui leurs est associée (Kiener, 1992).

Cependant, les mangroves subissent des dégradations anthropiques et naturelles compromettant à la fois leurs fonctionnalités écologiques et leurs nombreuses contributions aux sociétés humaines. Les activités humaines multiformes souvent incontrôlées et irrationnelles et autres évènements naturels menacent les mangroves à Madagascar. Il s'agit plus particulièrement des catastrophes naturelles, de la sédimentation, de la surexploitation des bois de palétuviers et des défrichements illicites (Kiener, 1992). Toutes ces perturbations induisent des changements parfois importants dans les communautés végétales et animales. La pauvreté est la cause de la destruction des mangroves, telle que celle due à l'absence d'emploi pour les hommes et à la fermeture des usines. C'est le cas des mangroves de Boanamary. En outre, de nombreux projets de restauration des mangroves ont vu le jour. La protection et la gestion d'un écosystème ne peuvent pas garantir la conservation à long terme de tous les composants de la biodiversité (Bennet, 1997), alors que la restauration des écosystèmes permet de constituer un ensemble de techniques indispensables pour assurer leur sauvegarde. Elle vise à rétablir les habitats menacés et dégradés pour recréer le fonctionnement de l'écosystème. Cependant, sur le long terme, un grand nombre de ces initiatives a échoué, mettant en lumière un manque de compréhension de l'écosystème et de sa relation avec les sociétés humaines. Ce sont les raisons du choix de ce theme intitulée: "Caractérisation écologique des mangroves restaurées de la Région Boeny, cas de Boanamary"

Pour mener la recherche, trois stations de Boanamary (Morahariva, Amboanio; Ambalakisoa) ont été choisies. Des hypothèses sont avancées pour l'étude écologique des palétuviers qui permettent de caractériser la zone restaurée, à savoir si la régénération naturelle dans les zones restaurées échoue à cause de la méthode adoptée par les populations.

L'objectif principal est de déterminer les caractéristiques écologiques des mangroves de ces trois stations étudiées. Les objectifs spécifiques portent sur l'étude de l'écologie des espèces restaurées, ensuite sur la suggestion des méthodes pour améliorer la restauration dans le futur pour justifier l'importance des mangroves restaurées.

METHODOLOGIE

Milieu d'étude :

La commune rurale de Boanamary, District Mahajanga II, se situe à environ 36 km au sud de la ville de Mahajanga, entre 15° 49' de latitude du sud et 46° 10' de longitude de l'Est (figure 1). Elle est limitée : au Nord par les communes rurales de Belobaka et Ambalakida, au Sud par la baie de Bombetoka, à l'Ouest par les communes rurales de Marovoay et de Manaratsandry, et à l'Est par la commune

rurale de Bemarivo.

6 300 habitants sont recensés avec une densité de 19 habitants par km^2 (DIFT, 2016). La population pluriethnique est constituée de Sakalava, Tsimihety, Betsileo, Antemoro, Merina, Vezo mais le plus dominant est l'ethnie Sakalava. La pêche traditionnelle est pratiquée par la majorité de la population, l'élevage et l'agriculture sont des activités secondaires (DIFT, 2016).

Le sédiment marin, la marne, l'argile, le calcaire, la dolomie sont des éléments les plus marquants à Boanamary. Trois grandes formations pédologiques ont été identifiées: les sols à minéraux bruts d'origine non climatique propice à tout type d'agriculture, les sols sesquioxydes ferrugineux tropicaux propice à tout type d'agriculture, notamment la riziculture et l'arboriculture fruitière, et les sols halomorphes hydromorphes favorables aux mangroves (DIFT, 2016).

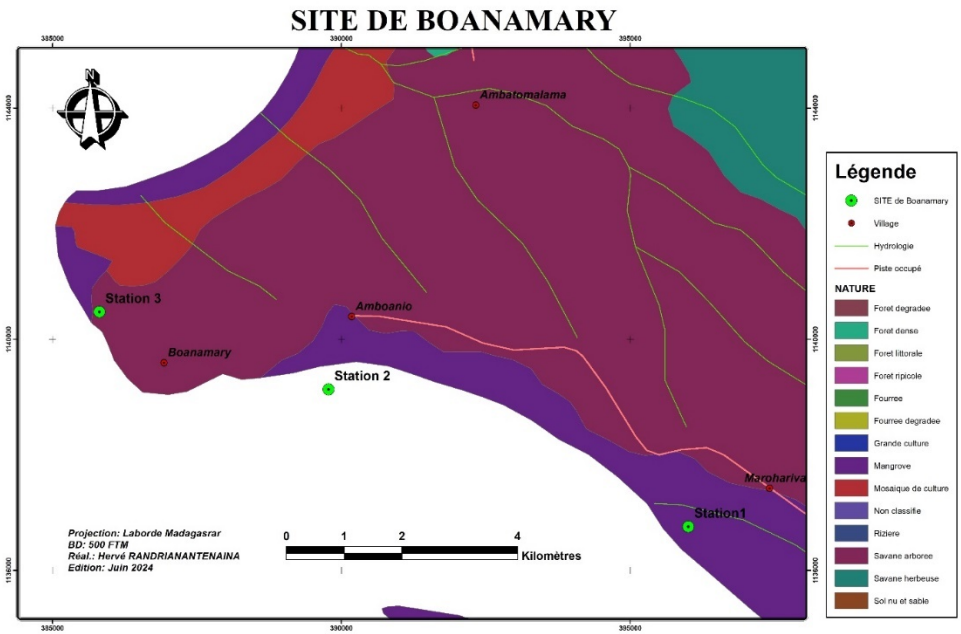


Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'étude

Source : Randrianantenaina H. G., 2024

Station 1 (Morahariva) : à 13km vers sud-ouest de Boanamary dans la partie périphérique, avec 15°51' 22 S et 046°24' 22 E.

Station 2 (Amboanio) : à 03 Km vers l'ouest de Boanamary, avec 15°49' 39 S et 046°20' 39 E.

Station 3 (Ambalakisoa) se localise vers le nord de Fokontany Boanamary

Choix de site et des stations d'étude : Boanamary (Morahariva = Station 1, Amboanio = Station 2, et Ambalakisoa = Station 3) ont été choisis car ils reçoivent les impacts des activités humaines (exploitation des bois de Mangrove et des produits halieutiques), le type de mangrove, ainsi que la manière d'utilisation et d'exploitation sont différents. Les espèces des palétuviers dans ces milieux sont des espèces restaurées. C'est ce qui a guide le chois des sites de ces trois stations, afin de connaître l'état actuel et la dégradation de mangrove dans chacune d'entre elles.

Inventaire floristique : La présente recherche s'est déroulée de novembre 2022 à octobre 2023. Après l'analyse bibliographique sur les mangroves et les sites d'études, une prospection a été réalisée dans les mangroves de Boanamary, en inventoriant les espèces de palétuviers présentes. Des relevés écologiques ont été effectués dans des sites cibles. Les transects discontinus ont été faits selon la méthode de Duvigneaud. Chaque transect est caractérisé par une longueur de 100m, perpendiculaire au chenal ou à la côte selon la largeur de la mangrove. A partir d'un point de départ (côte terre), une ligne de transect est fixée, sa délimitation se fait à l'aide d'un décamètre, tous les 10m, un point d'arrêt de relevé est marqué qui est le centre du site à étudier. Tous les transects sont distants de 100m environ et au total, 31 transects (11 transects à Morahariva, 10 transects à Amboanio et Ambalakisoa) ont été réalisés. Pour chaque espèce, ont été inventoriés les individus adultes, les plantule et les coupes récentes ; le Dhp (Diamètre à la hauteur de poitrine), la hauteur des espèces adultes ont été mesurés et la phénologie durant une année a été étudiée.

Relevés écologiques : analyse de la stratification verticale. La méthode de Gautier a été utilisée pour déterminer la structure verticale de la végétation telle que les différentes strates de la formation et le degré de recouvrement de chaque strate. Un transect de 50m de longueur a été réalisé dans chaque station. Tous les 1m, la hauteur de contact entre la partie vivante d'une plante et une gaule de 10m de hauteur a été noté. Lorsqu'une partie d'une plante se trouve au-dessus de la graduation de l'échenilloir, la hauteur a été estimée visuellement (Gautier et *al*, 1994).

Traitement des donnés :

- Le taux de régénération est calculé selon la formule de:

$$TR = \frac{\text{Nombre d'individus régénérés (R)}}{\text{Nombre d'individus semenciers (S)}} \times 100$$

***TR** supérieur ou égal à 1000% pour un bon de potentiel de génération

***TR** compris entre 100 à 999% pour un moyen potentiel

***TR** compris entre 0 à 99% pour une mauvaise génération

TR = Taux de régénération

– Pour l'analyse statistique :

***** Le logiciel **ANOVA** et le test de **Kruskall-Wallis** ont été utilisés pour analyser les variations des individus au niveau de chaque station. Si la valeur de *P*-value est inférieure à 0,05, les deux échantillons indépendants proviennent d'une population différente. A l'inverse, si la valeur de *P*-value est supérieure à 0,05, les deux échantillons seront considérés comme provenant de la même population (H0 = Il n'y a pas de différence significative entre les échantillons, H1 = Il y a une différence significative entre les échantillons). Le test de Shapiro-Wilk et le test de Bartlett ont permis de vérifier respectivement la normalité de la distribution et l'homogénéité de la variance des échantillons étudiés. Si la valeur de p-value est $\geq$ 0,05, Ho est acceptée. (H0 = La distribution est normale, H1 = La distribution est anormale).

***** L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) permet d'analyser la liaison existant entre deux variables qualitatives et/ou quantitative. Ainsi, avant de mettre en œuvre une AFC, il faut s'assurer que cette liaison existe bien. Pour cela, il existe des graphiques (diagrammes en barres de profils) et des caractéristiques numériques (indice khi-deux et ses dérivés) permettant de mettre en évidence une telle liaison lorsqu'elle existe. Dans la présente recherche, l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) s'applique essentiellement à des tableaux de contingence. C'est un tableau d'effectifs (abondances) qui contient au diamètre des différentes des espèces de palétuvier par intervalle de cinq, variant de [2 - 5[à $\geq$ 35; et au hauteur par intervalle de trois de [2 - 5[à $\geq$ 10. Il s'agit de la distribution d'une population de palétuviers par rapport à la dimension de chaque espèce dans les trois stations d'études.

RESULTATS

Richesse floristique

Le tableau suivant donne la liste floristique dans les trois stations d'étude

Tableau 1: Espèces floristiques recensées dans les trois stations à Boanamary

Famille	Espèce	Nom Vernaculaire	St 1	St 2	St 3
Avicenniacea	*Avicennia marina* (Forsk, Viersh)	Afiafy	+	+	+
Rhizophoraceae	*Rhizophora mucronata* (Lewis, Lank)	Hônkôlahy	+	+	+
	Bruguiera gymnorrhiza (Lank)	Tangampolo	+	+	+
	Ceriops tagal (Robinson)	Hônkôvavy	+	+	+
Sonneratiaceae	*Sonneratia alba* (Smith)	Farafaka	+	+	+
Combretaceae	*Lumnitzera racemosa* (Wild)	Lovinjo	+	+	+
Meliaceae	*Xylocarpus granatum* (Koening)	Sarigoavo Antavela	+	+	+
Malvaceae	*Heritiera littoralis* (Driand)	Moromony	+	+	+

Source : Auteur, 2024

+: Présent**e, St 1 (Station 1): Morahariva, St 2 (Station 2): Amboanio, St 3 (Station 3): Ambalakisoa**.

Huit espèces floristiques ont été inventoriées dans les trois stations à Boanamary.

Inventaire floristique

La figure 2 montre les effectifs des individus observés pour chaque espèce présente dans les trois stations à Boanamary

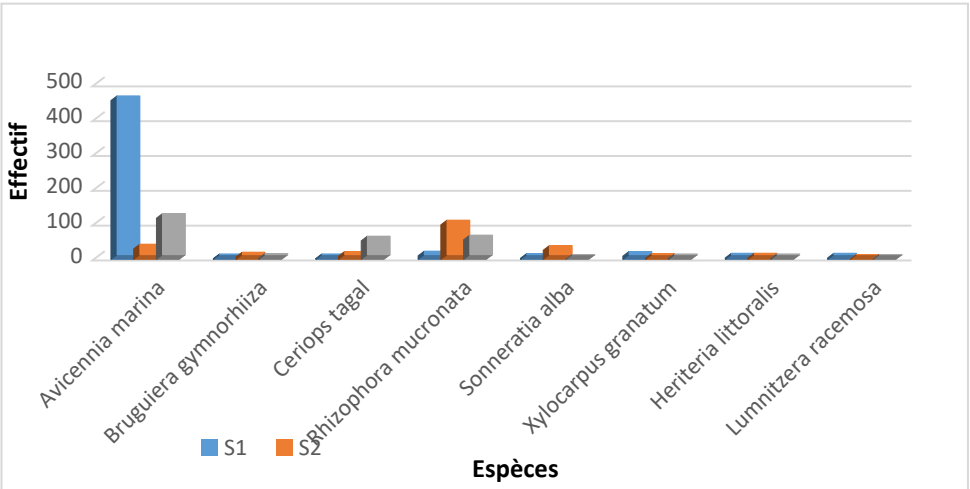


Figure 2 : Histogramme des individus observés pour chaque espèce à Boanamary

Source: Auteur, 2024.

S1 = Station 1 (Morahariva), S2 = Station 2 (Amboanio), S3 = Station 3 (Ambalakisoa).

La figure 2 montre la dominance de *Avicennia marina* dans la station 1 (S1 = Morahariva), suivi de *Rhizophora mucronate* en quantité relativement moyenne mais en première position à Amboanio (station 2 = S2). Les autres espèces sont en quantité faible dans les trois stations.

D'après le test de khi-deux : la valeur de probabilité p est strictement inférieure à alpha ($X^2 = 557,10$; $p = 0,0001$ et $\alpha = 0,05$ avec $ddl = 14$) donc la différence est alors significative et l'hypothèse nulle H_0 est rejetée. C'est à dire que le nombre d'individus répertoriés varie beaucoup d'une station à l'autre.

Répartition des individus par classe de diamètre

La figure 3 résume le DHP (Diamètre à la Hauteur de Poitrine) des individus de palétuviers toutes espèces confondues dans les trois stations

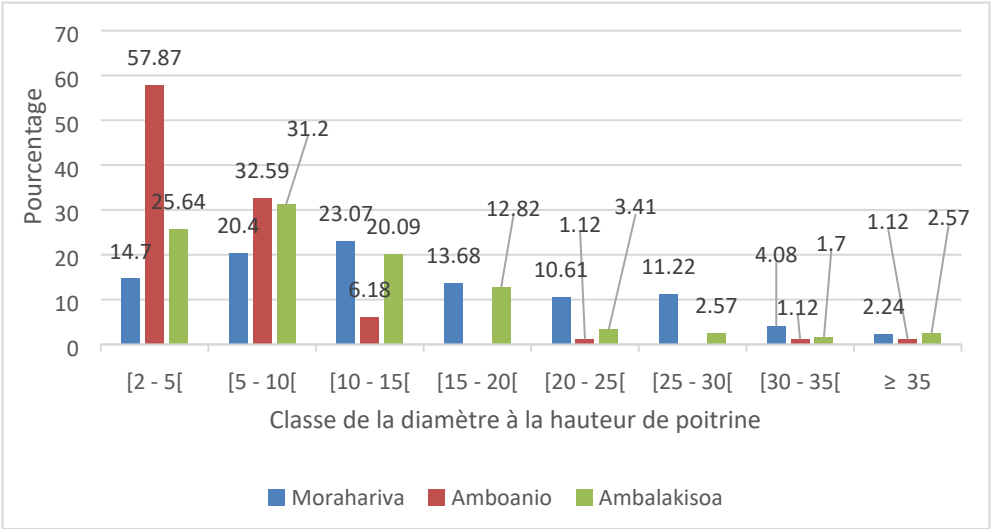


Figure 3 : Histogramme de répartition des individus par classe de diamètre dans les trois stations

Source : Auteur, 2024

23,07% des individus à Morahariva ont un diamètre un peu élevé. Amboanio est marqué par des individus jeunes à 57,87% ayant un diamètre de [2-5[cm. Les individus d'Ambalakisoa sont caractérisés par des individus jeunes aussi. Les individus qui ont un diamètre supérieur ou égal à 20 cm ne représentent que 10,24%.

*** Test AFC (Analyse Factorielle des Correspondances) de diamètre à Boanamary Tableau 2: Valeur propre et pourcentage d'inertie**

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	0,399	0,032	0,002	0,000
Inertie (%)	92,021	7,424	0,538	0,018
% cumulé	92,021	99,444	99,982	100,000

D'après ce tableau, 92,02% des informations sont en corrélation avec le facteur F1 et 7,42% en F2; ce qui donne 99,44% d'information expliqués par AFC (Analyse Factorielle des Correspondances) dans les deux axes (figure 4).

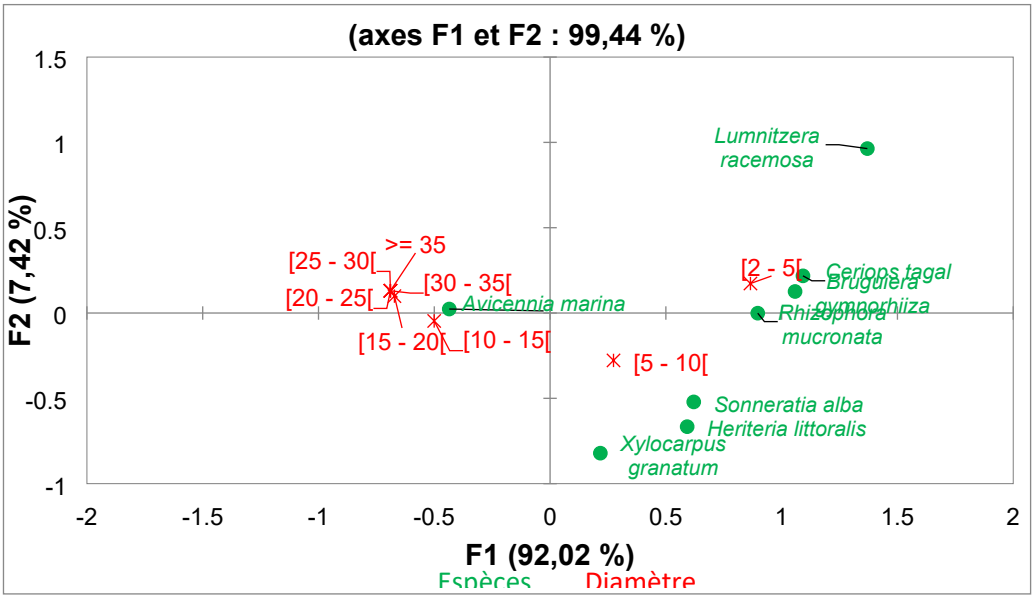


Figure 4: Variation et repartition des espèces selon le diamètre à hauteur de poitrine dans la mangrove de Boanamary

D'après cette figure, trois groupes bien distincts sont observés: Les gros bois mesurés à Boanamary sont représentés par *Avicennia marina* avec un diamètre de 10 cm jusqu'à supérieur ou égal à 35 cm. Les bois avec un diamètre moyen [5 – 10[cm sont représentés par les espèces suivantes : *Heritiera littoralis, Sonnetratia alba et Xylocarpus granatum. Rhizophora mucronata, Ceriops tagal, Bruguiera gymnorriza* et *Lumnitzera racemosa* sont des espèces qui ont des petites tailles avec un diamètre de [2 – 15[cm.

Répartition des individus par classe des Hauteur

La hauteur des individus à Boanamary est résumée dans la figure 5

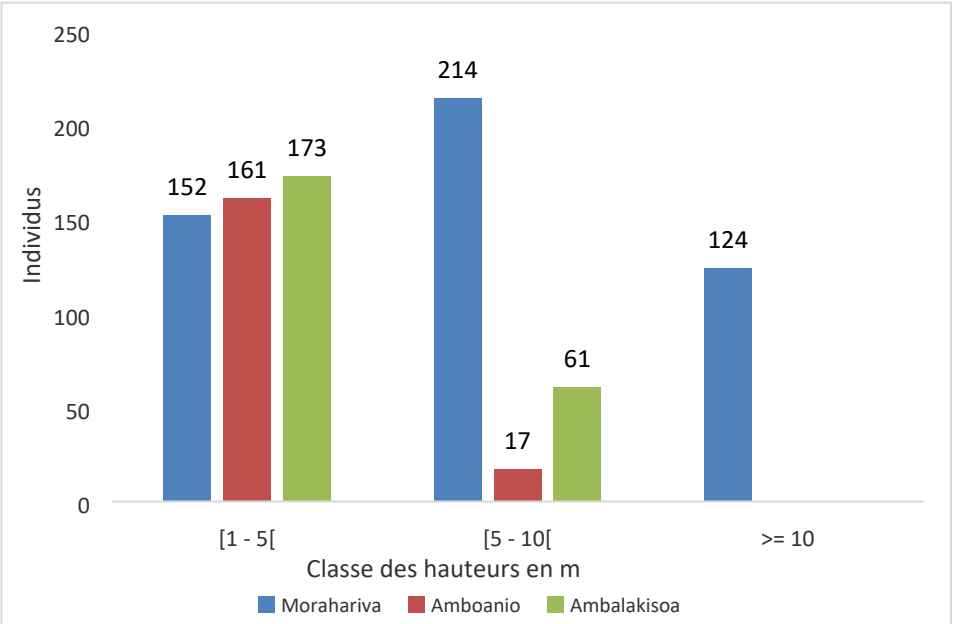


Figure 5 : Histogramme de répartition des individus par classe des hauteurs dans les trois stations

Source: Auteur, 2024

La majorité des individus à Morahariva a une longueur de [5-10[m, par contre à Amboanio et Ambalakisoa la longueur est de [1-5[m. On ne trouve pas des individus dont la hauteur est supérieure ou égale à 10m (≥ 10m) à Amboanio et Ambalakisoa, mais ils sont présents à Morahariva. La formation est caractérisée par des individus jeunes à Amboanio et Ambalakisoa

*** Test AFC (Analyse Factorielle des Correspondances) de hauteur à Boanamary Tableau 3: Valeur propre et pourcentage d'inertie**

Facteurs	F1	F2
Valeur propre	0,307	0,001
Inertie (%)	99,791	0,209
% cumulé	99,791	100

D'après ce tableau, 99,79% des informations sont en corrélation avec le facteur F1 et 0,20% en F2 ce qui donne 100% d'information qui sont expliquées par l'AFC (Analyse Factorielle des Correspondances) dans les deux axes (figure 6).

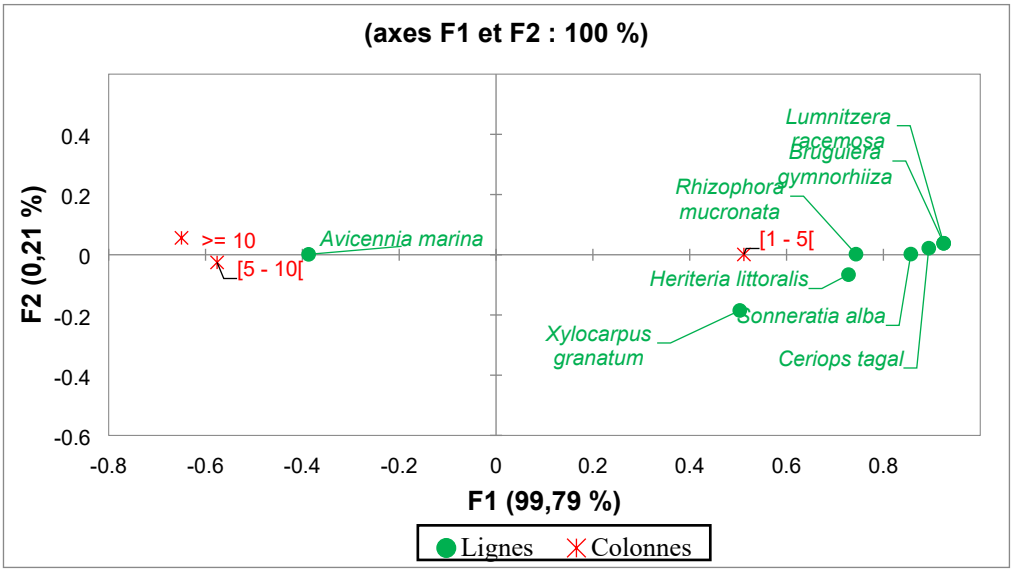


Figure 6: Hauteur des espèces à Boanamary

La majorité des espèces à Boanamary sont de hauteur faible ([1-5[m). Il s'agit de *Lumnitzera racemosa, Bruguiera gymnorrhiza, Rhizophora mucronata, Heritiera littoralis, Sonneratia alba, Ceriops tagal, Xylocarpus granatum*. Seule *Avicennia marina* a une longueur importante entre 5cm jusqu'à supérieure ou égale à 10m.

Structure verticale

Station 1 : Morahariva

Le taux de recouvrement des mangroves à Morahariva est présenté dans la figure suivante :

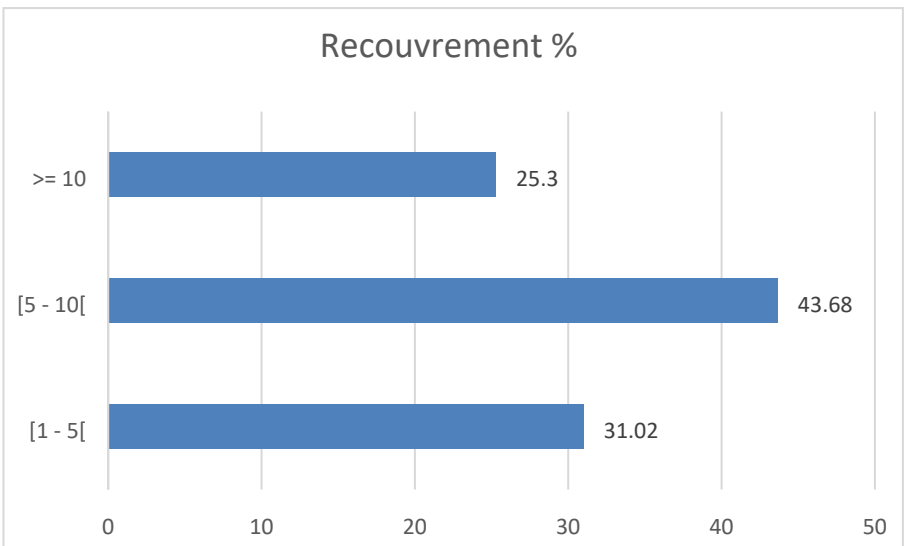


Figure 7 : Taux de recouvrement des mangroves à Morahariva

Source : Auteur, 2024

Les mangroves de Morahariva sont composées par trois strates :

- Une strate inférieure regroupant des individus ayant une hauteur inférieure à 5 m avec un taux de recouvrement de 31,02% qui est dominée par une espèce de *Avicennia marina*.

- Une strate moyenne avec un taux de recouvrement dominant de 43,58% qui est caractérisé par des individus ayant des tailles moyennes inférieures à 10 m, dominée toujours par *Avicennia marina*.

- Une strate supérieure avec des individus longs, de hauteur supérieurs ou égale à 10 m, qui est composée toujours par *Avicennia marina* et le taux de recouvrement est de 25 ;3%.

Station 2 : Amboanio

La figure suivante représente le taux de recouvrement des mangroves à Amboanio :

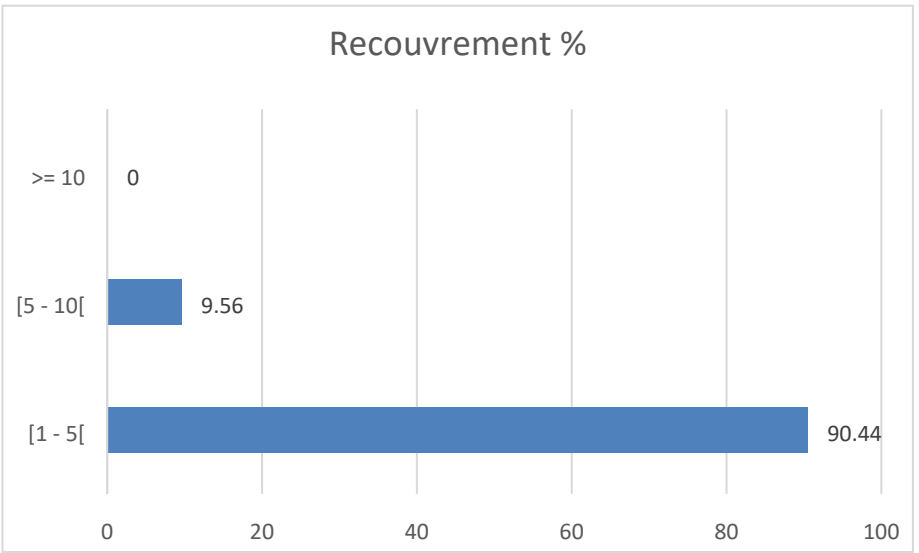


Figure 8 : Taux de recouvrement des mangroves à Amboanio

Source : Auteur, 2024

Les mangroves d'Amboanio sont caractérisées par une strate :

- Une strate inférieure très dominante avec un taux de recouvrement de 90,44%. La majorité des individus à Amboanio est jeune ayant une hauteur inférieure de 5m (résultat de reboisement par EDEN project et la population locale). Cette strate est

caractérisée par une espèce de *Rhizophora mucronata* qui est parmi l'espèce le plus cultivée par la population.

Station 3 : Ambalakisoa

La figure 11 montre le taux de recouvrement des mangroves à Ambalakisoa

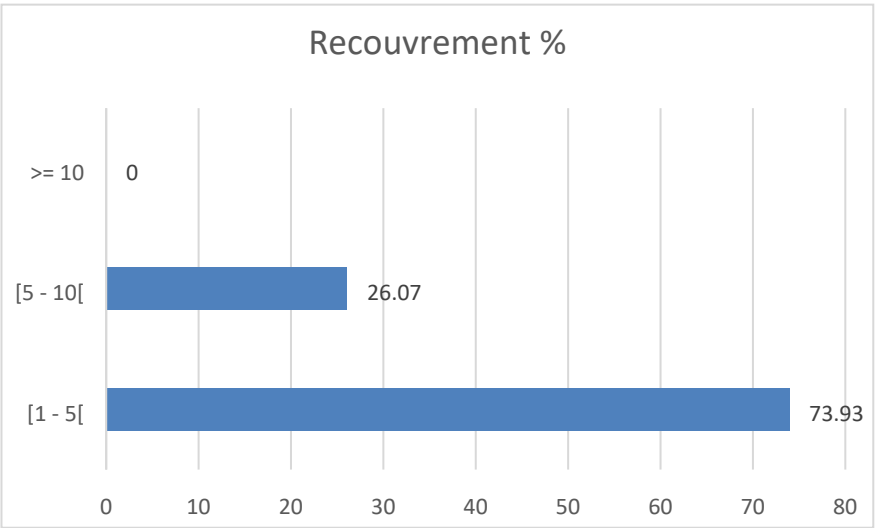


Figure 9 : Taux de recouvrement des mangroves à Ambalakisoa

Source : Auteur, 2024

Les mangroves d'Ambalakisoa sont présentées par deux strates :

- Une strate faible dominante avec des individus jeunes de [1-5[m de hauteur et taux de recouvrement de 73,93%.

- Une strate moyenne avec des individus moyens de [5-10[m de hauteur et le taux de recouvrement est de 26,07%. Les deux strates sont dominées par *Avicennia marina*.

Régénération

La régénération est faible à Boanamary, TR = 179,06% (Morahariva TR = 83,47%, Amboanio TR = 410,11%, Ambalakisoa TR = 43,59%).

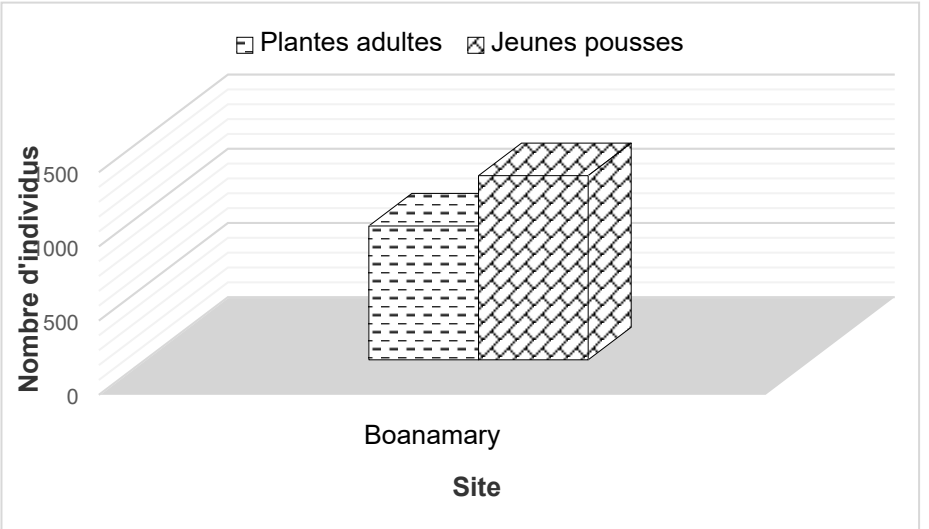


Figure 10 : Comparaison des jeunes pousses et plantes adultes à Boanamary

Source: Auteur, 2024

Il y a une prédominance des jeunes pousses de palétuviers par rapport aux plantes adultes à Boanamary**.**

D'après le test de khi-deux, le nombre d'individus des jeunes pousses et plantes adultes sont significatifs ($X^2 = 10,00$, $p = 0,002$ *avec ddl = 1 et* $\alpha = 0,05$) au niveau de zone d'investigation. Cela veut dire qu'il y a une prédominance des jeunes pousses de palétuviers à Boanamary.

Les espèces sont résumées dans la figure suivante.

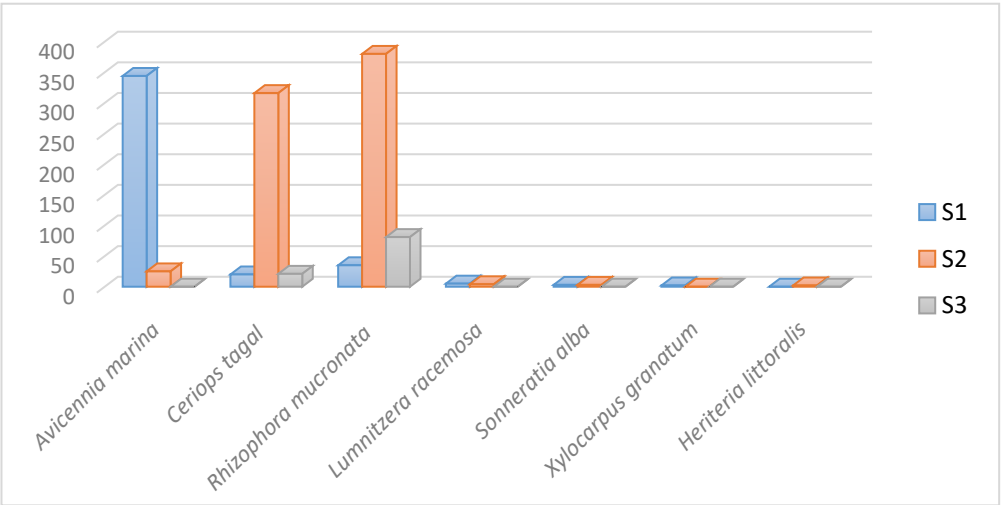


Figure 11 : Histogramme des jeunes pousses observées pour chaque espèce dans les trois stations

Source: Auteur, 2024

S1: Station 1 (Morahariva); S2: Station 2 (Amboanio), S3: Station 3 (Ambalakisoa).

Les plantules de Boanamary sont dominées par de *Rhizophora mucronata*, suivies de *Ceriops tagal* à Amboanio. Mais à Morahariva, *Avicennia marina* domine tandis que, *Sonneratia alba, Heritiera littoralis, Xylocarpus granatum,* et *Lumnitzera racemosa* sont en nombre très faible dans les trois stations.

Le nombre des jeunes pousses varie d'une station à une autre. Pour confirmer cette fluctuation, le test de khi-deux corobore la signification de cette différence. Etant donnée que la valeur de probabilité p est strictement inférieure à alpha ($X^2 = 920,244$; $p = 0,0001$ et $\alpha = 0,05$ avec $ddl = 12$) donc la différence est alors significative. C'est-à-dire l'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Cela veut dire que le nombre des jeunes pousses répertorié varie beaucoup d'une station à l'autre.

Etude des arbres coupés et morts naturellement:

Les figures 12 et 13 montrent les nombres des espèces mortes naturellement et coupées

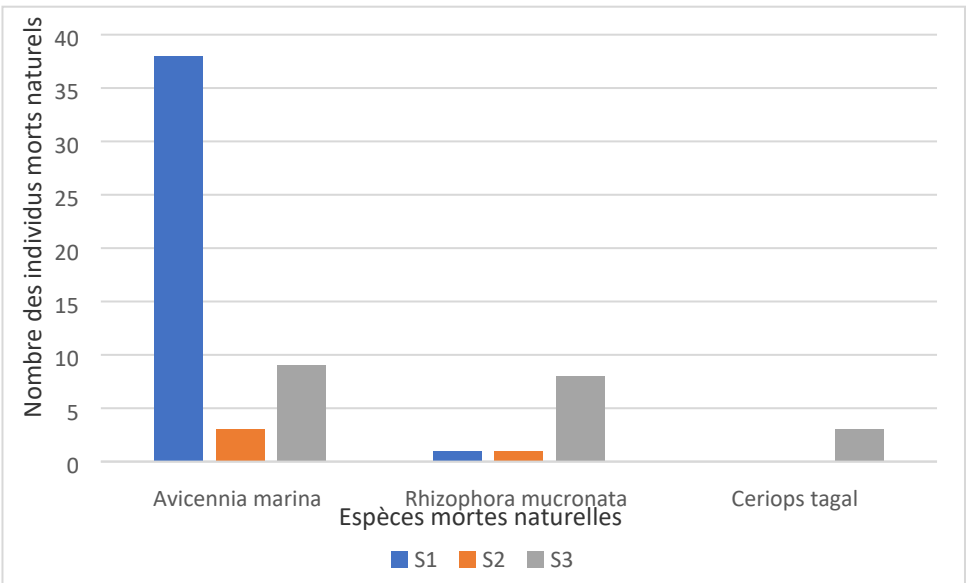


Figure 12 : Espèces mortes naturellement à Boanamary

Source: Auteur, 2024

S1: Station 1 (Morahariva), S2: Station 2 (Amboanio), S3: Station 3 (Ambalakisoa).

A Boanamary, *Avicennia marina* est la plus frappée par les pressions naturelles

dans la station 1 et ces pressions sont moins fortes ou faibles sur les autres espèces (*Rhizophora mucronata, Ceriops tagal).*

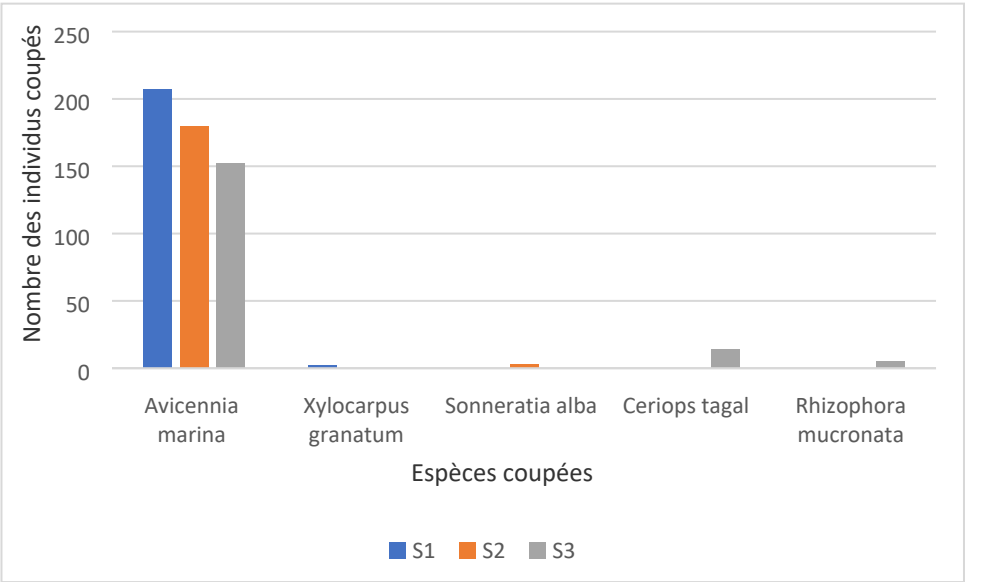


Figure 13 : Variation des effectifs des individus coupés suivant les espèces à Boanamary

Source: Auteur, 2024

S1: Station 1 (Morahariva), S2: Station 2 (Amboanio), S3: Station 3 (Ambalakisoa).

A Boanamary, *Avicennia marina* est la plus ciblée par le défrichement humain dans les trois stations (Morahariva, Amboanio et Ambalakisoa) et ces pressions sont très faibles sur les autres espèces (*Rhizophora mucronata, Ceriops tagal, Sonneratia alba, Xylocarpus granatum).*

La figure 14 montre la comparaison des individus coupés et les individus morts naturellement dans chaque station à Boanamary.

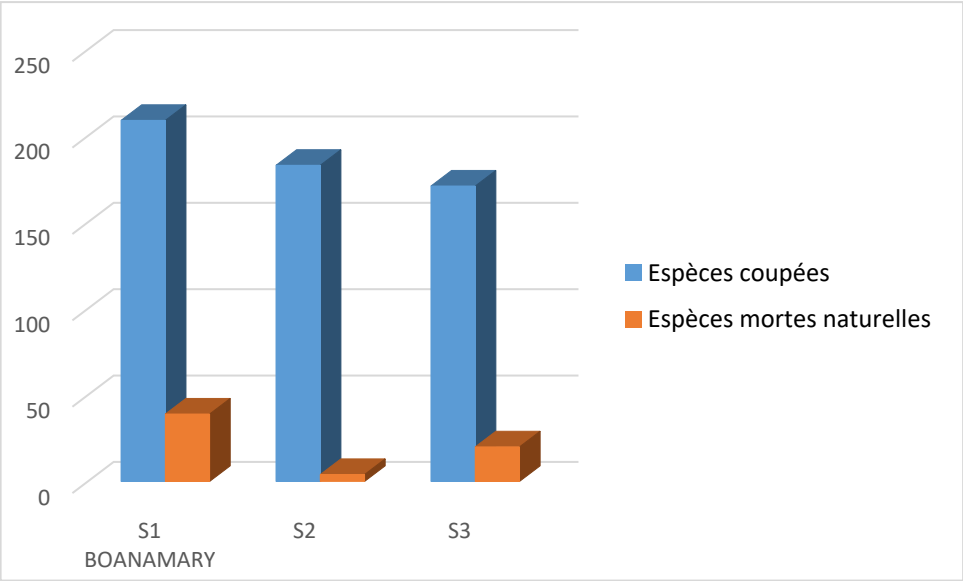


Figure 14 : Comparaison des individus coupés et morts naturellement au niveau de chaque station à Boanamary

Source: Auteur, 2024

A Boanamary, les pressions anthropiques sont plus fortes dans chaque station par rapport aux pressions naturelles qui sont faibles.

L'analyse statistique de khi-deux donne ($X^2 = 535,612$, $p = 0,0001$ *avec ddl = 5 et* $\alpha = 0,05$). Le nombre d'individus coupés et morts naturellement est significatif au niveau de chaque station. C'est à dire que le nombre d'individus coupés et morts naturellement répertoriés varie d'une station à l'autre à Boanamary.

Etude phénologique :

Le tableau suivant montre la phénologie à Boanamary durant une année d'observation

Tableau 4 : Phénologie des palétuviers de Boanamary de novembre 2022 – octobre 2023

	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct
Espèces	**ETAT FLORAISON**											
Avicennia marina	■	■									■	
Rhizophora mucronata	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Ceriops tagal	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Bruguiera gymnorrhiza	■	■	■	■	■				■	■	■	
Sonneratia alba			■	■	■			■	■			
Lumnitzera racemosa	■	■				■					■	■
Heritiera littorali			■	■								

s												
Xylocarpus granatum												
	ETAT FRUCTIFICATION											
Avicennia marina												
Rhizophora mucronata												
Ceriops tagal												
Bruguiera gymnorrhiza												
Sonneratia alba												
Lumnitzera racemosa												
Heritiera littoralis												

Xylocarpus granatum												
	ETAT FEUILLAISON											
Avicennia marina												
Rhizophora mucronata												
Ceriops tagal												
Bruguiera gymnorrhiza												
Sonneratia alba												
Lumnitzera racemosa												
Heritiera littoralis												

Xyloc arpus granatu m												

LEGENDE		Présence des Fleurs chez les palétuviers
		Présence des Fruits chez les palétuviers
		Présence des Feuilles chez les palétuviers
		Pas des Fleurs, ni des Fruits, ni des Fleurs chez les palétuviers

Source: Auteur, 2024

Pendant le suivi, la floraison et la fructification sont importantes chez la famille de Rhizophoraceae, elles ont des fleurs et des fruits presque toute l'année. Pour les autres espèces, les fruits et les fleurs sont observés de 3 à 8 mois.

DISCUSSION

- Les mangroves font face à des facteurs de régression provenant de pressions à la fois anthropiques et naturelles. Ces pressions comprennent la conversion des forêts de mangroves en bassins aquacoles (Ashton, 2008), l'expansion de l'urbanisation côtière (Jin-Eong, 1995), les impacts de la pollution, ainsi que les conséquences des événements climatiques extrêmes. Ces atteintes compromettent l'intégrité de ces écosystèmes et entraînent des répercussions sévères sur les communautés humaines qui en dépendent (Ashton, 2008; Macera, 2024). Cependant, bien qu'un grand nombre de mesures de restauration ont été menées à travers le monde, celles-ci ont pour l'essentiel échoué dans leurs objectifs (Hai et *al*., 2022; Macera, 2024). De nombreux travaux de recherche existent concernant les mangroves ou la restauration des mangroves, abordant principalement les aspects techniques et conceptuels de la restauration (Ellison, 2000; Wu et *al*., 2020).

- D'ailleurs, la distribution de chaque espèce dans une zone est fonction de sa biologie (viviparité, hydrochorie) et de son écologie (sol, salinité). En terme de phytogéographie, la mangrove de Madagascar appartient à une des variantes édaphiques de forêts denses de basse altitude définie de 0 à 800 m selon Humbert (1955) mais localisée principalement dans la zone sous le vent où la marée est faible

(Tostain, 2010).

