



UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
D'ANTSIRABÉ - VAKINANKARATRA

-O-O-O-O-O-O-

MENTION ENVIRONNEMENT  
PARCOURS GESTION DE L'ENVIRONNEMENT  
MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
DIPLÔME DE MASTER

Présenté par : Mlle RANDRIAMORA Nasolo Diary Nandrianina

# CARACTÉRISATION ÉCOLOGIQUE ET ÉTUDE DE LA MORTALITÉ DES VÉGÉTAUX LIGNEUX : CAS DU PARC NATIONAL TSIMANAMPETSOTSA

Soutenu publiquement le 31 août 2022

Devant la Commission d'examen composée de :

- Président* : Professeur RASAMISON Vincent Emile  
Directeur de Recherche Associé
- Rapporteurs* : Docteur ANTSONANTENAINARIVONY Ononamandimby  
Maître de Conférences  
Docteur RATOvonamana RAKOTOMALALA Yedidya  
Maître de Conférences
- Examineurs* : Professeur RAKOTONANDRASANA Stéphan Richard  
Maître de Recherches  
Docteur RAZAFIMAHEFA Solofoniaina Andriantiaray  
Maître de Conférences

Année universitaire : 2019 - 2020





## REMERCIEMENTS

Ce travail n'a pas pu être exécuté sans la participation importante des personnes suivantes :

- ❖ Docteur ANTSONANTENAINARIVONY Ononamandimby, Directeur de l'Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe Vakinankaratra, mon encadreur pédagogique, je suis très reconnaissante de votre intervention qui alimentent ma réflexion avec les précieux conseils, malgré vos lourdes préoccupations.
- ❖ La Mention Environnement, représentée par Professeur RASOLOARINIAINA Jean Robertin, Chef de la Mention Environnement au sein du même Institut ; qui nous a donné l'autorisation pour la réalisation de ce mémoire, je suis très reconnaissante de votre aide malgré vos plusieurs engagements ;
- ❖ Docteur RATOvonamana RAKOTOMALALA Yedidya, coordinateur au sein du campement d'Andranovao Analaso, Parc National Tsimanampetsotsa, mon encadreur professionnel, qui nous a apporté ses importants conseils et aides durant le terrain pour réaliser cette étude; je vous adresse mes salutations les plus distinguées ;
- ❖ Professeur RAKOTONANDRASANA Stéphan Richard, maître de recherche au Centre National d'Application des Recherches Pharmaceutiques (CNARP) et Docteur RAZAFIMAHEFA Solofoniaina Andriantiaray, enseignant-chercheur à l'IESAV et à l'Institut Malagasy de Recherches Appliquées (IMRA), qui ont voulu intervenir en tant qu'examineurs, je tiens à vous remercier pour vos interventions précieuses qui ont orienté ce manuscrit vers un œuvre de mérite ;
- ❖ Professeur RASAMISON Vincent Emile, enseignant-chercheur à l'IESAV, qui est obstiné à présider ce mémoire ; vous avez accepté de m'aider pour l'amélioration de ma rédaction, je tiens vous adresser mes sincères remerciements ;
- ❖ Tous les paraécologistes de l'Association Analaso à Andranovao, qui nous ont aidé pour la réalisation des travaux sur terrain, je vous remercie vivement.

Ce mémoire n'a pas pu être réalisé sans l'aide de Madagascar National Park (MNP), de l'Université de Hamburg et de Serengeti