- Les huit espèces de palétuviers existantes à Madagascar, sont toutes présentes dans les trois stations étudiées (Morahariva, Amboanio, et Ambalakisoa). Mais dans d'autres stations à Boanamary comme Ambatomalama, Ambatolampy, Tsararivotra, cinq espèces de palétuviers ont été recensées (Andriamalala, 2007). Dans le littoral du sud-ouest de Madagascar, 7 espèces (Rasoavololonjanahary, 2017) ont été identifiées. L'utilisation des espèces de palétuvier comme matériel végétal de restauration écologique ou de réhabilitation est très délicate. Le choix du matériel dépend du site (sable, vase) et des espèces associées (Rhizophora plus Bruguiera) ou (Sonneratia plus Rhizophora) ou (Avicennia plus Rhizophora). Certaines espèces sont vivipares, d'autres non. Certaines ont des dispositifs d'adaptation comme le pneumatophore. Mais en tout cas la dissémination des palétuviers est hydrochore (Tostain, 2010). Ces espèces se répartissent chacune au sein de l'écosystème de la mangrove, en fonction des paramètres écologiques du milieu (sol, salinité et topographie), (Duke et *al,* 1998). En effet, chaque espèce a son amplitude écologique propre sur sa colonisation dans un milieu, cela permet de définir la zonation caractéristique de chaque espèce de palétuviers dans la zone. Au niveau de l'Afrique, Madagascar est pauvre en termes qualitatifs ou en termes de diversité floristique, ce qui est typique de la région de l'Afrique de l'Est (Duke et *al*, 1998),

- A Amboanio, les jeunes pousses boisées et les plantes adultes de *Rhizophora mucronata* sont abondantes, suivies de *Ceriops tagal*. L'abondance de jeunes pousses régénérées prouve l'efficacité de la restauration avec la bonne technique de reboisement par les populations locales qui ont reboisé des espèces de *Rhizophora mucronata, Ceriops tagal et Bruguera gymnorrhiza.* La collecte des propagules et la culture de ces espèces sont plus faciles par rapport aux autres espèces des palétuviers. En plus, *Rhizophora mucronata* se développe rapidement par rapport à *Ceriops tagal* et *Bruguiera gymnorrhiza.* D'après l'expérience de Rasoavololonjanahary (2013) sur la restauration du sud-ouest, la première feuille de *Rhizophora mucronata* apparait durant le premier mois de leur mise en terre, cette espèce peut donner naissance aux racines aériennes ou échasses à partir du deuxième mois de plantation. Par contre, pour *Ceriops tagal*, la première feuille apparait à partir du deuxième mois de plantation. *Rhizophora mucronata* est plus facile à planter et sa croissance est rapide. Tandis que, la croissance de *Ceriops tagal* et *Bruguiera gymnorrhiza* est lente (Rasoavololonjanahary, 2013).

- A Morahariva (Station 1*), Avicennia marina* est une espèce qui a une forte régénération. *Avicennia marina* domine dans cette station donc elle peut se régénérer naturellement, en plus ses graines germent facilement dans toutes les zones (Rasoavololonjanahary, 2013). *Avicennia marina* se développe rapidement aussi, les

résultats d'expérimentation de Taventy en 2023 montraient que le taux de germination après une semaine d'empotage des grains est important (86 à 94%) et la croissance en hauteur, en diamètre et en nombre des feuilles sont plus rapides une fois la mise en terre à partir de deuxième semaine.

- Les individus hauts et gros sont rares à Boanamary surtout à Amboanio et Ambalakisoa, parce que dans ces stations, les bois des mangroves sont déjà abattus par les populations riveraines, à cause du manque de ressource monétaires et de la perte d'emplois des villageois depuis la fermeture des usines industrielles de SANCA et SOMAQUA en 2003 et 2006. Les bois sont surexploités pour ravitailler la ville de Mahajanga en bois de chauffe pour le four à chaux de Belobaka, en bois de safodage pour la construction et en bois de service. La commune de Boanamary se trouve à proximité de la ville de Mahajanga donc la demande en bois ne cesse d'augmenter. Par conséquent, la destruction des mangroves ne s'arrête pas, elle continue toujours. Ces activités humaines engendrent des dégâts majeurs sur l'écosystème du milieu comme la perte de stock de dyoxide de carbone, la diminution de la quantité de pluie, la modification de la zone cotière par érosion, élevation de la température, etc ...

- *Avicennia marina* est en faible quantité à Amboanio, c'est l'espèce la plus ciblée par la pression anthropique (défrichement, coupe) et par la pression naturelle (invasion de chenilles de *Hyblaea puera*). Cette espèce est parmi les espèces les plus recherchées par les exploitants à cause de la dureté de ce bois, elle est utilisée pour la fabrication de charbon et le bois de chauffe. L'attaque récente d'insectes comme *Hyblaea puera* sur *Avicennia marina* est alarmante dans la région de Boeny, surtout dans la zone de recherche (NAP de Bombetoka Belemboka). Les chenilles au stade larvaire se nourrissent des feuilles jusqu'à ce que la plante entière soit défoliée sous forme de brûlure. Cette espèce souffre de ce phénomène.

- Par ailleurs, il existe un manque significatif d'outils, de méthodes et de recommandations adaptés aux contraintes spécifiques des porteurs de projets, ces ressources étant pratiquement inexistantes. Les guides actuels, largement utilisés par la plupart des porteurs de projets, se concentrent uniquement sur les aspects techniques des méthodes de plantation de palétuviers ou de réhabilitation (Macera, 2024).

- En outre, la répartition des palétuviers varie suivant des zonations bien définies de la mer vers la terre (Tostain, 2010). Trois zones ont ainsi été identifiées: (i) une zone externe, toujours immergée, caractérisée par une formation arborescente dense parcourue par un réseau de chenal. Allant de la mer vers la terre, elle est composée de *Sonneratia alba, Avicennia marina, Rhizophora mucronata et Bruguiera gymnorhiza*; (ii) La zone intermédiaire est la partie en aval; elle est immergée lors

des hautes marées tandis que la partie en amont est inondée lors des grandes marées. Cette zone est caractérisée par une formation arborescente de plus en plus clairsemée et rabougrie. Floristiquement, elle est caractérisée par *Avicennia marina, Rhizophora mucronata, Ceriops tagal, Bruguiera gymnorhiza et Heritiera littoralis*. (iii) La zone interne est caractérisée par un espace nu ou herbacé appelée « tanne ». Elle est inondée lors des marées d'équinoxe seulement. La distribution de ces différentes espèces le long des côtes malgaches est variable selon les types de mangrove étudiés: (i) – le type estuarien caractérisé par la rencontre d'eaux salées et d'eaux douces (Betsiboka). C'est le cas de notre site d'études, (ii) - type lagunaire caractérisé par son apparence entrecoupée d'anciens cordons littoraux et la présence d'une grande étendue de tanne (Belo/ mer), (iii) - type littoral également appelé « mangrove intermédiaire » (Morondava) (Tostain, 2010). Ainsi, il est necessaire de tenir compte des espèces d'origine dans les zones d'études et de leur mode de répartition afin que la restauration soit proche de l'état naturel de la mangrove.

- A Madagascar, les zones à mangrove sont situées dans la région occidentale sous le vent de l'alizé. Cette région présente deux saisons bien distinctes, une saison sèche de mai à septembre et une saison pluvieuse d'octobre à avril. Mais ces dernières années, la durée de chaque saison change avec une fluctuation énorme caractérisée par une irrégularité des pluies et une élévation de la temperature (Tostain, 2010). Le changement climatique se fait sentir dans les mangroves, la preuve est l'infestation des chenilles invasives des palétuviers de Bombetoka dont celle de Boanamary. L'infestation a commencé depuis 2019 et même les zones restaurées sont largement impactées. Des solutions devront être proposées pour lutter contre l'invasion des chenilles (Ranarijaona et *al*., 2020).

- Actuellement, la dégradation de la zone des mangroves ne touche pas seulement la zone de recherche, elle touche aussi toute la région Boeny. Les mangroves dans la région Boeny, entre 1990 à 2000, ont perdu 924ha (ONE, 2009), de même à Madagascar de 1999 à 2000 4361 ha (MEFT, USAID et CI, 2009). Ces problèmes s'agravent continuellement, ainsi si des mesures ne sont pas prises à temps ces mangroves vont être complètement détruites. Il est nécessaire de restaurer la mangrove afin de rétablir leur fonction essentielle. Il faut aussi connaitre les stratégies de restauration efficaces. Cette approche met en évidence comment les interactions entre les composantes écologiques et sociétales des socio-écosystèmes engendrent des propriétés émergentes, comme les cycles adaptatifs, qui sont au cœur des approches de restauration (Macera, 2024). En ce qui concerne le niveau d'implication des communautés locales dans les projets de restauration, dans les deux-tiers de la base de données (environ 60 %), les communautés ont été investies dans le projet. Cependant, la majorité de cet investissement est basé exclusivement

sur le paiement en échange de la plantation de propagules (environ 80 %). Parmi les projets impliquant les communautés locales, seuls 20 % d'entre eux ont accordé aux communautés un rôle actif dans la gestion du projet (Macera, 2024). Ainsi, il est du devoir des porteurs de projets et des scientifiques de sensibiliser les populations locales sur l'intégrité scientifique et l'éthique, pour éviter la routine lors de la restauration des mangroves.

CONCLUSION

Les services écologiques rendus par les mangroves sont très importants pour la vie sur terre. Cependant, cet écosystème continue de se dégrader à cause de l'homme et du changement climatique. D'où l'intérêt de la restauration de ses palétuviers. Les caractéristiques écologiques des mangroves restaurées à Boanamary ont montré que huit espèces de palétuviers ont été récensées. Le peuplement de palétuviers restauré est relativement jeune avec abondance de plantules dans les trois stations d'études, la hauteur prédominante varie de 5 à 10 m dans la mangrove de Morahariva, elle est de 1 à 5m pour les mangroves d'Amboanio et d'Ambalakisoa. Le diamètre des palétuviers est plutôt faible en general. La restauration est relativement réussie vu l'existance des individus en fleurs et en fruits mais la régénération naturelle dans la zone restaurée est très mauvaise. Cela est due à la distance entre les individus restaurés: l'espace est relativement faible pour qu'une plantule puisse se developer. L'espèce *Avicennia marina* prédomine à Morahariva et Ambalakisoa, mais Amboanio est marqué par l'abondance de *Rhizophora micronata*. C'est surtout *Avicennia marina* qui se développe aussi bien en hauteur qu'en diamètre dans les trois stations, par contre *Rhizophora micronata* se développe en hauteur. En ce qui concerne la phénologie, la famille de Rhizophoraceae est en fruits et en fleurs toute l'année. Avec la restauration à Boanamary, l'état de santé de la zone est marqué par la reprise de la vie de mangrove. Cette mangrove évolue dans sa composition floristique. Malheureusement, les trois stations sont exploitées de façon illicite pour prélever les bois de *Avicennia marina*. Ainsi les recommandations suivantes sont avancées :

- La sensibilisation des populations locales sur l'intégrité et l'éthique (sans penser seulement à l'argent mais aussi avoir la conscience professionnelle et l'hônneteté) est imperative afin d'éviter la routine lors de la restauration des palétuviers;

- La nécessité pour la population locale de respecter le Dina ou les règlements locaux et surtout de respecter les cahiers des charges environnementaux.

- La lutte contre la pollution des hydrocarbures des embarcations des pêcheurs et transporteurs qui pourrait provoquer l'asphyxie des mangroves et surtout des animaux qui y vivent, même les animaux pélagiques et benthiques aux alentours du

littoral.

- Le renforcement de la gestion de la mangrove et de la campagne de sensibilisation et d'éducation environnementale

- L'augmentation de la surface reboisée et l'amélioration de la technique avec un suivi régulier après reboisement par une équipe bien formée.

- L'étude de la faune de la mangrove restaurée afin de connaître s'il y a résilience ou non ;

- Un appui scientifique pour les porteurs des projets de restauration

- Les suivis des projets de restauration afin de connaître leurs contraintes pour améliorer la restauration future.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

1) Andriamalala, C. A. J., (2007). Etude écologique pour la gestion des mangroves à Madagascar, Comparaison d'une mangrove littorale et d'estuaire à l'aide de la télédétection (Thèse de doctorat). Université de Basel Von**.**

2) Ashton, E. C. (2008). The impact of shrimp farming on mangrove ecosystems. *CAB/Rewiews*, 2008,12-pp.

3) Bennett, A. F. (1997). Habitat linkages: a key element in an integrated landscape approach to conservation. Parks.

4) DIFT. (2016). Fampahafantarana ny kaominina sy ny zava-misy amin'ny ankapobeny. Distrika Mahajanga II, Kaominina Boanamary.

5) Duke, N. C., Ball, C. M., Ellison, J. C. (1998). Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7. 27-47

6) Ellison, A. M. (2000). Mangrove restoration : Do we know enough *? Restoration ecology*, 8(3), 219-229.

7) FAO (2005). Status and trends in mangrove area extent worldwide. Document de travail nº63 Division Ressources Forestières, FAO, Rome.

8) Gautier, L., Chatelain, C., Spichiger, R. (1994). Presentation of a releve method for vegetation studies based on high resolution satellite imagery in 1994.

9) Hai, P. M., Tinh, P. H., Son, N. P., Thuy, T. V., Hong, Hanh, N. T., Sharma, S., Hoai, D. T., & Duy, V. C. (2022). Mangrove health assessment using spatial metrics and multi-temporal remote sensing data. *Plos one*, 17(12), e0275928.

10) Humbert, H. (1955). Les territoires Phytogéographiques de Madagascar.

Année Biologique. Ser. 3, 31: 439-448.

11) Jin-Eong, O. (1995). The ecology of mangrove conservation & manangement. *Hydrobiologia, 295*, 343-351.

12) Kiener, A. (1992). Ecologie, Biologie et Possibilités de mise en valeur des mangroves malgaches, *Bulletin de Madagascar*.

13) Macera, L. (2024). Restauration des écosystèmes de mangrove: évaluation et amélioration des pratiques à travers une étude comparative de projets à l'échelle mondiale. Géographie. Université Côte d'Azur. Français. ffNNT: 2024COAZ2015ff. fftel-04652570f.

14) MEFT, USAID et CI., (2009). Evolution de la couverture de forêts naturelles à Madagascar, 1990- 2000-2005.

15) ONE, (2009). Région Boeny Ouest de Madagascar, promotion d'un outil pédagogique en matière d'éducation et de sensibilisation relative à l'environnement et à la conservation de la biodiversité. Disponible sur: <http:// www.pnae.mg> 2009.

16) Rajerisoa, T. (2006). Etude écologique des mangroves de Mariarano et de Boanamary. Mémoire de D.E.A, Département en Biologie et Ecologie végétales, Faculté des sciences. Université d'Antananarivo, Antananarivo.

17) Ranarijaona, H. L.T., Andriamanantena, F., Raveloson, A., Delaitre, E., 2020. Infestation des Hyblaea dans la mangrove de Bombetoka. Rapport de consultance. DELC.

18) Rasoavololonjanahary, M. F. H. (2013)**.** Etude de la restauration des mangroves sur le littoral du sud-ouest de Madagascar, entre les fleuves de Manombo et Onilahy. Mémoire de thèse de doctorat en Biodiversité et Environnements tropicaux, Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences. Université de Toliara, Toliara.

19) Taventy, R. A., 2023. **R**estauration de la mangrove et dynamisme de croissance de pépinière *Avicennia marina* (Avicenniaceae), (Forssk, Vierh), cas d'Amboanio et Morahariva. Mémoire du diplôme d'ingéniorat professionnel agronome. Institut Universitaire de Technologie et d'Agronomie de Mahajanga. Université de Mahajanga. 51p.

20) Tostain, (2010). Espèces de palétuviers dans les mangroves de Toliara. FORMAD. https://www.formad-environnement.org/paletuviers_29dec11.pdf.

21) Wu, M., He, Z., Fung, S., Cao, Y., Guan, D., Peng, Y., & Lee S. Y. (2020). Species choice in mangrove reforestation may influence the quantity and quality

of long-term carbon sequestration and storage. *Science of The Total Environnement*, 714, 136742, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136742

22) https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/FICHES_ARBRES/pal%C3%A9tuviers/Les%20Mangroves%20de%20Madagascar.pdf consulté le 28/09/24

PETROGRAPHIE ET PROVENANCE DES FORMATIONS GRESEUSES DU MASSIF RUINIFORME DE L'ISALO

Par

HANDONIAINA Jean Aline Nadia[1], MADISON RAZANATSEHENO Marie Olga[1], RAKOTONDRAZAFY Amos Fety Michel[1], RANDRIANALY Hasina Nirina[1,3], RAHARIMAHEFA Tsilavo[2], RASOAZANAMPARANY Christine[2]

[1]Ecole Doctorale Sciences de la Terre et de l'Evolution, Université d'Antananarivo, Madagascar

[2]Department of Geology, University of Regina, Canada

[3] Equipe d'Accueil Ressources Sédimentaires et Changements Globaux, Université d'Antananarivo, Madagascar

RESUME

Les formations gréseuses du Massif Ruiniforme de l'Isalo, localisées dans la partie australe du bassin sédimentaire de Morondava, font partie des dernières formations du Karroo Malagasy datées du Carbonifère supérieur au Jurassique moyen. Cependant les paramètres géologiques incluant la composition modale, la classification pétrographique, l'histoire du dépôt de ces formations lors de la fragmentation du Gondwana et les sources ou provenance tectonique des grès de l'Isalo I, demeurent encore mal comprises. C'est dans ce cadre que l'article se fixe comme objectif de décrire de manière approfondie les formations gréseuses du Massif Ruiniforme de l'Isalo en vue de les classer, de déterminer leur provenance et les processus sédimentaires qui les ont façonnées. La méthodologie adoptée consiste à faire des analyses pétrographique et minéralogique des grès à partir de levés détaillés de quelques affleurements et des observations sous microscope polarisant. Les analyses quantitatives des constituants détritiques des faciès gréseux de l'Isalo I montrent une prépondérance de quartz de type monocristallin (>95%), d'une faible proportion en feldspath (0.62%), en fragments lithiques (1.4%), en minéraux accessoires et lourds tels que la muscovite, la biotite, la halite, la sylvite, le zircon, le rutile et l'ilménite (<1%), et une absence de minéraux carbonatés. Ces éléments détritiques sont cimentés par des oxydes de fer, de la silice et d'argile. Ce sont majoritairement des quartzarénites, subarkoses, sublitharénites et quartzwackes. Ils forment des dépôts continentaux plus ou moins épais charriés par des cours d'eau et déposés au sud-ouest du bassin de Morondava. D'ailleurs, les diagrammes ternaires QFL (Quartz-Feldspath-Fragments Lithiques) indiquent une provenance des sédiments depuis des *zones cratoniques intérieures et des zones orogéniques recyclées des Hautes Terres Centrales datant du Néoarchéen, Néoprotérozoïque et*

Cambrien. Les stratifications oblique, subhorizontale et des chenaux à stratification en auge, témoignent d'un environnement de dépôt fluvial dynamique.

Mots clés : Diagrammes ternaires, Grès, Isalo I, Pétrographie, Provenance

ABSTRACT

The sandstone formation of the Ruiniform Isalo Massif, in the southern part of Morondava basin, is part of the latest Karroo Malagasy formations dating from the Late Carboniferous to the Middle Jurassic. However, the geological parameters, including modal composition, petrographic classification, depositional history of these formations during the dislocation of Gondwana and the sources or tectonic provenance of the Isalo I sandstones, remain poorly understood. The main goal of this study is to provide a comprehensive description and classification of the sandstone formations of the Isalo Ruiniform Massif, to establish their provenance and to understand their depositional environments and the sedimentary processes. Petrographic and mineralogical analyses were carried out through field observations and polished thin sections. Quantitative analysis of the main detrital minerals revealed that the sandstones of Isalo I are composed of a preponderance of monocrystalline quartz (>95%), and a small proportion of feldspar (0.62%), lithic fragments (1.4%), accessory minerals and heavy minerals such as muscovite, biotite, halite, sylvite, zircon, rutile and ilmenite (<1%), and without carbonates minerals. The main types of cements in the sandstones are ferruginous, siliceous and clay-rich minerals. These are mostly quartzarenite, subarkoses, sublitharenites and quartwackes. They form a thicker or thinner continental deposits carried by rivers and deposited in the southwest basin of Morondava. Furthermore, the QFL (Quartz-Feldspar-Lithic fragments) ternary diagrams of the Isalo sandstones showed that they were derived from craton interior zones and recycled orogenic of Central Highlands during Neoarchean, Neoproterozoic and Cambrian. The oblique and sub horizontal stratification in the sandstones and the channels with trough cross-stratification are characteristic of an ancient fluvial environment.

Keywords: Ternary Diagrams, Sandstone, Isalo I, Petrography, Provenance

INTRODUCTION

Le Karroo malagasy, par analogie au Karroo d'Afrique Australe, dont l'analyse des données paléo magnétiques (Besairie, 1946 – 1972) (Chereau, 1958) (Embleton & Mc Elhinny, 1975) (Raunet, 1997) (Piqué, 1999) (Guyot, 2002) (GAF, 2005) (Rakotondraompiana, 2005), présente des séries sédimentaires d'origine continentale du Gondwana, à dominance gréseuse et quelques intercalations marines, déposé en discordance sur l'ensemble des socles anciens (Basse, 1949) (Besairie, 1946, 1949,1967,1972). Faisant partie de la dernière formation du Karroo malagasy,

les grès de l'Isalo I datant du Ladinien (~237 Ma) (Schandelmeier et *al*., 2004), forment des massifs ruiniformes qui s'étendent sur près de 130 km sans interruption du Nord au Sud, à sommet tabulaire ou s'arrondissant en dôme, dans la partie australe du bassin sédimentaire de Morondava (Besairie, 1949,1972) (Sourdat, 1969) (Piquet et *al*., 1999). Exploité et géré par Madagascar National Parks depuis 1962 (ORTII, 2012), le massif gréseux de l'Isalo présente des conditions géologiques très intéressantes à étudier tant du point de vue géomorphologique, pétrologique, stratigraphique que paléontologique. L'objectif principal de cette étude est donc de caractériser la pétrographie et la sédimentologie des grès de l'Isalo afin de reconstituer leur histoire géologique. Plus spécifiquement, cette étude propose une classification des grès selon les diagrammes ternaires QFL et QmFLt (*quartz, feldspath et fragments lithiques*) pour déterminer leur provenance ou contexte géodynamique, une évaluation de la maturité texturale et minéralogique des grès afin de connaitre les conditions de transport et de dépôt, et une identification des structures sédimentaires en termes d'environnement de dépôt.

MATERIELS ET METHODE

La zone d'étude s'est concentrée sur les grès de l'Isalo I (Figure1), particulièrement bien développés dans la partie sud du bassin de Morondava (Madagascar), avec 1500 m d'épaisseur (Besairie, 1949). Ils forment un grand Massif Ruiniforme, de faciès continental faiblement incliné vers l'ouest (Besairie,1949), et faisant la renommée du Parc National de l'Isalo. Ce sont des grès blancs ou gris grossiers ou arkoses grossières souvent micro conglomératiques, mal cimentés à lits de galets de quartz présentant une stratification entrecroisée (Besairie, 1930,1946, 1972).

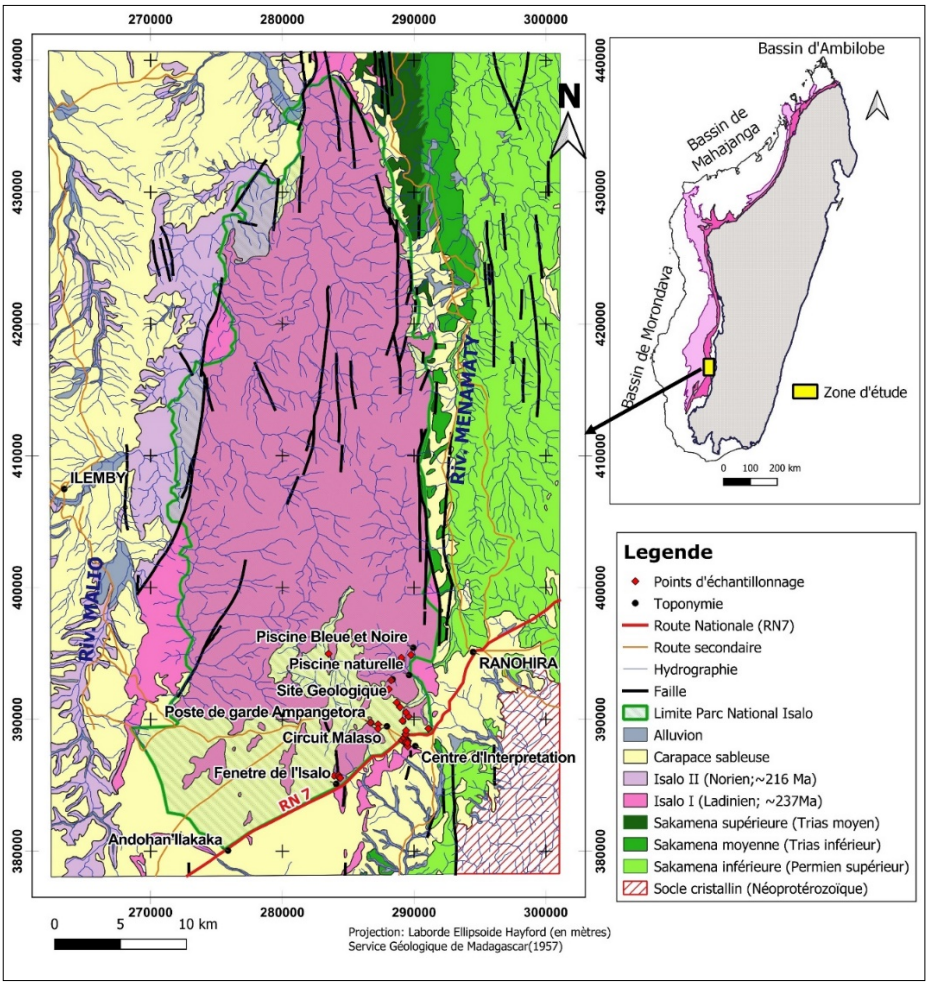


Figure 1. Carte géologique de la zone d'étude montrant les points d'échantillonnage des grès (modifiée, Besairie, 1949, BD 100 FTM).

Des levés de terrain détaillés et des échantillonnages ont été réalisés en 2018 et en 2021 afin de caractériser le massif gréseux de l'Isalo. Ces approches ont nécessité des observations macroscopique et microscopique des affleurements. L'observation macroscopique consiste à déterminer la couleur, l'épaisseur, la granulométrie, la composition minérale, la nature des liants, l'induration et les structures sédimentaires. En outre, quarante (40) échantillons de grès de l'Isalo I ont été prélevés et préparés sous forme de lames minces polies non couverts pour des analyses pétrographique et sédimentologique sous microscope polarisant. Ces analyses ont été effectuées aux laboratoires du Département de Géosciences Appliquées de German University of Technology (Gutech) d'Oman et du Département de Géologie de l'Université Regina du Canada. La description de la

composition minéralogique et l'estimation de leur proportion par comptage de points (Quartz, Feldspath, Fragments lithiques) à l'aide d'un logiciel JMicrovision ont été effectuées afin de les classer et de déterminer leur provenance tectonique. La texture des particules détritiques (aspect, taille, forme, classement) a été déterminée à l'aide d'une carte de classement (granulométrique) des grains pour connaitre l'origine, l'environnement de dépôt, le mode et la durée du transport des sédiments. Les diagrammes ternaires QFL utilisés dans le cadre de cette étude ont considéré celui de Pettijohn (1954), pour la classification des grès et *les diagrammes ternaires Qt-F-L et Qm-F-Lt de Dickinson* et Suczek (1979), *et* de Dickinson (1985), *pour différencier les catégories de provenance des grès, à savoir : le craton stable, les soulèvements du socle, les arcs magmatiques et l'orogène recyclé.*

RESULTATS

Pétrographie et minéralogie

Le massif de l'Isalo est caractérisé par des séries de grès de différents aspects (Figure 2).

Les principaux faciès pétrographiques identifiés sont : les grès à grains très fins de la taille des silts (0.039 mm-0.0625 mm) ; les grès à grains très fins (0.0625 mm-0.125 mm) ; les grès à grains moyens (0.25 mm-0.5 mm) ; les grès à grains fins (0.125-0.250 mm) à grossiers (0.5-1 mm) et les grès à grains fins (0.125-0.250 mm) à très grossiers (1mm-2 mm) ou micro conglomératiques. Le Tableau 1 résume les principaux grands types de grès qui diffèrent selon la nature du ciment.

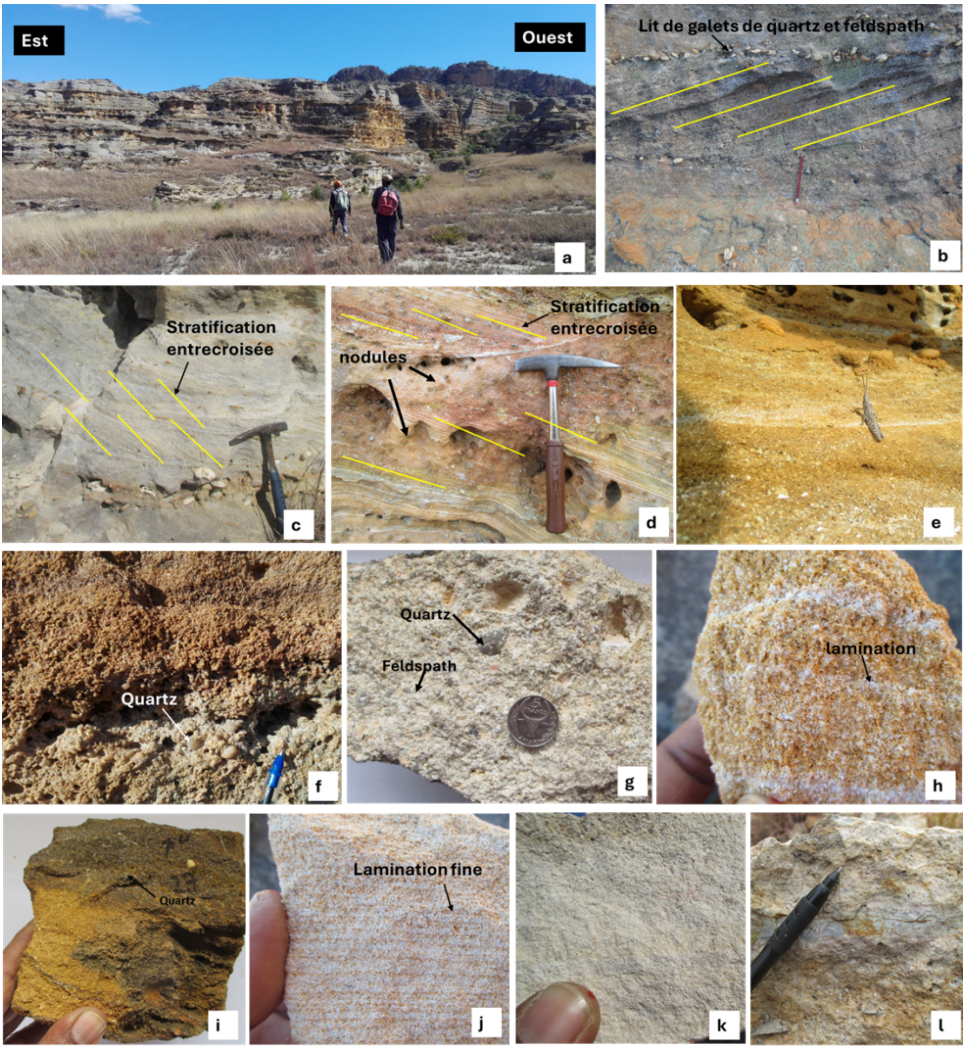


Figure 2. Affleurement des formations de l'Isalo I d'aspect consolidé ou mal cimenté et de couleur différente : a) vue générale du massif de l'Isalo ; b) grès à stratification oblique (flèche jaune); c-d) grès à stratification entrecroisée ; d) grès arkosique jaune, rouge et rose avec des nodules ferrugineux ; e) grès arkosique jaune mal cimenté ; f) grès quartzeux blanc et marron, à grains moyens à grossiers ; g) grès argileux blanc, micro conglomératique ; h) grès arkosique jaune et blanc, à grains moyens ; i) grès ferrugineux jaune et gris noir, à grains moyens ; j) grès arkosique jaune et blanc, à grains très fins ; k) grès silteux, massive, à grains très fins ; l) roche de faille (ou argilite) compact.

Tableau 1. Description macroscopique des grands types de grès

Types de grès	Grès arkosique/ argileux	Grès ferrugineux	Grès quartzeux
Induration (ou aspect)	Friable, tendre	Dure, très dure	Dure
Granulométrie	Grains très fins à grossiers ou micro conglomératiques	Grains moyens à grossiers	Grains fins à grossiers ou micro conglomératiques
Texture	Granulaire à hétérogranulaire	Granulaire à hétérogranulaire	Granulaire à hétérogranulaire
Couleur	Teinte claire : blanche, rose, jaune	Rouille, ocre, rouge	Jaune, beige, blanche
Composition minéralogique	Quartz, feldspath	Quartz	Quartz
Cimentation/ matrice	Argileux (kaolin)	Oxydes de fer (hématite, goethite)	Siliceux
Test à l'acide chlorhydrique dilué à 10%	Négatif	Négatif	Négatif
Structures sédimentaires	Lamination, entrecroisée, oblique, subhorizontale	Lamination, entrecroisée	Lamination, entrecroisée, oblique

L'observation microscopique des principaux faciès pétrographiques (Figure 3) montre une granulométrie allant de très fin (0.0.63 mm) à très grossier (2 mm). La structure empâtée ou matrice supportée domine. Les éléments détritiques sont faiblement ou non jointifs. Certains faciès présentent quelques contacts plan ou tangentiel. Les grains détritiques consolidés sont bien, moyennement à très mal classé. Les catégories d'émoussé sont différentes pour chaque type de faciès. Les grains grossiers (>1 mm) sont souvent émoussés à subémoussés, tandis que les grains fins (<0.125 mm) sont anguleux à subanguleux, avec de faible à forte

sphéricité. La plupart des clastes montrent de multiples fractures de déformation et d'arrondis généralement dues aux chocs lors du transport. Les grès issus des sédiments sableux sont généralement pourvus de cavités traduisant leur porosité. Le changement de porosité dépend de la taille des grains, de leur géométrie et du degré de cimentation. Ces grès présentent en majorité une porosité du type primaire ou porosité intergranulaire. Elle est réduite ou même absente dans le cas d'un ciment ferrugineux.

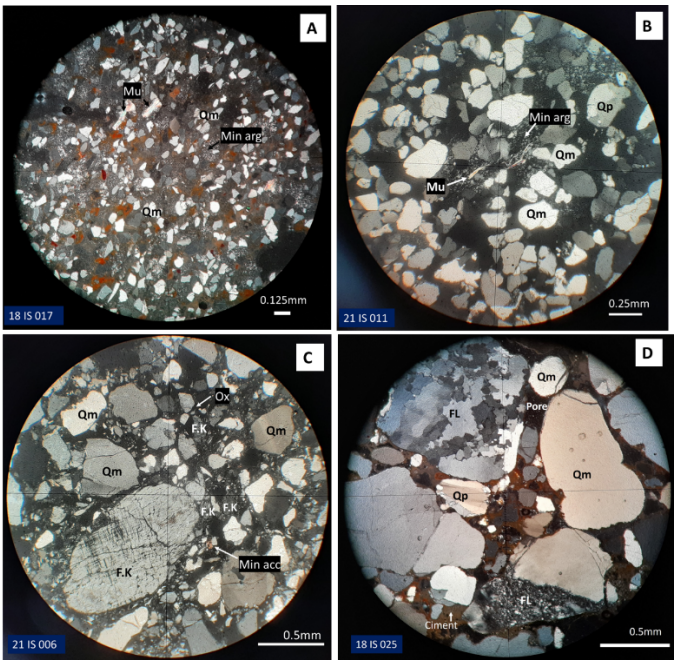


Figure 3. Microphotographies des échantillons de grès de l'Isalo I en lumière polarisée (LP) montrant une texture (granulométrie, arrondi, sphéricité…) et des particules détritiques variables : A) grès à matrice argileuse, à grains très fins, d'aspect anguleux à subanguleux, faible sphéricité, matrice supportée, bien classé, immature ; B) grès à ciment siliceux et argileux à grains moyens, d'aspect subanguleux à émoussé, faible sphéricité, matrice supportée, moyennement classé, submature ; C) grès à matrice argileuse, à grains très fins à grossiers, d'aspect subanguleux à subémoussé, faible sphéricité, matrice supportée, pauvrement classé, immature ; D) grès à ciment ferrugineux avec des grains moyens à très grossiers, d'aspect subémoussé, faible sphéricité, matrice supportée, pauvrement classé, immature. *quartz monocristallin (Qm), quartz polycristallin (Qp), feldspath potassique (F.K),ox :oxyde de fer, minéraux accessoires (Min acc), muscovite (Mu), minéraux argileux (min arg), fragment lithique (FL)*

D'après la Figure 3, la pétrographie des grès de l'Isalo I est composée de quartz, de feldspath, de fragments rocheux ou lithiques et de minéraux accessoires présents dans une matrice argileuse et parfois micacée ou consolidée par un ciment siliceux et/ou ferrugineux. Les minéraux carbonatés sont absents. Des cavités ou pores sont présentes entre les particules détritiques.

Le **quartz** est le minéral le plus abondant dans les grès de l'Isalo, avec plus de 95%. Il peut être de type monocristallin et parfois polycristallin de taille variable (0.0625 mm à 2 mm) et d'extinction uniforme et ondulante ou roulante due aux contraintes de déformations. Les quartz polycristallins (Qp), composés de deux ou plusieurs sous grains, présentent des limites rectilignes ou parfois engrenées indiquant des sources différentes. Ils sont moins nombreux et plus grossiers que les quartz monocristallins (Qm). La plupart des grains de quartz montrent de multiples fractures de déformation, des corrosions dues à l'altération chimique, et aussi d'arrondis généralement dus aux chocs lors du transport. Quelques inclusions fluides ou de minéraux telles que la rutile, la biotite, le zircon et les veines de minéraux sont observables dans le quartz.

Les **feldspaths** sont de faible proportion (moyenne : 0.53%) ou même absents dans certaines lames minces à cause de leur forte altération par kaolinisation ou séricitisation. Leur altération rend parfois plus difficile l'identification des compositions minérales. Ils apparaissent comme des cristaux subautomorphes à xenomorphes, d'aspect troublé en lumière naturelle (LPNA) en cas d'altération, ou teintés de gris clair à blanc. Des feldspaths alcalins (microcline, anorthose) et des plagioclases (albite) ont été identifiés. Mais les plus remarquables sont les feldspaths alcalins grâce à leur grande stabilité aux altérations. Le microcline est reconnu par son macle quadrillée typique ou en jupe écossaise.

Les **fragments lithiques ou rocheux** comptent en moyenne 0.43%. Ils apparaissent comme des grains moyens à très grossiers, subémoussés à émoussés. Les fragments lithiques identifiés sont constitués de roches métamorphiques (gneiss, leptynite, schiste) ou magmatiques (pegmatite) provenant du socle cristallin et même des roches sédimentaires recyclées (grès, siltite, argilite). Les fragments de roches volcaniques sont absents.

Les **minéraux accessoires** ainsi que les **minéraux lourds** sont de faible proportion, en moyenne 0.62%. Ils se présentent en majorité sous forme de grains amorphes à subautomorphes ou automorphes, et généralement de tailles très fines (0.0625 mm-0.125 mm) à fines (0.125mm-0.25 mm).

Les minéraux accessoires sont formés par des minéraux opaques comme la magnétite et l'ilménite généralement de teinte noire en lumière naturelle et en lumière polarisée ; des minéraux évaporitiques comme la sylvite et la halite représentés par des veines de cristaux teintés de gris clair à blanche ; des micas tels que la muscovite reconnaissable par sa forme en paillettes avec une teinte de biréfringence brillante ; et la séricite une variété de mica blanc. La séricite qui provient de l'altération des minéraux silicatés, se présente sous forme de fines paillettes ou en aiguilles.

Les minéraux lourds identifiés sont le zircon et la rutile ; ils présentent un relief fort à très fort. Le zircon se présente en cristaux subautomorphes à automorphes de biréfringence très haute avec des teintes très vives. Le rutile, d'une biréfringence très élevée, apparait en cristaux aciculaires dans le quartz ou en grains subautomorphes dans la matrice.

Le **ciment et la matrice** représentent en moyenne 11,51% par rapport aux minéraux (88.49%) sur les 40 échantillons étudiés. Pour les grès quartzeux, le ciment est, soit de nature siliceux représenté parfois par des cristaux rayonnants (ou microgéodes) de calcédonite teintés de gris et blanc, soit de nature ferrugineux résultant de la précipitation de l'oxyde de fer (hématite, magnétite, limonite) reconnus par sa couleur rouge ou brun jaunâtre, marron ou noir en lumière polarisée. La matrice est composée de particules fines d'argiles (kaolinite, séricite) résultant de l'altération chimique des feldspaths avec la formation de micas en paillettes plus ou moins déformées pour les grès argileux. Parfois, la matrice argileuse contient de l'oxyde de fer (hématite).

Classification

La classification pétrographique de ces grès montre la prédominance du quartz (plus de 95%) dans le diagramme ternaire de Pettijohn (1949, 1954, 1972) (Figure 4).

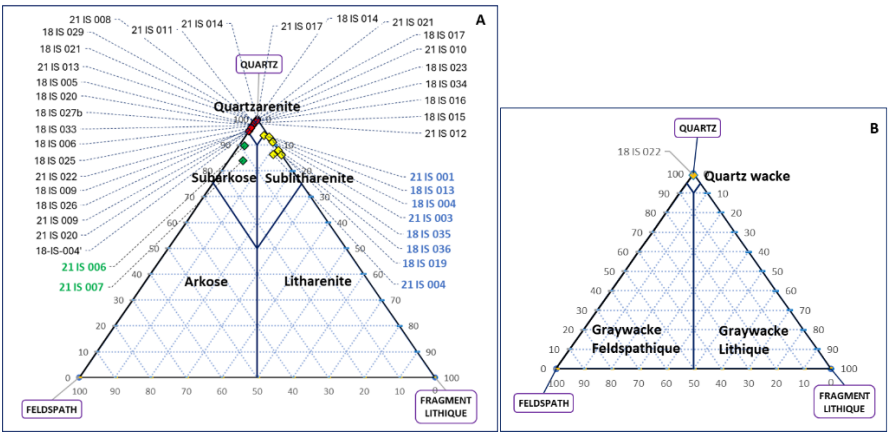


Figure 4. Classification pétrographique des grès de l'Isalo I dans le diagramme ternaire de Pettijohn (1949, 1954, 1972).

En tenant compte du diagramme ternaire de Pettijohn (1949, 1954, 1972), l'analyse pétrographique révèle que les grès de l'Isalo I se classent principalement en deux groupes selon les teneurs des constituants détritiques (matrice et clastes : Q, F, FL). Pour une matrice inférieure à 15% par rapport aux clastes, les grès identifiés sont classés en : quartzarénites, subarkoses, sublitharénites. Et pour une matrice supérieure à 15% correspondant aux roches de failles, les échantillons identifiés sont des quartzwackes. Au niveau des échantillons analysés, les quartzarénites ou arénites quartzeuses (Adams et *al*., 1994), représentent 73,17% des analyses. Les grès siliceux et grès ferrugineux sont donc les plus abondants. En ce qui concerne les subarkoses, ils correspondent aux grès arkosiques à matrice argileuse ou kaolinite et représentent 4.88% des échantillons analysés. Les sublitharénites, riches en fragments de roches, correspondent aux grès argileux et comptent 19.51% des échantillons analysés. Enfin les quartzwackes avec seulement 2.44% des échantillons analysés, correspondent aux roches de failles ou argilites.

DISCUSSION

Mode et influence du transport sur les particules

Le mode de transport des sédiments de l'Isalo est du type fluviatile au cours d'une courte et longue durée sous un régime climatique à fortes pluies (Besairie, 1972). Ils sont bien stratifiés (subhorizontale, oblique et entrecroisé) et présentent des lits de galets et des cuirasses ferrugineuses (hard ground). D'ailleurs, les strates sont composées de grès hétérogènes, à granulométrie et matrice variable, avec des grains subémoussés à émoussés. Comme le quartz est abondant et inaltérable par rapport aux autres minéraux, il résiste plus aux chocs lors du transport. Par ailleurs, quelques clastes présentent des bords arrondis, indiquant qu'ils ont subi un effet

mécanique d'usure lors du transport. Il indique aussi un transport distal car les grains sont usés et corrodés. La présence de clastes à bord anguleux et subanguleux comme les feldspaths témoigne d'un milieu de sédimentation proche de la source avec un transport de courte durée. Ainsi les grains *sont peu usés et n'ont pas subi les effets mécaniques d'usure lors du transport, et leur forme originelle est gardée (Akobe et al., 2018).* L'existence d'une matrice argileuse témoigne de l'altération des cristaux de feldspaths qui sont facilement altérables et fragiles.

Provenance et contexte géodynamique

Les limites entre les cristaux de quartz polycristallins sont engrenées mutuellement traduisant une origine métamorphique (Adams et al., 1994). L'engrènement des grains est dû à une dissolution par pression. Les quartz d'origine métamorphique présentent aussi des grains étirés ou clivés (Adams et al., 1994). En revanche ceux qui présentent des limites rectilignes entre les grains sont d'origine éruptive (Adams et al., 1994).

L'extinction roulante des cristaux de quartz mono ou composites polycristallins indique une déformation mécanique lors du métamorphisme. Ces particules détritiques sont donc issues des roches métamorphiques. Tandis que les grains de quartz à extinction uniforme proviennent des roches magmatiques (Akobe, et al., 2018), et des roches sédimentaires remaniées. Les quartz monocristallins ou composites, à extinction uniforme sont d'origine plutonique, hydrothermal ou sédimentaire (précipitation chimique).

La présence de feldspaths alcalins constitués de microcline, d'anorthose ainsi que de plagioclase (albite) dans les subarkoses suggèrent la désagrégation incomplète des roches magmatiques acides et des roches métamorphiques notamment les granites, les pegmatites et les gneiss. Le dépôt de feldspaths relativement peu altérés indique un environnement à faible altération chimique.

La présence des minéraux accessoires (rutile, zircon, épidote, ilménite, hafnon, cordiérite, muscovite, biotite) parmi les particules détritiques indiquent des sources magmatiques (roches granitiques) et métamorphiques. Ces minéraux sont généralement stables et résistent à l'altération.

La présence d'évaporite (halite, sylvite) sous forme de veines dans les grains de quartz peut être due à un dôme de sel ou des estuaires résultant d'un phénomène d'évaporation après une succession de périodes d'inondation marine pendant le Jurassique. Le processus de désagrégation ou désintégration granulaire de la roche gréseuse est lié à la cristallisation de solutions salines. Comme la roche est très perméable à cause de la présence de pores et des fissures, l'eau chargée de sels s'infiltre et mobilise les minéraux argileux.

Quelques bancs de grès ont un ciment ferrugineux résultant de la précipitation de l'oxyde de fer provenant de l'altération chimique du socle.

La source génératrice de ces particules détritiques est loin de leur environnement de dépôt, le bassin sédimentaire de Morondava. En effet, la géochronologie des zircons détritiques U-Pb indique que les sédiments proviennent des Hautes Terres Centrales (Schneider et al., 2024), durant la phase de rifting entre Madagascar et l'Afrique. Plus précisément, ils dérivent du socle cristallin daté du Néoarchéen, Paléo-Mésoarchéen, Néoprotérozoïque et Cambrien *(Tucker et al., 2012) (*Schneider et al., 2024*). La structure entrecroisée de ces formations* indique des dépôts de chenaux fluviaux et des complexes de cours d'eau en tresses (Geiger, 2004).

Dans les diagrammes ternaires QFL, les échantillons de grès de l'Isalo sont représentés dans des zones cratoniques intérieures et des zones orogéniques recyclées (Figures 5A et 5B).

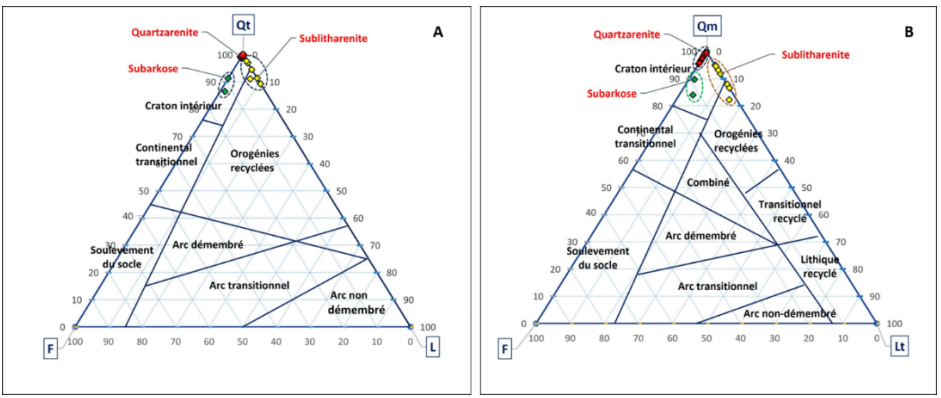


Figure 5. *Diagrammes ternaires Qt-F-L (A) et Qm-F-Lt (B) de Dickinson* et Suczek (1979), *et* de Dickinson (1985), *montrant le contexte tectonique des grès de l'Isalo. Qm: quartz monocristallin, Qt : total grain de quartz, F : feldspath ; L : lithoclaste ; Lt : total fragments lithiques.*

Ce type de craton reflète des grès matures dérivés de sources granitoïdes et gneissiques à la base, complétés par des sables recyclés provenant de bassins associés aux marges passives *(Dickinson, 1985).* La dominance du quartz monocristallin, la faible *proportion en fragments lithiques* et en feldspath enseignent que la zone d'étude a subi une longue période d'altération chimique intensive comme la kaolinisation et la séricitisation dans un climat semi-aride (ou subtropical). Les sédiments détritiques de l'Isalo proviennent donc de la désagrégation physique et chimique des roches préexistantes du socle cristallin.

CONCLUSION

L'étude pétrographique et texturale des grès du massif de l'Isalo a permis d'apporter plus de connaissances sur le groupe de l'Isalo I. Les principales particules détritiques des grès de l'Isalo I sont le quartz, les feldspaths alcalins, et les fragments lithiques. Les minéraux accessoires constitués par des micas, minéraux lourds, minéraux altérés et les opaques, sont présents mais en faible proportion (<2%). *Les fragments lithiques proviennent des roches sédimentaires recyclés (grès, argilite), des roches plutoniques acides et des roches métamorphiques (gneiss, leptynite). La classification pétrographique présente plusieurs types de grès qui sont : quartzarénites, subarkoses, sublitharénites et quartzwackes. Ce sont des grès* à *ciment siliceux, ferrugineux et argileux. Les quartzarénites et les quartzwackes sont submatures minéralogiquement car ils contiennent plus de 95% de quartz. Tandis que les subarkoses et les sublitharénites sont immatures minéralogiquement. Les diagrammes ternaires Qt-F-L et Qm-F-Lt indiquent qu'ils proviennent de* zones cratoniques intérieures et de zones orogéniques recyclées des Hautes Terres Centrales daté du Néoarchéen, Paléo- Mésoarchéen, Néoprotérozoïque et Cambrien. La lithostratigraphie montre des dépôts fins à grossiers, de *formes subangulaires à subémoussées et émoussées ;* avec des laminations et des chenaux à stratifications en auge témoins d'un dépôt fluviatile ancien.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1) Adams, A.E., MacKenzie, W.S., Guilford, C. (1994). Atlas des roches sédimentaires. Paris: Masson, 104p.

2) Akobe, A.C., Amani, E.M., Toure, M. (2018). Étude comparative des caractères pétrosédimentaires des grès du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. 31 :138 - 160. Retrieved from http://www.revist.ci

3) Basse, E. (1949). Histoire géologique de Madagascar. Mémoire de l'institut scientifique de Madagascar, I, 67.

4) Besairie, H., (1930). Geological research in Madagascar - Contribution to the study of mineral resources. *Bulletin d'Histoire Naturelle*, Toulouse, 60, 272.

5) Besairie, H. (1946). La géologie de Madagascar. *Annales géologiques du service des mines*, fascicule n°XII, Paris.13-16.

6) Besairie, H. (1949). Etude géologique des feuilles Ranohira et Sakaraha. *Trav. Bur. Géol*. N°3.

7) Besairie, H. (1967). La géologie du bassin de Morondava à Madagascar. *Doc. Bur. Geol. n °175, Serv. Geol., Tananarive,* 2 vol.

8) Besairie, H. (1972). Géologie de Madagascar, 1. Les terrains sédimentaires. *Annales Géologiques de Madagascar.* 35 : 463p.

9) Chereau, J. (1958). Etude des vitesses du Karroo à Madagascar. *Geophysical Prospecting*, 6(2), 101-111.

10) Dickinson, W. (1985). Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G. G. (Ed.), Provenance of Arenites: North Atlantic Treaty Organization. *Advanced Study Institute Series*. 148: 333-361.

11) Dickinson, W. R., and Suczek, C. A.,. (1979). Plate Tectonics and Sandstone Compositions. *American Assoc. Petrol. Geol. Bull*. 63: 2164-2182.

12) Embleton, B. and McElhinny, M. W. (1975). The paleoposition of Madagascar: Paleomagnetic evidence from Isalo group. *Earth and Planetary Science Letters*, 27, p.329-341.

13) GAF AG, R. D. (2005). Madagascar : Une Présentation Générale. *BPGRM*. 14p.

14) Geiger, M., (2004). Sedimentary and stratal patterns in Jurassic successions of western Madagascar. Facies, stratigraphy, and architecture of Gondwana breakup and drift sequences (Thèse de doctorat). University of Bremen.

15) Guyot, L. (2002). Reconnaissance hydrogéologique pour l'alimentation en eau d'une plaine littorale en milieu semi-aride : Sud-Ouest de Madagascar. (Thèse de doctorat). Université de Nantes. 228.

16) ORTII (Office Regional du Tourisme Isalo Ihorombe). (2012). Parc National Isalo Ranohira Ihorombe Madagascar. https://ouvrages.mada-books.com/wp content/uploads/2019/01/office-regionale-dutourisme-isalo-ihorombe.pdf

17) Pettijohn, F. (1949). Sedimentary Rocks. *Harper and Brothers*. New York: 526p.

18) Pettijohn, F. (1954). Classification of sandstones. *J. Geol.* 62: 360–365.

19) Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R. (1972) Sand and sandstones. *Springer*, New York, p.618.

20) Piqué, A., Laville, E., Bignot, G., Rabarimanana, M.,Thouin, C. (1999). L'ouverture et le développement du bassin de Morondava (Madagascar) du Carbonifere supérieur au Jurassique moyen. Données stratigraphiques, sédimentaires, paléontologiques et structurales. *Journal of African Earth Sciences.* 28: 931-948. https://doi.org/10.1016/S0899-5362(99)00070-6

21) Rakotondraompiana, S. (2005). La géodynamique de la partie centrale de Madagascar. (Thèse de doctorat). Département de physiques. Université d'Antananarivo. 194.

22) Raunet, M. (1997). Les ensembles morpho pédologiques de Madagascar. CIRAD. 156.

23) Reusch, H. (1882). Notes on the geology of Corsica. *Bull. Soc. Geol*. France, XI: 53-67.

24) Schandelmeier, H., Bremer, F. and Holl, H.G. (2004). Kinematic evolution of the Morondava rift basin of SW Madagascar from wrench tectonics to normal extension. *Journal of African Earth Sciences.* 38: 321-330.

25) Schneider, P.A., Schetselaar, W.M., Powell, J.W., Tari,G., Raharisolofo, H., Ramboasalama, F. (2024). Reconstructing the thermal history of the Morondava Basin, Madagascar, after Gondwanan breakup as resolved through detrital zircon (U-Th)/He and U-Pb geochronology, 160, https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106669.

26) Sourdat, M. (1969). Sur l'évolution du massif de l'Isalo et du bassin de l'Onilahy (Sud-Ouest de Madagascar). *Madagascar* : *Revue de géographie*. 16 : 105-118.

27) Tucker, R.D., Peters, S.G., Roig, J.Y., Théveniaut, H., Delor, C. (2012). Notice explicative des cartes géologique et métallogéniques de la République de Madagascar à 1/1 000 000. Ministère des Mines, Antananarivo, République de Madagascar.

ETUDE COMPARATIVE DE LA PRODUCTION ET DIETES DES LARVES DE *Tenebrio molitor*

Par

MAMISOA Colette Vincentine[1], RATSIRARSON Joelisoa[1], RAZAFIARISOA Berthine[2], RANDRIAMAHATODY Zo[3], RATSIMBAZAFY Jonah[4], RANDRIANATORO Hery[3], RAKOTOMANANA Olga Rachel[5].

(1) Ecole Doctorale Gestion des Ressources Naturelles et Développement. BP 175, Université d'Antananarivo. Contact :0341163760 E-mail : ratsirarson@gmail.com/mamisoa00@yahoo.fr

(2) Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza (PBZT). Rue Kasanga Fernand, Tsarafaritra, 101 Antananarivo B.P 4096. Contact (+261) 341299686 E-mail : razafari4@gmail.com

(3) Centre National de Recherches sur l'Environnement (CNRE) Rue Rasamimanana Fiadanana, BP 1739. Antananarivo 101.Contact : (+261) 34 07 516 28/ (+261)331411087/(+261) 346082634.

E-mail : cnre2013@gmail.com/rzogab@yahoo.fr/randrianatorohery@gmail.com.

(4) Groupe d'Etude et Recherche sur le Primate (GERP)de Madagascar. II M 78 BIS Antsakaviro B.P 779 Antananarivo, Madagascar.Contact fixe (+261)22 660 48, mobile (+261)34 11 660 48 - (+261) 33 31 660 48. E-mail :gerp@gerp-mg.org/jonahrzy@gmail.com

(5) Département de la Recherche Zootechnique et Vétérinaire (DRZVP/FOFIFA) Rue Farafaty, Ampandrianomby, BP 04 Antananarivo,101, Madagascar. E-mail : rsjerna@yahoo.fr/ razafinarivotsiry@gmail.com /olgarachelrakotomanana@gmail.com , (+261)34 14 950 69 / (+261)32 02 003 40

Abstract

The fight against hunger and malnutrition is a real challenge for Madagascar. The larvae of insect beetles *Tenebrio molitor*, or mealworms, are recognized as a healthy and highly nutritious food source in Europe and are widely used in human and animal nutrition. It may be a solution for theses malagasy problems. The objective of this study is to develop techniques for breeding suitable and less expensive mealworms using local food by-products, spent grain and soybean meal. Technics would produce mealworms with high nutritional value. Performance of the two diets were measured by the physiological development and the nutritional value of the larvae, compared to the standard rearing diet based on wheat bran. As the diets serve as both spawning substrates and also as a food source, their nutrient contents were also estimated before and after the bioassays. Excel and R studio 3.5.2 software were used in the analysis and statistical comparison of the results. The results showed that

the larvae raised in the spent grain substrate had performance in growth, yield and nutritional value equivalent to those raised with wheat bran. On the other hand, the nutritional value of mealworms raised on soybean meal-based substrate is better compared but the larvae present a delay in physiological development.

The diet based on spent grain can thus be used in the breeding of mealworms as a replacement for the diet based on wheat bran by using simple, accessible and well-controlled breeding techniques.

Key words: spent grain, Tenebrio molitor, soybean meal, nutritional value, mealworms.

RESUME

La lutte contre la faim et la malnutrition est un réel défi pour Madagascar. Les larves de *Tenebrio molitor* ou vers de farine, sont reconnus comme étant une source alimentaire saine et très nutritive en Europe et sont largement utilisées dans l'alimentation humaine et animale et peuvent être une des solutions permettant de résoudre le problème malagasy.

L'objectif de cette étude est de développer des techniques d'élevage de vers de farine adaptés et peu coûteux à partir de sous-produits alimentaires locaux à base de drèche et de tourteau de soja. Les techniques développés permettraient d'obtenir des larves à haute valeur nutritive.

La performance des deux diètes a été mesurée par rapport au développement physiologique et la valeur nutritionnelle des larves comparée à la diète standard d'élevage à base de son de blé. Les teneurs en nutriments des diètes avant et après les essais biologiques ont été également estimées pour apprécier leur utilisation biologique par le *Tenebrio molitor.* Les logiciels Excel et R studio 3.5.2 ont été utilisés pour l'exploitation et la comparaison statistique des résultats. Les larves élevées dans le substrat à base de drèche présentent une performance équivalente à celles élevées au son de blé. Par contre, celles élevées au tourteau de soja ont une valeur nutritionnelle bien meilleure mais présentent un retard dans le développement physiologique.

La diète à base de drèche peut ainsi être utilisée en remplacement de la diète à base de son de blé avec les techniques qui ont été employées.

Mots-clés : drèche, *Tenebrio molitor*, tourteau de soja, valeur nutritionnelle, vers de farine.

INTRODUCTION

Face à une démographie croissante, la lutte contre la faim et la malnutrition constitue un réel défi pour Madagascar. L'insatisfaction des besoins alimentaires conduit à des problèmes nutritionnels graves qui ont des impacts négatifs sur le développement de l'enfant. A Madagascar, la malnutrition protéino-énergétique et les carences nutritionnelles demeurent un problème de santé publique grave. En effet, quatre enfants sur dix de moins de 5 ans souffrent de retard de croissance (40 %) et 8 % d'émaciation. De même, près d'un enfant sur deux de 6 à 59 mois (46 %) et plus de trois quarts des femmes de 15- 49 ans souffrent d'anémie (26 %) (Instat et Icf, 2022) et 42% des enfants ont un taux de rétinolémie non acceptable dont 6% fortement carencés (Razafiarisoa B., 2004). En outre, le profil alimentaire montre une alimentation très déséquilibrée, riche en glucides, pauvre en protéines d'origine animale et en fruits et légumes (FAO, 2012).

De par leur haute valeur nutritive, les insectes ont été proposés par la FAO comme une source alimentaire alternative destinée à la population humaine et aux animaux (FAO, 2013). A Madagascar, l'entomophagie a été déjà pratiquée depuis fort longtemps lors de périodes de disette ou pendant la période d'invasion des criquets. Les types d'insectes consommés varient d'une région à une autre, suivant le climat et leur disponibilité (Decary R., 1937). Les vers de farine, larve d'insecte *Tenebrio molitor* sont largement utilisés dans l'alimentation humaine et animale en Europe. Ils font partie des insectes comestibles très riches en protéines et en acides gras et sont des sources de vitamine et de minéraux. Ils ont un réel avantage nutritionnel car à masse égale, les vers de farine fournissent autant de protéines que la viande de bœuf. Ils sont riches en fer et en zinc et contiennent de nombreux nutriments et vitamines (Hong J et al., 2020). Les aliments d'origine animale sont reconnus pour la qualité de leurs protéines et leurs micronutriments essentiels tels que le zinc, la vitamine B12, le calcium et le fer.

Les vers de farine ont été reconnus et approuvés par les États membres de l'Union Européenne comme une "source alimentaire saine et très nutritive " (Devilliers W, 2021). La simplicité de la technique de leur élevage et leur adaptation à différentes sources alimentaires ainsi que leur croissance rapide seraient des opportunités quant à leurs possibilités de pallier l'insécurité alimentaire et d'améliorer les moyens d'existence des populations vulnérables à Madagascar (Van Peer M, 2021).De plus, ils ont toujours été utilisés dans la recherche pour la sélection et de l'estimation de la qualité nutritionnelle de divers aliments, au même titre que les rats et les autres vertébrés (Leclercq J. et De Bast D., 1965); Pracros P.et al., 1988).

Cette étude a ainsi pour objectif de valoriser les vers de farine par la recherche de techniques de production et de diètes adaptés en utilisant des sous-produits alimentaires locaux afin d'en faire une alternative alimentaire chez l'homme et dans l'élevage en captivité des animaux sauvages à Madagascar. En effet, le son de blé utilisé comme diète standard d'élevage de vers de farine dans les autres pays coûte cher et est peu disponible à Madagascar. Deux types de diète d'élevage à base de sous-produits alimentaires locaux ont été ainsi comparés à la diète standard d'élevage, le son de blé : l'un utilisant la drèche, sous-produit de l'industrie de bière à base de maïs et l'autre, à base de tourteau de soja, sous-produit d'extraction de l'huile de soja.

Plusieurs méthodes ont été utilisées dans l'étude pour :

1) estimer le développement physiologique des vers de farine (rendement, taille et croissance), 2) faire des analyses en laboratoire pour évaluer la valeur nutritionnelle des larves

3) estimer les teneurs en nutriments avant et à la fin de l'essai biologique (résidus des substrats) pour chaque type de diètes et en apprécier l'utilisation biologique.

MATERIEL ET METHODES

Matériel biologique

Le *Tenebrio molitor* ou ténébrion meunier est un insecte coléoptère probablement originaire d'Europe et maintenant cosmopolite (Walker, F et al., 1869). Il appartient à la famille des ténébrionidés. Les larves se développent surtout dans les farines de céréales. Les vers de farine subissent une métamorphose complète entre 25°C et 27°C au cours de leur cycle de vie complet qui dure environ 2 à 3 mois. On observe quatre stades de vie différents : (1) l'œuf, (2) la larve (environ 61 jours), (3) la pupe ou nymphe (53 jours) et (4) le coléoptère adulte. L'adulte de couleur brun-noir peut vivre quelques semaines (moins de 2mois) et la larve vermiforme ou ver de farine de couleur marron-jaune a une durée de vie de 6 à 20 jours (JMA Sciences & Co , 2020).

Méthodes

L'étude a été effectuée en quatre (04) étapes : 1) Etape 1 : Formulation des diètes, 2) Etape 2 : Sélection et élevage de vers de farine dans l'insectarium, 3) Etape 3 : Analyse en laboratoire pour déterminer la composition des diètes et la valeur nutritionnelle des larves, 4) Etape 4 : saisie et traitement statistique des données.

Etape 1 : Formulation des diètes

Le diète standard utilisé dans le Lot témoin pour l'élevage de vers de farine à base de son de blé est composé de 68,16% de son de blé, 30% de farine de blé milieu de culture d'origine de *Tenebrio molitor*, 0,91% de levure boulangère (Fraenkel G, 1950), 0,91% de poudre de coquillage pour le renforcement des minéraux (Kirk et al., 2000), et du pain rassis, dérivé du blé en tant que substrat (Dournaud et Dournaud, 1992) enfin des légumes tels que carotte, choux vert, haricot vert comme source de vitamines et pour l'humidité (Leclercq J., 1948).

Dans les deux essais de diète, le son de blé a été remplacé par le tourteau de soja, sous-produit d'huile de soja pour le Lot 1 et par le drèche sous-produit de fabrication de bière à base de maïs pour le Lot 2. Chaque Lot d'expérimentation est composé de 6 bacs avec 1200 grammes de diète par bac.

Les formules et la composition en ingrédients pour chacune des formules sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Formules et composition en ingrédients de chaque bac de diète

Bac du Lot témoin (standard)	Bac du Lot 1 (à base de tourteau de soja)	Bac du Lot 2 (à base de drèche)
Son de blé	Tourteau de soja	Drèche ou son de mais
Farine de blé, levure de bière, poudre de coquillage		
Pain rassis		
Carotte, choux vert, haricot vert		

Source : auteurs 2022

Etape 2 : Sélection et élevage de vers de farine dans l'insectarium

Sélection des vers de farine

Au départ, pour éviter les biais dans l'interprétation des résultats, des larves au stade de deuxième âge ou *Tenebrio molitor* ont été prélevées dans la collection de l'insectarium de Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza (PBZT). Elles ont été ensuite pré-élevées dans la diète standard jusqu'au 52ème jours où elles atteignent le stade de jeunes adultes. Au bout de 52 jours, 90 couples de jeunes adultes de 2 jours, âge avant l'accouplement, ont été répartis dans les trois types de diètes à raison de 30 couples de jeunes adultes par lots (Lot témoin, Lot 1 et Lot 2). Pour avoir une bonne

répétitivité de l'essai, chaque Lot est composé de 6 bacs d'élevage contenant chacun 5 couples de jeunes adultes de *Tenebrio molitor* élevés dans la même diète.

Elevage et suivi de vers de farine dans l'insectarium

Les conditions de pré-élevage et d'élevage sont les mêmes pour tous avec une température variant entre 20°C et 30°C et une humidité comprise entre 70% à 72%. Comme les larves constituent le produit cible de l'élevage, leur première apparition ainsi que celle du premier adulte a été surveillée. Le poids, le nombre et la taille des larves ont été notés pour déterminer la croissance et le rendement pour chaque type d'élevage.

Le pesage des larves a été effectué régulièrement aux 140ème,150ème et 169ème jours. Les larves collectées sont conservées au congélateur à -25°C en attente de leur analyse au laboratoire. Quand la réduction du poids de larves a été constatée pour chacun des lots, l'expérimentation a été arrêtée. Le rendement qui correspond au pourcentage de gain de poids de larves a été calculé à partir de la formule suivante :

Rendement (%): [(Poids total (g) - Poids initial(g) / Poids initial] x 100%

Enfin, la croissance se rapporte au nombre de nymphes et au nombre d'adultes en fonction du temps (140ème jusqu'au 201éme jour).

Etape 3 : Analyses en laboratoire

Les analyses biochimiques pour déterminer les teneurs en nutriments des larves collectées ainsi que celles des diètes avant et à la fin de l'élevage ont été effectuées au laboratoire du CNRE[1] et du DRZV/FOFIFA[2]. Les teneurs en eau, la cendre brute, les protéines, les lipides, les glucides totaux, l'amidon, les fibres totales et les minéraux : phosphore, calcium et fer ont été estimés par les méthodes standards internationales AOAC (1980)[3]. Les teneurs en eau sont obtenues par la différence entre la masse de matière fraiche et la cendre brute par incinération de l'échantillon. La méthode de KJELDAHL a été utilisée pour déterminer la teneur en azote et le coefficient de conversion 6, 25 pour le calcul des taux de protéines. La matière grasse est extraite au soxhlet et avec de l'éther de pétrole. Les teneurs en glucides sont déduites par différence à partir des teneurs respectives en eau, protéines, lipides et cendres brutes. Les teneurs en fibres et en amidon ont été mesurées par la spectrophotométrie dans la poche infrarouge (SPIR), les taux de phosphore par la spectrophotométrie UV, le fer et le calcium par la spectrophotométrie par absorption d'onde.

[1] CNRE : Centre National de Recherche sur l'Environnement

[2] Département de Recherche Zootechnique et Vétérinaire

[3]Association of Official Analytical Chemists, Official methods of Analysis.

Etape 4 : Analyse statistique des résultats

La saisie, l'exploitation et l'analyse des données ont été faites sur Excel 2016 et le logiciel R 3.5.2. Comme l'élevage pour chacun des lots a été effectué en six répétitions, les valeurs expérimentales sont exprimées par leur pourcentage et leur moyenne ± écart-type.

Pour apprécier l'efficacité des diètes formulés par rapport à la diète standard, les comparaisons statistiques ont été effectuées entre les Lots témoin et les Lots 1 et 2 d'une part et, entre les deux lots (Lot 1 et 2) pour la sélection de la meilleure diète, d'autre part. Comme la distribution des données n'est pas normale, le test non paramétrique Wilcoxon rank a été utilisé pour la comparaison des résultats à un niveau de signification de 5 %. Si la valeur de la probabilité p est supérieure à 5%, la liaison n'est pas significative ; si elle est entre 0 et 5%, la liaison est significative et quand sa valeur est égale à zéro, la différence est très significative.

RESULTATS

Développement physiologique des larves

Taille

Au bout de 114 jours, le début de métamorphose des larves en nymphe pour le Lot témoin à base de son de blé et le Lot 2 à base de drèche a été observé. Les premiers collecte et pesage des larves ont été effectués au 114ème jour (Figure 1).

Figure 1: Larves de *Tenebriomolitor*au114ème jour de pesage

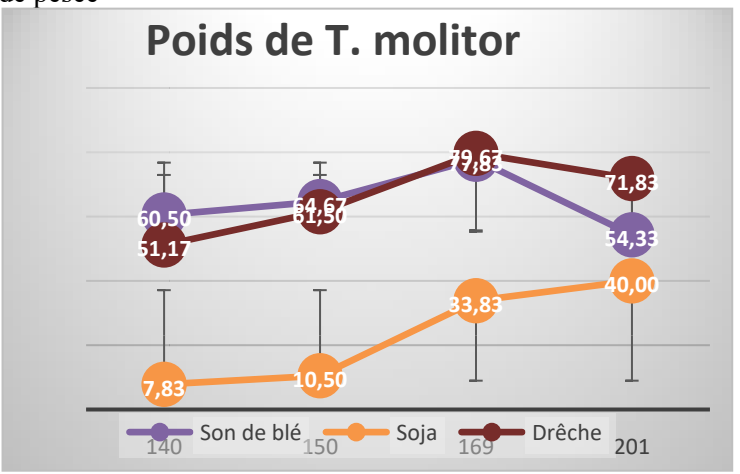


Source : auteur 2022

D'autres pesées ont ensuite eu lieu au 140ème, 150ème et au 169ème jour. La collecte et la pesée ont été arrêtées au 201ème jour où la réduction des poids des larves a été constatée pour le Lot témoin et le Lot 2 à base de drêche. Le premier adulte n'est apparu qu'au bout de 172 jours d'élevage.

La courbe d'évolution du poids moyen des larves de *Tenebrio molitor* suivant l'âge et le moment propice pour être collecté est présentée dans la Figure 2

Figure 2 : Evolution du Poids des larves de *Tenebrio molitor* suivant le moment de pesée



Source : auteurs 2023

Le moment optimal pour la collecte des larves correspond au 169ème jour pour le Lot témoin et le Lot 2 si le poids des larves de la diète 1 à base de tourteau de soja continue à augmenter et présente ainsi un retard de croissance.

Pour la croissance

Que ce soit au 114ème jour, date d'apparition des nymphes ou au 172ème jour date d'apparition des jeunes adultes entre le Lot témoin et le Lot 2 à base de drèche (p-value>0.05), aucune différence n'a été notée quant au nombre moyen des nymphes et des adultes. La phase de développement reste le même pour les 2 lots.

Tableau 2: Comparaison du nombre moyen des nymphes et adultes par lots

Stade de développement	Jours	Nombre moyen ± Et par Lot		
		Lot témoin	Lot 1	Lot 2
Nymphe	114 jours	6.8± 0.8a	0b	0.6±1.5ab
	172 jours	13.4±0.4a	0b	9.6±0.6ac
Adulte	114 jours	1.4±0.9a	0b	0.6±1.5ac
	172 jours	2.1±0.7a	0b	1.1±1ac

[a,b] : La colonne suivie par la même lettre ne présente pas de différence significative (p-value>0.05)

Source : auteurs 2023

Par contre, au 172ème jour d'élevage, les larves de la diète à base de tourteau de soja (Lot 1) sont encore très jeunes et continuent à se métamorphoser avec une différence très significative dans l'apparition des nymphes et des adultes entre le Lot témoin et le Lot 1 ainsi qu'entre le Lot 1 et 2 aux 114eme et 172eme jour d'élevage ($p \leq 0,05$). Les résultats confirment le retard dans le développement physiologique des larves élevées dans un substrat à base de tourteau de soja comparés à celles élevée dans la diète standard au son de blé ou dans la diète à base de drèche.

Pour le rendement

Les résultats des pesées ont montré que la production de larves reste à peu près la même sans différence significative durant les intervalles de période d'élevage (entre 140ème, 150ème et 169ème jour) pour le Lot témoin et le Lot 2. Par contre, le rythme de production est très significativement retardé pour le Lot 1 à base de soja comparé aux deux autres lots à base de son de blé et de drèche (p=0,00).

Tableau 3 : Poids moyen total des larves de ver de farine par intervalle de jour de collecte (en gramme)

	Poids moyen total des larves P±Et (en grammes)/nombre de jours		
	140 jours	150 jours	169 jours
Lot témoin	60.5±14.02[a]	64.67±15.19[a]	77.83±15.01[a]
Lot 1	7.83±3.6[b] p= 0.00	10.5±4.03[b] p= 0.00	33.83±15.14 [b] p= 0.00
Lot 2	51.16±20.81[a] p=0.58	61.5±3.6[a] p=0.52	79.66±19.5[a] p= 0.74

[a,b] : La colonne suivie par la même lettre ne présente pas de différence significative (p-value>0,05)

Source : auteurs 2023

Le rapport du rendement entre les intervalles 140ème - 150ème jour sont presque identiques pour les 3 Lots. Par contre, si ce rapport est presque constant pour les Lot

à base de son de blé et de drèche entre le 150ème jour au 169ème, il a plus que triplé pour le Lot à base de soja, justifiant encore le retard de son développement physiologique (Tableau 4).

Tableau 4 : Rendement de la production des larves de ver de farine par intervalle de jour de collecte (en %)

	Rendement (en %)		
	140 jours	150 jours	169 jours
Lot témoin	47.79	51.15	61.76
Lot 1	5.31	7.46	26.28
Lot 2	40.25	48.59	63.24

Source : auteurs 2023

L'élevage de ver de farine sur un substrat à base de drèche donne ainsi un meilleur rendement par rapport aux deux autres (son de blé et tourteau de soja).

Composition en nutriment des diètes avant et à la fin de l'élevage

Le tableau 5 montre les compositions des diètes avant et à la fin de l'élevage c'est-à-dire après 172 jours d'élevage.

Tableau 5 : Composition en nutriments des substrats avant et à la fin de l'expérimentation par Lot

Teneur en nutriments en (%)	Lot témoin		Lot 1		Lot 2	
	Avant	Fin	Avant	Fin	Avant	Fin
Humidité (%)	6.00±0.036^{a}	9.89±0.08^{b}	6.51.51±0.08^{c}	9.17±0.00^{d}	5.78±0.11^{e}	9.35±0.7^{f}
Cendre brute (%)	5.42±0.21^{a}	6.39±0.17^{b}	0.10±0.25^{c}	8.5±0.13^{d}	3.80±0.11^{e}	10.46±0.82^{f}
Protéines (%)	15.24±0.06^{a}	16.26±0.10^{b}	31.21±0.06^{c}	42.40±0.13^{d}	13.34±0.10^{e}	21.83±0.86^{f}
Matière	4.83±0.21^{a}	2.24±0.08^{b}	13.38±0.01^{c}	3.55±0.26^{d}	9.42±0.01^{e}	2.40±0.16^{f}

Grasse (%)						
Glucides (%)	68.49±0.23[a]	65.19±0.19[b]	43.81±0.39[c]	36.37±0.54[d]	67.63±0.28[e]	55.93±1.61[d]
Amidon (%)	18.70±3.72[a]	18.80±2.09[a]	50.82±2.38[b]	33.34±2.42[c]	39.05±1.39[d]	25.08±2.17[e]
Fibres totaux(%)	13.08±0.66[a]	11.99±0.33[b]	2.83±1.12[c]	3.54±2.14[c]	11.22±0.65[d]	17.72±1.41[e]
Fer (mg/100g)	23.58±0.19[a]	34.55±2.41[b]	35.09±1.65[c]	49.78±0.00[d]	17.26±0.28[e]	45.77±0.16[f]
Calcium (mg/100g)	62.58±0.66a	0.86±0.06[b]	59.75±1.12[c]	1.31±0.03[d]	39.35±0.50[e]	1.31±0.04[e]
Phosphore (mg/100g)	0.54±0.13a	0.74±0.03[b]	0.28±0.03[c]	0.34±0.13[c]	0.45±0.01[d]	1.16±0.05[e]

[a,b] : La ligne suivie par la même lettre ne présente pas de différence significative (p-value>0.05)

Source : auteurs 2023

La composition pour tous les types de nutriments diffère entre les diètes avant l'expérimentation : la diète à base de son de blé est plus riche en glucides, fibres totales, calcium et phosphore alors que celle à base de tourteau de soja contient plus de protéines, matières grasses, amidon et fer.

Entre le début et la fin de l'expérimentation dans le résidu, les taux de divers nutriments ont presque tous diminué démontrant leur bonne utilisation biologique de l'ensemble des nutriments, bien que les taux de protéines, de fer et de phosphore ont augmenté dans tous les résidus de diète avec en sus, les taux de fibres totaux pour la diète à base de drèche.

Valeurs nutritionnelles des vers de farine par lot

Les valeurs nutritionnelles des vers de farine issues des différentes diètes sont présentées dans le Tableau 6.

Tableau 6: Valeurs nutritionnelles des vers de farine par Lot

Nutriments	Lot témoin	Lot 1	Lot 2
Humidité (%)	55.22±0.91[a]	56.70±0.66[b]	57.53±0.44[c]
Cendre Brute (%)	2.26±0.40[a]	2.43±0.29[a]	2.14±0.22[a]
Protéines (%)	20.31±0.79[a]	21.74±0.96[b]	20.13±1.16[a]
Matière Grasse (%)	18.00±0.45[a]	16.79±1.67[a]	17.47±1.37[a]
Glucides (%)	4.19±0.46[a]	2.33±1.31[b]	2.72±1.00[b]
Fer (mg/100g)	2.93±0.12[a]	12.91±0.43[b]	4.10±0.09[c]
Calcium (mg/100g)	0.15±0.01[a]	0.89±0.15[b]	0.29±0.03[c]
Phosphore (mg/100g)	0.28±0.01[a]	0.28±0.04[ab]	0.31±0.28[cb]

[a,b] : La ligne suivie par la même lettre ne présente pas de différence significative (p-value>0.05)

Source : auteurs 2023

Comparées au Lot témoin, les larves issues de l'élevage à base de tourteau de soja sont plus riches en protéines, Fer et Calcium comparés aux taux des mêmes nutriments pour les larves élevées au drèche qui sont plus riche en Phosphore.

Les larves issues de l'élevage au tourteau de soja ont ainsi une meilleure valeur nutritionnelle

DISCUSSION

L'objectif de l'étude est d'estimer le développement physiologique (croissance et rendement) et la valeur nutritionnelle des larves de *Tenebrio molitor* produites à partir de la comparaison de l'élevage sur trois différentes diètes. Les diètes servent à la fois de substrats de ponte et de source d'alimentation pour le développement des vers de farine Rumbos et al, (2020). Le régime alimentaire et les conditions optimales de température et d'hygrométrique sont des conditions requises pour avoir un impact positif sur le développement et la composition nutritionnelle des larves de vers de farine collectées (Bordiean et al., 2022 ; Noyens et al., 2023 ; Leclercq, J., 1948).

Dans les conditions de température de 30°C et d'hygrométrie ±72% appliquées, le temps requis pour l'apparition des premières nymphes dans notre expérimentation a été au 114ème jour, sans différence significative entre les 3 diètes utilisées. Ce temps est beaucoup plus précoce si l'on compare à l'élevage en milieux nutritifs

artificiels qui nécessite 124 jours d'élevage (Leclercq J., 1948). En outre, les larves élevées dans les diètes à base de drèche ont un cycle de vie très proche de celles élevées au son de blé : le nombre d'adultes élevé au son de blé et de diète à base de drèche ont à peu près le même niveau de croissance au bout de 172e jour.

De plus, si certains auteurs affirment que les ténébrions nourris avec une diète de son de blé engendrent notablement plus de nymphes que les autres diètes (Dumont et Provost, 2019 ; Rumbos et al, 2020), le rendement de l'élevage de ver de farine à base de drèche est bien meilleur comparé au rendement à base de son de blé.

Concernant les rapports entre la composition des diètes et les valeurs nutritionnelles des larves produites, les avis sont partagés entre les auteurs : certains affirment que l'alimentation influe sur la teneur en protéines des larves (Ravzanaadii N. et Kim N. J, 2012). Selon Van Broekhoven et al en 2015, un régime à base de céréales ne modifie pas la composition nutritionnelle principale des larves (protéines brutes, matières grasses brutes). Par contre, pour Valérie J Stull et al en 2019, les conditions d'élevage : la température et l'humidité sont plus importantes.

De même, d'après Fondevilla et al en 2022, les besoins de croissance en protéines des vers de farine de *Tenebrio molitor* varient entre 10 à 12% de protéines brutes dans les conditions optimales de température et d'hygrométrie requises. Dans le cas présent, les teneurs en protéines des diètes sont plus élevées : 15% pour le son de blé, 13% pour le drèche et 22% pour le tourteau de soja. Toutefois, les taux de protéines des larves sont les mêmes pour les larves élevées au son de blé ou avec du drèche (autour de 20%), si ceux élevés au tourteau de soja sont légèrement plus élevées (21.74%). Ces valeurs sont largement en dessous des taux observés dans d'autres études où les taux de protéines des larves varient entre 44,1 à 53,6 % sur des diètes dont la teneur en protéines est différente (Oonincx et al., 2015).

Pour la teneur en lipides, les taux sont presque identiques : 20.31% à 21.74% de matière grasse dans les larves produites par les 3 diètes. Par contre, les études menées par Dreassi et al en 2017 et Riekkinen, K et al en 2022ont affirmé le contraire.

Les résultats ont montré que dans les conditions d'élevage adoptées la croissance et la valeur nutritionnelle des vers de farine sont influencées par le type de diète utilisé. Pour l'élevage à base de tourteau de soja, le facteur explicatif du retard dans la croissance serait probablement dû à l'existence de facteurs antinutritionnels qui restent à confirmer dans le substrat (Olguin et al, 2003). La qualité des ingrédients du substrat n'est pas aussi à négliger.

Enfin, à la fin de l'expérimentation, une diminution significative a été notée pour la majorité des nutriments dans les 3 diètes, démontrant une bonne utilisation

biologique de nutriments. L'augmentation des taux de protéines, de glucides et de fer dans les résidus seraient probablement dues à l'existence des excréments, des jeunes larves ou des œufs restant dans les substrats à la fin de l'expérience. Selon Ramos-Elorduy et al. En 2002, ces résidus pourraient être recyclés et réutilisés à d'autres fins.

CONCLUSION

En conclusion, le son de blé , nourriture standard utilisé dans l'élevage de vers de farine, est un produit importé qui coûte cher à Madagascar. Cette étude a permis de développer des techniques d'élevage et de diètes à moindre coût et disponibles localement permettant de produire des vers de farine de haute valeur nutritive. Il s'agit du tourteau de soja, sous-produit de l'extraction d'huile de soja et de la drèche, sous-produit de la fabrication de bière, à base de maïs.

Dans les conditions adaptées, les résultats ont montré que l'élevage de *Tenebrio molitor* sur un substrat à base de drèche présente une bonne performance pour la croissance, le rendement et la valeur nutritionnelle des vers de farine, presque équivalente à l'élevage avec le substrat standard, à base de son de blé. De même, la valeur nutritionnelle des vers de farine élevés sur un substrat à base de tourteau de soja est meilleure comparé aux deux autres, les larves mais présentent par contre un retard dans le développement physiologique. Les autres facteurs sont ainsi à considérer.

Bien que les larves de *Tenebrio molitor* soient un véritable fléau pour le blé et la farine de blé, elles sont reconnues comme source alimentaire saine et très nutritive, notamment par les États membres de l'Union Européenne. Les vers de farine produits à partir des techniques et des diètes d'élevage conçues présentent plusieurs avantages : i) de par leur haute valeur nutritive, les larves produites peuvent être utilisées en tant que complément alimentaire chez les humains et/ou comme aliment secondaire chez les animaux domestiqués et les animaux en captivité ii) l'utilisation de sous-produits alimentaires à moindre coût et disponibles localement comme substrat d'élevage permet leur valorisation et, iii) le développement de technique de production de vers de farine simple, accessible et bien maîtrisé peut être une nouvelle « Activité Génératrice de Revenu (AGR) » à proposer pour les ménages vulnérables. Enfin, les résidus des substrats peuvent également être récupérés et recyclés en tant qu'engrais biologique ou à d'autres fins.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1) Bordiean, A.; Krzyżaniak, M.; Aljewicz, M.; Stolarski, M.J., (**2022).** Influence of Different Diets on Growth and Nutritional Composition of Yellow

Mealworm. *Foods* **2022**, *11*(19),3075; MDPI,**https://doi.org/10.3390/foods11193075**.https://www.mdpi.com/2304-8158/11/19/3075.

2) Decary Raymond, (1937). L'entomophagie chez les indigènes de Madagascar. In: Bulletin de la Société entomologique de France, volume 42 (11),1937. pp. 168-171;doi:https://doi.org/10.3406/bsef.1937.15160. https://www.persee.fr/doc/bsef_0037-928x_1937_num_42_11_15160. Fichier pdf généré le 18/03/2022 et téléchargé le 02082023.
3) 3. Devilliers W, (2021). Le ver de farine jaune séché autorisé dans l'Union européenne comme aliment. https://www.europe1.fr/societe/le-ver-de-farine-jaune-seche-autorise-dans-lunion-europeenne-comme-aliment-4042906. , Europe 1 avec AFP 18h20, le 04 mai 2021.
4) Dournaud J et .Dournaud J, (1992). Réaliser des petits élevages. Multiguide activités –Bordas, Paris, ISBN2-04-016366-2 Dépôt légal : Mars 1992. P239 : : 65-67. https://excerpts.numilog.com/books/9782307107804.pdf.
5) Dreassi, E. ; Cito, A. ; Zanfini, A. ; Materozzi, L. ; Botta, M. ; Francardi, V., (2017). Les acides gras alimentaires influencent la croissance et la composition en acides gras du ver de farine jaune *Tenebriomolitor* (Coleoptera : Tenebrionidae). *Lipides* **2017**, *52*, 285–294.
6) FAO, Union européenne et Cirad. (2021). Profil des systèmes alimentaires – Madagascar. Activer la transformation durable et inclusive de nos systèmes alimentaires. Rome, Bruxelles et Montpellier, France. https://doi.org/10.4060/cb6861fr.
7) FAO, 2013. Edible insects - future prospects for food and feed security, (2013). FAO Forestry Paper No. 171. E-ISBN 978-92-5-207596-7 (PDF).
8) Fondevila, G., (2022). Productive performance of *Tenebrio molitor*larvae in response to the protein level in the substrate. J. insects as food and feed.9;205-211.
9) Fraenkel G, (1950). The Nutrition of the Mealworm, *Tenebrio molitor L.* (Tenebrionidae, Coleoptera). Physiological Zoology. The University of Chicago Press. Sponsored by the Division of Comparative Physiology and Biochemistry, Society for Integrative and Comparative. Vol. 23, No. 2, pp. 92-108.
10) François Dumont et Dr. Caroline Provost, (2019). Technique de production, diètes et transformation d'insectes comestibles pour l'alimentation humaine et animale, Rapport de recherche Programme canadien d'adaptation agricole PCAA-043 .2019.
11) Hong J, Han T, Kim YY, (2020). Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) as an Alternative Protein Source for Monogastric Animal: A Review. Animals (Basel). Pp 8;10(11):2068. doi: 10.3390/ani10112068. PMID : 33171639 ; PMCID : PMC7695176. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33171639/

12) JMA Sciences & Co, (2020). Cycle de vie du ténébrion. Sciences & techno C3 .https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=LcR. Téléchargé le 13022023.
13) Kirk C. K., Thacker P., Lopez M.A., Calvert C., (2000). Augmentation de la teneur en calcium, des vers de farine (*Tenebriomolitor*) afin d'améliorer leur valeur nutritionnelle pour la minéralisation osseuse des poussins en croissance. Journal of Zoo and WildlifeMedicine 31(4) p 512-517.
14) Institut National de la Statistique (INSTAT) et ICF. (2022). Enquête Démographique et de Santé à Madagascar, 2021. Antananarivo, Madagascar et Rockville, Maryland, USA : INSTAT et ICF.
15) Leclercq J., (1948). Influence des conditions hygrométriques sur les larves, les nymphes et les adultes de *Tenebriomolitor L.* Archives internationales de physiologie., Vol LV. Fase. 4, 1948. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/264543/1/80.pdf Téléchargé le 13022023.
16) Leclercq, J. (1948). Importance des glucides dans la nutrition des larves de *Tenebriomolitor*L. Archives Internationales de Physiologie, 56(1).
17) Leclercq, J. (1948). Influence des conditions hygrométriques sur les larves, les nymphes et les adultes de *Tenebriomolitor* L. *Archives Internationales de Physiologie*, *55*(4).
18) Leclercq J. et Danielle De Bast D., (1965). Projet d'utilisation des larves de Tenebriomolitor pour comparer la valeur nutritive des protéines . Annales de La Nutrition et de l'alimentation 19 (1965): 19–25. http://www.jstor.org/stable/45123363.
19) Noyens, I. ; Schoeters, F. ; Van Peer, M. ; Berrens, S. ; Goossens, S. ; Van Miert, S. Le profil nutritionnel, la teneur en minéraux et l'absorption de métaux lourds du ver de farine jaune élevé avec une supplémentation en cours d'eau secondaires agricoles. Rapports scientifiques 13(1). DOI : 10.1038/s41598-023-38747-w .Licence CC PAR 4.0. https://www.researchgate.net/publication/372445563_The_nutritional_profile_mineral_content_and_heavy_metal.
20) Oonincx, D. G., van Broekhoven, S., van Huis, A., & van Loon, J. J. (2015). Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food ByProducts. PloS one, 10(12).
21) Olguin, M. C., Hisano, N., D'Ottavio, A. E., Zingale, M. I., Revelant, G. C., &Calderari, S. A. (2003). Nutritional and antinutritional aspects of an Argentinian soy flour assessed on weanling rats. *Journal of Food Composition and Analysis*, *16*(4), 441-449.
22) Pracros P., Couranjou C., (1988). Mesure de l'activité des saponines de la luzerne par les larves du ver de farine : *Tenebriomolitor* L. (Coléoptère,

Tenebrionidae). I. – Comparaison avec les résultats de divers tests biologiques. Agronomie, 8 (3), pp.257-263. hal-00885097.

23) Ramos-Elorduy, J.;Gonzalez; E A; Hernandez, A.R: Pino, J. M., (2002). Utilisation de *Tenebriomolitor (*Coleoptera, Tenebrionidae*)* pour recycler les déchets organiques et pour nourrir les poulets de chair. J. Econ. Entomol 2002 ; 95, 214-220.

24) Riekkinen, K. ; Väkeväinen, K. ; Korhonen, J., (2022). L'effet du substrat sur la teneur en nutriments et la composition en acides gras des insectes comestibles. *Insectes* **2022**, *13*, 590.

25) Rumbos, C.I. ; Karapanagiotidis, I.T. ; Mente, E. ; Psofakis, P. ; Athanassiou, C.G., (2020). Évaluation de divers produits pour le développement du ver de farine jaune, Tenebriomolitor. Rapports scientifiques 10(1):11224, juillet 2020, DOI : 10.1038/s41598-020-67363-1, Licence CC PAR. https://www.researchgate.net/publication/342769183_Evaluation_of_various_commodities_for_the_development_of_the_yellow_mealworm_Tenebrio_molitor.

26) Razafiarisoa B, (2001). Enquête sur la Carence en Vitamine A chez les Femmes et les Enfants et Enquête sur l'Anémie chez les Ecoliers de 6 à 14 Ans. MOST, USAID Micronutriment Program. 2004.

27) Ravzanaadii N., Seong-HyunK.., Choi W.H., Hong S. J. et Kim N. J, (2012). Valeur nutritionnelle du ver de farine, Tenebriomolitor, en tant que source alimentaire. Applied Entomology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-100, Republic of Korea. NT. J. Indust. Entomol. Vol.25, No. 1, 2012, pp.93-98.

28) Valérie J., Tull S., Kerten M., BerhmansR.S. ,Pazt J.A, Susan Paskewitz S.(2019). Teneur en protéines brutes, en acide aminé et en Fer de *Tenebriomolitor (Coleoptera, Tenebriodae)* élevé sur un sous-produit agricole de la production de maïs : une étude exploratoire. Annales of the Entomological of America. Vol 112 p533-543.

29) Van Peer M, Frooninckx L, Coudron C, Berrens S, Álvarez C, Deruytter D, Verheyen G, Van Miert S, (2021). Potential of Using Organic Side Streams as Feed for *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus* and *Locusta migratoria*. Insects. 2021 Sep 5;12(9):796. doi: 10.3390/insects12090796. PMID: 34564236; PMCID: PMC8467494. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34564236/.

30) Van Broekhoven, S.; Oonincx, D.G.; Van Huis, A.; Van Loon, J.J., (2015). Performance et efficacité de conversion alimentaire de trois espèces de vers de farine comestibles (Coleoptera :*Tenebrionidae)* sur des régimes composés de sous-produits organiques. J. InsectPhysiol. *2015, 73, 1-10.*

ANALYSE MULTIDIMENSIONNELLE DE LA DÉGRADATION DES RESSOURCES FORESTIÈRES DU PARC NATIONAL D'ANKARAFANTSIKA DANS L'OPTIQUE DU DIVIDENDE DÉMOGRAPHIQUE

par

[1]Noahery Tahiana RANDRIAMBELOMAHENINA, [2]Claudine RAMIARISON, [2]Rado ANDRIAMIFALIHARIMANANA, [2]Zo Hasina RABEMANANJARA , [3]Holy RANDRIAMANAMPISOA, [4]Fenosoa Andriamasiarivo RANDRIANANTOANDRO,[2]Bruno RAMAMONJISOA,

[1]*Doctorant 3ème année EDGRND, EAD EPRN*

[2]*Professeur à l' ED GRND*

[3]*Professeur à la Faculté EGS*

[4]*Expert en démographie*

RESUME

Le présent article recherche un équilibre entre l'exploitation des opportunités économiques apportées par le dividende démographique et la préservation durable des ressources naturelles aux fins d'un développement local durable. De ce fait, l'analyse multidimensionnelle est faite à travers la modélisation logistique pour prédire la relation entre l'indice de la déforestation et les variables du dividende démographique. A cet effet, un indicateur composite est créé à partir des indicateurs de pression utilisés par le parc national d'Ankarafantsika (PNA). Les données utilisées sont celles du PNA et celles collectées sur terrain. Elles sont significativement semblables. Les résultats ainsi obtenus montrent que la dégradation des ressources forestières est en liaison avec le revenu et l'éducation et de manière implicite avec le niveau de santé de la population. Cependant, l'intervention d'autres facteurs est enregistrée. En effet la migration, le contexte politique, et autres crises socio-sanitaires influent également sur l'évolution de la déforestation.

Mots clés : Dividende démographique, déforestation, santé, éducation, économie,

ABSTRACT

This article attempts to seek a balance between the exploitation of economic opportunities brought by the demographic dividend and the sustainable preservation of natural resources for the purposes of sustainable local development. Therefore, the multidimensional analysis is carried out through logistic modeling. to predict the

relationship between the deforestation index and the demographic dividend variables. For this purpose, a composite indicator is created from the pressure indicators used by the Ankarafantsika National Park (PNA). The data used are those from the PNA and collected in the field. They are significantly similar after verification. The results thus obtained show that the degradation of forest resources is linked to income and education and implicitly with the level of health. However, the intervention of other factors is recorded. Indeed, migration, the political context, and other socio-health crises also influence the evolution of deforestation.

Key words: Demographic dividend, deforestation, health, education, economy

INTRODUCTION

Une étude antérieure[4] a montré que la grande île commence à tirer profit de l'effet du dividende démographique, et ce, l'économie nationale. Cependant, avec un revenu de moins de 2,15$ par jour, le taux de pauvreté est de 75% en 2022, dont 85 % en milieu rural[5]. L'extrême pauvreté à Madagascar liée à la croissance démographique a un effet dévastateur sur l'environnement (Phu Nguyen Van, 2003). La population locale n'est pas toujours consciente de l'importance de la biodiversité qui a besoin d'être préservée, dans un pays reconnu comme étant mégadivers . Actuellement, le pays est en pleine phase de transition démographique caractérisée par une augmentation de l'effectif des tranches d'âge actif. Cette situation entraine l'augmentation de la demande en ressources naturelles pour subvenir à des besoins accrus, engendrant une intensification des pressions et de déforestation et de dégradation du sol. Une telle situation menace les aires protégées qui ont des ressources encore abondantes et là où les terrains sont beaucoup plus fertiles. Malgré les mesures de conservation et de protection menées par Madagascar National Parc (MNP), depuis 2000, les chiffres sont alarmants notamment à Ankarafantsika où l'évolution de la déforestation annuelle est de 3,5% avant 2016 (Brou, 2020). De tout ce qui précède, la question qui se pose est : comment expliquer les effets des facteurs du dividende démographiques dans un cadre développement local durable ? Il s'agit, en fait, de voir si le dividende démographique conditionne la gestion des ressources naturelles. L'objectif visé est la recherche d'un équilibre entre l'exploitation des opportunités économiques apportées par le dividende démographique et la préservation durable des ressources naturelles aux fins d'un développement local durable. De ce fait, l'hypothèse avancée est que le niveau de bien-être de la

[4] Randriambelomahenina N Tahiana et al 2022 , « Madagascar, premier pas vers le dividende démographique », article présenté lors du colloque international de la GRND, en septembre 2022, 17 pages

[5] https://www.banquemondiale.org/fr/country/madagascar/overview, consulté le 06 septembre 2023

population active à savoir le revenu, l'éducation, la santé, détermine la dégradation des ressources naturelles.

MATERIELS ET METHODES

Matériels

La zone d'étude Ankarafantsika , poumon vert de la région Boeny

Si la finalité de la recherche est de proposer un modèle de développement inspiré des avantages offerts par le dividende démographique en intégrant la dimension environnemtale, il est important de choisir une aire protégée riches en ressources biologiques renouvelables, minérales ou pétrolifères non renouvelables. Ces critères sont ceux du Parc National d'Ankarafantsika (PNA) géré par MNP. Selon le classement des aires protégées de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), le Parc National d'Ankarafantsika est classé dans à la catégorie II. Il dispose d'une superficie de 130 026 ha et est situé au Nord-Ouest de Madagascar, il est à cheval sur le district de Marovoay et d'Ambatoboeny. Ce parc, qui constitue l'aire protégée la plus étendue de Madagascar, fait partie des espaces naturels importants, il est considéré comme le « poumon vert » de la région Boeny.

En termes d'occupation, le droit d'utilisation du parc se matérialise aux moyens des instruments des zones d'occupation contrôlée ou ZOC pour les villages à l'intérieur du parc et de zone d'utilisation contrôlée ou ZUC pour les villages à l'extérieur du parc (PNM, 2006). Malgré les différentes actions de conservation et de développement menées par des organismes nationaux et internationaux, le PNA est menacé par les effets néfastes des activités anthropiques. La couverture forestière est passée de 114 000 ha en 1973 en 24 000 ha en 2016 (Brou, 2020). Malgré les 32 points de feu observés en 2019 contre 51 en 2018, les feux de brousse ont détruit 1308 ha au mois de septembre 2019[6].

En 2005, la direction du Parc a commencé à constater que le nombre d'habitants vivant dans les villages riverains du parc a augmenté à cause de l'immigration. La majorité de la population du Parc sont des immigrants provenant des autres Régions. Ils sont majoritairement Betsileo et Antandroy, ils pratiquent des cultures itinérantes (MNP, 2014) et se déplaçent d'un terrain à un autres après 2 à 3 années d'exploitation.

[6] https://www.linfo.re/ocean-indien/madagascar/madagascar-parc-d-ankarafantsika-un-millier-d-hectares-ravages-par-le-feu consulté le 06 novembre 2023.

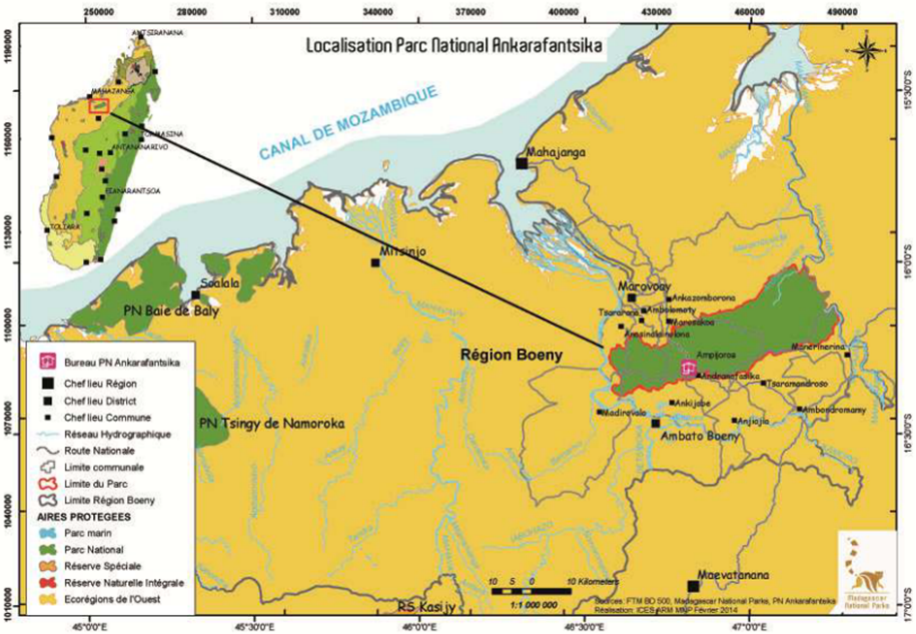


Figure 17 : Localisation du Parc National Ankarafantsika

Source : MNP, Plan d'aménagement et de gestion 2012-2016

Profil démographique d'Ankarafantsika

En termes démographique, environ 37 456 de la zone périphérique du parc sont principalement des agriculteurs. Actuellement, la zone périphérique renferme 133 villages et hameaux. La population est constituée principalement de Sakalava mais elle est aussi marquée par une arrivée massive d'autres ethnies. Cela conduit à l'intensification des pressions anthropiques exercées sur le parc national.

En 2015, selon de décret 2015-730 portant délimitation du parc d'Ankarafantsika, la direction du parc a constaté 14 localisations de population à l'intérieur du parc qui sont appelées Zone d'Occupation Contrôlée (ZOC)[7]. La diversité de l'origine de la population dans ces ZOC rend difficile la collaboration avec la direction du parc.

Le profil démographique de la population des six fokontany à savoir Ambatobevomanga, Betaramahamay, Ambanjabe, Ambarindahy, Marofototra, Ambinanibe, qui constituent la zone d'études La proportion de la population active

[7] La Commune d'Ankijabe ne fait pas partie de la ZOC mais elle est proche du parc dans la partie sud ce qui implique la participation de sa population aux activités à l'encontre de l'aire protégée alors que cette dernière n'est pas considérée.

située entre les tranches d'âge de 15 à 59 ans est de 56%, 54% pour l'ensemble de la population nationale en 2018.

Comparativement en termes de taux de dépendance, la structure de la population d'études, à l'image de la population nationale, celle d'Ankarafantsika est de 76,27% contre 77,06% au niveau national.

Charge d'un individu en âge de travailler

Le ratio de dépendance démographique s'obtient par le rapport entre le nombre de population de moins de 15 ans et la population de plus de 60 ans appelée population dépendante constituée et la population en âge de travailler. En 2018, sur l'ensemble de la population, le taux de dépendance démographique est de 84,3% dont 90% en milieu rural et 63,8% en milieu urbain. A Ankarafantsika pour la même année, ce ratio de dépendance démographique s'élève à 82,01% soit moins d'un individu est à la charge d'un individu en âge de travailler[8].

Source de données

La réalisation de ce travail a nécessité l'exploitation des données obtenues lors d'une enquête faite auprès de la population environnante de l'aire protégée d'Ankarafantsika ainsi que les relevés annuels des indicateurs de pressions fournis par le PNA. Ensuite, la projection démographique en 2022 issue des résultats du RGPH-3 a été utilisée pour l'échantillonnage. Il s'agit notamment du nombre d'habitants et le nombre de ménages correspondant par Fokontany.

Méthodes

Méthodologie de collecte d'analyse de données

Une collecte des données réelles à partir d'enquêtes menées auprès des ménages de la population riveraine du parc a été effectuée au mois de mars. Les réponses aux questions posées ont donné des variables dichotomiques comportant uniquement deux types d'observations : oui ou non. A l'issue des réponses obtenues un indice composite qui se rapporte directement à la dégradation des ressources forestières a été créé. De ce fait, une approche économétrique a été appliquée dans le but d'avoir une explication sur chaque variable qualitative portant sur la dégradation des ressources naturelles. Dans ce cadre, le nouvel indice composite devait servir de variable endogène ou variable à expliquer par la suite dans une modélisation logistique multinomiale. Afin d'expliquer l'effet du dividende démographique sur le développement local et la gestion des ressources naturelles, les variables indépendantes ont été introduites dans le modèle de manière progressive.

[8] L'ensemble de la population active et la population inactive

Echantillonnage

Pour atteindre l'objectif de recherche , des enquêtes ont été menées auprès d'un échantillon constitué par une zone qualifiée à risque en termes de biodiversité. Il s'agit d'une part de données sociodémographiques et d'autre part, de données sur les activités économiques et environnementales de la population cible c'est-à-dire celle qui exerce des activités ayant des impacts directs ou indirects sur le PNA. Ces données ont permis de voir de manière détaillée en temps réel les informations descriptives des variables principales utilisées dans le concept du dividende démographique et les variables associées au comportement des individus sur la perception de l'environnement.

Enquête auprès des ménages d'Ankarafantsika

La population d'étude est composée des ménages vivant dans les 14 Zones d'occupation contrôlée d'Ankarafantsika. L'échantillonnage réalisé par un tirage systématique des ménages au niveau des Fokontany correspondant aux ZOC. La taille de l'échantillon s'élève à 246 individus issus de 148 ménages. Considérant que la population vivant dans les ZOC est relativement homogène par rapport au PNA, le tirage des ménages s'est fait proportionnellement au nombre de ménage dans chaque Fokontany. Ceci correspond ainsi à un échantillon de 10 % des ménages par Fokontany transcrit dans le tableau ci-dessous

Tableau 8: Nombre de ménages par Fokontany dans l'échantillon

DISTRICT	Commune	Fokontany	Nombre d'habitants	Nombre de ménage	Nombre de ménages à enquêter
Marovoay	Anosinalainolona	Ambatobevomanga	1336	267	28
Marovoay	Tsararano	Betaramahamay	1769	354	35
Marovoay	Tsararano	Ambanjabe	775	155	16
Marovoay	Marosakoa	Ambarindahy	496	99	11
Marovoay	Ankazomborona	Marofototra	772	154	15
Ambatoboeny	Manerinerina	Ambinanibe	2258	452	46
		TOTAL	**7406**	**1481**	**148**

Source : Auteur 2023, Base de données de l'INSTAT_MDG 2022

Une fois cette étape achevée, le Chef de ménage a été le premier à être enquêté sur les caractéristiques des ménages, suivis par les trois autres individus membres du ménage âgés de 15 à 59 ans s'il y en avait et s'ils étaient disponibles.

Outil d'analyse des données

Les résultats ont été traités et analysés à partir des outils statistiques tels que les logiciels de traitement de données Cs PRO, XLSTAT 2014, R Studio 4.3.1. Cs PRO a été utilisé pour la saisie des réponses issues des questionnaires remplis. XLSTAT a permis de faire une caractérisation des individus selon leur homogénéité en termes de dégradation forestière. R Studio a été utilisé pour faire le test de cohérence entre les données d'Ankarafantsika et les données d'enquête. Il a aussi permis de faire la modélisation économétrique et le test de robustesse dudit modèle (Barnier, 2023).

Méthodologie d'analyse de données

Création d'une variable liée à la dégradation forestière

Dans le cadre d'une analyse exploratoire, l'analyse multivariée notamment l'Analyse en Composante Principale a constitué l'outil d'analyse utilisé (ACP) (Michela Nardo, 2005). Elle a été utilisée pour la création d'indice composite « dégradation forestière ». Cependant, des conditions doivent être prises en compte , il s'agit de la relation causale des variables lorsqu'elles sont corrélées entre elles. Dans le cas contraire où l'analyse révèle une corrélation négative entre les sous-indicateurs/variables, ces dernières ne pourront pas logiquement composer l'indicateur dans la mesure où leurs effets se neutralisent.

La détermination des principaux facteurs qui seront des composantes doit respecter les conditions suivantes (Michela Nardo, 2005) :

- La valeur propre associée à la variable doit être > 1 ;
- La contribution individuelle de la variable à la variance totale doit être au moins>10% ;
- Le cumul par ordre décroissant des variances des variables doit être au moins > 60%.

Ici, les variables composantes ont les mêmes unités alors, l'étape de normalisation n'est pas nécessaire.

Tableau 9 : Récapitulatif des variables des pressions utilisées

Description	Abréviation de la variable	Unité
Individu pratiquant ou ayant été témoin d'un départ de feu de brousse	Feu_de_ brousse	1=Oui 2=Non
Individu pratiquant ou ayant été témoin d'une coupe illicite	Coupe_illicite	1=Oui 2=Non
Individu pratiquant ou ayant été témoin de défrichement suivi d'incinération	Défrichement	1=Oui 2=Non
Individu pratiquant ou ayant été témoin de la collecte des produits forestiers non ligneux	Collecte_pdt_frst_nl	1=Oui 2=Non
Individu pratiquant ou ayant été témoin de la carbonisation	Carbonisation	1=Oui 2=Non

Source : Auteur 2023

Indice Composite de Déforestation

L'idée de base est de compacter toutes les informations apportées par la carbonisation, la coupe illicite, le défrichement suivi d'incinération, les feux de bois, la collecte des produits forestiers non ligneux pour donner naissance à un nouvel indice appelé indice composite de la dégradation forestière (*ICDF*) qui est donnée par la formule suivante :

$$ICDF_i = \sum_{j=1}^{k} y_j I_{ij}$$

i=indice de l'individu i

I_{ij} = Valeur de l'indicateur j pour l'individu i

y_j = Poids de l'indicateur j, ils sont donnés après mise en œuvre de l'Analyse en Composante principale (ACP) sur les variables d'agrégation. Ils sont obtenus à partir des valeurs propres de chaque variable sur l'axe factoriel qui détient le plus d'information.

L'indice composite ainsi créé constitue la nouvelle variable de déforestation.

Mesure de la qualité de l'agrégation

Lors d'une constitution de nouvel indice composite, il est nécessaire d'apprécier la qualité de l'agrégation. A ce titre, le coefficient Alpha de Cronbach [9] est un indicateur qui mesure le degré de corrélation entre chaque variable d'un questionnaire et l'agrégation de tous les éléments. Autrement dit, les variables composantes doivent être corrélées entre elles. Cela nécessite par la suite l'appréciation des coefficients de corrélation entre les variables composantes. Ils sont donnés par la matrice de corrélation[10]. Un coefficient de corrélation est un nombre compris entre -1 et 1. Plus il est proche de un, plus il y a une corrélation positive entre les variables. Inversement, plus il est proche de -1, plus il y a une corrélation négative entre les variables, et si le coefficient égale 0 alors il y a inexistence de corrélation.

La formule d'Alpha de Cronbach est la suivante (Moussa, 2008):

$$\alpha = \left(\frac{k}{(k-1)}\right)\left(1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{k}\sigma_i^2}{\sigma_T^2}\right)\right)$$

soit

$$\alpha = \frac{k\bar{r}}{1 - \overline{r}\,(k-1)}$$

k=le nombre d'items composant l'échelle

σ_i^2=Variance de i^{ème} item avec i= 1,2,….,k

σ_T^2= Variance de toute l'échelle

$\bar{r}$= Moyenne de la corrélation entre les items ou iter correlation moyenne

Le coefficient Alpha de Crowbach permet d'apprécier la fiabilité des questions posées. Il varie entre 0 et 1. Une valeur proche de 1 indique une meilleure cohérence interne entre les questions posées.

Caractérisation des individus selon le niveau de pression effectuée sur la forêt

Cette étape aboutit à la création de classes d'individus composant l'échantillon à intensité hiérarchisée en termes de dégradation des ressources naturelles, les classes

[9] Le coefficient alpha de Cronbach est une statistique utilisée pour mesurer la cohérence interne (ou la fiabilité) des questions posées dans un questionnaire.

[10] La matrice des corrélations est la matrice des coefficients de corrélation statistiques (Coefficient de Pearson) calculés sur plusieurs variables prises deux à deux. La matrice est symétrique, sa trace est égale au nombre de variables.

représentent, alors, les différentes catégories d'individus suivant l'ICDF. La méthode scientifique utilisée est la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) qui propose automatiquement le nombre de classes selon le nombre d'homogénéité des caractéristiques des individus. Les classes ainsi constituées sont des sous-ensembles cohérents des modalités selon leur ressemblance qui vont constituer les différentes valeurs prises de la variable créée. A chaque individu est associé à un ICDF qui prend une valeur entre 0 et 1. Plus l'indice est relativement proche de 0, cela signifie que l'individu en question exerce moins de pressions sur la forêt. Cependant, plus il est proche de 1, plus l'individu est dévastateur de la forêt.

Modélisation logistique multinomiale de l'ICDF

Suivant les résultats de la CAH, Sous prétexte, que la variable dépendante représente la dégradation forestière, elle dispose d'observations catégorielles non ordonnées, le nombre de classe à trois est fixé pour qu'on puisse avoir des niveaux significativement différents alors, le modèle logit multinomial est utilisé (Bourbonnais, 2018) pour expliquer le comportement de l'individu en termes de déforestation suivant les variables explicatives choisies. Le modèle indique l'appartenance de l'individu à une classe donnée. Dans une modélisation logistique multinomiale, une classe doit être identifiée. Elle sert de référence pour interpréter l'effet des autres classes par rapport à cette référence. Soit le modèle linéaire général ci-après

$$y_i = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i x_{\mathrm{i}} + \varepsilon_{\mathrm{i}}$$

Cependant ce modèle ne s'applique pas lorsque la variable explicative dispose de plusieurs observations ordonnées. A cet effet, l'on introduit une variable latente non observable y_i^*.

Ainsi, le modèle de régression logistique ordinale se formule comme suit :

$$y_i^* = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i x_{\mathrm{i}} + \varepsilon_{\mathrm{i}}$$

y_i^* : Variable à expliquer multinomiale qui prend trois modalités qualifiée « faible » ou « moyenne » ou « forte ». Cela caractérise le comportement de l'individu i en termes de déforestation. Chaque valeur est définie lors de la classification des observations de la variable y_i^*.

i : 1,……..n, n le nombre d'observation ;

x_i: Variable explicative de l'individu i ;

a_0 et a_i : Sont des paramètres à estimer ;

ε_1 : Erreur de spécification du modèle

La valeur prise par y_i correspond à des intervalles dans lesquels se trouve y_i^*

- y_i= « Faible » si $y_i^* < c_1$
- y_i= « Moyenne » $c_1 < y_i^* < c_2$
- y_i= « Forte » si $c_2 < y_i^*$

c_1 et c_2 sont des coefficients proposés par le modèle.

Variables du dividende, variables explicatives

La démarche consiste à expliquer la variable endogène (variable à expliquer ou la variable à prédire) qui est la dégradation forestière représentée par l'Indice Composite de Dégradation Forestière ($ICDF_i$) à partir des variables explicatives liées aux facteurs socio démographiques et culturels, aux piliers du dividende démographique. Ces dernières sont : le sexe, l'age, le nombre d'enfant à charge (Nbr_enf), le statut de migration (Stat_migrat), le niveau d'éducation (Niv_educ), la santé (sante), le fait d'avoir du travail ou non (travail), le niveau de revenu (rev).

Tableau 10 : Variables retenues pour la modélisation logistique

Variable	**Hypothèse**	**Signe du coefficient attendu[11]**
Sexe	Les activités de dégradation forestière dépendent du sexe de l'individu	$a_{sexe} > 0$
Age	Plus l'âge augmente, moins l'individu exerce des pressions	$a_{age} > 0$
Nbr_enf	Le nombre d'enfant à charge est corrélé positivement avec la pression exercée	$a_{Nbr\_enf} > 0$
Stat_migrat	Les résidents exercent moins de pression	$a_{Stat\_migrat} > 0$
Niv_educ	Plus l'individu est éduqué, moins il exerce de pression	$a_{Niv\_educ} < 0$
Sante	L'état de santé a des influences sur les activités de dégradation forestière	$a_{sante} > 0$
Travail	le fait d'avoir un travail réduit les pressions exercées sur la forêt	$a_{travail} < 0$
Rev	Plus le revenu augmente, moins les pressions exercées sur la forêt sont importantes	$a_{rev} < 0$

[11] Seuil de signification : 0,001 ; 0,01 ; 0,05 ; 0,1 ; Ns: non significatif

Source : Auteur 2023

L'introduction des variables explicatives dans le modèle influence les résultats de celui-ci. Alors, quatre scenariis seront présentés à titre de résultats : les trois premiers présentent successivement l'effet de la dimension économie, l'économie combinée avec l'éducation, l'économie avec l'éducation et la santé (Ralidera Onisoa, 2018). Le dernier scenario prend en compte toutes ces dimensions ajoutées de la dimension socio démographique.

Les résultats du modèle sont composés des coefficients, des Odds ratio[12] associés à des p-value présentées sous forme de significativité. L'odds ratio est significatif par rapport à la modalité de référence lorsqu'il est différent de 1. L'odds ratio inférieur à 1 est associé à des modalités qui diminuent relativement la chance de la modalité de la variable en question par rapport à la modalité de référence tandis que celui supérieur à 1 a des modalités qui augmentent la chance de la modalité de la variable, relativement, à la modalité de référence.

Mesure de la robustesse de la modélisation

La qualité de la modélisation est appréciée par la matrice de confusion à partir de laquelle sont calculés des métriques. Une matrice de confusion confronte les valeurs de Y* sur l'échantillon et les valeurs prédites par le modèle. Alors, elle est sous forme de tableau croisé qui comporte en colonne les classes réelles et en ligne les prédictions élaborées par le modèle pour chaque classe.

Ci-dessous, une forme standard de matrice de confusion (Zebaze, 2022)

Tableau 11 : Modèle de matrice de confusion à trois classes

		Réalité		
		Classe A	Classe B	Classe C
Prédiction	Classe A	Vrais Positifs (VPA)	Faux Positifs(FPB)	Faux Positifs(FPA)
	Classe B	Faux Négatifs (FNA)	Vrais Positifs (VPB)	Faux Positifs(FPB)
	Classe C	Faux Négatifs (FNA)	Faux Négatifs (FNB)	Vrais Positifs (VPC)

[12] L'odds ratio (OR), également appelé rapport des chances. Il permet de mesurer l'effet d'un facteur

Ce tableau permet de calculer des métriques d'évaluation de la qualité du modèle notamment le taux d'erreur, l'exactitude et la précision. Elles sont données respectivement par les formules suivantes :

$$\text{Précision} = \frac{Vrais\ positifs}{Faux\ positifs + Vrais\ positifs}$$

La précision mesure la proportion d'observations correctement prédites comme positives parmi les observations prédites positives.

$$\text{Accuracy ou Exactitude} = \frac{Vrais\ positifs + vrais\ negatifs}{Total}$$

L'exactitude apprécie la proportion d'observations correctement prédites sur l'ensemble des observations.

Test de cohérence entre les données d'Ankarafantsika et les données d'enquête

La vérification de la cohérence des données collectées sur terrain avec les relevés périodiques de ces indicateurs de pressions par le PNA s'avère nécessaire. A ce titre, un test des moyennes sera effectué en utilisant le test de Student entre les variables en question sur une même période. Etant donné que l'enquête sur terrain a eu lieu en fin mars 2023 et que les réponses attendues sur le questionnaire concernent les actes de dégradation durant les douze derniers mois, alors, les données de l'année 2022 fournies par le PNA pourraient être utilisées comme objet de comparaison en termes de différence significative.

RESULTATS

Détermination empirique des facteurs de la dégradation forestière

Indice composite de dégradation forestière (ICDF)

L'examen des valeurs propres du résultat de l'ACP montre que 64,55% des informations sont contenues dans le premier axe d'inertie F1 contre 13,85% pour l'axe F2. L'ensemble des deux axes renferme 78,40% des informations, les résultats ainsi obtenus sont significatifs et interprétables. Cela signifie que le premier axe factoriel peut être assimilé à un axe de dégradation forestière globale (Kassim, 2011).

L'analyse des liens entres les sous indicateurs se décèle sur les valeurs propres. Les valeurs propres des variables composantes ou les sous indicateurs sur ce premier axe constituent les coefficients pour la création d'un indice composite dénommé « Indice Composite de Dégradation Forestière ou ICDF ».

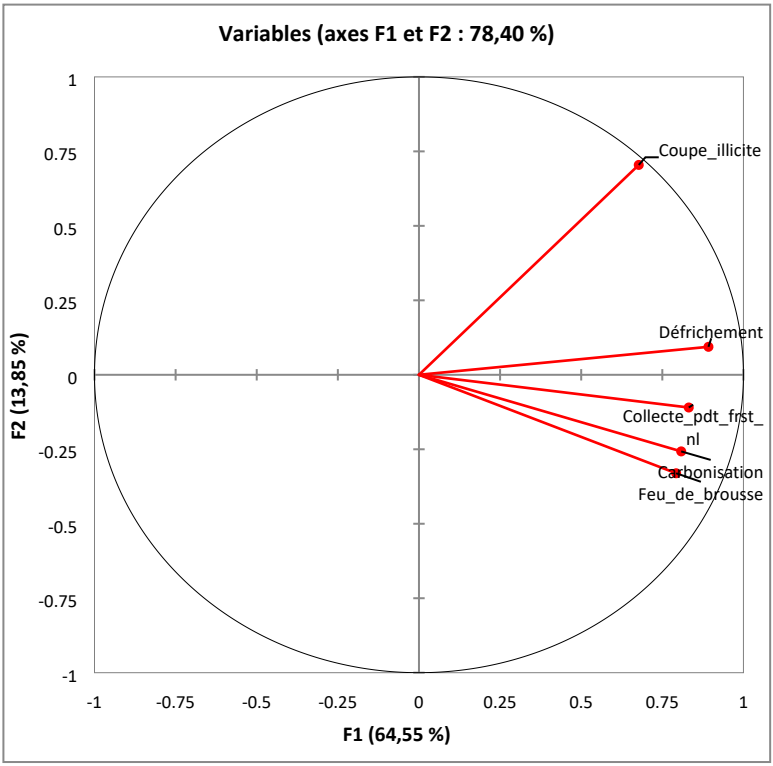


Figure 18 : Création de la variable dégradation forestière

Source ; Auteur 2023

D'après ce graphique, il est évident que les cinq sous indicateurs sont positivement corrélés les uns avec les autres. Ils sont tous pris en compte dans la création de l'ICDF. En effet, la corrélation entre eux est une condition principale pour sélectionner les variables qui vont constituer le nouvel indice.

Tableau 5 : Matrice de corrélation entre les variables de la dégradation forestière

Variables	Feu_de_brousse	Coupe_illicite	Défrichement	Collecte_pdt_frst_nl	Carbonisation
Feu_de_brousse	**1**	**0,374**	**0,611**	**0,594**	**0,592**
Coupe_illicite	**0,374**	**1**	**0,595**	**0,448**	**0,397**
Défrichement	**0,611**	**0,595**	**1**	**0,690**	**0,659**
Collecte_pdt_frst_nl	**0,594**	**0,448**	**0,690**	**1**	**0,579**
Carbonisation	**0,592**	**0,397**	**0,659**	**0,579**	**1**

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

Source : Auteur 2023

Le coefficient de corrélation entre le feu de brousse, le défrichement, la collecte des produits forestiers non ligneux et la carbonisation sont tous au-dessus de 50%. Seuls les coefficients de corrélation entre le feu de brousse et coupe illicite, ainsi que la coupe illicite et la carbonisation sont légèrement inférieurs à 40%. Les corrélations entre le défrichement et la collecte des produits forestiers non ligneux et la carbonisation sont les plus élevées, elles frôlent les 70%.

Classification des individus selon l'ICDF

Une fois l'ICDF (Indice Composite de Dégradation Forestière) créé, les individus sont classés suivant leur ressemblance. Ainsi, trois classes bien distinctes ont été créées.

Tableau 6 : Moyenne pondérées des observations de chaque classe

Classe	ICDF
1	0,866
2	0,000
3	0,256

Source : Auteur 2023

La première classe contient les individus qui exercent tous de fortes pressions sur la forêt. Ils représentent 57% de la population. La deuxième classe est composée d'individus qui pratiquent d'autres activités hormis l'exploitation forestière. Ils constituent 17% de l'ensemble de la population. La troisième classe regroupe les individus qui s'adaptent par rapport à la politique de préservation et de gestion de l'aire protégée. En effet, ils sont modérés par rapport à la dégradation forestière et représentent au total 27% de l'ensemble des individus.

Appréciation de la validité des données et qualité de l'agrégation

Afin d'apprécier leur qualité, un test des moyennes a été fait en comparaison avec les données du PNA des mêmes variables de pressions humaines en 2022. Les résultats sont les suivants :

t = -2.4668, degré de liberté = 6.4064, p-value = 0.04615

Par conséquent, il peut être déduit qu'à un seuil de confiance de 95%, l'hypothèse nulle est rejetée alors, il n'y a pas de différence significative entre les données d'Ankarafantsika provenant du MNP et les données de l'enquête. En ce qui concerne la mesure de la qualité de l'agrégation, le résultat affiche que le coefficient Alpha de

Cronbach à partir des variables qui ont servi la création de l'ICDF est de 0,9828 ce qui est très proche de 1 alors il peut être conclu que les variables mesurent les mêmes phénomènes et elles sont cohérentes entre elles. Ainsi, la création de l'ICDF est bien fondée scientifiquement.

Facteurs explicatifs de la dégradation forestière suivant les piliers du dividende démographique

Les résultats de la régression logistique des facteurs de la dégradation forestière sont subdivisés en quatre scénarii selon l'introduction des variables clés relatives au dividende démographique.

Scenario_1 : Il donne l'impact de la dimension économique sur l'ICDF. Cette dimension économique est représentée par la variable revenu et la variable travail reflétant la situation de travail de l'individu. A un seuil de signification de 1‰, il apparait que les personnes adoptant un comportement respectueux de la forêt et disposant d'un niveau de revenu de plus de 5000 Ariary ont 84,1% fois moins de chance d'exercer des activités conduisant à la dégradation forestière. Alors, plus le revenu diminue, plus les individus exercent moins de pressions soit 1,83 fois de moins que les individus ayant un revenu de moins de 5000 ariary. Cependant, dès qu'un individu a un travail, avec un seuil de signification de 1%, il y a des chances relativement fortes (38,4%) qu'il fasse des pressions humaines modérées par rapport à un individu sans travail aussi, pour une augmentation d'une unité du nombre de travailleur, la dégradation forestière augmente de 0,324 unité.

Scenario_2 : Il combine l'effet de la dimension économie et éducation en même temps à l'explication de la dégradation forestière. Dans ce cas, la situation change au moment où l'éducation des individus est prise en compte. En effet, au seuil de signification de 5%, les individus qui reçoivent un revenu de plus de 5000 Ariary exercent de fortes pressions sur la forêt avec 193,5% de chances par rapport à ceux qui ont moins de 5000 Ariary. De la même manière, avec un seuil de signification de 1%, ceux qui ont un travail ont 76,8% de chance de le faire par rapport aux chômeurs. Cependant, au seuil de signification de 1 ‰, il ressort que le groupe de population ayant un niveau d'éducation secondaire et plus il est plus respectueux par rapport à celui qui a un niveau primaire à l'égard de l'environnement naturel avec 5% de chance en moins. Mais ceux qui ont un travail restent un facteur moyen de la dégradation forestière avec 89,4 % de chance.

Scenario_3 : Ce scenario met en relation la dimension économie, l'éducation et la santé à l'explication de l'évolution de l'ICDF. Les résultats de la régression logistique montrent qu'à un seuil de signification de 1%, le fait d'avoir un niveau d'éducation secondaire et au-delà et celui d'avoir un travail restent significatifs vis-à-vis de la forte dégradation de l'environnement, mais de manière inverse avec respectivement moins de 83,1% et 96,4%. Une augmentation d'une unité de nombre de travailleurs entraine une augmentation de 0,675 unité de l'ICDF. Par ailleurs, à un seuil de signification de 1%, l'utilisation de la planification familiale a moins de chance de l'ordre de 71,7% par rapport à l'abstention sur la pratique de déforestation. Il est mis en évidence que plus les individus utilisent la méthode contraceptive, moins ils pratiquent des activités ayant des impacts importants sur la forêt.

Scenario_4 : Ce scenario prend en compte l'aspect économique, éducatif, sanitaire et démographique de la population comme variables explicatives de l'ICDF. A un seuil de signification de 10%, les individus ont des comportements différents selon l'âge. En effet, les personnes âgées de 45 à 60 ans sont les moins actives en termes d'ICDF contrairement aux jeunes âgés de moins de 18 ans avec 4,805 fois de chance plus élevée d'exercer une forte pression sur les forêts. En considérant les caractères socio démographiques, à un seuil de signification de 1‰, les individus ayant plus de quatre enfants ont moins de chance que ceux qui n'ont pas d'enfant en termes de destruction excessive de la forêt. De surcroit le niveau de revenu de plus de 5000 Ariary impacte positivement de manière forte l'ICDF avec 4,377 fois plus élevé que ceux qui reçoivent moins de 5000 ariary et de manière modérée avec 5,5 fois plus élevé. Le niveau d'éducation et l'utilisation des méthodes contraceptives modernes gardent leur association positive constatée au scenario 3 de manière inverse envers l'ICDF. Le statut de migrant n'a pas d'effet significatif sur l'ICDF.

Tableau 7 : Résultats de la modélisation logistique sur les facteurs de dégradation forestière à Ankarafantsika

	Variable explicative	Scenario_1 Coef	OR	Signif	Scenario_2 Coef	OR	Signif	Scenario_3 Coef	OR	Signif	Scenario_4 Coef	OR	Signif
Forte	(Intercept)	-0.029	0,971	ns	0.569	1,768	**	0.676	1,964	**	0.685	1,984	ns
	Age (réf : Age_45 à 60ans)												
	Age_35 à 45ans										1.237	3,445	ns
	Age_Moins de 18ans										1.659	4,805	***
	Age_Plus de 45ans										-0.068	0,934	ns
	Sexe (réf : Sexe_Femme)												
	Sexe_Homme										0.882	2,415	ns
	Nombre d'enfant à charge (réf : Pas d'enfant)												
	Nbr_d'enfant _Quatre enfants et plus										-3.284	0,037	***
	Nbr_d'enfant _un à trois enfants										-1.169	0,311	ns
	Statut de migration (réf : Stat_migration_Migrant_permanent)												
	Stat_migration_Résident										0.678	1,970	ns
	Revenu (réf : Revenu moins de 5000 ariary)												
	Revenu_Plus de 5000	-0.080	0,922	ns	1.076	2,935	*	0.816	2,262	ns	1.476	4,377	*
	Travail (réf : (Travail non)												
	Travail_Oui	-0.029	0,971	ns	0.569	1,768	**	0.675	1,964	**	0.685	1,984	ns
	Niveau d'éducation (réf : Niveau_éduc_Primaire)												
	Niveau_éduc_Sécondaire et plus				-	0,095	***	-1.778	0,169	**	-2.166	0,115	**

	Variable explicative	Scenario_1 Coef	OR	Signif	Scenario_2 Coef	OR	Signif	Scenario_3 Coef	OR	Signif	Scenario_4 Coef	OR	Signif
					2.356								
	Santé (réf : Santé_sain)												
	Sante_Malade							-0.135	0,873	ns	0.499	1,648	ns
	Utilisation Planification familiale (réf : Utilise_PF_Non)												
	Utilise_PF_Oui							-1.261	0,283	**	-1.511	0,221	**
Moyenne	(Intercept)	0.324	1,384	**	1.062	2,894	***	0.828	2,288	***	1.039	2,829	*
	Age (réf : Age_45 à 60ans)												
	Age_35 Ã 45ans										0.122	1,130	ns
	Age_Moins de 18ans										2.312	5,348	***
	Age_Plus de 45ans										-0.000	0,999	ns
	Sexe (réf : Sexe_Femme)												
	Sexe _Homme										0.545	1,724	ns
	Nombre d'enfant à charge (réf : Pas d'enfant)												
	Nbr_d'enfant _Quatre enfants et plus										-1.702	0,182	ns
	Nbr_d'enfant_un à trois enfants										-0.198	0,820	ns
	Statut de migration (réf : Stat_migration_Migrant_permanent)												
	Stat_migration_resident										0.044	1,046	ns
	Revenu (réf : Revenu moins de 5000 ariary)												

Variable explicative	Scenario_1			Scenario_2			Scenario_3			Scenario_4		
	Coef	OR	Signif	Coef	OR	Signif	Coef	OR	Signif	Coef	OR	Signif
Revenu Plus de 5000	-1.838	0,159	***	8.191	1,225	ns	1.781	6,586	ns	2.176	5,500	***
Travail (réf : (Travail non)												
Travail Oui	0.324	1,384	**	1.062	1,894	***	0.827	2,288	***	1.039	2,829	*
Niveau d'éducation (réf : Niveau_éduc_Primaire)												
Niveau_éduc_Sécondaire et plus				-3.506	0,000	ns	-1.454	0,000	ns	-5.869	0,000	***
Santé (réf : Santé_sain)												
Sante_Malade							0.702	2,020	ns	0.980	2,666	ns
Utilisation Planification familiale (réf : Utilise_PF_Non)												
Utilise_PF_Oui							0.797	2,221	ns	0.745	2,107	ns

Source : Auteur 2023

Note : *Nombre d'observations : 246*
Coef : Coefficient *OR : Odds ratio* *Signif : Significativité*
p-value: (***) <0,001 Très significatif
(**)<0,01 Significatif
(*)<0,05 Assez significatif
(.)< 0,1 Légèrement significatif
ns: non significatif
Réf : Modalité de référence pour chaque variable

Mesure de la qualité de la régression

La précision du modèle s'améliore au fur et à mesure que l'on introduit des variables supplémentaires. Elle s'élève à 76,9% pour le scenario 1 ce qui signifie que 76,9 % des observations correctement positives sont parmi les observations prédites positives. Cette valeur atteint les 85,2% pour le scenario 4. Les valeurs de l'exactitude ou accuracy augmentent inversement que les taux d'erreur. Il est de l'ordre de 71,4% pour le scenario 4 ce qui signifie que 71,4% des observations sont correctement prédites sur l'ensemble des observations. Toutes les métriques relatives à chaque scenario sont résumées par le tableau suivant.

	Scenario_1	**Scenario_2**	**Scenario_3**	**Scenario_4**
Accuracy	48,6%	63,2%	64,9%	71,4%
Précision	76,9%	77,0%	84,5%	85,2%

Tableau 8 : Exactitude et précision du modèle pour tous les scenarios

Source : Auteur 2023

DISCUSSIONS

Pauvreté monétaire et agriculture, au centre des facteurs de la dégradation forestière

Dans un pays à faible densité de population et à faible niveau de revenu, la forêt constitue la principale source des besoins de la population notamment en matière de matériaux de construction, et d'autres produits forestiers comestibles (Panayotou, 1993). A Ankarafantsika, parmi les individus qui exploitent la forêt mais de façon modérée figure ceux qui perçoivent un revenu de plus de 5000 Ariary. Plus leur revenu augmente, moins elle se détache de la forêt (scenario_1). En effet, dans une optique de revenu, il semble que les individus n'ont pas d'autres alternatives que d'exploiter la forêt pour gagner leur vie. Cette situation semble à l'encontre de la courbe de Kuznets sous forme de U renversée qui a montré une corrélation positive entre le revenu et la déforestation jusqu'à un point de retournement (Phu Nguyen Van, 2003). Cependant, pour le cas du scenario_2 et le scenario_4, cette logique est inversée et la courbe environnementale de Kuznets se vérifie. C'est-à-dire, lorsque le niveau de revenu est associé respectivement avec l'augmentation du niveau de l'éducation et les caractéristiques sociodémographiques de la population, sa liaison avec la forte dégradation forestière devient positive. En effet, au début, la population se contente d'abord de satisfaire ses besoins primaires (Jubert, 2012) avant de se préoccuper d'autres problèmes. La courbe de Kuznets vérifie cette tendance jusqu'à

un seuil de revenu[13] à partir duquel la population se soucie de la protection de l'environnement naturel.

La pauvreté monétaire est l'une des principales causes de la déforestation dans un pays en voie de développement. Avec un taux d'employabilité de 95,9%, la population à Ankarafantsika reçoit un salaire moyen de 3470 Ariary par jour, une somme largement inférieure au seuil de pauvreté de 2,15 $ par jour fixé par la banque mondiale[14].La population est obligée de subvenir davantage aux besoins de leur famille tels que les besoins de subsistance, l'amélioration de la santé et le niveau d'éducation des membres de chaque famille. Aussi, plus d'un quart des individus n'ont pas d'emplois formels ce qui les obligent à continuer à exploiter de manière intensive la forêt du PNA. A cet effet, la surface forestière est convertie en terrain agricole (Payet, 2023). Cela est amplifié par la croissance démographique alors que les ressources disponibles se raréfient (Malthus, 798). De plus, malgré un constat de diminution des ressources naturelles, la population locale profite de l'insuffisance de la présence de l'administration forestière pour pousser davantage l'exploitation forestière. Cependant les forêts qui constituent un écosystème fragile sont utilisées par la population qui y collectent des produits forestiers et des bois et chassent sans se soucier de la régénération. Cette situation s'amplifie continuellement avec les activités des 91,1% des habitants dans les ZOC du PNA qui sont des agriculteurs.

La population est reconnue comme l'un des principaux facteurs à l'origine de la dégradation de l'environnement. C'est dans le même sens que les chercheurs de l'IRD ont conclu en 2020 que l'homme a transformé 77% des terres de la planète ont été pour son usage[15]. Par ailleurs, la population en augmentation croissante présente des besoins en alimentation très importants. Ceci requiert la disponibilité en terres arables pour les activités agricoles. L'étude de la FAO a montré que la densité de la population et le taux de croissance de la population sont des facteurs qui interagissent au détriment de la surface forestière (Phu Nguyen Van, 2003). Ainsi, l'ICDF composé principalement par les activités de défrichement, des feux de brousse, et de coupe illicite peut expliquer la progression des terres agricoles au détriment des surfaces des aires protégées.

En outre, le nombre d'enfants à charge de l'ordre de plus de quatre donne des effets inverses à l'évolution de l'ICDF (scenario 4) puisque, dans une telle situation,

[13] Point de retournement au-délà du quel, la croissance économique s'accompagne à l'amélioration des conditions environnementales.

[14] https://www.banquemondiale.org/fr/news/factsheet/2022/05/02/fact-sheet-an-adjustment-to-global-poverty-lines consulté le 19 décembre 2023.

[15] https://www.ird.fr/projet-changements-daffectation-des-terres-et-maladies-infectieuses-madagascar consulté janvier 2024

l'individu en question devrait avoir plus de 18 ans voire même au-delà de 45 ans. Ce qui explique leur faible participation aux activités liées à la forêt.

Education, clé de l'économie durable

Yesufu (2000) a montré que l'éducation aide à fournir le capital humain, c'est un outil important pour la réduction de pauvreté et faire prévaloir l'équité et la justice sociale. Barro et Lee (2010) affirment qu'il y a une correspondance entre l'éducation et la croissance économique basée sur le développement du capital humain. Dans notre étude de cas à Ankarafantsika, les trois scenarii qui intègrent l'éducation comme variables explicatives montrent tous nettement un lien négatif entre le niveau d'éducation de secondaire et l'évolution de l'ICDF, en effet, l'individu qui a un niveau d'éducation secondaire et plus devrait être conscient de l'importance de l'environnement naturel c'est qui n'est pas le cas relativement pour celui qui a niveaux primaires. Néanmoins, seulement 20% de population vivant dans le PNA ont reçu avec succès une éducation de niveau secondaire et plus. Parmi la population âgée de 15 à 45 ans, 89 % ont de niveau primaire contre 78 % pour les plus de 45 ans. Ces chiffres montrent une grande majorité des facteurs destructeurs des espaces forestiers dans le PNA.

En plus, les individus ayant un niveau d'éducation assez élevé devraient s'impliquer dans la protection de l'environnement à travers les associations. Cependant, seulement 20% de la population ont de niveau secondaire et plus. Parmi eux, 65 % ne sont pas affiliés à l'association de la protection de l'environnement qui est présente sur place.

Par ailleurs, le niveau d'instruction des femmes est un déterminant important en matière de conditions de vie des ménages et du comportement en matière de santé (INSTAT, Enquête sur les Indicateurs du Paludisme, 2016). Dans le milieu rural, la proportion des femmes sans niveau d'instruction s'élève à 21%. A Ankarafantsika, respectivement 40% des individus qui ont un niveau primaire et 41% du niveau secondaire et plus sont des femmes. Ces statistiques sont relativement faibles expliquant le niveau de santé des membres du ménage.

Le bien être amélioré réduit l'exploitation forestière

A Ankarafantsika, les individus instruits ayant un revenu relativement élevé sont plus sensibles aux méthodes de planification familiale modernes diffusées au niveau des centres de santé dans le but de gérer leur fécondité et améliorer ainsi les conditions de vie de leur famille. En effet, 63% des individus ayant un niveau secondaire et 61% des individus recevant un revenu de plus de 5000 ariary utilisent des méthodes de planification familiale. Bongaarts (2003), et Doliger (2004) disaient en effet, que le niveau d'instruction de la femme est un prédicteur du niveau

général de la fécondité dans les pays en développement. La hausse du niveau de l'éducation réduit le nombre d'enfants des couples. Ce qui implique une diminution des charges fixes du ménage permettant à l'ensemble de la famille d'avoir un niveau de bien être amélioré. Amartya Sen (2003) partage le même avis en préconisant le rôle important de l'éducation surtout celle des femmes en particulier sur le développement humain. Elle est un élément clé pour obtenir un emploi et de réduire la natalité et la mortalité donc de favoriser la santé et la sécurité humaine dans son ensemble. Cependant, la diminution de la natalité suivie de celle de la mortalité contribue à l'avancée du processus de transition démographique. Certes, la relation entre la santé et la déforestation est complexe et multifacette, entrainant des réflexions sur les liens entre la santé communautaire et la dépendance à l'exploitation forestière non durable pour la subsistance (Agnes R. Quisumbing, 2018). Pour le cas d'Ankarafantsika, le test de correspondance entre l'état de santé dans les douze derniers mois et l'ICDF donne une valeur de p-value de 0,059, au seuil de signification de 10%. Ceci explique l'existence d'une liaison entre la santé et la déforestation, malgré le fait que l'on n'ait pas pu vraiment identifier dans quelle mesure. Néanmoins, il ressort de l'étude à Ankarafantsika que les individus qui travaillent dans l'exploitation forestière sont tombés malade au moins une fois dans les 12 derniers mois. La maladie la plus fréquente est notamment le paludisme qui est généralement provoqué par la privation à la source d'eau améliorée et la non utilisation des moustiquaires. En effet, en moyenne à Madagascar, 44% des ménages ont accès à une source d'eau améliorée. Cette proportion est nettement inférieure en milieu rural qui s'élève à 39%. Les hommes sont les plus affectées par la maladie à contrario des femmes.

CONCLUSION

L'analyse de données collectées à Ankarafantsika a permis de voir que l'éducation a des liens avec la dégradation forestière. Elle est la clé de voute pour le développement local pour une bonne gestion des ressources forestière. Généralement, elle contribue à l'amélioration de la santé de la population surtout chez les femmes. Cette dernière joue un rôle important sur l'amélioration du bien-être des membres du ménage. De plus, la population ayant un niveau de revenu relativement élevé malgré leur activité dans le secteur agricole est consciente de l'importance de la conservation de la forêt. Cela montre également une liaison entre le niveau de revenu et la déforestation même si cela varie selon l'optique d'analyse. Il en est de même pour la population qui a un niveau d'éducation secondaire et plus. Par ailleurs, l'utilisation des méthodes de planification familiale montre une liaison négative avec la dégradation des ressources forestières. Cela se réalise chez les individus ayant un niveau d'éducation secondaire et plus. Malgré tout cela, la perte

des espaces forestiers continue à un rythme de 3,5% par an (Brou, 2020). Etant donné que le PNA constitue un réservoir d'eau à travers les six lacs permanents, des rivières et des cours d'eau pour alimenter en aval le district de Marovoay. Ainsi, sans mesure efficace pour la conservation et la gestion du PNA, la plaine de Marovoay n'existe plus. De ce fait, la région Boeny, voir même Madagascar, va perdre une zone rizicole extrêmement importante et les agriculteurs qui y vivent auront des difficultés à subvenir leurs besoins alimentaires. Alors, le développement local basé sur l'agriculture devrait s'appuyer sur l'éducation sous toutes ses formes et en particulier en faveur des femmes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1) Barnier, J. (2023). Introduction à l'analyse d'enquête aved R et RStudio. Zenodo.
2) Bourbonnais, R. (2018). Econométrie. Malakoff: DUNOD.
3) Brou, Y. T. (2020). Pressions agro-démographiques dans les espaces forestiers protégés de Madagascar: exemple du Parc National d'Ankarafantiska. HAL Open Science, 12.
4) Jubert, T. (2012). Formation et déformation de courbe de Kuznets environnementale pour les émissions des CO2. Cairn Info, 17.
5) Kassim, D. (2011, mai). Pauvreté multidimensionnelle et condition de vie au Mali. 2001-2006, p. 55.
6) Michela Nardo, M. S. (2005). Composite indicators:Méthodology and user guide. Paris: OECD Statistics Working Papers 2005/03.
7) Moussa, S. (2008, Mars 9). L'Alpha de Cronbach et l'estimation de son intervalle de confiance: l'étude de deux approches. Un colloque international intitulé « Entrepreneuriat et Entreprise dans la Nouvelle Economie, p. 7.
8) Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environnement degradation at different stage of economic developpement. World employement programme research, 45.
9) Payet, E. (2023). Les pressions anthropiques et climatiques autour du parc national d'Ankarafantsika. HAL Open Science, 84.
10) Phu Nguyen Van, T. T. (2003). Déforestation, croissance économique et population. Science Po les presses, 835-855.
11) PNM, P. N. (2006). Plan d'affaire. Antananarivo: Parc National Madagascar.
12) Ralidera Onisoa, S. M. (2018). Contribuer à l'atteinte du dividende démographique à Madagascar. HP+ Policy Bief, 8.
13) Zebaze, D. D. (2022). Econométrie des variables catégorielles. Cergy, Ile de France.

FORETS SECHES ANTREMA : NURSERIE A CIEL OUVERT POUR *PROPITHECUS CORONATUS*

Par

Vavindraza[1], Hery Lisy Tiana Ranarijaona[2], Edmond Roger[3]

[1-2] Ecole Doctorale Ecosystèmes Naturels, Université de Mahajanga ; [3] Mention Biologie et Ecologie Végétales, Université d'Antananarivo

viviane.vavy@yahoo.fr, hranarijaona@gmail.com, rogeredmond1@yahoo.fr,

Résumé :

La présente étude concernant les forêts sèches d'Antrema (Ankoririaka et Badrala), permettra de caractériser la végétation en vue de sa conservation. De l'inventaire, des relevés écologiques et des suivis de *Propithecus coronatus* ont été réalisés. Les observations faites ont montré que ces forêts étaient de formation assez haute sur sol latéritique (Ankoririaka) et sur sable dunaire (Badrala) ; l'occupation moyenne de la surface aérienne est de 32 %. Ces deux sites présentent 3 strates bien distinctes, mais la voûte forestière est plus élevée (14m) à Ankoririaka ; Badrala présente une plus forte accumulation de la végétation dans les strates herbacées ainsi qu'une surface terrière plus élevée (29,12 m^2/ha). Le biovolume moyen des arbres présente une légère différence et la valeur de l'indice de régularité des sites est comparable pour les deux. 136 espèces ont été inventoriées à Ankoririaka contre 176 à Badrala Les familles les mieux représentées sont Fabaceae, Rubiaceae, Anacardiaceae, Euphorbiaceae et Sapindaceae. En moyenne, 90 des espèces recensées sont des cibles de *Propithecus coronatus* pour leur nourriture. En saison humide, les fruits constituent plus de 90% de leur ressource alimentaire tandis qu'en saison sèche, les feuilles représentent 62% de la consommation moyenne. Le groupe de lémuriens couronnés disperse au moins 50 espèces de plante. Ces données ont une implication importante sur la conservation de ce lémurien par le biais de la plantation des espèces les plus consommées afin d'augmenter la taille de leur habitat.

Mots clés : forêt sèche, Antrema, *Propithecus coronatus*, nourriture, conservation

Abstract:

The present study regarding the dry forest in Antrema (Ankoririaka and Badrala) protected area will enable the vegetation to be characterised with a view to its conservation. An inventory, some ecological surveys and some monitoring of *Propithecus coronatus* were carried out. The field observations showed that these forests were a fairly tall formation on lateritic soil (Ankoririaka) and on dune sand (Badrala); the average occupation of the aerial surface is 32%, These forests are multi-layered (3 strates); whose canopy is around 14 m high (Ankoririaka). The compactness of the vegetation in the middle layers and the high percentage of lianas distinguish Ankoririaka forest. The values of the regularity index are comparable and

the woody biovolume presents a slight difference; the basal surface area are 29,12 m^2/ha (Badrala). 136 species were inventoried in Ankoririaka and 176 in Badrala forest The best represented families are Fabaceae, Rubiaceae, Anacardiaceae, Euphorbiaceae and Sapindaceae. Of the species inventoried, 90 are targets of *Propithecus coronatus* for its food. In the wet season, fruits make up more than 90% of their food intake. In the dry season, leaves account for 62% of average seasonal consumption. The crowned lemur group disperses at least 50 plant species. These data have important implications on the conservation of this species of lemur, through the planting of the most widely consumed species in order to increase the size of their habitat.

Keywords : dry forest, Antrema, *Propithecus coronatus*, diet, conservation

INTRODUCTION

L'isolement de Madagascar du bloc Gondwana et du continent Africain a permis à l'île de bénéficier d'une richesse en biodiversité. Le taux d'endémisme de la flore est supérieur à 90% pour la plupart des groupes taxonomiques (Ganzhorn et *al.,* 2001), la flore malgache est considérée comme l'une des plus riches et la plus diversifiée du monde (Koechlin et *al*., 1974). De plus, au vu de sa faune, Madagascar figure parmi les pays qui ont un taux d'endémicité élevé. Elle occupe le troisième rang en diversité des Primates avec 97 espèces et 99 taxa. Environ 91% des reptiles, 99% des amphibiens et 100% des lémuriens sont endémiques (Mittermeier et *al.,* 2014).

De nombreuses recherches ont été menées dans les différents types de formation végétale à Madagascar pour avoir plus d'informations en vue de mieux gérer les ressources naturelles du pays et conserver la biodiversité. La forêt sèche de l'ouest fait l'objet de plusieurs études face à diverses pressions et menaces, notamment d'origine anthropique, qui pèsent sur elle et sur la diversité biologique qu'elle abrite, en particulier les lémuriens, pour assurer leur pérennisation. Des efforts ont été déployés pour trouver l'équilibre entre la protection de la nature, de l'habitat et les besoins de la société (Randriatomposon, 2007). C'est dans ce contexte que le Projet Bioculturel d'Antrema a été créé, grâce à l'appui du Muséum national d'Histoire naturelle, pour contribuer à conserver l'ensemble de la biodiversité unique de Madagascar, à sauvegarder le patrimoine culturel malagasy, à maintenir les services écologiques et à favoriser l'utilisation durable des ressources naturelles. La Nouvelle Aire Protégée (NAP) d'Antrema possède des potentialités intéressantes à cet égard.

L'étude écologique sur les espèces de plantes sources de nourriture de lémuriens n'est pas approfondie. Ainsi, la présente étude : « forêts sèches Antrema : nurserie à ciel ouvert pour *Propithecus coronatus* » entre dans le processus de conservation des écosystèmes menacés. Les objectifs de ce travail sont de caractériser la végétation en tant qu'habitat et sources de nourriture des lémuriens étudiés et d'identifier les espèces les plus consommées par *Propithecus coronatus*. L'hypothèse avancée est la suivante : les forêts sèches d'Antrema servent d'habitat pour *Propithecus coronatus* et constituent ainsi leur ressource alimentaire.

MATERIEL ET MEHODES

MATERIEL : Matériel biologique : *Propithecus coronatus*

L'espèce animale choisie pour cette étude est *Propithecus coronatus*. Le choix était basé sur les résultats des recherches antérieures (Ramanakirahina, 2004 et Rakotondrabe, 2012). *Propithecus coronatus* est une espèce frugivore qui pourrait être un agent de dispersion des graines.



Photo 1 : *Propithecus coronatus*

Position systématique

Le tableau 1 (p. 5) résume la position systématique de *Propithecus coronatus* Milne-Edwards.

Tableau 1. Position systématique de *Propithecus coronatus* selon MSW (Mammal Species of the World)

Règne	**ANIMAL**
Embranchement	CHORDES
Sous-embranchement	VERTEBRES
Classe	MAMMIFERES
Sous-classe	PLACENTAE

Ordre	PRIMATES Linnaeus, (1758)
Sous-ordre	PROSIMIENS Mivart, ((1864)
Infra-ordre	LEMURIFORMES Geoffroy, (1815)
Famille	INDRIIDES Burnett, (1828)
Sous famille	INDRIINES Burnett, (1828)
Genre	*Propithecus* Bennett, (1832)
Espèce	*coronatus* Milne-Edwards, (1871)

Noms vernaculaires : Sifaka, Akomba

METHODES :

L'étude a été réalisée dans la Nouvelle Aire Protégée (NAP) d'Antrema du mois d'Août 2010 au mois de Juillet 2011. Une reconnaissance préliminaire a été effectuée pour cibler les zones de végétation à étudier. Elle a été faite avec l'aide de guide local dans le but de découvrir les différents types d'habitat et de les mettre en relation avec la distribution des lémuriens. Des cartes de distribution des lémuriens ont été utilisées. Le choix des sites d'étude repose sur des facteurs de représentativité et de présence de lémurien. Ainsi, les deux sites Ankoririaka et Badrala ont été choisis car très peu d'informations sont disponibles dans les autres fragments forestiers (Ramanamisata / Reniala, 2012).

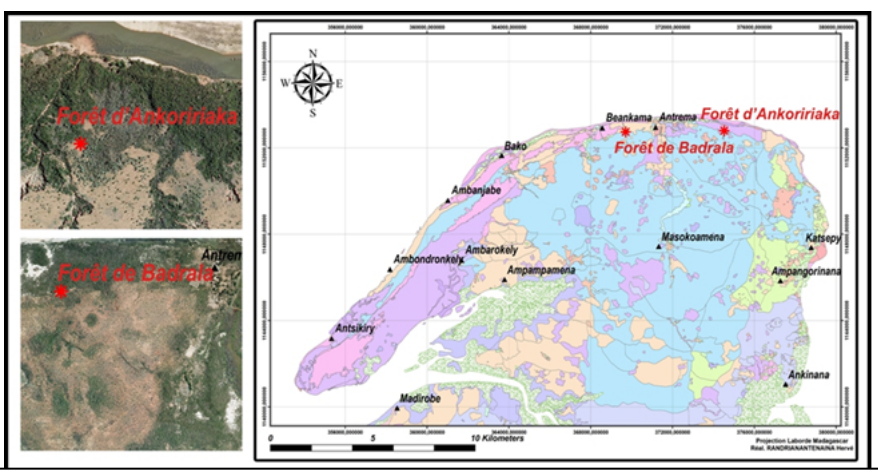


Figure 1 : Carte de localisation des sites d'étude ***(Source** : Image Orthophotos 2007 ; Projection Laborde Madagascar ; Réalisation : RANDRIANANTENAINA H, 2016)*

Inventaire floristique :

Des récoltes itinérantes et systématiques de spécimens fertiles consommés par *Propithecus coronatus* en traversant les zones d'échantillonnages ont été effectuées au préalable. Ces spécimens ont été montés, séchés et mis en herbier, et la détermination de la nomenclature a été essentiellement effectuée suite aux études dans les herbaria du Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza et de la Direction des Recherches Forestières et Piscicoles d'Ambatobe Antananarivo. Les herbiers ont été déposés à l'herbarium du Département de Biologie et Ecologie Végétales Ankatso. Dans le cadre de ce travail, cet inventaire a essentiellement permis de constituer un corpus de connaissance de la flore locale qui a été largement mis à profit dans les relevés.

Relevés écologiques :

La méthode de Braun-Blanquet a été utilisée. Elle consiste à installer dans les formations relativement homogènes 2 plots de 30 m x 30 m, subdivisés en placettes de 5 m x 5 m dans les sites pour l'étude de la végétation (Figure 2). Les plots ont été installés dans différents types d'habitat afin de pouvoir représenter tous les types de formation végétale. L'emplacement des plots a été fait sur les territoires de lémuriens cibles. Les individus à diamètre ≥ 5 cm ont été recensés ; leur nom scientifique, leur diamètre à hauteur de poitrine (Dhp), leur hauteur maximale ont été notés. La méthode de placeau permet d'obtenir la richesse floristique et la diversité floristique des sites d'étude.

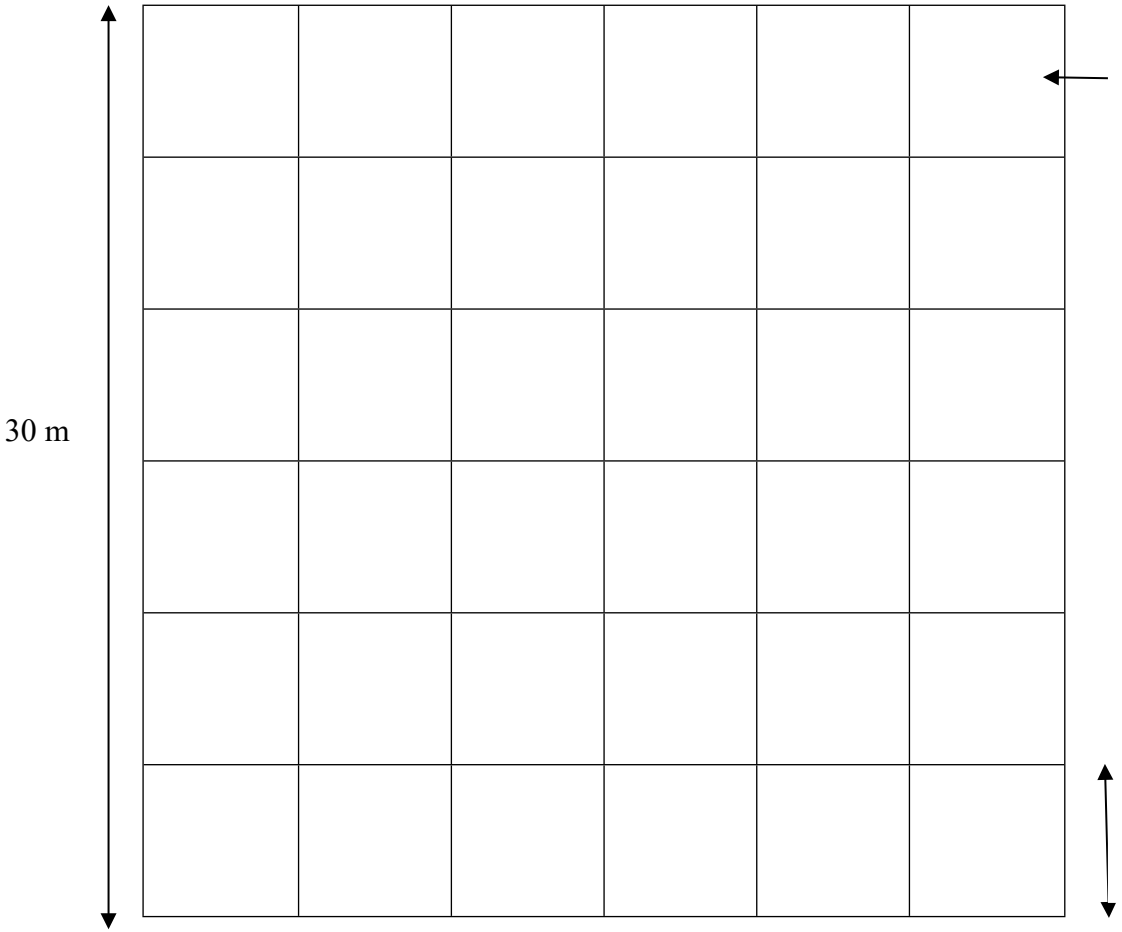


Figure 2 : Dispositif d'un placeau de BRAUN BLANQUET

Diversité spécifique :

La diversité spécifique des milieux (α diversité ou diversité au sein d'une unité de végétation) est analysée en fonction de l'indice de Shannon-Weaver (Pielou, 1975 ; Magurran, 1988).

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} (p_i)\,(\log_2 p_i)$$

avec : **H'** : indice de diversité spécifique ;

S : nombre d'espèces dans un échantillon ;

p_i : proportion de l'espèce i par rapport à l'effectif total du peuplement (fréquence relative).

Si H'= 0, tous les individus appartiennent à la même espèce ;

Si H'≠ 0, il y a une forte diversité c'est-à-dire que la forêt renferme plusieurs espèces bien représentées plutôt que des espèces rares (Krebs, 1989).

Calcul de la régularité :

Le calcul de la régularité (ou équitabilité) donne des informations concernant la répartition des individus de chaque espèce (Daget, 1979 ; Washignton, 1984 ; Krebs, 1989). La régularité E permet de comparer la diversité de deux peuplements à richesses spécifiques différentes

$$E = \frac{H\,max}{Log\,S}$$

avec : E = régularité ou équitabilité

H max : indice de diversité spécifique

S : nombre total d'espèces

Log S : diversité maximale

Plus la valeur de la régularité est grande, plus la forêt est riche en espèces, ce qui conduit à un équilibre et une répartition homogène de la diversité biologique du milieu considéré.

Surface terrière et biovolume :

La surface terrière (G_i) est la somme des sections des troncs mesurés à 1,3 m du sol

(DhP : Diamètre à hauteur de Poitrine). Ce paramètre dendrométrique permet d'étudier le potentiel ligneux d'un relevé de surface en évaluant le degré de remplissage de la forêt.

$$G_i = \frac{\pi}{4} \times d_i^2$$

avec, $\mathbf{G_i}$ est la surface terrière de l'individu i d'une espèce (en m^2) et $\mathbf{d_i}$ est son DhP.

Le potentiel en bois ou biovolume épigé (V) est obtenu en multipliant la surface terrière par la hauteur maximale de chaque individu de toutes les espèces mesurées

(tous les individus à DhP ≥ 10 cm) et par un facteur de correction (coefficient de forme) (Dawkins, 1958).

$V = 0{,}53 \times G_i \times H_i$ avec :

- V : biovolume épigé total (en m^3).

- H_i : sa hauteur maximale

- 0,53 : coefficient de forme.

Etude structurale de la forêt d'Antrema :

L'étude a été réalisée sur un carré élémentaire de 10 m de côté le long d'un transect de 200 m. Une gaule de 7m de long graduée tous les mètres (échenilloir) a été déplacée horizontalement le long de la ligne de transect (Figure 3). Tous les points de contact ont été enregistrés dans un tableau, en notant l'intervalle de hauteur correspondant au point de contact. Au-dessus de 7m, le niveau de contact a été estimé visuellement. Les données sont ensuite traitées sur Excel pour avoir le profil structural. A partir des profils établis, les paramètres descriptifs de la végétation suivants ont été estimés :

Le recouvrement (figure 4) est l'expression de la continuité du couvert végétal (Gautier, 1994). Il a été déterminé pour chaque intervalle de 1m et a été obtenu par le rapport entre le nombre de carrés occupés par la végétation et le nombre total de carrés dans chaque strate de 1m de hauteur. Les degrés d'ouverture correspondant à chaque intervalle de 1m ont pu être notés.

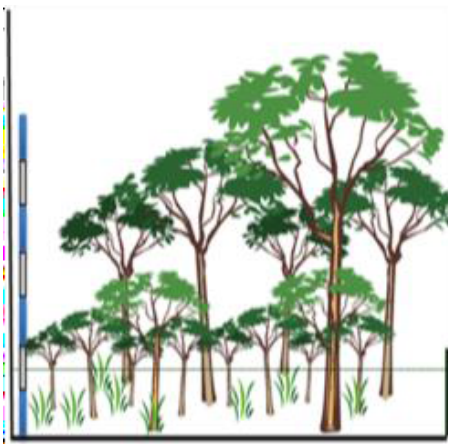


Figure 3 : Dispositif de profil structural de Gautier

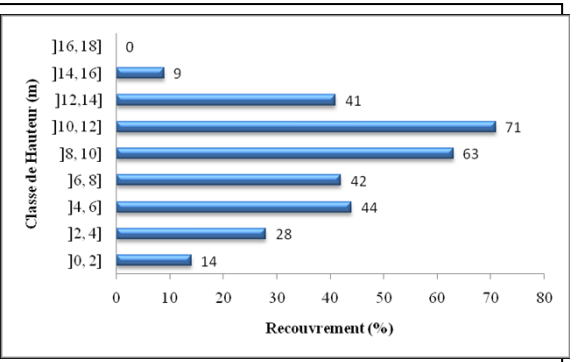


Figure 4 : Diagramme de recouvrement

Méthode d'observation et de suivi des animaux cibles :

Les observations ont été faites pendant environ 15 jours par mois et la durée d'observation a été fixée à 6 heures par suivi. Un groupe de *Propithecus coronatus* était composé de 3 à 6 individus. Le tableau 2 résume le nombre de groupes suivis pendant la période d'étude.

Tableau 2. Nombre de groupes d'animaux suivis par site

Nom de groupe	femelle	mâle	Domaine vital
G1	2	2	Ankoririaka
G2	3	3	Badrala

La méthode d'observation des animaux était le « Focal animal sampling » (Altmann, 1974). Cette méthode consiste à enregistrer les comportements de tous les individus du groupe toutes les 5 minutes. Pendant cette période, toutes les activités (alimentation, repos, déplacement, toilettage) de l'animal cible ont été enregistrées.

Etude de l'alimentation des animaux :

Une analyse descriptive a été appliquée sur les données du régime alimentaire et le comportement nutritionnel des animaux cibles (exemple : le nombre total d'espèces consommées, la proportion de consommation des différentes parties de plantes, la proportion de fruits avalés entièrement). Le test de corrélation de Spearman a été fait pour mettre en évidence la relation entre la consommation d'une partie de la plante (fruits, fleurs, feuille) et leur disponibilité.

Evaluation de la quantité de la dispersion de graines :

Le nombre de graines dispersées par *Propithecus coronatus* dans cette étude (par individu et par groupe) a été estimé en utilisant la méthode d'extrapolation similaire, utilisée dans les études des primates disséminateurs de graines (Wranghan et al., 1994 ; McConkey, 2000 ; Stevenson, 2000). Le nombre de graines disséminées par jour par individu a été calculé selon la formule de Stevenson (2000) :

$\mathbf{N = Md \times Nd \times N_i}$ avec :

N : Nombre de graines disséminées par jour par individu ;

Md : Nombre de graines par déposition ;

Nd : Nombre de dépositions par jour par individu ;

N_i : Nombre d'individus par Km^2.

RESULTATS :

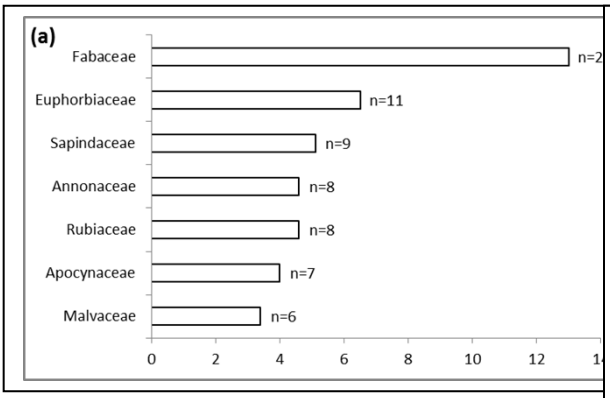
Richesse et composition floristique :

La richesse et la composition floristique pour les deux sites sont présentées dans le Tableau 3

Tableau 3. Paramètres floristiques des deux sites

Sites	**Badrala**			**Ankoririaka**		
Richesse spécifique	**famille**	**genre**	**espèce**	**famille**	**genre**	**espèces**
Nombre	58	127	176	48	104	136
Indice de diversité de Shannon-Weaver (H')	5,65			4,91		
Equitabilité (E) ou Régularité	0,82			0,76		

L'analyse floristique des deux sites montre que Badrala possède le plus grand nombre d'espèces par rapport à Ankoririaka. Les familles les mieux représentées sont résumées en figure 5.



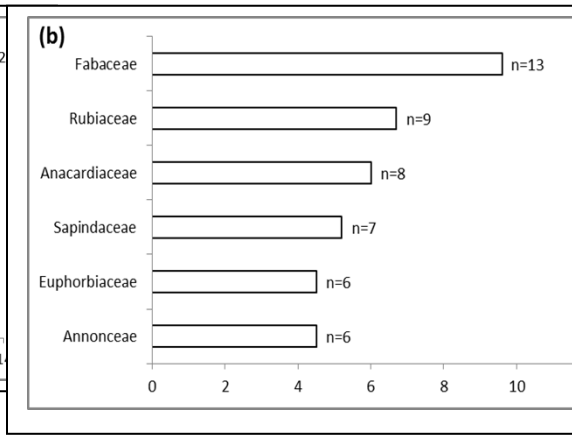


Figure 5. Les familles dominantes dans les deux sites d'étude (>30% d'espèces)

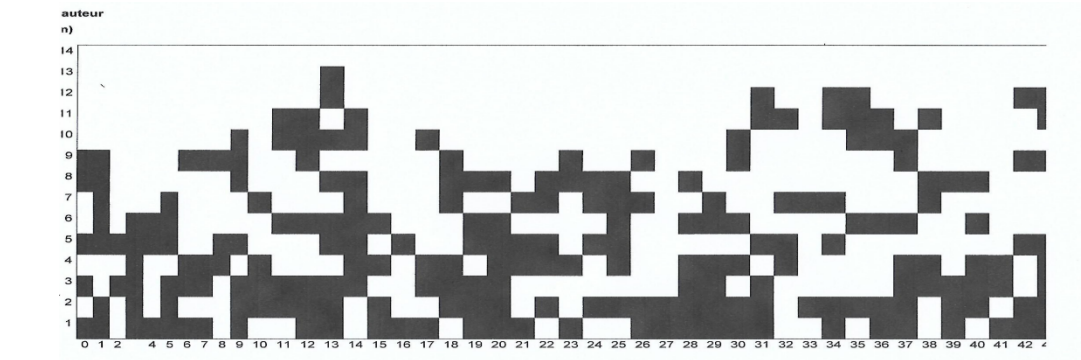
(a) : Badrala ; **(b)** : Ankoririaka ; **n** : nombre d'espèces par famille

Dendrométrie :

L'analyse du résultat dendrométrique montre que la différence de surface terrière et de biovolume entre Badrala et Ankoririaka réside dans la différence de taille et de nombre d'individus semenciers. Pour Badrala, la surface terrière moyenne est égale à 29,12 m^2/ha (± 6,21). Dans ce site, la densité moyenne des individus ligneux ayant un Dhp supérieur ou égal à 10cm est de 467 (± 31,57) et le biovolume moyen est de 340,54 m^3/ha (± 15,4). Dans la forêt d'Ankoririaka, une moyenne de 1951 (± 204,86) individus dont 43 (± 20,50) ayant un Dhp supérieur ou égal à 10 cm a été recensée dans chaque plot de 900m^2, pour une surface terrière moyenne de 25,34 m^2/ha (± 7,35).

Caractéristiques structurales de la végétation des deux sites :

Site Badrala : c'est une forêt sèche caducifoliée sur sables dunaires. Elle est pluristratifiée, avec une hauteur supérieure de 10 à 12 m de hauteur et caractérisée par des arbres à faible diamètre. Dans cette forêt, la végétation occupe en moyenne 32, 47%. Le profil structural d'un plot représentatif du site montre la présence de trois strates bien distinctes (figure 6). La plus forte accumulation de végétation a eu lieu dans les strates inférieures, elle diminue régulièrement quand la hauteur augmente



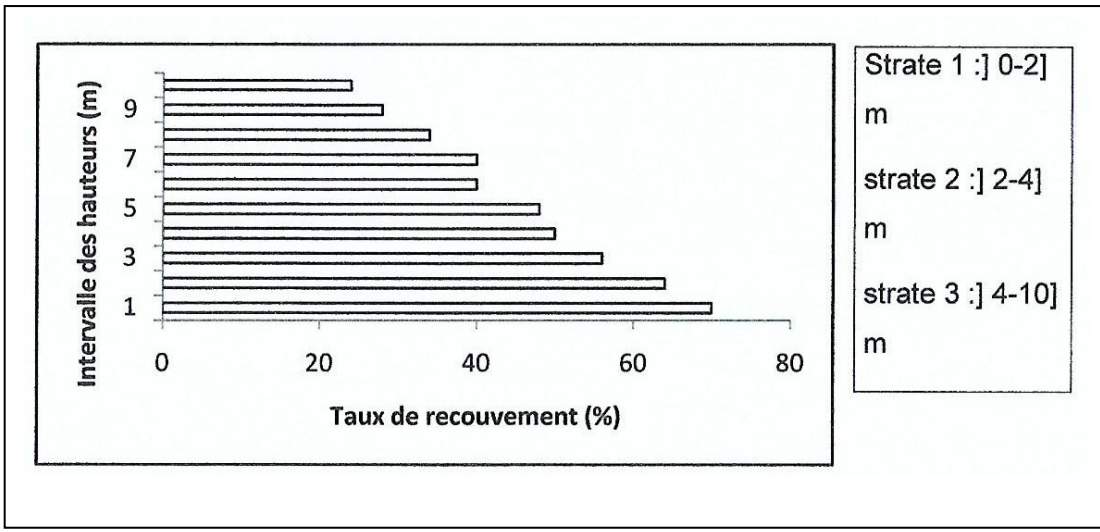


Figure 6 : Profil structural de la végétation de Badrala

Site Ankoririaka :

La forêt est une formation assez haute sur sol latéritique. Les émergents pouvant atteindre 18 m de hauteur, se détachent nettement du reste de la formation dont la voûte est environ 14 m. La forêt est pluristratifiée et l'occupation moyenne de la surface aérienne est de 32, 8%. La formation forestière présente également trois strates bien distinctes (figure 7). La strate inférieure est une strate assez ouverte. La compacité de la végétation dans les strates moyennes et le haut pourcentage de lianes distinguent cette formation.

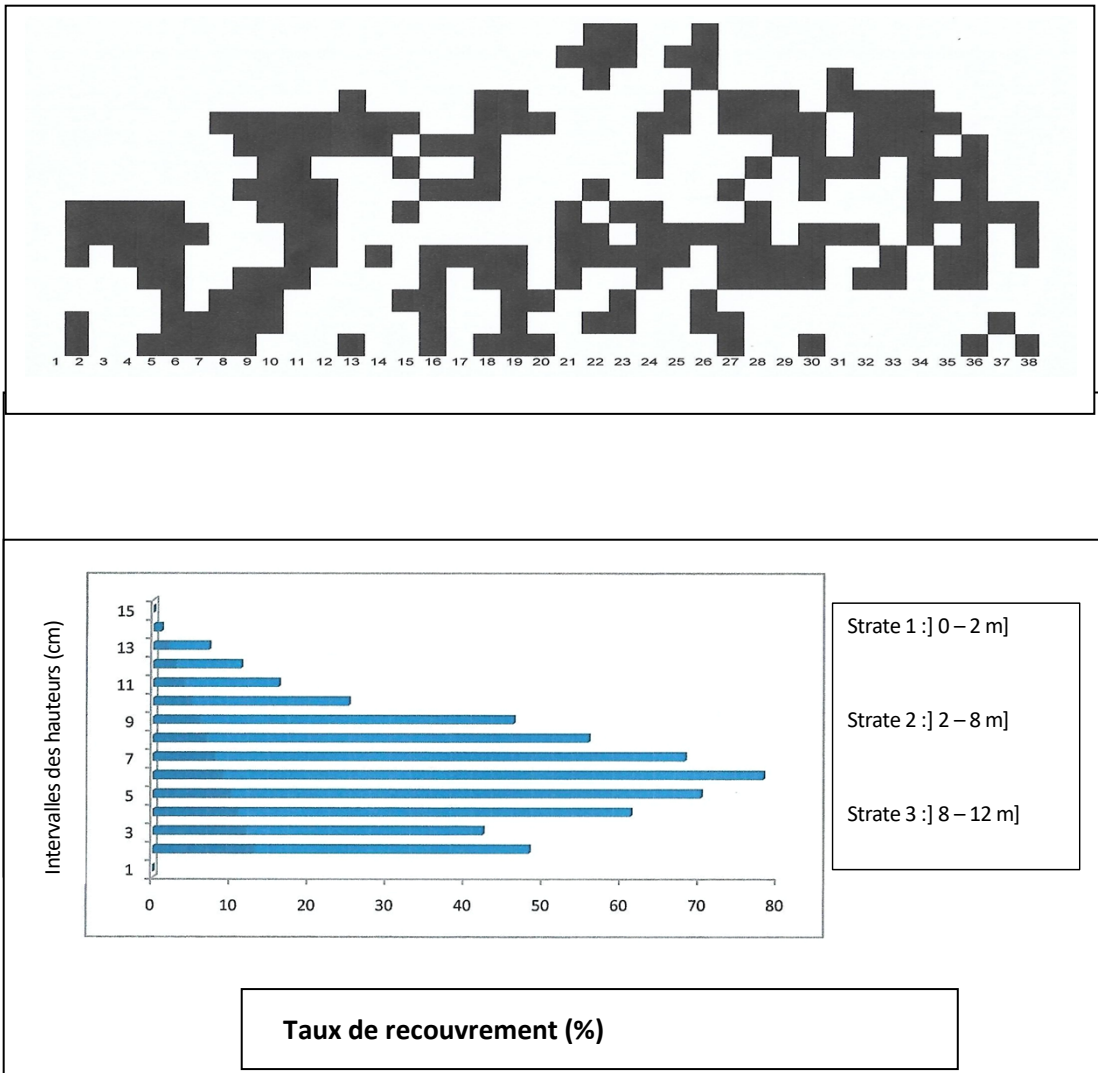


Figure 7 : Profil structural de la végétation Ankoririaka

Ressources alimentaires de *Propithecus coronatus*

En général, le régime alimentaire d'un animal dépend de l'abondance ou de la disponibilité des ressources alimentaires dans ses habitats. La fluctuation de régime alimentaire est souvent corrélée avec l'état phénologique des plantes.

Les observations sur le terrain montrent qu'il existe des similarités de régime alimentaire de *Propithecus coronatus* dans les deux sites d'études (Badrala et Ankoririaka).

Les jeunes feuilles, les fruits, les fleurs et/ou les nectars, constituent le régime alimentaire des lémuriens cibles dans les sites forestiers d'Antrema. Pourtant, ce régime alimentaire peut varier suivant les saisons (figures 8 et 9).

Le tableau 4 présente les espèces les plus consommées (saison sèche et saison humide) dans les 2 sites étudiés.

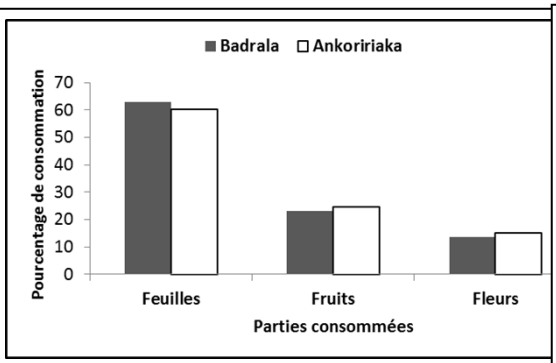
Tableau 4. Liste des espèces les plus consommées pendant les deux saisons

Espèces	Famille	Badrala	Ankoririaka
Abrahamia reflexa	Anacardiaceae	X	X
Anacolosa pervilleana H.Bn	Olacaceae	X	
Baudounia fluggeiformis H.Bn	Fabaceae	X	
Bussea perrieri R.Viguier	Fabaceae	X	
Capurodendron gracifolium Aubr	Sapotaceae	X	
Deris trifoliata	Fabaceae	X	
Diospyros cupulifera H.Perrier	Ebenaceae		X
Diospyros ferrea Bark	Ebenaceae		X
Diospyros greveana H.Perrier	Ebenaceae	X	
Diporidium ciliatum H.Perrier	Ochnaceae	X	X
Doratoxylon chouxii R.Cap	Sapindaceae	X	X

Eugenia scotii H.Perrier	Myrtaceae	X	X
Grewia triflora (Bojer) Walp	Malvaceae	X	
Espèces	**Famille**	**Badrala**	**Ankoririaka**
Hypoesthes sp. Sol. ex R. Br.	Acanthaceae	X	
Landolphia perrieri Markgraf Comb	Asclepiadaceae	X	
Memecylon delphinense H. Perrier	Melastomataceae	X	X
Operculicarya gummifera (Sprague) Capuron	Anacardiaceae	X	
Rhopalocarpus similus Hemls	Rhopalocarpaceae	X	X
Sclerocroton melanostictus (Baill.) Kuijt & Roebers	Rubiaceae	X	X
Securinega antsingyensis Leandri	Euphorbiaceae	X	X
Strychnos decussata Gilg	Loganiaceae	X	X
Strychnos madagascariensis Poiret	Loganiaceae	X	X
Terminalia taliala H.Perrier	Combretaceae	X	
Tabernaemontana coffeoides Bojer & DC	Apocynaceae	X	
Vitex beraviensis Vatke	Lamiaceae	X	X
Warneckia tropophylla	Melastomataceae	X	

Xylopia bemarivensis Diels	Annonaceae		X

X : présence de l'espèce dans les sites d'étude



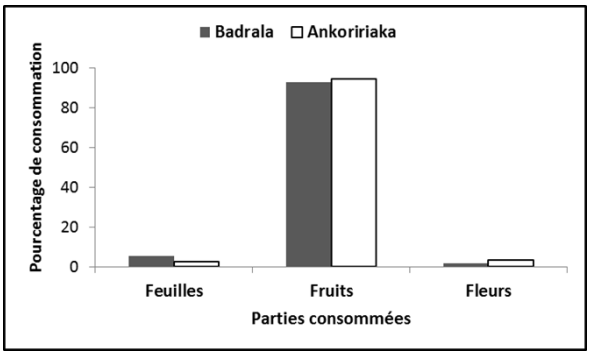


Figure 8 : Consommation moyenne saisonnière de feuilles, fruits et fleurs par *Propithecus coronatus* durant la saison sèche

Figure 9 : Consommation moyenne saisonnière de feuilles, fruits et fleurs par *Propithecus coronatus* pendant la saison humide

Quantité de dispersion des graines :

En général, le lémurien étudié a déféqué les graines avant de se déplacer après la période de repos. Avec une moyenne de 11 graines par défécation et 7 défécations par jour (pour un suivi de 6 heures) pendant la saison chaude et humide de Novembre - Décembre, chaque individu de *P. coronatus* a disséminé par estimation quelques 77 graines par jour et 2310 graines par mois. Cette quantité de graines dispersées a chuté en moyenne à 21 graines dispersées par jour pendant la saison sèche de Juillet en Octobre.

Les observations sur le terrain ont montré que la quantité de graines déféquées par jour est fonction de la taille des graines des fruits consommés par les animaux. En effet, les graines de petite taille sont déféquées en grande quantité et chaque défécation peut contenir jusqu'à 30 graines (*Erythroxylon nitidilum, Uvaria accuminata*) ; alors que 4 graines par défécation en moyenne ont été notées pour les graines de grande taille (*Protorhus grandidieri*. et *Commiphora* spp.). Le groupe de lémuriens couronnés des deux sites étudiés a disséminé au moins 50 espèces de plantes différentes.

DISCUSSION :

Au total, 201 espèces (regroupées en 58 familles et 131 genres) ont été recensées mais elles sont inégalement réparties entre les sites. Ankoririaka et Badrala. L'abondance du nombre d'individus de *Propithecus coronatus* paraît ainsi être liée aux habitats floristiquement riches et diversifiés et aussi à la tradition de la région qui vénère l'animal comme représentant de leurs ancêtres. La comparaison du nombre des familles, genres et espèces de quelques sites à Madagascar (Sehen, 2011 ; Andriamalala, 2014) a montré que la région d'Antrema présente une diversité légèrement plus importante par rapport aux deux autres forêts fragmentées (54 familles, 129 genres, 186 espèces pour Ankarafantsika et 49 familles, 119 genres et 164 espèces Andohahela). La fragmentation de la zone en plusieurs ilots forestiers, depuis un certain temps aurait permis à sa flore de s'individualiser loin du contact des autres domaines phytogéographiques, limitant ainsi les échanges biologiques (Ranirison, 2010).

Les différences dans la composition floristique pourraient ainsi expliquer les différences de distribution de Lémuriens dans les deux sites. Au total, **103** espèces sur **201** espèces recensées sont consommées par les Lémuriens dans les deux sites. Badrala présente le plus grand nombre d'espèces consommées, 96 sur 176 espèces recensées. Dans le site Ankoririaka, **80** espèces parmi les **136** inventoriées constituent une source d'alimentation pour le lémurien cible. Les résultats de cette recherche ont montré également que la taille des domaines vitaux de *Propithecus coronatus* est restreinte dans les forêts fragmentées d'Antrema. Les distances parcourues quotidiennement par les différents groupes de *P. coronatus* sont déterminées par la disponibilité alimentaire et la distribution des ressources à l'intérieur de l'habitat (Balko, 1997). Or, les milieux fragmentés possèdent des ressources alimentaires insuffisantes et pauvres en qualité (Myers, 1993). De ce fait, les groupes n'exploitent que les ressources disponibles dans les fragments car le choix alimentaire est réduit.

Le régime alimentaire de *P. coronatus* change en fonction des variations saisonnières. Au cours de la saison sèche (Juillet à Octobre), le régime alimentaire de *P. coronatus* bascule vers la folivorie, avec 62% de la consommation moyenne saisonnière. Plusieurs auteurs ont démontré que les Propithèques sont des Lémuriens folivores. L'étude menée par Ramanankirahina, (2004) a rapporté que la consommation par *P. coronatus* d'Ankoririaka est accentuée jusqu'à 88% pendant la saison sèche. La consommation moyenne saisonnière de *P. coronatus* à Dabolava est 62,9 % de feuilles (Rakotondrabe, 2012). Tandis qu'en saison humide, ce lémurien étudié est hautement frugivore. Les études des ressources alimentaires de *P. coronatus* effectuées par Ramanankirahina (2004) à Ankoririaka (Antrema) et Rakotondrabe (2012) à Dabolava (Miandrivazo) ont confirmé une frugivorie saisonnière de ce lémurien. Dans la présente étude, ce lémurien est capable de déféquer les graines intactes. Selon Harms et *al.* (2000) et Manjaribe (2013), avec leur rôle de disséminateurs de graines de plusieurs variétés d'espèces, *Propithecus coronatus* pourrait avoir une importance capitale sur le maintien de la diversité et de la structure de la forêt d'Antrema.

En considérant que la rareté des ressources est un facteur biologique jouant un rôle dans le déterminisme du choix alimentaire, la détermination de la préférence alimentaire a donc été indispensable afin de prioriser, en termes de conservation, les espèces les plus consommées par *Propithecus coronatus*.

Dans les forêts tropicales, il existe une même tendance de co-dépendance entre plante/primate ; plusieurs espèces d'arbres dépendent des primates pour disséminer leurs graines loin du pied mère (Chapman et Onderdonk, 1998 ; Dominy et Duncan, 2005 ; Link et Di Fiore, 2006 ; Stevenson et *al*., 2005). Plus de 66% d'espèces d'arbre sont dispersées par les animaux dans les forêts neotropicales (Howe et Smallwood, 1982). Dans une recherche antérieure, *Eulemur fulvus rufus* et *Propithecus verreauxi verreauxi* ont été reportées comme des excellents disséminateurs de graines dans les forêts sèches caducifoliées de Madagascar (Ganzhorn et al. 2000 ; Daussmann et *al.*, 2008). Dans la NAP Antrema, nous avons observé que *P. coronatus* possède un large régime alimentaire en fruits consommés et des graines sont potentiellement dépendantes de ce lémurien pour être disséminées.

CONCLUSION

Au terme de ce travail, l'objectif principal d'identifier les espèces les plus consommées par *Propithecus coronatus* en vue de la restauration des sites endommagés a été atteint. L'hypothèse a été vérifiée, étant donné que la formation est riche spécifiquement avec 201 espèces recensées. Lorsque l'on considère le nombre total d'espèces inventoriées, celui d'Ankoririaka est inférieur à celui de Badrala, il en est de même pour le biovolume des ligneux.

Dans la forêt de Badrala et d'Ankoririaka, *P. coronatus* consomme respectivement 96 et 80 espèces de plantes. Le régime alimentaire de l'animal varie en fonction de la disponibilité des aliments dans son territoire. En saison humide, les fruits constituent plus de 90% de leur ressource alimentaire, tandis qu'en saison sèche (Juillet à Octobre), *P. coronatus* est folivore, car les feuilles représentent 62% de la consommation moyenne saisonnière.

Le groupe de lémuriens couronnés des sites étudiés disperse au moins 50 espèces différentes. Ces données ont une implication importante sur la conservation de ce lémurien par le biais de la plantation des espèces les plus consommées afin d'augmenter la taille de leur habitat.

Il est évident que les problèmes de la conservation sont étroitement liés aux situations économiques de la région. Lorsque les tabous locaux restent forts ou que la politique de la conservation est appliquée de façon stricte, la présence des lémuriens en plein milieu du village n'est pas rare (cas du village Antrema).

REFERENCES

1) Altmann, J. 1974. *Observational study of behavior: Sampling methods*. Behavior, 49 : 227-267.

2) Andriamalala, T. 2014. Analyse floristique, structurale, phénologique et distribution spatiales des habitats de *Microcebus* spp. dans le Parc National d'Andohahela. Thèse de Doctorat en Sciences de la vie, Mention Biologie. 113p. Université d'Antananarivo.

3) Braun-Blanquet, J., 1964. *La phytosociologie.* 3ème édition. Springer, Vienne, 365p.

4) Chapman, C. A., and Onderdonk, D. A. 1998. Forests without primates: Primate/plant Codependency. *American Journal of Primatology*, 45: 127-141.

5) Daget, J. 1979. *Les modeles mathematiques en ecologie*. Masson et Cie, Paris. 170p.

6) Dausmann, K. H., Glos, J., Linsenmair, K. E., and Ganzhorn J. U. 2008. Improved recruitment of a lemur-dispersed tree in Malagasy dry forests after the demise of vertebrates in forest fragments. *Oecologia*, 157: 307-316.

7) Dominy, N. J., and Duncan, B. W. 2005. Seed-spitting primates and the conservation and dispersion of large-seeded trees. *International Journal of Primatology*, 26 : 631–649.

8) Ganzhorn, J. U., Lowry, P. P. II, Schatz, G. E. & S. Sommer, 2001. The biodiversity of Madagascar: one of the world's hottest hotspots on its way out. *Oryx*, Volume 35 (4): 346-348.

9) Ganzhorn, J. U., Goodman, S. M., Ramanamanjato, J. B., Ralison, J., Rakotondravony, D., and Rakotosamimanana, B. 2000. Effects of fragmentation and assessing minimum viable populations of lemurs in Madagascar. In: Rheinwald G (ed) Isolated vertebrate communities in the tropics. *Bonner zoologische Monographien.* 46: 265-272. Edition. Museum Alexander Koenig, Bonn

10) Gautier, L., Chatelain, C. et R. Spichiger, 1994. Presentation of a relevé method for vegetation studies based on fine-scale satellite imagerie. XIIIth AETFAT Congress, Malawi, pp 1339 - 1350.

11) Harms, K. E., Wright, S. J., Calderon, O., Hernansez, A., and Herre, E. A. 2000. Pervasive density-dependent recruitment enhances seedling diversity in a tropical forest. *Nature* 404: 493-495.

12) Howe, H. F. and Smallwood, J. 1982. Ecology of seed dispersal. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 13: 201-228

13) Koechlin J., Guillaumet J.L Et Morat P., 1974. *Flore et végétation de Madagascar*. Cramer, J. Vaduz. 687p

14) Krebs, C. J. 1989. *Ecological Methodology.* Harper and Row, Publishers. New York. 654p.

15) Link, A., and Di Fiore, A. 2006. Seed dispersal by spider monkeys and its importance in the maintenance of Neotropical rain-forest diversity. *Journal of Tropical Ecology*, 22: 235-246.

16) Manjaribe, C., Frasier, L. C., Rakouth, B., and Louis, E. E. Jr. 2013. Ecological restoration and reforestation of fragmented forests in Kianjavato, Madagascar. *International Journal of ecology,* 13 : 1-13.

17) McConkey, K. R. 2000. Primary seed shadow generated by gibbons in the rainforests of Barito Ulu, Central Borneo. *American Journal of Primatology,* 52**:**13-29.

18) Mittermeier, R. A., Louis, E. E. Jr, Langrand, O., Schwitzer, C., GAUTHIER, C. A., Rylands A. B., Rajaobelina, S., Ratsimbazafy, J., Rasoloarison, R., Hawkins, F., Roos, C., Richardson, M., Kappeler, P. M. 2014. *Lémuriens de Madagascar*-4ème édition. Publications scientifiques du Muséum, Conservation International. 836p

19) Pielou, E. C. 1975. *Ecological Diversity.* Wiley-Interscience, New York. 165p.

20) Rakotondrabe, A., R. 2012. Etude du comportement alimentaire et utilisation de l'habitat par Propithecus coronatus : cas de la forêt galerie d'Amboloando (CR. Dabolava-Miandrivazo). Mémoire de DEA, Primatologie, Biologie évolutive, Département de Paléontologie et d'Anthropologie Biologique. 68p. Université d'Antananarivo.

21) Ramanamisata, R., Association Reniala. 2012. Dénombrement des Propithèques couronnés en fonction de la fragmentation dans la NAP Antrema. Rapport, association Reniala, Projet Antrema, MNHN.

22) Ramanankirahina, R. (2004). Rythme d'activité et régime alimentaire de *Propithecus*

23) *coronatus* (Milne Edwards, 1871) et d*'Eulemur mongoz* (Linné, 1766) dans la station

24) forestière à usage multiple d'Antrema. Mémoire de DEA, Département de Biologie

25) Animale. 83p. Université d'Antananarivo,

26) Randriatomposon, N. H. V. 2007. Caractérisation écologique des différentes formations végétales de la partie sud de la station forestière à usage multiple

d'Antrema (Régénération naturelle, typologie, ethnobotanique, dynamique spatio-temporelle). Mémoire de DEA, Département de Biologie et Ecologie végétales, Faculté des Sciences. 88p. Université d'Antananarivo,

27) Ranirison, P. 2010. Les massifs forestiers de la région Loky-Manambato (Daraina), écorégion de transition Nord : Caractéristiques floristiques et structurales. Essai de modélisation des groupements végétaux. Thèse de Doctorat du troisième cycle. Ecologie végétale. 137p. Université d'Antananarivo,

28) Sehen, L. R. 2011**.** Analyses floristiques et structurales des habitats de deux espèces de Lémuriens nocturnes (*Microcebus murinus* et *M. ravelobensis*) dans le Parc National d'Ankarafantsika (Nord-Ouest de Madagascar). Thèse de Doctorat. Ecologie Végétale. 131p. Université d'Antananarivo.

29) Stevenson, P. R., Pineda, M. and Samper, T. 2005. Influence of seed size on dispersal patterns of woolly monkeys (Lagothrix lagothricha) at Tinigua Park, Colombia. *Oikos*, 110:435-440.

30) Stevenson, P. R. 2000. Seed dispersal by woolly monkeys (Lagothrix lagothricha) at Tinigua National Park, Colombia: dispersal distance, germination rates, and dispersal quantity. *American Journal of Primatology,* 50**:** 275-289.

31) Washington, H. G. 1984. *Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems.* Water Research, 18: 653-694.

32) Wranghan, R. W., Chapman, C. A., and Chapman, L. J. 1994. Seed dispersal by forest chimpanzees in Uganda. *Journal of Tropical Ecology***,** 10 : 355-368.

PERCEPTION PAYSANNE SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA COMMUNE RURALE DE MAROSAKOA

¨Par

RAMIZASON Veromanitra Noëlle [(1)], RANDRIAMINAHY Ziva Mbolamanana [(2)], RANARIJAONA Hery Lisy Tiana [(1)], RAMANANKIERANA Heriniaina [(3)]

[(1)] Ecole Doctorale Ecosystèmes Naturels (EDEN), B.P. 652 Université de Mahajanga – Madagascar

[(2)] Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza (PBZT), Rue Fernand Kasanga, Tsimbazaza, Antananarivo - Madagascar

[(3)] Centre National de Recherches sur l'Environnement (CNRE), 39 Rue Rasamimanana, B.P. 1739 Fiadanana, Antananarivo - Madagascar

RESUME

L'année 2021 a été classée par l'Organisation Météorologique Mondiale parmi les années où les conditions météorologiques extrêmes ont laissé un bilan humain et économique très lourd au niveau planétaire. L'agriculture dépendante des conditions naturelles figure parmi les cibles directes. La présente étude vise à évaluer la perception par les paysans du changement climatique. Pour ce faire, la méthode de recherche participative a été utilisée pour collecter les opinions des paysans dans la Commune Rurale de Marosakoa. Une fois transcrites, elles ont été traitées sur Excel 2016. En addition, la méthode de Mayer a été appliquée sur des données secondaires pour estimer la dégradation du parc d'Ankarafantsika jusqu'en 2030. Selon ces opinions , le changement climatique a été un fléau dans presque tous les secteurs de leur vie : la perturbation du calendrier cultural a entrainé une diminution de la production agricole, la recrudescence des maladies climato-sensibles a été observée, les insectes ravageurs ont fait leur apparition et s'attaquent aux cultures, l'ensablement des rizières et des infrastructures hydrauliques s'est accru à cause des problèmes d'inondation et surtout de la déforestation par l'exploitation illicite de la forêt d'Ankarafantsika. Des solutions spécifiquement adaptées ont été proposées. En complément, une étude holistique et systémique permettrait de mieux cerner la résilience des paysans face au changement climatique.

***Mots-clés** : Aire Protégée Ankarafantsika, Changement climatique, Commune Rurale Marosakoa, Ecosystème rizicole, Ensablement, Perception paysanne*.

ABSTRACT

The year 2021 was classified by the World Meteorological Organization as one of the years when extreme weather conditions left a very heavy human and economic toll on the planet. Agriculture based on natural conditions is among the direct targets. This study aims to assess farmers' perceptions of climate change. To do this, the

participatory research method used to collect the opinions of farmers in the rural commune of Marosakoa. Once transcribed, they processed on Excel 2016. In addition, Mayer's method has been the method applied to secondary data to address the degradation of the Ankarafantsika Park until 2030. In their view, climate change has been a scourge in almost all sectors of their lives: a reduction in agricultural production cause of the disruption of the cultural calendar, the resurgence of climate-sensitive diseases, and apparition of pest insects. The rice fields and hydraulic infrastructures silting is accumulating because of flooding problems and especially deforestation through the illegal exploitation of the Ankarafantsika forest. Specifically adapted solutions were proposed. In addition, a holistic study will work to understand the resilience of farmers facing climate change.

Keywords: *Ankarafantsika Protected Area, Climate change, Farmer perception, Marosakoa Rural commune, Rice ecosystem, Silting.*

INTRODUCTION

Selon les Nations Unies, le terme « changement climatique » désigne « les variations des températures et des conditions météorologiques sur le long terme » qui résultent principalement de l'activité humaine, notamment de l'utilisation des combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole et le gaz, qui produisent des gaz à effet de serre. Il est devenu un réel défi pour l'humanité toute entière depuis quelques décennies. En effet, en 2019, la température moyenne annuelle mondiale a augmenté d'environ 1,11°C (±0,13) par rapport à la moyenne préindustrielle de 1850 à 1900 (Powell J., 2019). De plus, les événements extrêmes tels les vagues de chaleur, des sécheresses, les fortes pluies, les inondations et les cyclones tropicaux se sont amplifiés. Face à ces aléas climatiques auxquels s'ajoutent les pressions anthropiques**,** l'agriculture traditionnelle constitue l'une des principales cibles du dérèglement climatique dans les différentes parties du monde (Dick-Sagoe C. et *al.*, 2023)**.** Quoique le niveau de production agricole basée sur les conditions naturelles soit toujours imprévisible**,** les ménages des communautés rurales dont la principale source de revenu est l'agriculture sont ainsi de plus en plus fragilisés (Fischer G. et *al.*, 2005). Ces paysans ont ainsi une plus grande capacité à percevoir les changements du climat et à fournir des informations plus précises sur leurs impacts dans les localités où les données météorologiques et les stations de surveillance de proximité sont insuffisantes (Rankoana S. A., 2018**)**. A Madagascar, la tendance à l'augmentation globale de la température et le changement sensible dans les précipitations a été aussi observée (Tadross et *al.*, 2008). Elle présente une menace réelle pour le pays où 83,2 % de l'ensemble des ménages sont agricoles, avec 77,9 % exerçant dans la riziculture, base de l'économie et de l'alimentation des malagasy (INSTAT, 2020). Par ailleurs, l'année 2021 a été classée par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) parmi les années les plus chaudes durant lesquelles des vagues de chaleur exceptionnelle, des inondations et de la sécheresse ont été enregistrées un peu partout dans le monde (IPPC, 2022). Les répercussions sur la sécurité alimentaire, l'approvisionnement en eau et les déplacements de populations ont été accentués (United Nations Climate Change, 2022). Ces problèmes provoqués par ces conditions météorologiques extrêmes ont suscité tant

un préjudice économique avec un bilan humain très lourd qu'un impact majeur sur la qualité de la vie de très nombreuses personnes à l'échelle planétaire et surtout dans le monde rural. Des questions se posent si la population rurale a subi les impacts de ce changement climatique, comment ils se manifestent dans leur vécu surtout sur leur principale activité qui est l'agriculture, et quelles sont les actions à mener pour l'atténuer. La connaissance des opinions des paysans permettrait alors de vérifier les risques réels qu'ils encouraient dans leur quotidien, de comprendre leur analyse de la situation voire d'identifier leurs propositions. Ce serait une précondition dans le processus d'atténuation et d'adaptation de la population face à ce fléau mondial. La présente étude vise ainsi à évaluer les perceptions paysannes sur le changement climatique dans la Commune de Marosakoa, District de Marovoay, Région Boeny, une commune d'interface entre 02 écosystèmes bien distincts : l'aire protégée d'Ankarafantsika et l'écosystème rizicole de la plaine de Marovoay, deuxième grenier à riz de Madagascar.

MATERIELS ET METHODES

Présentation de la zone d'étude

La commune rurale de Marosakoa fait partie de la zone climatique du Nord-Ouest de la Région Boeny. La dénomination de « Marosakoa » venait d'une vaste formation de *Sclerocarya birrea* communément appelé « sakoa ». Située en amont de la grande plaine de Marovoay, 66% de la superficie de la commune sont inclus dans la forêt du Parc National d'Ankarafantsika. Cette dernière joue un rôle stratégique du point de vue hydrologique car toutes les rivières des plaines environnantes y prennent source. De plus, elle assure la recharge d'eau souterraine, le maintien de la nappe phréatique, la maitrise des crues pour la stabilisation des rivières environnantes. Formée par des grès grossiers continentaux du Crétacé moyen, ses sols sont sujets à l'érosion : les sables blancs sont recouverts par des forêts sèches, tandis que les sables rouges, riches en fer, sont associés aux savanes (Mietton M. et *al*., 2014). Les Fokontany de Marosakoa et d'Ambatomasaja dans la commune ont été choisis pour la conduite de l'étude qualitative. Ces 2 Fokontany s'étendent sur 3 884 hectares et comptent 2 224 habitants.

Collecte des informations

La méthode qualitative participative au cas multiple a été ainsi choisie pour la collecte des informations. Elle a été basée sur des témoignages individuels, des discussions de groupe ou Focus Group Dirigé (FGD) et des Interviews Semi-Structurés ou ISS (Britten N. et *al*., 1995). Le témoignage individuel consiste en des discussions et conversations informelles avec des individus rencontrés au hasard. Selon la méthode sur critères de saturation théorique des données qui a été développée par Glaser et Strauss en 1967, les informations obtenues peuvent être généralisées pour la communauté lorsque les entretiens n'amènent plus d'éléments nouveaux.

Pour les FGDs, les participants ont été amenés à donner leurs opinions, leurs analyses et propositions sur leur compréhension et raisonnement sur le « comment » et le « pourquoi » du changement climatique. Les Interviews Semi-Structurés ou ISS se résument à des entretiens avec des techniciens locaux, en service dans les secteurs touchés de près ou de loin par le changement climatique.

Des supports de collecte de données basés sur un checklist d'informations conformes aux objectifs et attentes de l'étude ont été élaborés. Les informations collectées dans le guide de discussion du FGD se rapportent à la manière dont la communauté définit le changement climatique, à la perception des modifications environnementales et les réalités climatiques actuelles et dans le temps (5 ans ou 10 ans auparavant). En outre, quelles sont les causes, leur vulnérabilité face à la situation et les stratégies d'adaptation envisagées pour atténuer les effets du changement climatique ?

Le canevas de l'ISS se rapporte aux thématiques des secteurs liés étroitement à l'objectif de l'étude : la démographie (mouvement de population), la santé, l'approvisionnement en eau et l'Agriculture, les chocs, l'évaluation des risques et les stratégies utilisées, ainsi que les priorités des Fokontany.

Les collectes des informations et de données ont eu lieu dans les deux Fokontany de la commune entre 07 et 08 0ctobre 2021. Les données secondaires ont été également collectées pour la vérification des informations obtenues.

Transcription et analyse des données collectées

Pour avoir les données brutes de l'enquête ou verbatim, les prises de notes et les enregistrements ont été transcrits manuellement. Les mêmes réponses issues des données transcrites ont été regroupées par thématique, classées et interprétées pour tirer les principales conclusions. Les informations collectées sous la forme qualitative ont été ensuite traduites de manière quantitative et exploitées sous le logiciel Excel 2016.

La méthode d'ajustement affiné de Mayer a servi à l'extrapolation des surfaces brûlées par les feux du Parc National Ankarafantsika jusqu'en 2030 afin de vérifier les prédictions des participants sur la destruction d'origine anthropique de cette aire protégée.

RESULTATS

Caractéristiques sociodémographiques des participants

Les différentes couches sociales de la population de la localité ont été représentées dans l'étude. La majorité des participants travaille dans l'agriculture (85 %). Leur tranche d'âge varie entre 20 à 57 ans et la totalité ont grandi ou sont nés dans le fokontany. L'interview a vu la participation de 20 hommes et 13 femmes dont 18 témoignages individuels, 2 groupes de discussions Homme-Femme et 07

ISS. La libre expression lors des entretiens a permis le repérage d'un nombre élevé d'informations et de données par rapport aux objectifs fixés. Sur 262 réponses enregistrées, 108 réponses se rapportent à la perception locale du changement climatique, 115 aux risques locaux et à la vulnérabilité liée au changement climatique et, 39 à l'identification des besoins d'adaptation ressentis par la population.

Perception paysanne sur les impacts des perturbations climatiques

La majorité des participants ont affirmé l'existence de modifications dans leur milieu, attribuées au changement du climat. Sur les 108 réponses soutirées, 07 aspects particuliers ont été perçus : i) le milieu physique (53 %), ii) les cataclysmes naturels (15 %), iii) la production rizicole (12 %), iv) l'environnement (8 %), v) la santé de l'Homme et des animaux (7 %), vi) l'apparition d'insectes ravageurs (3 %) et vii) la population (2 %) (Figure 1).

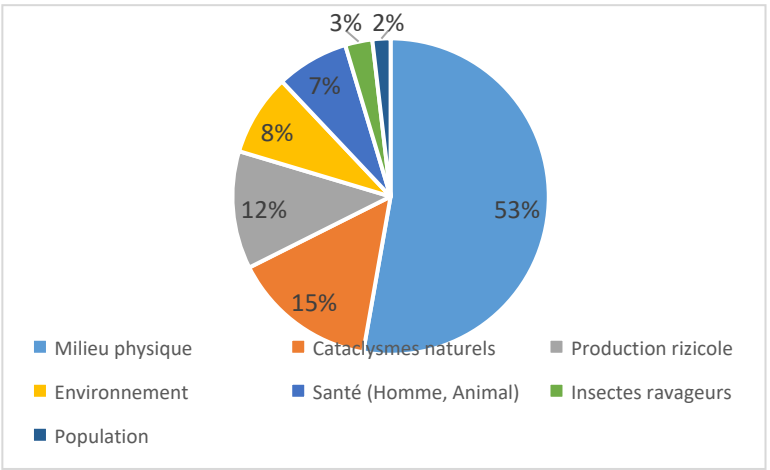


Figure 1 : Perception paysanne des impacts du changement climatique par secteur

a. Impact climatique sur le milieu physique

Les impacts identifiés sur le milieu physique se rapportent au climat (76 %), à la pédologie (18 %) et à l'hydrologie (7 %) (Figure 2).

Pour les facteurs climatiques, les vents ont été très chauds, violents et pollués avec des rafales fréquentes. Les pluies ont été irrégulières, soit en avance soit en retard, et insuffisantes en quantité. La température a été caniculaire.

L'ensablement des rizières et des infrastructures hydrauliques a été cité en second lieu. Pendant la saison des fortes pluies, le fleuve Karambo qui alimente en eau le

Fokontany Befotoana de Marosakoa a débordé, et par conséquent, a inondé les rizières. Suite à la destruction du parc d'Ankarafantsika, ledit fleuve a provoqué des problèmes d'ensablement à cause des alluvions qu'il charrie (Rapport SAC[16] 2017 – 2032).

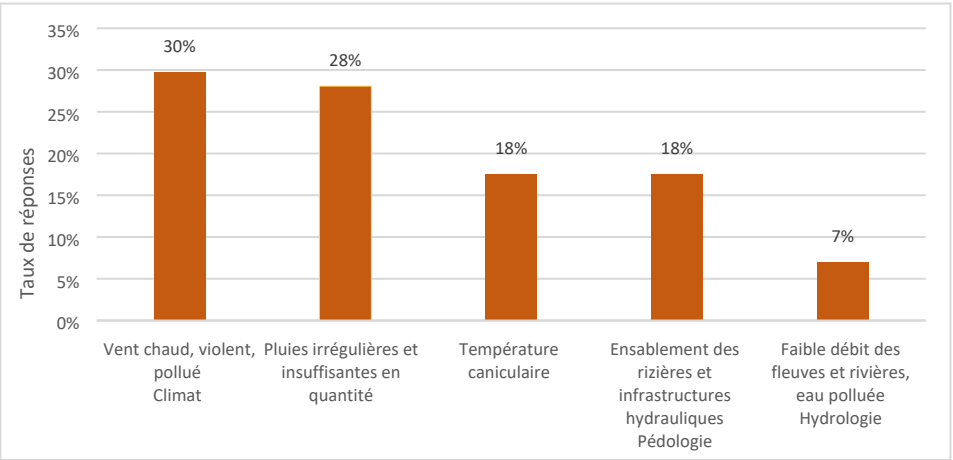


Figure 2 : Perception paysanne de l'impact du changement climatique sur le milieu physique

De mal en pis, la diminution progressive de l'eau s'est faite sentir depuis environ 20 ans. Les fleuves/rivières sont à faible débit et l'eau est de plus en plus polluée (Source ISS).

b. Impact climatique sur les cataclysmes naturels

Les cataclysmes naturels cités concernent la sécheresse (56 %) et les inondations (44 %) (Tableau 1).

Tableau 1 : Perception locale de l'impact du changement climatique par rapport aux cataclysmes naturels (Année 2021).

Paramètres	Indicateurs	Nombre réponses	Taux de réponses (%)
Sécheresse	Insuffisance des pluies	9	56,25

[16] SAC : Schéma d'Aménagement Communal

Inondation	Inondation anormale (Asara)	7	43,75
Total		**16**	**100**

En Janvier 2021, le cyclone Eloïse a entraîné les inondations, les ruptures des barrages et l'ensablement des terrains de culture et des rizières (Randriantsoa D., 2021). Ce cyclone a été suivi par une poche de sécheresse de 2 semaines entre les mois de Février et Avril 2021, période de semis des rizières (Source ISS).

c. Impact climatique sur la production rizicole

Les pluies diluviennes irrégulières qui arrivent soit en avance soit en retard ont entraîné le dérèglement du calendrier cultural et ont affecté la production rizicole. D'une part en 2019, il n'y avait eu de pluies qu'au mois de Mars en occasionnant un empiètement entre les périodes culturales du « vary jeby » et du « vary atriatry ». D'autre part, un paysan se plaignait sur la baisse de sa production de riz depuis 6 ans et affirme que « *pour une même superficie de rizières, auparavant, nous produisions 45 sacs de riz, alors qu'actuellement la production n'est plus que de 15 sacs » (traduction littérale).*

Enfin, les espaces cultivables diminuent suite à l'ensablement et à l'utilisation d'une technique culturale traditionnelle utilisant peu d'engrais.

d. Impact climatique sur l'environnement

Les perturbations de la pluviométrie, de même que les vents violents très chauds et pollués avec des rafales fréquentes ont contribué à la destruction de la forêt à cause de la défloraison précoce des arbres, « *les feuilles ne poussent pas alors qu'on est déjà en Octobre* » *(traduction littérale*) (Témoignage individuel et FGD).

e. Impact climatique sur la santé de l'Homme et des animaux

La recrudescence des maladies infectieuses comme les infections respiratoires, les maladies d'origine hydrique à l'instar de la diarrhée, de la bilharziose et du paludisme a été remarquée depuis les 05 dernières années. Pour l'année 2021, les cas de consultations médicales sur le paludisme ont augmenté de 90 %. Cette augmentation de la prévalence de maladie est due à la pollution de l'air et des sources d'approvisionnement en eau potable (Source ISS).

Chez les animaux, les épidémies virales telles la peste, le choléra aviaire (Barika) et la maladie de Teschen (Ramoletaka) sont apparues en période anormale (Source ISS).

f. Impact climatique sur la prolifération des insectes ravageurs

Depuis l'inondation, des insectes ravageurs comme les B*emavo halandriaka*, les *« Fandrama »* et « *Fano* » ont également fait leur apparition et s'attaquent aux cultures.

g. Impact climatique et phénomène sociodémographique

La migration récente a été évoquée par les participants comme source de destruction de l'écosystème forestier et d'insécurité dans leur localité.

Risques locaux liés au changement climatique

La connaissance des risques liés au changement climatique permettrait d'identifier les enjeux du changement climatique sur la vulnérabilité de la population. Les risques cités sont de 2 types : les risques d'origine naturelle pour 73 % des cas et les risques d'origine anthropique pour les 27 % restants (Tableau 2).

Tableau 2 : Classement des risques et aléas de la commune de Marosakoa

Type de risques	Type d'aléas	Nombre de réponses	Taux de réponse (%)
Risques naturels	Vent	17	14,78
	Pluviométrie	16	13,91
	Biologiques: maladies humaines, animales et insectes ravageurs	11	9,57
	Température	10	8,70
	Ensablement	10	8,70
	Sécheresse	9	7,83
	Inondation anormale	7	6,09
	Baisse du débit des eaux	4	3,48

Type de risques	Type d'aléas	Nombre de réponses	Taux de réponse (%)
Sous total risques naturels		**84**	**73,04**
Risques anthropiques	Destruction massive forêt d'Ankarafantsika	29	25,22
	Diminution superficie à cultiver, épuisement sol	2	1,74
Sous total risques anthropiques		**31**	**26,96**
Total risques		**115**	**100,00**

D'un côté, les risques naturels peuvent être directs ou indirects. Les risques directs concernent surtout le climat (vent, pluviométrie, température) et l'hydrométéorologie (inondation et sécheresse), et les risques indirects se rapportent à l'ensablement, aux maladies humaines et celles des animaux, à l'apparition des insectes ravageurs (Fano, Bemavo, Fandrama) et enfin, la baisse des débits des eaux.

De l'autre côté, les risques anthropiques sont liés surtout à la destruction massive de la forêt d'Ankarafantsika due aux incendies criminels, à la fabrication de charbon, au défrichage ou aux brûlis pour des terrains de culture, et à l'acte de banditisme « phénomène dahalo » (Source FGD et ISS). Les conséquences de la déforestation sont multiples : aggravation des catastrophes naturelles, exposition accrue aux maladies, diminution de la superficie cultivable et appauvrissement des sols par l'ensablement des rizières. Selon un technicien, cet ensablement risque de s'étendre sur toute la plaine de Marovoay jusqu'à Boanamaro si la situation perdure, « le *lac Boanamaro est menacé à cause des feux de végétation du parc d'Ankarafantsika et il serait probable que toute la plaine de Marovoay ne pourrait plus être utilisée si la situation continue* » *(traduction littérale).* La destruction du parc a été accélérée depuis environ 2 ans, *« ... la forêt est détruite d'année en année mais depuis 2 ans, ce sont les actes de banditisme dans le noyau dur qui ont accéléré cette destruction. Il faut se faire accompagner par un agent militaire pour y aller ...* » *(Traduction littérale)*.

Cette assertion est confirmée après analyse des données secondaires se rapportant aux pressions exercées par les feux sur ce Parc National. Entre 2010 et 2016, la

superficie brûlée a presque doublé (Source SAC et Source MNP[17]) (Rabarinelina R. F., 2022) (Tableau 3).

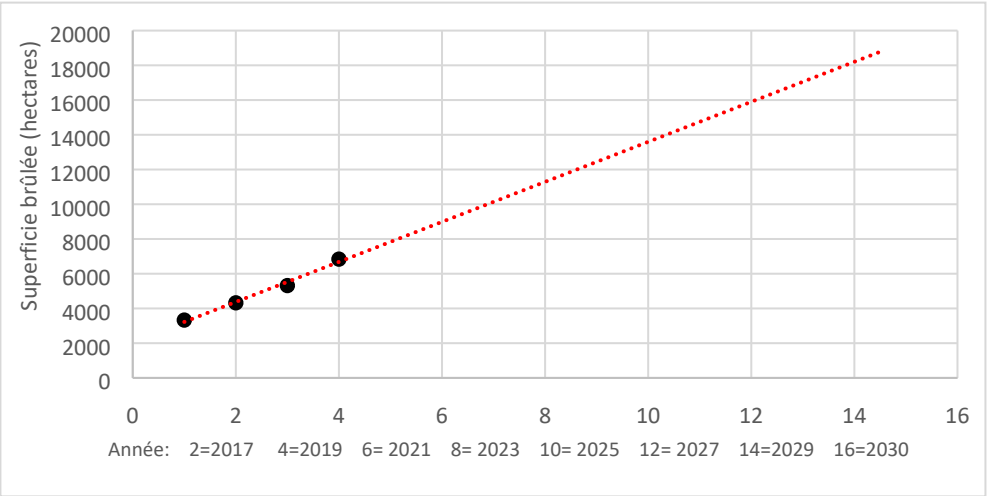
Tableau 3 : Superficies brûlées du Parc National d'Ankarafantsika entre 2016 et 2019.

Année	Superficie brulée (en Ha)
2016	3 330, 00
2017	4 323,35
2018	5 316,69
2019	6 839,63

En effet, grâce à la projection de la superficie brûlée du parc d'Ankarafantsika, à l'aide de la droite d'ajustement de Mayer d'équation $\boldsymbol{y = 1\,126x + 2\,138}$, ce parc connaîtra en 2030 une augmentation de sa superficie brûlée équivalente à un peu plus de la moitié de sa surface actuelle (19 024 ha sur une totale de 33 200 ha). Si la situation continue, elle serait estimée à plus de six fois celle de l'année 2016.

Les mêmes tendances sont constatées avec la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) (Figure 3). Comme la valeur du coefficient de détermination R^2 est proche de 1 $(R^2 = 0{,}99)$, l'ajustement affiné est pertinent.

[17] MNP : Madagascar National Parks



<u>Figure 3 :</u> Projection de la superficie brûlée du parc d'Ankarafantsika jusqu'en 2030.

Vulnérabilité des paysans

La vulnérabilité au risque climatique a été définie par le GIEC[18] comme « le degré auquel un système est sensible et est incapable de faire face aux effets néfastes du réchauffement climatique, y compris dans la variabilité et les extrêmes climatiques » (IPCC[19], 2007).

Les conséquences du changement climatique sur le milieu et le quotidien de la population de Marosakoa sont majoritairement d'ordre <u>micro-économique</u> (69 %), d'ordre social (20 %) et d'ordre spatial (11 %) via la diminution des superficies cultivables (Tableau 4).

Tableau 4 : Vulnérabilité de la population locale face au changement climatique

Type de vulnérabilité	Nombre de réponses	Taux de réponse (%)
Microéconomique	38	69,09
Sociale	11	20,00

[18] GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
[19] IPCC : Intergouvernemental Panel on Climate Change

Type de vulnérabilité	Nombre de réponses	Taux de réponse (%)
Spatiale	6	10,90
Total	**55**	**100**

Une dégradation latente de la situation économique des ménages est attendue car le paysan n'arrive pas à satisfaire ses besoins pour l'année en cours à cause de l'instabilité de la production agricole et son faible rendement. Les ménages de petits paysans agricoles sont plus vulnérables que les ménages recevant un salaire mensuel fixe et ceux qui ont de grandes superficies à cultiver (Source FGD et témoignage individuel, Source ISS).

De plus, les autres sources alimentaires et de revenu comme les mangues ont été également affectées par les perturbations climatiques. Les mangues ne sont pas encore mûres au moment de la descente sur terrain (Octobre 2021) à cause de l'insuffisance de pluies (Source témoignage personnel, FGD et ISS).

Par ailleurs, la vulnérabilité sociale est accrue par une évolution latente de la société, de l'entraide sociale vers l'individualisme, en plus de la diminution des superficies à cultiver liée à l'ensablement des rizières et des infrastructures hydrauliques.

En un mot, la précarité et la déception se retrouvent chez les paysans, « il *n'y a plus de bénéfices à cause de la baisse de notre production* » ou « *on vend nos biens pour acheter des semences, des intrants et des outillages agricoles pour pouvoir cultiver nos terres* » (Source FGD).

Propositions d'atténuation exprimées par les paysans

Conscients de la gravité de la situation sur leur quotidien, les paysans ont proposé de diminuer les effets préjudiciables du changement climatique selon trois axes : conservation de l'écosystème forestier (44 %), réforme agraire (31 %), et développement global de la commune (26 %) (Tableau 5).

Tableau 5 : Actions prioritaires selon la population locale

Domaine	Nombre de réponses	Taux de réponses (%)
Conservation de l'écosystème forestier	17	43,58
Réforme agraire	12	30,76
Développement global	10	25,64
Total	**39**	**100**

La sensibilisation de la population, le reboisement et l'extension des forêts, la protection et l'application stricte de la loi à ceux qui détruisent les forêts diminueraient les pressions exercées sur l'équilibre des 02 écosystèmes forestier et agricole.

Par ailleurs, l'utilisation de variétés de riz résilientes à la sécheresse ou à la submersion est souhaitée pour pallier la non maîtrise du calendrier des cultures du riz. La réforme du système agricole et le développement local en entier sont à repenser face aux inégalités d'adaptation dont le climat n'est qu'une des facettes (FGD, témoignage individuel, ISS).

De même, l'élargissement des sources de revenus des ménages et l'accès aux ressources et aux moyens de production devraient être facilités.

Enfin, l'entretien des canaux d'irrigation fait partie des solutions urgentes proposées.

DISCUSSION

L'étude a permis de constater que les perceptions de la population de la commune rurale de Marosakoa face aux phénomènes météorologiques extrêmes sont en accord avec les perturbations climatiques et leurs conséquences au niveau mondial (Weatherspark[20], 2021).

[20] Weatherspark, le mashup météorologique riche en statistiques qui met les stations météo du monde entier à contribution en récupérant et agrégeant leurs relevées quotidiennes sur plusieurs décennies (potentiellement depuis 1948).

Grâce à leur mémoire du climat, les paysans sont capables d'établir une nette distinction entre le climat « d'aujourd'hui » et celui « d'avant » en se référant aux événements climatiques comme la sécheresse ou le passage d'un cyclone violent qui ont eu des impacts surtout sur leur production agricole.

En effet, au cours de l'année 2021, les vents étaient violents, très chauds et pollués avec des pics répartis tout au long de l'année et des rafales atteignant 60 à 80 km/h au mois de Janvier et Février. Les pluies sont mal réparties car faibles en Décembre, presque inexistantes entre Novembre et Avril, et insuffisantes en quantité ; très intenses uniquement pendant le mois de Janvier et ont provoqué une inondation suivie de poche de sécheresse. La température maximale est plus élevée par rapport à la normale entre les mois de Janvier et Mai, avec des pics aux mois de Mars-Avril et Octobre.

L'influence négative des variabilités climatiques, notamment sur l'insuffisance en eau conditionne toujours la mauvaise saison culturale, situation constatée dans de nombreuses régions du monde, au Ghana, en Afrique du Sud ou au Niger (Amadoul M. et *al.*, 2015 ; Hitayezu P. et *al.,* 2017 ; Boubacar S. et *al.*, 2021).

Dans la Commune de Marosakoa, comme le calendrier agricole n'est plus maîtrisé, la production rizicole a été très affectée. Le vent très chaud a également nui à la phase de maturation du riz contribuant à sa faible production (Randriamahefa A. et Marozara, 2022). Comme à Sambirano en 2018 et dans la Région du Vakinankaratra en 2020, le dérèglement de la température peut créer des désordres physiologiques chez la flore ou la faune. La qualité et la quantité des cacaos produits à Sambirano ont été affectées par l'instabilité de la température en 2018 (Andriamalalanirina P., 2018), tandis que l'augmentation de la température de + 6 °C a entraîné une mauvaise floraison des pommiers dans la Région de Vakinankaratra en 2020 (Muller B. et Rahajaharilaza K., 2020). Le retard de l'arrivée des oiseaux migrateurs, la variation de leur période de nidification, ainsi que la diminution de leur effectif ont été notés dans l'Aire Protégée Complexe de Mahavavy-Kinkony en 2019 (Tsiavahananahary T. J. et *al.*, 2019).

De plus, les maladies infectieuses en recrudescence citées (infections respiratoires, diarrhée, bilharziose et paludisme) sont déjà répertoriées par le Ministère en charge de la santé publique comme des maladies climato sensibles à Madagascar (Ministry of Health et the World Health Organization[21], 2021). D'autres cas de maladie ont été aussi observés chez les animaux endémiques de la biodiversité (Razafiarisoa et *al*., 2018), ainsi que la multiplication des espèces invasives comme les chenilles légionnaires (Razafison R. , 2018).

Par ailleurs, bien que pour la même année, les mêmes phénomènes ont été perçus en milieu urbain par la population de la ville de Mahajanga (Tomboanona S. et *al.*, 2024), l'inégalité sociale due aux impacts du changement climatique a été évidente pour les petits paysans à cause des préjudices directs sur leur principale source de

[21] World Health Organization ou WHO

revenu et la sécurité alimentaire (mauvaise récolte du riz) et leur qualité de vie (vulnérabilité sanitaire).

Les populations locales agricoles sont très conscientes des transformations de leur milieu lié au changement climatique. Mais la contribution humaine dans la déforestation massive du Parc National d'Ankarafantsika est aussi un facteur sous-jacent de l'ensablement de l'écosystème agricole de Marovoay. En effet, la vitesse estimée de progression de l'ensablement de la Commune Rurale de Marosakoa liée à la destruction de l'écosystème forestier d'Ankarafantsika est de 5 hectares par an en 2017 (Rakotomanantsoa M. E., 2017). Les pressions humaines sur l'environnement ne sont pas isolées. On peut en citer entre autres, la disparition progressive des palmiers endémiques malagasy *Tahina spectabilis* à Antsahanifera, District d'Analalava (Tomboanona S. et *al*., 2020).

Enfin, bien que le problème engendré par le changement climatique touche l'ensemble du pays, les propositions sont spécifiques à chaque région, à titre d'exemple le cas d'Amoron'i Mania (Randriamifidison R.F.A et *al*., 2019). Ainsi, pour faire face à ces chocs, les paysans de la Commune Rurale de Marosakoa ont proposé simultanément des solutions réalistes et spécifiques adaptées au contexte local, basées sur l'amélioration de la production agricole et de leur revenu, des issues urgentes au problème de la déforestation et de l'ensablement dont dépend l'équilibre entre les deux écosystèmes locaux, voire pour la plaine de Marovoay toute entière.

CONCLUSION

L'étude a permis d'obtenir les opinions précises des paysans sur les impacts et les risques multiples et spécifiques de leur localité dus au changement climatique. La participation active des paysans dans les discussions a permis de décrire et de comprendre de façon concrète les conséquences économiques, sociales et environnementales du changement climatique dans la commune rurale de Marosakoa. Quoique subjectives, les perceptions des paysans se fondent sur leur vécu au quotidien partant d'une mémoire climatique des événements extrêmes.

L'effectivité du changement climatique a été reconnue et concorde avec les données météorologiques mondiales enregistrées, ainsi que leurs conséquences. Les effets négatifs se répercutent sur les différents secteurs de leur vie : économie, santé et environnement. Le préjudice a été latent mais présenterait de sérieux risques dans le futur si la situation continue.

Enfin, l'impact du changement climatique porte atteinte, non seulement au niveau de la commune, mais aussi au niveau de la plaine de Marovoay toute entière. Conscients de la gravité et de l'urgence de la situation, un ensemble de solutions spécifiques à la commune, dans l'immédiat et à long terme, a été proposé avec des liens, interactions et interdépendances entre les secteurs. Une étude holistique et systémique du changement climatique pourra être menée en complément pour mieux cerner la résilience des paysans.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1) Amadoul M., Villamor G. B., Attua M. E., Traoré S. B., 2015. Comparing farmers' perception of climate change and variability with historical climate data in the Upper East Region of Ghana. Ghana Journal of Geography, Vol. 7, n°1, pp. 47-74.

2) Andriamalalanirina P., 2018 : Risques climatiques, vulnérabilités et mesures d'adaptation pour une filière cacao durable dans la zone du Sambirano. Présentation orale lors du Séminaire international participatif sur la filière Cacao, 31 Janvier 2018. Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des sciences Agronomiques (ESSA) -Helvetas Swiss intercoopération.

3) Boubacar S., Razinatou Y. A., Mahamadou I. S., 2021. Perceptions paysannes du changement climatique et stratégies d'adaptation employées. African Journals Online (AJOL). Agronomie Africaine 33 (2) : 203 - 214 (2021). ISSN : 1015-2288.

4) Britten N, Jones R, Murphy E, Stacy R., 1995. Qualitative research methods in general practice and primary care. Fam Pract. 1995 Mar; 12(1):104-14. doi: 10.1093/fampra/12.1.104. PMID: 7665030.

5) Glaser, B. G., Strauss A. L., Strutzel E. (1967). The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research. Hawthorne, N.Y: Aldine de Gruyter, p. 21-31.

6) Hitayezu P., Wale E., Ortmann G., 2017, « Assessing farmers 'perceptions about climate change: A double-hurdle approach », Climate Risk Management, Vol. 17, pp. 123-138.

7) Institut National de la Statistique, 2020. Résultats globaux du recensement général de la population et de l'habitation de 2018 de Madagascar (RGPH-3). USAID, Union Européenne, World Bank, UNDP, UNFPA.

8) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Climate Change 2007: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)), Synthesis Report IPCC, Geneva, Switzerland, p. 89, pp 104.

9) Mietton M., Cordier S., Frechen M., Dubar M., Beiner M. and Andrianaivoarivony R., 2014. New insights into the age and formation of the Ankarokaroka lavaka and its associated sandy cover (NW Madagascar, Ankarafantsika natural reserve). Earth Surface Processes and Landforms 39, 1467–1477 (2014). Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Ltd. Published online 14 February 2014 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/esp.3536.

10) Ministry of Health and World Health Organization (WHO), 2021. Health and Climate Change. Country Profile 2021. Madagascar. Small Island Developing States Initiative**.**

11) Muller B. et Rahajaharilaza K., 2020. Impacts du changement climatique sur certaines chaînes de valeur des Hautes Terres et propositions de mesures d'adaptation : Ce que la science et les expériences précédentes nous enseignent (p. 122). Projet de Croissance Agricole et de Sécurisation Foncière (CASEF).

12) Rabarinelina R. F., 2022. Analyse par SIG et télédétection des effets des feux de végétation dans le Parc d'Ankarafantsika en vue de leur éradication. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention de grade Master. Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. Mention : Information Géographique et Aménagement du territoire (IGAT). Parcours : Information Géographique et Foncière (IGF), présenté le 24 Mars 2022.

13) Rakotomanantsoa M. E., 2017. Etude de la vulnérabilité des plantations rizicoles face aux risques de catastrophe liés à l'inondation dans la Commune Rurale de Marosakoa de la plaine de Marovoay, Région Boeny. Université d'Antananarivo, Faculté de Droit d'Economie, de Gestion et de Sociologie, Département Economie. Département multidisciplinaire en Gestion des Risques et de Catastrophes. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de MASTER, Aout 2017.

14) Randriamahefa A. et Marozara, 2022. Impacts du changement climatique sur la riziculture de la plaine de Marovoay. Dodo Bocks Indian Ocean Ltd and OmniScriptum S.R.L. ISBN: 978-620-3-44282-3. Editions Universitaires Européennes.

15) Randriamifidison R.F.A, Tsiavahananahary T.J., Rakotoarisoa D. et Andriamampihantona F., 2019. La Région Amoron'i Mania - Madagascar face au changement climatique : réalités, adaptation, projections et orientations stratégiques pour un développement durable. Acte de XXXII ème Colloque Internationale de l'AIC, Thessaloniki, Grèce, 29 Mai au 1er Juin 2019, 45-50.

16) Randriantsoa D., 2021. Cyclone Eloïse : Plus de milliers de sinistrés dans le Nord-Est. L'express de Madagascar. 20 Janvier 2021.

17) Razafiarisoa B., Razaiarivelo C., Ramaromilanto B., 2018. Bioclimatic of mycosis among wild and endemic animals captive-bred at Tsimbazaza Park in the Madagascar. Scientific Research Journal (Scirj), Volume VI, Issue XI, November 2018 Edition, Page 39-45, https://www.scirj.org/nov-2018-paper.php?rp=P1118581.

18) Razafison R. , 2018**.** Madagascar atteint par la chenille légionnaire d'automne. Scidev.net Rapprocher la science et le développement. Antananarivo. 21/03/18.

19) Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Habitat et des Travaux Publics, Région Boeny, 2018. Schéma d'Aménagement Communal (SAC 2017 – 2032). Région Boeny - District Marovoay, Commune Rurale de Marosakoa, Août 2018. Cofinancé par Union Européenne, Coopération Allemande, GIZ, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable.

20) Savoie-Zajc, L., 2006. Comment peut-on construire un échantillonnage scientifiquement valide ? *In* Guillemette, F. et Baribeau, C. Recherche qualitative en sciences humaines et sociales : les questions de l'heure (p. 99-111), Association pour la recherche qualitative : Actes du colloque Recherche qualitative : les questions de l'heure, Hors-Série, numéro 5, Montréal, 16 mai 2006. Montréal, 2007. ISSN 1715-8702.

21) Tomboanona S., Tsiavahananahary T.J., Ramiandrisoa B.A., Randriamifidison R.F.A., Ranarijaona H., 2020. Effets du changement climatique et des pressions humaines sur les palmiers endémiques malgaches : cas de *Tahina spectabilis*. XXXIII ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, pp. 673-678.

22) Tomboanona S., Rasoarivelo J. A., Tsiavahananahary T. J., Maharombaka C., Ranarijaona H.L.T., 2024. Perception et impacts du changement climatique dans la ville de Mahajanga (Madagascar). Papier de conférence au 36 ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie / 36th Conference of the International Association of Climatology. Uploaded on 18 January 2024.

23) Tsiavahananahary T. J., Randriamifidison R.F.A., Tsaradia J. N., Randrianjatovo S., Ranaivojaona S. B., Randrianjafy V. R., Tomboanona S., Andriamasimanana R. H., 2019. Vulnérabilité de la communauté des oiseaux du complexe zones humides Mahavavy- Kinkony face aux changements climatiques : perception des villageois, analyse bioécologique et mesures d'atténuation. XXXIII ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie. p. 691

24) United Nations Climate Change, 2022. Records battus en 2021 pour quatre indicateurs majeurs du changement climatique. Communiqué de presse extérieur 18 mai 2022. https://unfccc.int/fr/news/records-battus-en-2021-pour-quatre-indicateurs-majeurs-du-changement-climatique

25) Weatherspark. (2021). Météo-historique-en-2021-à-Majunga-Madagascar. https://fr.weatherspark.com/h/y/148817/2021/M%C3%A9t%C3%A9o-historique-en-2021-%C3%A0-Majunga-Madagascar#Figures-Summary.

EVALUATION DE NIVEAUX D'EMISSIONS DE REFERENCE DES FORÊTS, CAS DE LA FORET DU PARC NATIONAL ANKARAFANTSIKA

Par

[1]Fridonatien Peguy RAVELONDRAMAMY, [2]Mbolamanana Ziva RANDRIAMINAHY,[3]BEN Anthoy Moussa, [4]Achille Thierry RAKOTO, [5]Rasoloarisoa Vololomboahangy RANDRIANJAFY, [6]Hery Lisy Tiana RANARIJAONA :

[1]Institut Universitaire de Gestion et Management, Université de Mahajanga, Madagascarr. Mail : rfpeguy@gmail.com Info line : 032 43 962 58

[2]Département Education et Conservation, Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza (CNRS), BP 4096 Antananarivo-Madagascar.

[3]Directeur du projet pour la gestion du Parc National Bafing en République de Guinée. Doctorant rattaché au Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétale de l'Université d'Antananarivo-Madagascar.

[4]Institut Universitaire de Gestion et Management, Université de Mahajanga, Madagascar.

[5]École Doctorale sur les Ecosystèmes Naturels, Université de Mahajanga-Madagascar.

[6]Faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, Université de Mahajanga-Madagascar.

RÉSUMÉ

Le crédit carbone se présente comme l'une des solutions pour lutter contre la déforestation à l'échelle mondiale (Simonet, G., 2011b). Cependant, cette initiative s'avère complexe, nécessitant à la fois des compétences techniques et des ressources financières considérables. Une étape cruciale de ce processus est la détermination du Niveau d'Émissions de Référence des forêts (NERF). Dans cette optique, j'ai choisi d'étudier la forêt du Parc National d'Ankarafantsika. L'objectif principal de cette étude était de déterminer le NERF de cette forêt. Pour mener à bien cette recherche, j'ai entrepris différentes enquêtes auprès des promoteurs de projets de crédit carbone et j'ai effectué des recherches documentaires dans plusieurs centres spécialisés. La détermination du NERF implique plusieurs processus méthodiques, commençant par une étude cartographique basée sur l'interprétation d'images satellites Landsat. Cela est suivi par un inventaire forestier au sein de placettes, ainsi que par la collecte d'échantillons comprenant la mesure et le dénombrement des arbres présents dans les sous-placettes, en fonction de leur diamètre à hauteur de poitrine, de leur hauteur totale et de leur hauteur fût. Pour déterminer le NERF, il est nécessaire premièrement établir les Données d'Activités et les Facteurs d'Émissions. Il convient de noter que durant la période d'étude, il a été observé que la forêt dense sèche d'Ankarafantsika a perdu 3,2 % de sa superficie, passant de 831,33 km² en 2010 à 804,83 km² en 2020, tandis que la forêt sèche dégradée a également connu une perte de 8,9 % de sa

superficie, passant de 228,83 km² en 2010 à 208,35 km². Les Données d'Activités pour la forêt dense sèche sont de 240,9 ha par an et pour la forêt sèche dégradée, elles s'élèvent à 186,2 ha par an. En ce qui concerne les facteurs d'émissions, ils sont respectivement de 53,63 TCO_2/ha et 5,96 TCO_2/ha pour la forêt dense sèche, avec les facteurs d'émissions CO_2 et non-CO_2. Pour la forêt sèche dégradée, les facteurs d'émissions CO_2 sont de 55,63 TCO_2/ha et les facteurs d'émissions non-CO_2 sont de 6,03 TCO_2/ha. Par conséquent, le NERF d'Ankarafantsika est estimé à 24 664 TCO_2/an de 2010 à 2020. Cependant, malgré ces résultats, il reste des aspects à améliorer, notamment en ce qui concerne la prise en compte du Carbone Organique du Sol et le nombre de placettes inventoriées.

Mots clés : Parc National Ankarafantsika, NERF, Image satellite, Dioxyde de carbone, Placettes, équation allométrique, Donnée d'Activité, Facteur d'Emission

ABSTRACT

Carbon credits present themselves as one of the solutions to combat deforestation on a global scale (Simonet, G., 2011b). However, this initiative is complex, requiring both technical skills and considerable financial resources. A crucial step in this process is the determination of the Forest Reference Emission Level (NERF). With this in mind, I chose to study the forest of Ankarafantsika National Park. The main objective of this study was to determine the NERF of this forest. To carry out this research, I undertook various surveys with promoters of carbon credit projects and I carried out documentary research in several specialized centers. The determination of the NERF involves several methodical processes, starting with a mapping study based on the interpretation of Landsat satellite images. This is followed by a forest inventory within plots, as well as the collection of samples including measuring and counting the trees present in the subplots, according to their diameter at breast height, their total height and of their height. To determine the NERF, it is necessary first to establish the Activity Data and the Emissions Factors. It should be noted that during the study period, it was observed that the dense dry forest of Ankarafantsika lost 3.2% of its area, from 831.33 km² in 2010 to 804.83 km² in 2020, while degraded dry forest also experienced a loss of 8.9% in area, from 228.83 km² in 2010 to 208.35 km². The Activity Data for the dense dry forest is 240.9 ha per year and for the degraded dry forest, it amounts to 186.2 ha per year. Regarding the emissions factors, they are respectively 53.63 TCO2/ha and 5.96 TCO2/ha for the dense dry forest, with CO2 and non-CO2 emission factors. For degraded dry forest, the CO2 emissions factors are 55.63 TCO2/ha and the non-CO2 emissions factors are 6.03 TCO2/ha. Consequently, the NERF of Ankarafantsika is estimated at 24,664 TCO2/year from 2010 to 2020. However, despite these results, there remain aspects to improve, particularly with regard to the consideration of Soil Organic Carbon and the number of plots inventoried.

Keywords: Ankarafantsika National Park, NERF, Satellite image, Carbon dioxide, Plots, allometric equation, Activity Data, Emission Factor

INTRODUCTION

Il est manifeste que notre climat subit des perturbations, et tout le monde est conscient de cette situation préoccupante. Cette perturbation est principalement due à l'émission importante de Gaz à Effet de Serre dans l'atmosphère (Brown, S.1997). Parmi ces gaz, le plus connu est le dioxyde de carbone ou CO_2, émis par diverses sources telles que les industries, les essais nucléaires et la déforestation (GIEC, 2007).

Pour contrôler cette perturbation, les gouvernements du monde entier ont décidé de limiter les émissions en instituant une taxe carbone (Combet et al, 2009). Cette taxe vise à pénaliser les entreprises dont les émissions de CO_2 dépassent les limites fixées. Elle peut s'appliquer tant aux industries qu'aux activités forestières. En ce qui concerne les forêts, environ 10 à 15 % des émissions mondiales annuelles de gaz à effet de serre sont dues à la déforestation et à la dégradation (Van der Werf et al, 2009).

Comme tous les pays, Madagascar est parmi les émetteurs de ce gaz nocif (Charlie Parker et al, 2008), principalement en raison de la déforestation. Pour atteindre l'objectif de réduction des émissions de CO_2 tout en préservant les forêts, l'accès au marché du carbone est jugé nécessaire (Anger and Sathaye et al, 2008). Il est crucial de noter que le processus de vente de crédits carbone n'est pas facile, la phase de production étant essentielle, notamment la réduction des émissions. Cela ne peut être réalisé sans calculer le Niveau d'Émissions de Référence des Forêts (NERF). Comment calculer le NERF ? Pour cela, j'ai choisi la forêt sèche du Parc National Ankarafantsika, situé au Nord-Ouest de Madagascar, comme champ d'étude. La période de référence s'étend de 2010 à 2020, et l'objectif global est de déterminer le NERF de la forêt du Parc National Ankarafantsika pour cette période.

Les questions de recherche portent sur la manière d'obtenir la valeur des données d'activité et sur le traitement du facteur d'émission. Les objectifs spécifiques sont les suivants : trouver la valeur des données d'activité entre 2010 et 2020 et déterminer les poids des facteurs d'émission.

Pour élaborer cet article, nous suivrons le plan IMMRED, en commençant par l'introduction suivi par la première partie qui consacre aux matériaux et méthodes, ensuite des résultats dans la deuxième partie, et enfin les discussions et recommandations dans la troisième partie.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Site d'études

Le Parc National Ankarafantsika est situé au Nord-Ouest de Madagascar, dans la région Boeny, à 114 km de la ville de Mahajanga, partagé entre les districts d'Ambato Boeny et de Marovoay (Ramanandro, 2014). Il s'étend sur une superficie de 130 026 hectares, ce qui en fait l'une des plus grandes aires protégées de

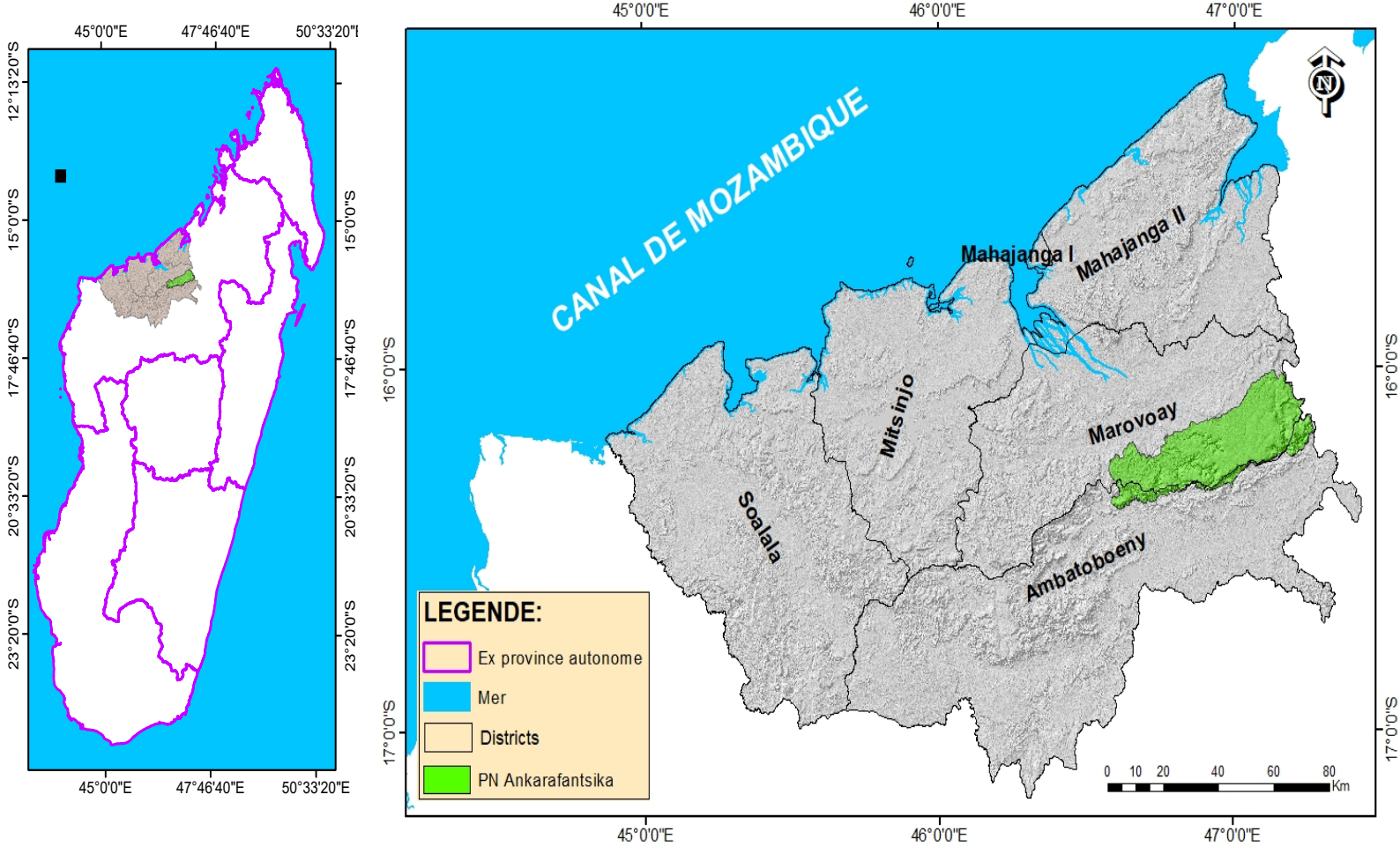
Madagascar[22]. Ses coordonnées géographiques vont de 16°00' à 16°20' de latitude Sud et de 46°34' à 47°17' de longitude Est (Rabarinelina R. F., 2022).

La forêt du parc est une forêt dense de type caducifolié, reposant sur un sol sableux. Elle est dominée par des légumineuses, des euphorbiacées, des moracées et des apocynacées (Randevoson, 2012). Environ 823 espèces y ont été recensées en termes de conservation, dont 82 % de plantes herbacées et 92 % de plantes ligneuses sont endémiques[23] (MEEF, MNP, Région Boeny, juillet 2014). Cette forêt se caractérise par la présence de deux (02) formations végétales : la forêt dense sèche et la forêt sèche dégradée

[22] Plan d'aménagement et de gestion - Parc National Ankarafantsika, 2010

[23] MEEF, Madagascar National Park, PLAN D'AMÉNAGEMENT ET DE GESTION Plan quinquennal de mise en œuvre 2012-2016, Parc National d'Ankarafantsika, Région Boeny, juillet 2014.

Carte 01 : Carte région Boeny et Ankarafantsika



Choix d'outils et de matériels

Matériels et équipements utilisées sur terrain lors d'inventaire forestier

plusieurs matériels ont été déployés pour déterminer cet NERF notamment les matériels physiques regroupant l'ordinateur, bloc-note, Flag, Appareil photo, Hypsomètre, GPS., Boussole, Décamètre, Vertex, Ruban dendrometrique et OSM, Relascope de Bitterlich, des hommes (au moins 3, plus guide), les documents, cartes d'accès au parc, Liste préalable des espèces (flore), Fiche de collecte des données d'inventaire forestier et floristique, Tableau de correction des pentes avec les points à considérer pour la corde n° 1 et pour la corde n° 2, l'ensemble des logiciels de traitements et d'analyses des données, tels les logiciels de transformations d'images (Photoshop, Paint, …), le logiciel de télédétection (ENVI), le logiciel SIG (Arc GIS) (RAZAFINDRAMANGA, 2007).



Source : **Auteur, 2022**

Photo 01 : Quelques matériels et équipements utilisés lors de l'inventaire

Les points à considérer pour l'élaboration du NERF

Pour connaitre la valeur de NERF, il faut déterminer les paramètres suivants : PORTEE DU NERF de laquelle nous examinerons la Définition de la forêt, Portée géographique (National, Régional), Période de référence, Activités considérées (Déforestation, Dégradation), Réservoirs Carbone (Biomasse Aérienne, souterraine, Bois mort et carbone Organique du sol), Gaz à effet de serre considéré (CO_2, NH_4, N_2O). Ensuite, le FACTEUR D'EMISSION qui est composé par : Données d'inventaire utilisées, Equation allométrique utilisée pour le calcul de la biomasse aérienne, Calcul de la biomasse souterraine en utilisant le quotient racinaire/foliacé (root shoot ratio, RSR) ainsi le Carbone organique du sol. Enfin les DONNEES D'ACTIVITES dont on tenir compte le Système de classification UOT et la Méthode d'estimation (Zapfack, L et al, 2013).

Types des méthodes

Nous allons présenter ci-après les méthodes par documents et par enquêtes.

Documentations et Enquêtes

Elle se focalise sur les travaux de documentations auprès des différentes entités à l'aide des recueils bibliographiques et webographies. Pour ce faire, divers centres de documentation ont été fréquentés (Bibliothèque universitaire, bibliothèque virtuelle, CIRAD…), appuyés par nombreux sources sur les site-web. Suivi par séance d'enquêtes auprès des parties prenantes notamment Wildlife Conservation Society (WCS), Office Nationale pour l'Environnement (ONE), Conservation International (CI), Bureau National de Coordination Réduction des Emissions dues à la Déforestation et la Dégradation des Forêts (BNC-REDD+, Direction Générale des forêts (DGF).

Méthode pour déterminer le Donnée d'Activité

Etudes cartographies

Pour déterminer les Données d'Activités, il faut des analyses cartographiques. Elles conçoivent l'analyse de l'évolution du couvert forestier basant sur les directives méthodologiques REDD+ Madagascar visant à définir les méthodes les plus appropriées au regard des cadres méthodologiques du Fond Carbone du FCPF et du VCS. Cette méthode s'est également inspirée d'une étude antérieure effectuée par Grinand et al en 2009 dans le cadre du Programme Holistique de Conservation des Forêts (PHCF), un des projets REDD mis en œuvre à Madagascar depuis 2008.

Période référence

Notre NERF a été développé à partir de données issues de la période historique de référence de 2010 jusqu'à 2020, cette période a été sélectionnée en raison des données récentes et complètes dont elle dispose. Donc période de 11 ans. Par conséquent le NERF quantifie seulement les émissions de la déforestation pendant cette période.

Modalité du calcul de NERF

Calcul de NERF

EMISSION (TCO_2/an) = FACTEUR D'EMISSION (TCO_2/ha) x DONNEE D'ACTIVITE (HA/an)

NERF = TOTAL DES EMISSIONS DUES A LA DEFORESTATION, DEGRADATION - (ABSORPTION DUE A L'AUGMENTATION DU STOCK)[24]

[24] Bureau National de Coordination REDD+ Niveaux d'émissions de référence des forêts de Madagascar pour la réduction des émissions dues à la déforestation, Janvier 2018

Calcul de Facteur d'Emission

Le Facteur d'Emission se divise en deux notamment : le Facteur d'Emission CO_2 et l'autres Facteur d'Emission non CO_2. Leurs formules sont identiques mais la contenue qui fait la différence entre eux.

Facteur d'Emission CO_2

Voici la formule pour celle qui est CO_2 :

Le facteur d'émission est défini de la manière suivante :

$$\boldsymbol{EFj} = (\boldsymbol{BAvant,j} - \boldsymbol{BApres,j})\ \boldsymbol{x\ CF\ X}\ \frac{\mathbf{44}}{\mathbf{12}}$$

Avec

$\boldsymbol{EFj}$ Facteur d'émission pour la transition j en tonnes CO_2 ha-1.

$\boldsymbol{BAvant,j}$ Stock de biomasse avant la conversion du stade forêt au stade non-forêt, pour la transition j, en tonnes de matière sèche ha-1

$\boldsymbol{BApres,j}$ Stock de biomasse après la conversion du stade forêt au stade non-forêt, pour la transition j, en tonnes de matière sèche ha-1. Dans le cas de la biomasse morte, la conformément aux recommandations du GIEC pour le Niveau 1, il a été considéré que la valeur est égale à zéro.

$\boldsymbol{CF}$ Fraction de carbone dans la biomasse sèche (0.47).

44/12 Facteur d'expansion de carbone à CO_2.

Il est à noter que notre Biomasse repartie en trois catégories à savoir : le biomasse Aérienne, le Biomasse souterraine, le Carbone Organique du Sol et le Biomasse de Bois mort (Raharimalala, 2012).

Méthode de calcul des biomasses

Nous allons commencer par la biomasse avant la conversion du stade forêt au stade non-forêt

Calcul de biomasse aérienne

C'est une étape à exécuter après l'inventaire forestière pour déterminer le poids des arbres sèches en utilisant l'équation allométrique. Pour cela, commençons par les arbres vivants.

- **Pour les arbres vivants**

L'équation allométrique permettant d'estimer la biomasse aérienne des forêts sèches de Madagascar est : **AGB = EXP (0,597+1,05*(lnDHP)+0,232*(lnDHP)²+2,447*lnρ)** (Ramananantoandro T, et al. Juin 2021)

Avec AGB : biomasse (kgMS), DHP : diamètre à 130 cm du sol (diamètre à hauteur de poitrine), ln : logarithme népérien, ρ : infradensité du bois au niveau genre (g/cm3)

- **Pour les bois morts sur pied**

L'équation allométrique sur les bois morts sur pied est la même que celle utilisée sur les arbres vivants, mais en appliquant un facteur de réduction (de la biomasse et de la densité) selon l'état de décomposition des bois morts.

Méthode de calcul de Biomasse souterraine

La biomasse souterraine a été estimée en utilisant un quotient racinaire/foliacé (root- shoot ratio, RSR). Les RSR ont été sélectionnés dans la publication de Mokany et al. (2006).

Tableau I : Quotients racinaire/foliacé (RSR)

CATÉGORIE DE VÉGÉTATION (ISSU DE MOKANY ET AL. 2006)	CORRESPONDANCE AVEC LES ÉCORÉGIONS DU NERF	ROOT-SHOOT RATIO	INTERVALLE DE CONFIANCE À 90%	INTERVALLE DE CONFIANCE À 90% [%]
Forêt tropicale/subtropicale sèche > 20 tms/ha	Forêt séche Forêt épineuse	0,275	+/- 0,02	+/- 6,89%
Forêt tropicale/subtropicale sèche < 20 tms/ha	Forêt séche Forêt épineuse Non-Forêt des écorégions des forêts sèches et épineuses	0,563	+/- 0,20	+/- 35,95%

Source : **Mokany et al., 2006.**

Détermination et la valeur du Carbone Organique du Sol

Cette valeur de carbone a été tiré dans une publication des C. Grinanda,b, G. et al. 2017. Le contenu de cette publication sera présenté sur le Tableau ci-dessous.

Classe	**SOC stock 2011 ($MgCha^{-1}$)**	
	30 cm	**100 cm**
	Moyenne	**Moyenne**
Forêt	40.1	84.2
Non forestier	46.8	94.7

Tableau II : Carbone Organique du Sol de forêt sèche et non-forêt en 2011

Source : **Publication de C. Grinanda b, et al., 2017**

Voilà donc les méthodes que nous avons utilisés sur la forêt, ci-après les méthodes pour le Non-forêt

Calcul de biomasse du stade Non-forêt

Pour la biomasse aérienne du stade non-forêt sur la forêt sèche dégradé, on se réfère au rapport de REDD+ concernant le NERF en janvier 2018, page 83.

Tableau III : Biomasse dans des sites post-déforestation localisés dans l'écorégion des forêts sèches

Durée de l'abandon [années]	**Biomasse des arbres + des lianes [tms/ha]**	**n**	**Erreur Standard**
1-5	0.403	5	+/- 0,401

6-10	1.2	5	+/- 0,7
11-20	2.5	5	+/- 0,3
21-30	17.4	5	+/- 4,2
31-40	41.1	5	+/- 8,4
>40	66.9	5	+/- 9,5

Source : **Rapport REDD+, janvier 2018**

Nous avons utilisé la valeur "11-20 ans" puisque c'est celle qui correspond le mieux à la période de transition par défaut d'après les Lignes Directrices du GIEC (2006) pour l'inventaire des gaz à effet de serre.

Facteur d'Emission de Non-CO_2

Le mode de calcul de Facteur d'Emission de Non-CO_2 exige de la détermination de deux paramètres qui sont avéré très important, à savoir : Le superficie de la forêt Ankarafantsika détruit par les feux ainsi que les émissions autres que le CO_2. Ci-après les méthodes de la détermination de ces éléments.

- **Superficie de la forêt Ankarafantsika détruit par les feux**

Cette superficie est déterminée en analysant les images satellites conçu par Foibe Taotsaritanin'i Madagascar (FTM) Antananarivo. En revanche, concernant les émissions Non-CO_2, j'ai utilisé les données bibliographiques du GIEC en 2006. Ci-après son contenu :

- **Émissions autres que le CO_2 dues à la déforestation**

Selon l'équation 2.27 du volume 4 du GLG 2006 du GIEC, les émissions de GES provenant des feux de forêt sont estimées à l'aide de l'équation suivante :

$$L_{fire,t} = A x M_B x C_f x G_{ef} x 10^{-3}$$

Où:

A	uperficie brûlée, ha, ce qui équivaut à A(j , i) Superficie forestière convertie de forêt en non forestière au cours de la période de surveillance, en hectare par an. La description de ce paramètre peut être trouvée plus loin. Il peut s'agir des conversions suivantes : **Forêt primaire à non forestière (DPF);** **Forêt perturbée à forêt non forestière (DDF)** **Forêt secondaire à forêt non forestière (DSF)** **Agroforesterie à non forestière (DAF)** **Plantations non forestières (DPL)**
M_B	*M*asse de carburant disponible pour la combustion, tonnes ha-1. Ceci est équivalent à la biomasse avant la conversion $\boldsymbol{AGB_j}$**.** Il s'agit de la biomasse aérienne dans les zones forestières, car le boisement/reboisement n'implique pas de brûlage avant conversion.
C_f	acteur de combustion, sans dimension. Cela équivaut à : **0,32** pour la forêt primaire, car c'est la valeur pour la forêt tropicale primaire (brûlis) selon le tableau 2.6 des GL 2006 du GIEC
G_{ef}	acteur d'émission, g kg-1 matière sèche brûlée. Cela équivaut à : **6.8** pour le CH_4 car c'est la valeur pour les forêts tropicales selon le tableau 2.6 des GL 2006 du GIEC **0,2** pour le N_2O car il s'agit de la valeur pour les forêts tropicales selon le tableau 2.6 des GL 2006 du GIEC

Source **: Auteur, 2022**

Afin de convertir ces émissions de GES en TCO_2, les émissions de GES de CH_4 et de N_2O sont multipliées par le potentiel de réchauffement planétaire pour les deux gaz (PRP), de sorte que l'équation serait la suivante :

$$L_{fire,t} = A(j,i)xAGB_{Before,j}xC_fx(G_{ef_{ch4}}xGWP_{CH4} + G_{ef_{N2O}}xGWP_{N2O})x10^{-3}$$

Où:

GWP_{CH4}	Potentiel de réchauffement planétaire du CH_4, = 28
GWP_{N2O}	Potentiel de réchauffement planétaire du N_2O, = 265

Source : **Auteur, 2022**

Ainsi, le calcul du NERF représente comme suit :

NERF = TOTAL DES EMISSIONS DUES A LA DEFORESTATION, DEGRADATION - (ABSORPTION DUE À L'AUGMENTATION DU STOCK)

Inventaire forestier

Il s'agit la méthode d'échantillonnage au sein des placettes d'inventaire forestier et écologique. La mise en place a été faite à l'aide d'utilisation des images satellites, de radar. Il faut bien souligner que Madagascar a divisé par grilles de 4km x 4km[25], c'est les points de repères pour installer les placettes. Les manipulations réalisées dans cette procédure ont été faites sous le Logiciel SIG QGIS 3.0.

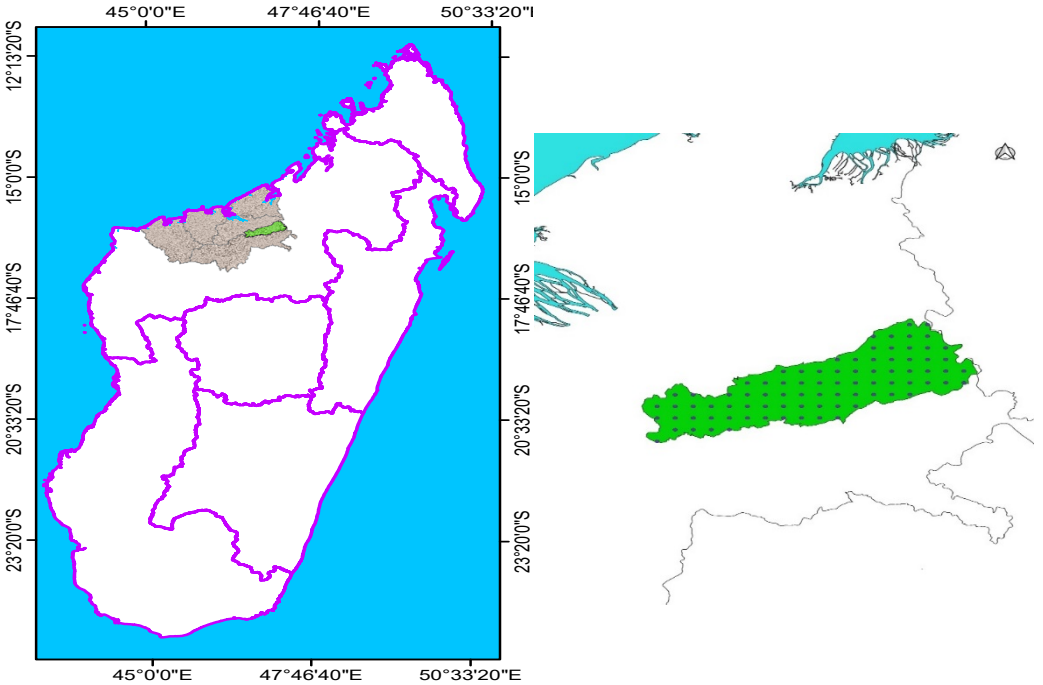
Etapes à suivre pour avoir les placettes d'inventaire

- Extraction de la limite MNP Ankarafantsika dans la couche Aires de protection, sélection dans la table attributaire de l'Aires de protection >> enregistrement de la sélection dans une nouvelle couche.

- Superposition et extraction des points de la grille nationale avec la couche MNP Ankarafantsika, sélection par localisation des points à l'intérieur de la couche MNP_Ankts.shp (RAKOTONARIVO, O. S. (2009)).

Une fois les placettes établies, les coordonnées du centre de chacune d'entre elles sont enregistrées et saisies dans un GPS pour permettre d'y accéder facilement. Dans cette étude, 83 placettes inventorier à l'intérieur du Parc Ankarafantsika.

[25] STRATEGIE NATIONALE REDD+, MADAGASCAR, du 30 mai 2018



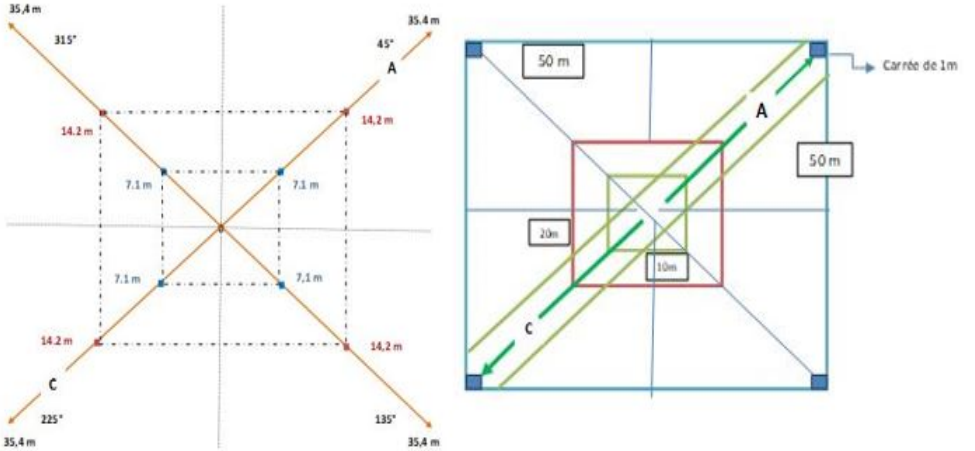
Source : **Auteur, 2018**

Carte 02 : Configuration des placettes MNP Ankarafantsika

Toutes les placettes ont une forme carrée étant donné que c'est la forme la plus adaptée en forêt naturelle (BNC-REDD+, 2018), avec une dimension de 50m x 50m.

Mise en place d'une placette

Pour mettre en place une placette, il faut respectivement chercher le centre de la placette à l'aide du GPS « GO TO » puis on doit identifier la pente du terrain à l'aide du Relascop et en cas d'une pente > 15% il faut utiliser le tableau correction des pentes et calibrer les cordes suivies de la mise en place les 2 cordes sur les diagonales de placette à l'aide de la boussole. (Pignard, G. 2004).



Source : **Auteur 2022**

Figure 01 : Placette 50m x 50m

Chaque placette est divisée en quatre sous-placettes. Sur ce, ci-après les éléments et les types des arbres qui les caractérises (Sanchez C. et al. 2012).

Tableau IV : Types des arbres inventoriés au sein des sous-placettes et les facteurs d'échelle

Taille	Type	Forêts sèches	Facteur d'échelle	Paramètres à mesurer
50m x 50m	Gros arbres	DHP ≥ 20cm	4	DHP, HT, HF
20m x 20m	Arbres moyens	10cm ≤ DHP < 20cm	25	DHP, HT
10m x 10m	Jeunes arbres	2,5cm ≤ DHP < 10cm	100	DHP, HT
1m x 1m	Régénération	DHP < 2,5cm	10 000	Dénombrement

Source : **Auteur, 2022**

Le facteur d'échelle a ainsi été utilisé pour la calculer la biomasse à l'échelle de 1 ha pour chaque arbre.

Activités spécifiques au sein de placette

❖ **Pour les Arbres**. Il faut mesurer et compter les arbres dans les sous-placettes suivant leur DHP et la taille des sous-placettes. Mais pour le cas de la régénération naturelle se trouve 4 angles de notre placette, on dénombre seulement le DHP<2,5. La mesure de DHP se fait environ à 1,30m des arbres puis, celui de hauteur il faut combiner la hauteur totale et la hauteur fut. Il faut tenir compte aussi les positions et les formes des arbres par rapport au plan ainsi l'état des arbres s'ils sont vivants ou morts (BROWN, S. (2005).

❖ **Bois tombé.** L'approche la plus couramment utilisée pour mesurer le bois tombé est la méthode non destructive d'interception linéaire. Elle consiste à compter et à mesurer la largeur de différentes classes de taille de troncs, de branches, de racines-échasses et de tiges morts et détachés. Il faut tenir compte que le bois n'est tombé que lorsqu'il s'est détaché de l'arbre.

Ces mesures sont ensuite utilisées pour calculer la biomasse aérienne à l'aide de relations allométriques et cette biomasse sera par la suite convertie en stock de carbone aérien.

RÉSULTATS

Valeur de la Donnée d'Activité

Changement d'affectation des terres entre 2010 et 2020

Le tableau ci-dessous indique le résultat d'analyse de la déforestation entre 2010 et 2020 au niveau des deux formations végétales dans le parc national Ankarafantsika, c'est les Données d'Activités.

Tableau V : Superficie des forêts et perte de superficie forestière par type de forêt

	SUPERFICIE (HA)		**DEFORESTATION TOTALE PENDANT LA PÉRIODE DE RÉFÉRENCE (HA)**		
Formation	**2010**	**2020**	**2010-2020**	**DEFORESTATION ANNUELLE**	TAUX DE DEFORESTATION

végétales					(%) PAR AN
Forêt dense sèche	83 133	80 483	2 650	240.9	0.3
Forêt sèche dégradée	22 883	20 835	2 048	186.2	0.8
TOTAL	**106 016**	**101 318**	**4 698**	**427.1**	**0.4**

Source : **Auteur, 2023**

Ainsi, les données d'Activités indiquent que la perte annuelle totale de forêt dense sèche et de forêt sèche dégradée s'élève à 427,1 hectares par an.

Tableau VI : Superficie de la forêt Ankarafantsika détruit par les feux par type de forêt

Année	**2010-2020**		
Type d'occupation du sol	Superficie détruit (Ha)	Superficie brulée (Ha) 54.19%	Superficie brulée par an (Ha)
Forêt dense sèche	2 650	1 436	130.5
Forêt dense sèche dégradée	2 048	1 109.8	100.9

Source : **Auteur, 2023**

Valeur de Biomasse

Biomasse dans la forêt d'Ankafantsika

En termes de biomasse, la forêt dense sèche d'Ankarafantsika dispose de 44.38 tms/ha en biomasse aérienne, de 13,00 tms/ha en biomasse souterraine, 179.14 tms/ha en carbone organique du sol, 0,00tms/ha en biomasse de bois mort sur pied et enfin, 0,00 tms/ha en biomasse des débris.

En termes de biomasse, la forêt sèche dégradée d'Ankarafantsika dispose de 44.99 tms/ha en biomasse aérienne, de 13.39 tms/ha en biomasse souterraine, 179.14 tms/ha en carbone organique du sol, de 0,00tms/ha en biomasse de bois mort sur pied et enfin, 0,00 tms/ha en biomasse des débris.

Tableau VII : Biomasse des espèces supérieures à de DHP>5cm (LRA, 2021) dans la forêt dense sèche

FORET DENSE SECHE	AERIENNE	SOUTERRAINE	CARBONE ORGANIQUE DU SOL
Moyenne [tms/ha]	44,37510691	13,00950246	179.14

Source : **Auteur, 2023**

Tableau VIII : Biomasse des espèces supérieures à de DHP>5cm (LRA, 2021) dans la forêt sèche dégradée.

FORET SECHE DEGRADEE	AERIENNE	SOUTERRAINE	CARBONE ORGANIQUE DU SOL
Moyenne [tms/ha]	44,99856741	13,38537349	179.14

Source : **Auteur, 2023**

Biomasse du Non-forêt dans la forêt d'Ankarafantsika

En termes de biomasse Non-forêt, la forêt dense sèche d'Ankarafantsika dispose de 2.5 tms/ha en biomasse aérienne, de 1.41 tms/ha en biomasse souterraine, 201.49 tms/ha en carbone organique du sol, 0,00tms/ha en biomasse de bois mort sur pied et enfin, 0,00 tms/ha en biomasse des débris.

Tableau IX : Biomasse des espèces supérieures à de DHP>5cm (LRA, 2021) dans la forêt sèche.

FORET SECHE	AERIENNE	SOUTERRAINE	CARBONE ORGANIQUE DU SOL
Moyenne [tms/ha]	2.50	1.41	201.49

Source : **Auteur, 2023**

LES FACTEURS D'ÉMISSION

Changements de stocks

Afin de calculer les facteurs d'émissions, en premier lieu, nous allons calculer la biomasse totale de forêt et Non-forêt (biomasse aérienne + biomasse souterraine + Carbone Organique du Sol) de deux formations végétales puis converti cette biomasse en stock de carbone et en équivalent CO_2 en utilisant les facteurs de conversion présentés dans la partie méthode.

Tableau X : Biomasse par réservoir et totale en formation végétale

Tms/ha				
CLASSE FORESTIERES	**BA**	**BS**	**SOC**	**Total**
Forêt Dense Sèche	44.38	13.00	179.14	236.52
Forêt Sèche Dégradée	44.99	13.39	179.14	237.52
Non-forêt Forêt Dense Sèche	2.50	1.41	201.49	205.4
Non-forêt Forêt Sèche Dégradée	2.50	1.41	201.49	205.4

Source : **Auteur, 2023**

Tableau XI : Biomasse totale en classes forestières et non-forestières

CLASSE NERF	BIOMASSE TOTALE [TDM/HA]
Forêt Dense sèche	236.52
Forêt Sèche Dégradée	237.52
Non-forêt Forêt Dense sèche	205.4
Non-forêt Forêt sèche Dégradée	205.4

Source : **Auteur, 2023**

En appliquant les facteurs de conversion Carbone et CO_2 dans le tableau ci-dessous nous aurons les valeurs de carbone en CO_2.

Tableau XII : Facteurs de conversion Carbone et CO_2

Paramètre	**Valeur**	**Source**
Fraction Carbone de la biomasse [tC/tms]	0.4	Lignes directrices AFOLU du GIEC 2006, tableau 4.3 (McGroddy et al. 2004)
Facteur de conversion du C vers le CO_2 [TCO_2/TC]	44/12	Basé sur la masse moléculaire du carbone et de l'oxygène

Source : **Auteur, 2023**

Après la transformation, nous aurons obtenu les stocks de forestiers par formation végétale comme suit :

Tableau XIII : Stocks de carbone forestiers et Non-forestiers

CLASSIFICATION NERF DE L'OCCUPATION DU SOL	STOCKS DE CARBONE [TCO2/HA]
Forêt Dense Sèche	407.6
Forêt Sèche Dégradée	409.33
Non-Forêt, Forêt Dense Sèche	353.97
Non-forêt, Forêt Sèche Dégradée	353.97

Source : **Auteur, 2023**

Tableau XIV : Synthèse des facteurs d'émissions CO_2 en Forêt Dense Sèche et Forêt Sèche Dégradé

CLASSIFICATION NERF DE L'OCCUPATION DU SOL	STOCKS DE CARBONE [TCO_2/HA]
Forêt Dense Sèche	53.63
Forêt Sèche Dégradée	55.63

Source : **Auteur, 2023**

La valeur du stock de carbone est obtenue en soustrayant les facteurs d'émissions de la Forêt dense sèche et la forêt sèche dégradée par le facteur d'Emission de classe Non-forêt de ces deux formations végétales.

III-3-2- Facteurs d'Emissions Non-CO_2

Tableau XV : Facteur d'Emission pour les émissions non-CO_2

Type de végétation	Tms /ha	EF (TCO_2/ha)
Forêt Dense Sèche	3.46	5.96
Forêt Sèche Dégradé	3.5	6.03

Source : **Auteur, 2023**

III-3-2- Quantification de NERF

À partir des données d'activités décrites dans le Tableau V et des facteurs d'émissions présentés dans le Tableau XIV pour le changement de stocks et le Tableau XV pour les émissions non-CO_2, nous avons calculé les émissions annuelles par formation végétale puis sommé l'ensemble de ces émissions pour calculer les émissions de GES totales annuelles sur la période de référence, ce qui correspond au niveau d'émissions de référence des forêts sèche du Parc National Ankarafantsika.

Tableau XVI : Emissions par formation végétale et calcul du NERF

STRATE	CHANGEMENTS DE STOCKS DE CARBONE [TCO_2/AN]	ÉMISSIONS NON-CO_2 [TCO_2/AN]	EMISSIONS [TCO_2/AN]
Déforestation en Forêt Dense Sèche (DFDS)	**12 919.5**	**777.8**	**13 697.3**
Déforestation en Forêt Sèche Dégradée(D_{FSD})	**10 358.3**	**608.4**	**10 966.7**
Niveau d'émissions de référence des forêts	**23 277.8**	**1 386.2**	**24 664**

Source : **Auteur, 2023**

D'après ce tableau, la valeur de Niveau de Référence d'Emission Forestier de la forêt du Parc National d'Ankarafantsika est 24 664 Tonnes de Dioxyde de Carbone par an depuis 2010 jusqu'à 2020.

DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

Discussion sur la méthode utilisée

Nous avons observé un léger changement dans la méthode de calcul du Niveau d'émissions de référence des forêts (NERF) lors de la comparaison avec celui utilisé par le Bureau National de Coordination REDD+ pour la forêt sèche de Madagascar en 2017, publié en janvier 2018. Cette modification concerne les paramètres utilisés dans le calcul. Dans notre étude, nous avons pris en compte le Carbone Organique du Sol (SOC), tandis que cet élément n'était pas pris en compte dans le calcul du NERF en 2018.

Nous avons également remarqué l'absence de biomasse de bois mort dans le calcul de notre NERF, car lors de notre enquête sur le terrain et notamment dans nos placettes d'inventaire, nous n'avons pas trouvé de bois mort. Cela témoigne de l'activité humaine intense dans la forêt du Parc National d'Ankarafantsika[26]

En ce qui concerne les placettes d'inventaire, nous avons utilisé des placettes carrées, contrairement aux placettes circulaires utilisées par le BNC-REDD en 2017. Ces placettes carrées sont placées selon les grilles nationales de 4 km sur 4 km, avec leurs centres situés exactement sur les intersections de chaque grille. Cette disposition rend le calcul du NERF plus facile et facilite également la vérification par les experts.

Discussion concernant l'équation allométrique utilisé

Il est important de souligner qu'auparavant, Madagascar utilisait des équations allométriques conçues pour les forêts humides, telles que celles développées par Chave J., Veilledent et Zanne, pour calculer les biomasses aériennes dans les formations végétales de la forêt sèche. Cependant, grâce aux progrès de la recherche, les forêts sèches de Madagascar disposent désormais de leurs propres équations allométriques. Cela permet d'obtenir des estimations plus précises du stock de carbone forestier.

Discussion concernant les données d'activités et les surfaces détruits par les feux

Il est souvent dit que "rien n'est parfait sur terre", mais dans ce cas, nous nous approchons de la perfection. Auparavant, nous étions contraints d'effectuer des mesures sur le terrain en utilisant des cordes, ce qui nous limitait en termes de temps

[26] RFI Afrique, Madagascar: des migrants envahissent le parc national d'Ankarafantsika Publié le : 07/04/2019 - 00:42 Modifié le : 08/04/2019 - 16:58.

et de positionnement sur le terrain. En revanche, grâce à l'avancement technologique, nous pouvons désormais utiliser les images Landsat pour effectuer ces mesures.

Nous avons constaté qu'entre 2010 et 2020, les incendies de brousse ont été la principale cause de la disparition de la forêt sèche d'Ankarafantsika. Plus de 50 % des surfaces détruites dans la forêt du parc d'Ankarafantsika sont attribuables aux incendies de brousse (Rabarinelina R. F, 2022)

Discussion concernant les biomasses

Les biomasses se distinguent en deux grandes catégories : la biomasse forestière et la biomasse non forestière. Ces deux mesures présentent des valeurs totalement distinctes.

Discussion concernant la Valeurs de biomasse forêt

La forêt sèche dégradée présente une valeur plus élevée en biomasse aérienne (44.99 Tms/ha) et la biomasse racinaire (13.39 Tms/ha) par rapport à la forêt dense sèche avec 44.38 Tms/ha de biomasse aérienne et 13 Tms/ha de biomasse racinaire, cela était légèrement inférieur aux estimations moyennes de 82 Tms/ha des stocks de biomasse aérienne et 50 Tms/ha de carbone racinaire pour les forêts sèches sénégalaises (Jung, 1969). D'autres études sur les forêts sèches de l'écorégion Ouest de Madagascar rapportent également des estimations moyennes de biomasse aérienne à l'ordre de 47.82 Tms/ha de stocks de carbone aérienne et 13.74 Tms/ha de carbone souterraine en forêt dense sèche et 36.28 Tms/ha de carbone aérienne et 10.82 Tms/ha de carbone souterraine forêt sèche dégradée (BNC REDD+, 2020).

Cette différence par rapport aux forêts Sèche de l'écorégion de l'Ouest pourrait être liée au statut particulier qui est Parc National. Même s'il y a toujours de déforestation ou de feux de brousse les Parcs sont toujours des endroits bénéficiant des protections des autorités, donc sa densité est supérieure par rapport aux autres forêts sèche de l'écorégion Ouest.

Discussion concernant la Valeurs de biomasse Non-Forêt et le carbone organique du sol

En raison du manque de moyens financiers, nous n'avons pas été en mesure de déterminer les valeurs de ces éléments par nous-mêmes, mais nous avons dû nous appuyer sur des ressources bibliographiques. Cela pourrait remettre en question l'exactitude des valeurs de ces compartiments. Cependant, étant donné notre confiance dans la publication scientifique et la similitude des caractéristiques des forêts sèches à Madagascar, nous pouvons conclure que ces valeurs sont très proches de la réalité.

Discussion concernant la Valeurs de NERF

La valeur de Niveau de Référence d'Emission Forestier de la forêt du Parc National d'Ankarafantsika est de 24 664 Tonnes de Dioxyde de Carbone par an depuis 2010 jusqu'à 2020. Donc si on cumul pour 11 ans, cette valeur atteindre jusqu'à 271 304 TCO_2. Ce chiffre nous montre l'existence de la destruction massive des forêts au Parc National d'Ankarafantsika et cela ne va pas arrêter là si tous les dirigeants ne prennent pas leurs responsabilités.

RECOMMANDATIONS

Dans le souci d'affiner la recherche et de corriger les points faibles de la méthodologie, les recommandations suivantes sont avancées :

Utilisation de la méthode utilisée

Afin d'obtenir une estimation plus précise du taux de carbone de la forêt du Parc National d'Ankarafantsika, il est essentiel de poursuivre l'utilisation de l'équation allométrique spécifique à la forêt sèche. De plus, il serait nécessaire d'augmenter le nombre de placettes inventoriées. Dans le cadre de notre recherche, seules 12 placettes sur un total de 83 ont été utilisées.

Amélioration de la valeur de Niveau d'Emission Référence de la Forêt

Afin d'obtenir une valeur plus précise du Niveau d'Émission de Référence de la Forêt, il est essentiel que tous les paramètres utilisés dans son calcul soient précisément définis.

Dans cet article, bien que le Carbone Organique du Sol (SOC) soit mentionné, les données utilisées proviennent d'autres études portant sur la forêt sèche qui ne sont pas spécifiques à la forêt d'Ankarafantsika. Par conséquent, il serait nécessaire d'utiliser les valeurs spécifiques du Carbone Organique du Sol (SOC) pour la forêt du Parc National d'Ankarafantsika. Pour ce faire, il est nécessaire de rechercher en premier lieu les valeurs du Carbone Organique du Sol pour la forêt du Parc National d'Ankarafantsika

CONCLUSION

Le Niveau d'Emissions de Référence des Forêts (NERF) représente les émissions de dioxyde de carbone résultant de la déforestation sur une année donnée. Ce NERF est un élément crucial dans la vente de crédits carbone. Les forêts sèches du Parc National d'Ankarafantsika semblent être l'endroit idéal pour mener cette recherche.

Situé au Nord-Ouest de Madagascar dans la région Boeny, à 114 km de la ville de Mahajanga, ce parc est caractérisé par une forêt dense sèche et une forêt sèche dégradée, s'étendant sur une superficie de 130 026 ha et abritant une diversité d'espèces floristiques et faunistiques.

Pour mener cette recherche, j'ai effectué différentes enquêtes auprès des promoteurs de projets carbone, notamment le WVC, le CI et le REDD+, et j'ai consulté de nombreux documents dans divers centres de recherche et en ligne. Afin de déterminer le NERF, il est nécessaire de suivre plusieurs processus méthodiques, commençant par une étude géographique basée sur l'interprétation des images satellites Landsat de 2010 et 2020 des forêts sèches d'Ankarafantsika.

Ensuite, un inventaire forestier a été réalisé, débutant par la détermination des placettes, puis par le prélèvement et la mesure des échantillons, y compris le comptage des arbres en fonction de leur Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP), de leur hauteur totale et de leur hauteur fut. Pour obtenir le NERF, il est nécessaire de déterminer d'abord les Données d'Activités et les Facteurs d'Émissions.

Les données révèlent que la forêt dense sèche d'Ankarafantsika a perdu 3.2 % de son étendue entre 2010 et 2020, passant de 831.33 km² à 804.83 km², tandis que la forêt sèche dégradée a perdu 8.9 % de sa superficie, passant de 228.83 km² à 208.35 km². Les Données d'Activités sont respectivement de 240.9 ha/an pour la forêt dense sèche et de 186.2 ha/an pour la forêt sèche dégradée. Les Facteurs d'Émissions sont de 53.63 TCO_2/ha et 5.96 TCO_2/ha pour la forêt dense sèche (FE CO_2 et FE Non-CO_2), et de 55.63 TCO_2/ha et 6.03 TCO_2/ha pour la forêt sèche dégradée. Par conséquent, le NERF d'Ankarafantsika est évalué à 24 664 TCO_2/an de 2010 à 2020.

Cependant, des améliorations sont nécessaires, notamment en ce qui concerne le Carbone Organique du Sol (SOC) et le nombre de placettes inventoriées. L'utilisation des équations allométriques de la forêt sèche et des images satellites pour déterminer les Données d'Activités s'est avérée pertinente pour cette recherche. Afin d'améliorer la valeur de ce NERF, il est recommandé d'obtenir des données précises sur le SOC de la forêt d'Ankarafantsika et d'augmenter le nombre de placettes d'inventaires.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1) Anger and Sathaye, “Reducing Deforestation and Trading Emissions : Economic Implications for the postKyoto Carbon Market”, Center for European Economic Research, 2008.
2) BROWN, S. (2005). Exploration du potentiel de séquestration du carbone dans les forêts classées de la République de Guinée (Guide de Mesure et de Suivi du Carbone dans les Forêts et Prairies Herbeuses). Winrock international. 39 pages.
3) BROWN, S. (1997). Forest and Climate Change : role of forest lands as carbon sinks. XI World Forestry Congress Antalya, Turkey, FAO : 57.
4) Bureau National de Coordination REDD+ Niveaux d’émissions de référence des forêts de Madagascar pour la réduction des émissions dues à la déforestation, Janvier 2018
5) C. Grinanda,b, G. Le Mairec, G. Vieilledent d, H. Razakamanarivo, T. Razafimbeloe, M. Bernouxa « Estimating temporal changes in soil carbon stocks at ecoregional scale in Madagascar using remote-sensing », 12 September 2016

6) Charlie Parker, Andrew Mitchell, Mandar Trivedi et Niki Mardas, « Le petit livre rouge du REDD », Première publication : novembre 2008.
7) Combet, E., Ghersi, F., Hourcade, J.-C., and Thubin, C. (2009). Économie d'une fiscalité carbone en France. Technical report, CIRED.
8) GIEC (2006) : Lignes Directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (éds). Publié : IGES, Japon.
9) 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. Suisse : 103.
10) GR van der Werf, DC Morton, RS DeFRies, JGJ Olivier,P. S. Kasibhatla, RB Jackson, GJ. Collatzet J.T.. Randerson Emissions de CO2 dues à la perte des forêts, GÉOSCIENCES NATURELLES | VOL2 | NOVEMBRE 2009.
11) GRINAND, C., RAJAONARIVO, BERNOUX M.), PAJOT, BROSSARD, RAZAFIMBELO, ALBRECHT A., Le MARTRET. (2009). "Estimation des stocks de carbone dans les sols de Madagascar." Étude et Gestion des Sols volume 16(issue 1): pages 23-33.
12) IPCC, 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, section 2.2
13) JUNG (G.), 1969. - Cycles biochimiques dans un écosystème de région tropicale sèche : Acacia albida Del. sur sols ferrugineux peu lessivés (Dior). O.E.C.O.L. Plant. 4 (2) : p. 195-210.
14) McGroddy Megan E., Tanguy Daufresne, Lars O. Hedin, SCALING OF C : N:P STOICHIOMETRY IN FORESTS WORLDWIDE : IMPLICATIONS OF TERRESTRIAL REDFIELD-TYPE RATIOS, First published: 01 September 2004
15) MEEF, MNP, PLAN D'AMÉNAGEMENT ET DE GESTION Plan quinquennal de mise en œuvre 2012-2016, Parc National d'Ankarafantsika, Région Boeny, juillet 2014.
16) Mokany, K.; Raison, R.J.; Prokushkin, A.S. (2006) Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. Global Change Biology (2006) 12, 84–96, d oi: 10.1111/ j.1365-2486.2005.001043.
17) Raharimalala, A Buttler, R Schlaepfer et JM Gobat, Quantifying biomass of secondary forest after slash-and-burn cultivation in Central Menabe, Madagascar, 2012.
18) Plan d'aménagement et de gestion du Parc National Ankarafantsika. 2010. (fichier Word MNP).
19) Pignard, G. (2004). Estimation des stocks et des flux de carbone dans la biomasse des forêts françaises à partir des données de l'Inventaire Forestier National. Technical report, Projet Carbofor.
20) RABARINELINA Rivohery Francklin, : Analyse par SIG et Télédétection des effets des feux de végétation dans le Parc d'Ankarafantsika en vue de leur éradication, 2022, 151 pages).
21) RAKOTONARIVO, O. S. (2009). Etude de l'effet du modelé et de la position topographique sur les stocks de carbone de la biomasse végétale et du sol des taillis d'Eucalyptus robusta des hautes terres centrales Malgaches. Cas de

Sambaina-Manjakandriana. ESSA, Département des eaux et forêts, Université d'Antananarivo. Mémoire de fin d'études. 70 pages.
22) RAMANANANDRO Tiana Rinah, 2014, LE DEVELOPPEMENT SOCIO-ECONOMIQUE DES COMMUNAUTES LOCALES DES AIRES PROTEGEES : CAS DU PARC NATIONAL ANKARAFANTSIKA, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Maîtrise ès- Sciences Economiques. Université d'Antananativo, Madagascar.
23) Ramananantoandro Tahiana (Dr.), Randriamalala Josoa (Pr.), Ramanakoto Miora (Dr.), Radosy Heriniaina, LIVRABLE #6B, Manuel d'utilisation des équations allométriques pour estimer les biomasses aériennes -Forêts sèches de Madagascar, 20 juin 2021, 6 pages.
24) Randevoson M.F.F. 2012. Exploration de la voie oxalate-carbonate de calcium pour la séquestration de carbone dans le sol de Madagascar. Mémoire de D.E.A en Sciences agronomiques. Université d'Antananarivo, Madagascar.
25) RAZAFINDRAMANGA (2007). Inventaire forestier dans les forêts naturelles. Ecole Supérieur des sciences agronomiques. 23pages.
26) RFI Afrique, Madagascar : des migrants envahissent le parc national d'Ankarafantsika Publié le : 07/04/2019 – 00 :42 Modifié le : 08/04/2019 - 16:58.
27) Sanchez C., Collard B., Van Driessche I. (2012). Résultats de quelques essais d'inventaire typologique en Wallonie. Forêt Wallonne 118 : 31-42.
28) Simonet, G. ,2011b. La forêt dans l'économie du carbone, Focus sur l'incertitude liée à la mesure des flux de carbone forestiers.
29) STRATEGIE NATIONALE REDD+ MADAGASCAR du 30 mai 2018
30) Zapfack, L., Noumi, N., & Zemagho, L. 2013. Deforestation and carbon stocks in the surroundings of Lobéké National Park (Cameroon) in the Congo Basin. Environ Nat Resour Res., 3(2), p78.

DÉVELOPPEMENT RURAL ET DÉVELOPPEMENT DURABLE VIA L'INSTAURATION D'UN SYSTÈME DE GRAVITATION HYDROAGRICOLE

par

Vavitsara M. E.(1), ANDRIANANTENAINA J. F.(2)

(1) Faculté des Sciences de Technologies et de l'Environnement (FSTE), Université de Mahajanga, Madagascar.

(2) Ecole Doctorale Ecosystème Naturel (EDEN), Université de Mahajanga.

RESUME

Le monde rural est notoirement mal servi en termes de service d'aménagement agricole que l'Etat devrait y faire preuve. Madagascar, ayant largement de superficie agricole et importe son aliment de base est une situation incompréhensible, alors qu'elle est censée être le grenier de l'Océan Indien. En outre, l'effet du changement climatique telle que la sécheresse est un événement incontournable affectant sérieusement sur la production qui touche le monde rural, notamment dans le District de Soalala. Dans ce sens, comment sauver les producteurs face aux pressions politico-diplomatiques et climatiques ? Le présent travail a comme objectifs de promouvoir à sauver le monde rural et leur production agricole : il s'agit de l'instauration du système de gravitation hydroagricole qui sort de l'ordinaire. Ce système d'irrigation consiste à mettre en place un ''dispositif-obstacle'' des eaux de rivière, dans le but de les dévier vers la superficie rizicole afin d'avoir un tas de plusieurs tonnes de sable ou de terres déposées après le passage des inondations, facilitant en effet la déviation des eaux de rivières vers la plaine à irriguer, réalisé avec une main d'œuvre locale (HIMO). Ce système donne des résultats tangibles quant à la mutation du monde rural, il a atténué des problèmes ruraux notamment le phénomène de l'exode rural à 100%, l'augmentation de surface cultivée à 88%, l'augmentation de production à 333%. Désormais, cette créativité innovante donne l'assurance de sécurité alimentaire sans recourir au financement, de lutter contre la démotivation de l'Etat au service du développement rural et enfin, affranchir les pressions climatiques.

Mots-clés : Changement climatique, Développement rural, District de Soalala, Production, Système innovant

ABSTRACT

The rural world is notoriously poorly served in terms of the agricultural development services that the State should be providing. Madagascar, which has a large agricultural area and imports its staple food, is an incomprehensible situation, even though it's supposed to be the breadbasket of the Indian Ocean. In addition, the effect of climate change, such as drought, is seriously affecting production in rural

areas, particularly in the Soalala District. So, how can we save our producers in the face of political and climatic pressures? The present work has as objectives to promote to save the rural world and their agricultural production: the introduction of a hydro-agricultural gravitation system that's out of the ordinary. This irrigation system consists of setting up a river water *" barrier "*, with the aim of diverting them towards the rice-growing area so as to have a pile of several tons of sand or earth deposited after the passage of floods, facilitating the detour of river water to the plain to be irrigated, carried out with local labor (HIMO). This system is producing tangible results in the transformation of the rural world, it alleviates rural problems, notably rural exodus (100 %), increases cultivated area (88 %) and increases production (333 %). From now on, this innovative creativity will ensure food safety without the need for financing and relieve climatic pressures.

Key Words: *Climate change, Rural development, Soalala District, Production, Innovative system.*

INTRODUCTION

Madagascar est un pays à vocation agricole, son économie est naturellement basée sur l'agriculture, 85 % des exploitants agricoles cultivent du riz (INSTAT, 2002 ; Fraslin, 2002). Cependant, des situations sont paradoxales car le Pays importe à chaque fois du riz, alors qu'il possède largement près de 36.000.000 hectares (60 %) de superficie cultivable (Rabezandrina, 2002 ; MAEP, 2006).

De plus, la conséquence du changement climatique (CC), telle que la sècheresse, constitue une menace immédiate pour la sécurité alimentaire des ménages ruraux qui dépendent de l'agriculture à petite échelle (agriculture familiale). La surface cultivée par rapport à celle cultivable, ainsi que la production ou le rendement rizicole sont effectivement réduites sans même couvrir le besoin familial pour quelques mois, c'est le phénomène de la pauvreté régnant en milieu rural (INSTAT, 2008 ; Dabat et *al.*, 2008) où les chocs ont des effets durables sur le bien-être des ménages ruraux (INSTAT, 2002 ; EPM, 2010). L'effet du changement climatique est, non seulement source d'insuffisance alimentaire ou de malnutrition, et de vulnérabilité de la population rurale, mais perturbe aussi la vie sociale rurale à l'origine de l'exode rural.

Face à cette situation, il est donc intéressant de discerner les paramètres responsables de ces problématiques car, un pays ayant de larges capacités agronomiques (Dabat et Fabre, 2000), qui importe à chaque fois son aliment de base, est un phénomène inimaginable et inconcevable.

C'est dans ce contexte que cette étude sur la création innovante de '' **l'instauration d'un Système de Gravitation HydroAgricole**'' est entreprise. Elle offre aux producteurs malagasy, non seulement un nouveau souffle pour la production, mais aussi la possibilité de lutter contre la sècheresse pour promouvoir le

développement rural. Il s'agit de la construction d'un *''dispositif obstacle''* servant de barrage pour irriguer durablement la plaine.

Le présent travail a été mené dans le District de Soalala, dans la Région Boeny - Mahajanga, Madagascar ; trois plaines remarquables ont fait l'objet d'étude selon leur système d'irrigation, le mode de vie rural ainsi que le mode de vie ethnoécologique.

L'objectif est de rechercher des moyens appropriés à la disposition des producteurs ruraux afin de mieux gérer leurs problèmes face au changement climatique, entre autres : l'insuffisance alimentaire, la pauvreté rurale, et le freinage de l'exode rural, en exploitant les ressources naturelles suivant le concept de développement durable.

Les objectifs spécifiques sont de :

- Concevoir des outils pratiques faciles à développer, comme politique d'adaptation et d'atténuation pour les systèmes agricoles ou rizicoles, en faveur des paysans.

- Surmonter les menaces imposées par le CC afin de stabiliser la sécurité alimentaire et de renforcer les moyens de subsistance des agriculteurs.

- Atténuer le flux de main - d'œuvre du milieu rural vers la ville, améliorer le cadre de vie des ruraux et augmenter le revenu des paysans, exploiter les ressources naturelles suivant le concept de développement durable impliquant la protection de l'environnement.

MATERIELS ET METHODES

Matériels

Puisqu'il s'agit de la construction d'un **" *dispositif obstacle* "** servant de barrage pour irriguer la plaine, les matériels agricoles que les paysans ont déjà à leur disposition sont utilisés, avec la main d'œuvre HIMO.

Les matériels nécessaires pour procéder à l'accomplissement de l'installation du **dispositif hydroagricole** sont présentés dans le tableau ci-après**.**

Tableau 12 : Matériels utilisés pour l'instauration du SGHA (Andrianantenaina, 2016)

DESIGNATION	PHOTOS	UTILISATION
Grand couteau ou ''Mesobe''		Coupe bois
La pelle ou ''Angady''	 	Creusement des canaux d'irrigation
Charrette	 	Servant de transport de bois découpés
Houe Africaine et barre à mines	 	Brise motte, traçage et alignement de canaux
Gros marteau en bois (La masse)	 	Enfouissement des armatures.

Sac vide (Sac de ciment)	 	Curage de canaux (Motte de terre, sable)
Liane (vahivahy)	 	Attache adhésive des armatures
Mains d'œuvre locale **HIMO**	 	Réalisation des travaux

Le terme ''**HIMO''** ou ''*Asa tagna-maro*'' signifie ''**Haute intensité de Main d'œuvre''**. C'est une stratégie d'action humanitaire visant à investir dans des projets ou programmes favorisant l'emploi des populations locales en vue d'exercer une action générant des avantages communs tels que l'assainissement, le curage des canaux, etc… (Bourde, 2008). Mais ici, l'HIMO sans financement a pour objectif de prendre en main le développement sur les plans sociaux et économiques (APEJ, 2010) sans attendre le financement étatique.

Zone d'étude

Cette étude a été effectuée dans le District de Soalala, dans la Région Boeny - Mahajanga.

Située sur la partie littorale Nord-Ouest de Madagascar avec une longueur de côte de 690 km, la Région Boeny est délimitée au Nord par la Région Sofia, à l'Est par la Région Betsiboka, au Sud par la Région Melaky. Elle est composée de six Districts **(Figure 1)** dont Mahajanga I le chef-lieu de Région, Mahajanga II au Nord, Soalala à l'extrême Sud-Ouest, Mitsinjo à l'Ouest, Marovoay au Centre-Sud et Ambato Boeny à l'Est.

Le District de Soalala est composé de trois communes, sa superficie est de 6790 km^2 avec une population d'environ 27 434 habitants.

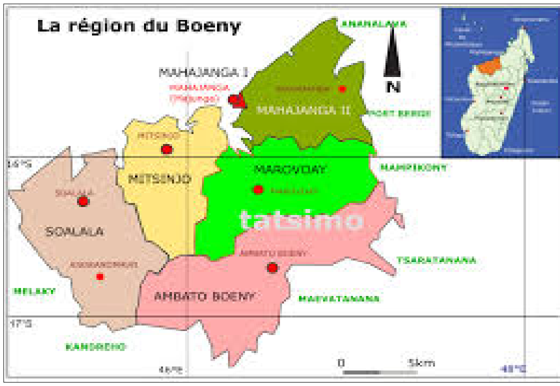


Figure 1 : Carte de la Région Boeny montrant le District de Soalala **(**CREAM, 2013**)**

Méthodes adoptées

Il est important de préciser qu'il s'agit de la mise au point d'une méthode.

Le Système de Gravitation HydroAgricole (SGHA) utilise une biomasse de bois. Les bois utilisés proviennent de droit d'usage de la population au sein de la forêt dense, loin du village (1 à 3 Km).

Principes du Système de Gravitation HydroAgricole

Les principes du SGHA reposent sur une seule hypothèse : ***"Déviation de direction des eaux de rivière vers le périmètre à irriguer"*** **(Figure 2)** dans le but d'irriguer toute la plaine en permanence par un dispositif simple, utilisant du bois ou de la matière plastique, afin d'étendre la surface cultivable.

Les principes sont : l'implantation de dispositif-obstacle dans le cours d'eau **(Figure 2a)**, l'obstruction automatique de ce dispositif érigé suite au passage des inondations ultérieures **(Figure 2b)**, et enfin l'irrigation de la plaine à travers des canaux d'irrigation **(Figure 2c).**



(a) **(b)** **(c)**

Figure 2 : Principe général du Système de Gravitation HydroAgricole (SGHA) :

(a) Dispositif installé ; **(b)** Résultat après inondation ; **(c)** Irrigation vers la plaine. *(Source : Andrianantenaina, 2016)*

Concept du Système de Gravitation HydroAgricole

L'accumulation ou la formation de tas de sable ou des terres après le passage des inondations serait le "résultat attendu".

Il est à noter que cette recherche agricole veut capitaliser les effets néfastes du changement climatique tels que les inondations pour permettre l'irrigation des périmètres agricoles. Le passage des inondations, malgré leurs effets destructifs pour la culture, est utile car il y a la formation d'un barrage naturel. Les grosses pluies annuelles emmènent avec elles des eaux de ruissellement, faisant un passage forcé, en perçant fatalement le dispositif préalablement érigé, en y déposant des tonnes de débris divers, et surtout d'énormes quantités de terres et de sable s'accumulant sur la base du dispositif, formant naturellement un barrage (**Figure 3**).

L'essai a été réalisé au niveau de trois plaines en état critique du District de Soalala : les plaines de Belafika, d'Antanamahitsy et de Bekomanga.

Les photos ci-dessous illustrent le système d'obstruction après le passage des inondations.



Figure 3 : Dispositif auto colmaté après le passage des inondations. *(Source : Andrianantenaina, 2016)*

Modèle de conception

Les différentes phases techniques pour la mise œuvre du dispositif obstacle sont les suivantes :

- Récolte et transport des bois en moyenne de **2,5 m à 3 m de long,** ayant une circonférence de **22 cm** au minimum.

- Implantation du dispositif de SGHA au niveau de la rivière qui se résume par les étapes suivantes : (1) Taillage des bois de façon à avoir un **bout pointu de 25 cm** ; (2) Implantation manuelle en enfouissant les bois taillés sous le fond de la rivière au moins de **1 m avec une pente de 45°** (en forme X)**,** en repérant l'alignement du barrage hydroagricole par rapport au positionnement des canaux

d'irrigation ; (3) Adjonction qui consiste à rassembler toutes les parties des armatures par une liane **;** (4) Phase de colmatage ou obstruction qui consiste à remplir tous les espaces creux, de façon à former un obstacle contre le passage de cours d'eau afin d'avoir un bon résultat de colmatage ; (5) Phase de creusement des canaux d'irrigation (environ **3 m de large** et **1 à 2 m de profondeur**) pour évacuer l'eau vers la superficie à cultiver. Son exécution n'est possible que par l'exploitation de main d'œuvre locale ou **HIMO** (Haute Intensité de Main d'œuvre) ou ''Asa tagna-maro''.

Traitement des données

Une analyse statistique a été effectuée pour traiter les données numériques en utilisant le **logiciel « R ».** Le test de Students (t-test) a été choisi pour la comparaison de situation existante AVANT la création ou l'expérimentation, et en suivant l'évolution de la situation APRES l'installation de SGHA, tant de la superficie, du rendement, ainsi que dans le mouvement de la population suivant la sévérité des évènements climatiques.

Le traitement de données informatiques suivant ce logiciel « R » donnerait des tendances générales pouvant aider à concevoir, ainsi qu'à affirmer une conclusion crédible.

RESULTATS

Auto colmatage et irrigation

Après la phase de conception du dispositif obstacle, et pendant le passage d'eau durant la période de pluie, le dispositif est érigé et immergé par ***l'inondation*** **(Figure 4)**. C'est un phénomène indispensable quant à la formation de barrage naturel. Après le passage des inondations du mois de janvier au mois de mars, il a été constaté que des entassements de sable et de terres emmenées par les eaux de pluie s'accumulent sur le dispositif implanté **(Figure 5)** à cause de l'obstruction préalablement établie, et ces phénomènes constituent un édifice de barrage naturel **(Figure 5).**



Figure 4 : Dispositif immergé dans l'inondation *(Source : Andrianantenaina, 2016)*

Le SGHA est une recherche consistant à capitaliser les effets néfastes du CC comme **l'inondation** pour permettre l'irrigation des périmètres agricoles. Le passage des inondations permet la formation d'un barrage naturel **(Figure 5),** parce qu'il apporte ou dépose d'énormes volumes de sable et de terres sur le dispositif obstacle préalablement érigé.



Figure 5 : Système auto colmatage après le passage des inondations. *(Source : Andrianantenaina, 2016)*

L'irrigation de périmètre agricole est l'objectif final de l'installation du ***dispositif – obstacle*** afin de dévier les eaux de rivière vers la rizière pour éviter le problème récurrent de la sècheresse appauvrissant les paysans ruraux. Une fois que les eaux passent dans les canaux d'irrigation préalablement aménagés, c'est la réussite des travaux **(Figure 5 et 6).**





(a) **(b)**

Figure 6 : Entrée d'eau dans les canaux d'irrigation : **(a)** Canal creusé ; **(b)** Eau déviée dans le canal. *(Source : Andrianantenaina, 2016)*

L'irrigation, à son tour, influence réellement le changement du mode de vie rurale ; elle peut éradiquer progressivement la maladie chronique de la pauvreté en milieu rural puisque la sècheresse n'inflige pas la culture. De plus, elle garantit la sécurité alimentaire grâce à l'augmentation de la production rizicole **(Figure 7).** Enfin, une fois que la culture est possible, ceux qui sont partis retournent automatiquement pour produire davantage.

A titre de résultat révélé du SGHA, une comparaison des images d'une même plaine avant et après l'installation du SGHA est présentée ci-dessous.

En 2015 **(**avant implantation**)**, la sévérité de la sècheresse aboutissait à une zéro production (**Figure 7 a).** Alors qu'en 2018 **(**après implantation**)**, les paysans ont pu cultiver pendant deux saisons de cultures grâce à l'adoption de technique du SGHA favorisant l'irrigation permanente de leur plaine (**Figure 7 b**). Ceci indique que le SGHA influe largement sur le changement du mode de vie rurale, sur le plan social et économique de chaque foyer.





(a) **(b)**

Figure 7 : Résultat du SGHA : **(a) :** plaine avant implantation **(b)** : plaine après implantation. Plaine de Belafika*. (Source : Andrianantenaina, 2016)*

Augmentation des surfaces cultivées

Pour mieux comprendre la situation sur l'évolution de la surface cultivée grâce à l'implantation du SGHA, il importe de montrer ici (**Figure 8**) un histogramme exposant à la fois la situation (moyenne) des trois plaines contrôlées (Antanamanintsy, Belafika, Bekomanga) avant et après l'implantation du SGHA.

Avant l'implantation du SGHA dans le district de Soalala, la moyenne de surface cultivée avoisine les 56 %**,** soit 326 ha**.** Autrement dit, les paysans ont perdu la quasi-totalité de leur surface cultivée, ceci affectant la quantité de leur production.

A partir de l'année 2016, la mise en place de la ***création agricole*** influe positivement sur la ***mutation rurale*** car la surface cultivée s'est élevée à 866 ha, soit 88 %, proche de sa superficie totale (989 ha) (**Figure 8**). Autrement dit**,** ***toute surface cultivable s'est transformée en surface cultivée*** **(Figure 8) ;** ce qui signifie que le SGHA a permis la récupération de surface perdue depuis plusieurs années. Le résultat statistique montre qu'il y a une différence hautement significative entre les surfaces cultivables avant et après l'implantation du SGHA, avec une probabilité ***p = 0,0020.***

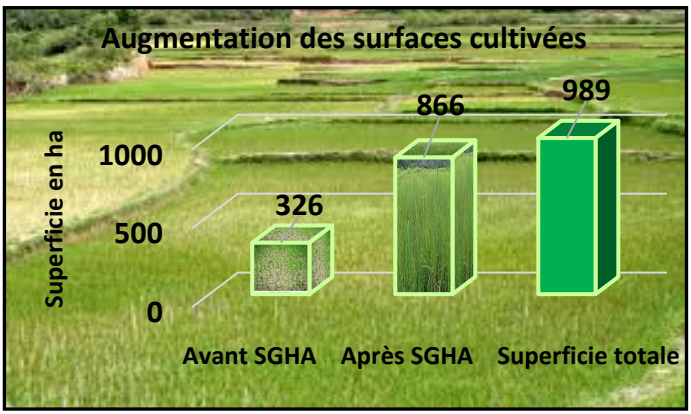


Figure 8 : Evolution des surfaces cultivées AVANT et APRES l'implantation du SGHA (moyenne sur les 3 sites d'études). *(Source : Auteur, 2024)*

Augmentation de la production (ou de rendement)

Le **Tableau 2** montre la différence observée entre le rendement obtenu pour chaque plaine AVANT l'implantation du SGHA (moyenne de 0,625 t/ha) et APRES l'implantation (moyenne de 2 t/ha). Cette situation peut être une augmentation naturelle liée à la disponibilité en eau dans le périmètre. Il est à remarquer de ce résultat qu'il y a une augmentation importante de rendement pour chaque plaine (augmentation moyenne de 333 % pour les 3 plaines). Le résultat statistique montre qu'il y a une différence hautement significative entre les productions avant et après l'implantation du SGHA, avec une probabilité ***p = 0,0034.***

Tableau 2 : Comparaison de rendement AVANT et APRES l'implantation du SGHA dans les trois plaines étudiées (Belafika, Antanamanitsy, Bekomanga). *(Source : Auteur, 2024)*

Plaines	Rendement Avant SGHA (t/ha)	Rendement Après SGHA (t/ha)
Belafika	**0,7**	**2,0**
Antanamanitsy	**0,65**	**1,9**
Bekomanga	**0,5**	**2,0**
Moyenne	**0,625**	**2**

Tendance du nombre de population

Quant au nombre de population, avant l'implantation du SGHA, la population moyenne dans les trois plaines était de **214 individus** (**Figure 9**), tandis qu'après l'implantation du SGHA, le nombre de population a atteint **405 individus,** soit une augmentation de **près de 100 %** par rapport au nombre précédent. Cela veut dire que la raison d'être des paysans est leur lien entre la terre et l'agriculture. Le résultat statistique montre qu'il y a une différence hautement significative entre le nombre de population avant et après l'implantation du SGHA, avec une probabilité ***p = 0,0048.***

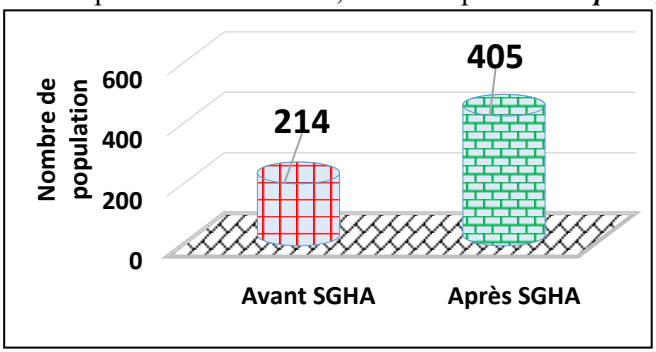


Figure 9 : Evolution du nombre de population AVANT et APRES l'implantation du SGHA (moyenne sur les 3 sites d'études). *(Source : Auteur, 2024)*

DISCUSSION

Le changement climatique qui cause la sècheresse (IPCC et *al.*, 2007) aura des conséquences radicales sur l'agriculture, et affecte massivement la sécurité alimentaire [FAO, 2007 ; IFPRI, 2009). La logique est que la sècheresse engendre la famine, et la famine à son tour, est un indicateur de la pauvreté en milieu rural (IPCC et *al.*, 2007). *Comment alors sauver les paysans* ? La solution trouvée est de mener des recherches agricoles ayant comme objectif de renforcer les capacités

d'adaptation des cultures à faire face aux impacts du changement climatique (GIEC, 2015) comme le cas de la présente étude.

Dans le District de Soalala, le phénomène migratoire s'est produit depuis 2012, et s'est intensifié surtout à partir des années 2013, 2014 et 2015. C'est la conséquence de la dégradation des ressources et des activités agricoles. C'est pourquoi, cette étude *fournit des éléments révélateurs et innovants* visant à encourager le plus rapidement possible l'amélioration des systèmes de production rurale à moindre coût, conduisant à remédier aux problématiques en milieu rural. De quelle manière ? En aidant les producteurs à gérer leurs problèmes ruraux sans dépendre des financements, ni de la volonté politique qui échoue souvent. Par conséquent, le SGHA est conçu pour résoudre le problème de l'insuffisance alimentaire, de la pauvreté en milieu rural, et pour atténuer l'apparition ou la réapparition du phénomène de l'exode rural, pour un développement rural durable.

Par ailleurs, puisque le rendement atteint **3,2 t/ha**, ce qui est proche de celui du PAPRiz (Projet pour l'Amélioration de la Production de Riz) de 4 t/ha (PAPRiz 2, 2017)**,** l'objectif d'un rendement double d'environ **6 t/ha** serait largement atteint en appliquant ce nouveau système combiné avec *d'autres méthodes* : soit par le remplacement de semences, soit par la méthode de travaux de terrain (ou labour), soit par l'utilisation de matériels agricoles, soit par l'adoption de technique de culture comme le Système de Riziculture Intensif (SRI) (Laulanie, 2003), ainsi que par l'apport régulier de fertilisants. Sans doute, la combinaison de ces trois techniques, à savoir semence, technique, et fertilisant pourra doubler ou tripler la production.

Le **barrage en dur** habituel nécessite de longues procédures d'exécution et ***dépend strictement des financements.*** Il ne supporte pas les effets des fléaux, surtout le cyclone. Quant au **SGHA**, il ne requiert pas beaucoup de temps pour être mis en place, mais utilise une **main d'œuvre non salariée** ; il ne nécessite pas de normes de construction sophistiquées, mais des connaissances empiriques et simples, utilisant des outils naturels facilement accessibles. En effet, la réalisation du SGHA ne requiert pas de subvention ni de financement important. De plus, il résiste mieux à des fléaux dont les impacts sont exploités par l'intermédiaire des dépôts ou des entassements de sable sur le dispositif érigé qui va constituer un barrage naturel favorisant la gravitation des eaux vers les canaux d'irrigation pour irriguer la plaine.

Ce système est durable car une fois installé, l'eau sera déviée définitivement et pourra inonder les plaines cibles. C'est aussi un développement durable prenant en considération les trois piliers du développement : le pilier économique génère des profits par l'augmentation de la production, donc des sources de revenu ; le pilier environnement par l'utilisation des moyens simples avec des ressources naturelles dont la construction contribue au respect de l'environnement ; le pilier social rétablit et mobilise la main-d'œuvre locale et offre du travail pour la population locale.

CONCLUSION

Le désengagement de l'Etat ou des partenaires techniques et financiers dans ce cadre, ainsi que les effets du changement climatique affectant la production étaient à l'origine de la ***création du SGHA pour un développement rural*** dans le but de combattre la conséquence de la sècheresse et de surmonter les entraves politiques.

La création du SGHA vise à apporter des moyens appropriés pour gérer les problèmes ruraux, en impliquant les producteurs dans le dispositif du développement agricole sans dépendance au financement ; elle se focalise aussi dans l'élimination progressive de la pauvreté et de l'insuffisance alimentaire, l'empêchement du phénomène de l'exode rural, d'où le développement rural.

Le dispositif hydroagricole a donné des résultats très spectaculaires car il récupère en totalité les surfaces abandonnées auparavant. Autrement dit, la diminution des surfaces cultivées est désormais convertie en *augmentation des surfaces cultivables permettant l'augmentation des rendements*. Dorénavant, les paysans peuvent avoir une meilleure assurance en termes de stabilité alimentaire et restent impassibles quel que soit l'ampleur des pressions climatiques et politiques. Cette création du SGHA a largement *des effets bénéfiques* pour la récupération automatique de main-d'œuvre délaissée. La raison d'être des paysans dans les zones rurales est la terre et l'agriculture**.**

Une politique décisive du développement rural à travers l'extension des réseaux hydroagricoles dans tous les périmètres de Madagascar est à conseiller afin de rattraper le retard de développement depuis une cinquantaine d'années, car il affecte sensiblement la sécurité alimentaire et la croissance économique. La relance des investissements pour la construction d'infrastructures hydroagricoles est la seule voie quand on veut améliorer la qualité de vie rurale, mais elle est souvent reléguée face au traitement de faux problèmes ou à la faiblesse de développement. En effet, le fait de mener le développement des réseaux d'infrastructures hydroagricoles est une guerre politico-diplomatique. Face à cette situation, il importe de trouver des alternatives courantes de « système de gravitation hydroagricole » tel que proposé ici. Celui-ci réduit progressivement les fléaux ruraux tels que les effets du changement climatique, l'insuffisance alimentaire, la pauvreté rurale, l'exode rural, et diminue également le niveau d'exposition des paysans aux dangers climatiques. Enfin, cette créativité aurait, non seulement des impacts directs sur la mutation rurale, mais elle est aussi une expression d'ambition ou de défi face à la mauvaise habitude de dépendance au financement.

Il a été démontré dans cette étude que l'installation d'infrastructures hydroagricoles n'est pas forcément coûteuse pour avoir un impact significatif sur le changement du mode de vie des paysans. Elle peut même booster l'économie de la Nation. En utilisant seulement le fruit de la présente recherche sur le *" système de gravitation hydroagricole "* dédié spécialement aux paysans, la vie du monde rural

Malagasy pourrait changer dans l'objectif de rattraper le retard de développement depuis une cinquantaine d'années à Madagascar.

Pratiquement, *la base du développement rural n'est autre que d'assurer l'irrigation permanente des périmètres agricoles.*

Bref, *" le développement rural est possible, même effectué à moindre coût ou zéro financement* !*"*

Une autre méthode est en cours de réalisation pour la suite de cette étude. Il s'agit du même système, toujours dans le même concept et le même objectif pour le développement du monde rural.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1) APEJ (Agence pour la Promotion de l'Emploi des Jeunes). (2010). HIMO-Haute Intensité de Main d'Œuvre. Ministère de l'Emploi et de la Formation Professionnelle, Bamako. 1- 45p.
2) Bourde, Y. (2008). HIMO et lutte contre la pauvreté au Mali. Agence Suédoise de Coopération au Développement International (ASDI). Département de Sciences Economiques, Université de Lund, Suède. 1-51 p.
3) CREAM, Centre de Recherches, d'Etudes et d'Appui à l'Analyse Economique à Madagascar. (2013). Monographie de la Région Boeny, Madagascar.
4) Dabat, M. H. & Fabre, P. (2000). Diagnostic et perspectives de la filière riz à Madagascar. Ministère de l'Agriculture. Unité de Politique de Développement Rural (UPDR). 1-10 p.
5) Dabat, M. H., Gastineau B., Jenn-Treyer O., Rolland J-P., Martignac C. & Pierre-Bernard, A. (2008). L'agriculture malgache peut-elle sortir de l'impasse démo-économique ? *Autre part* 2008/2 (n° 46)*,* pp189-202.
6) EPM. (2010). Madagascar - Enquête périodique auprès des ménages. Enquêtes sur la pauvreté et les conditions de vie. *Institut National de la Statistique de Madagascar*. MDG-INSTAT-EPM-2010.
7) FAO (Food and Agriculture Organization). (2007). Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (United Nations Food and Agriculture Organization). *Rice Market Monitor*, vol. X, (n° 2), June, 26 p.
8) Fraslin, J. H. (2002). "Quel avenir pour les paysans de Madagascar". *Afrique contemporaine N. 202-203*, pp 93-110.
9) GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat). (2015). Colloque Agriculture - Changements Climatiques : Sommet des Nations-Unies sur le Climat, Paris, décembre 2015, *Rapport #5* du GIEC**.** 15 p.
10) IFPRI (International Food Policy Research Institute). (2009). Changement climatique : impacts sur l'agriculture et couts de l'adaptation *(http://www.ifpri.org*). Consulté le, 18 décembre 2017.

11) INSTAT (Institut National de statistique). (2002). Analyse de la dynamique de la pauvreté entre 1999-2001. Notes techniques sur la construction du profil de pauvreté 2001. Antananarivo, Madagascar. pp 1-22.

12) INSTAT (Institut National de statistique). (2008). Statistiques Agricoles 2007. Antananarivo. Gouvernement de Madagascar**,** pp 1-8.

13) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) *et al*., (2007). Climate change: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK : Cambridge University Press. pp : 1-17.

14) Laulanie, H. (2003). Le riz à Madagascar. Un développement en dialogue avec les paysans, *Editions Ambozontany*, Antananarivo, et Karthala, Paris, 288 p.

15) MAEP **(**Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche). (2006). Recensement général de l'agriculture 2004-2005. Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, Madagascar. 1- 66 p.

16) PAPRIZ 2 (Projet pour l'Amélioration de la Production de RIZ 2). (2017). Guide d'utilisation des engrais pour le riz pluvial. Brochure. pp 1- 4.

17) Rabezandrina, R. (2002). *Manuel d'Agriculture Générale Malagasy*. Antananarivo, Madagascar. pp 70 -73.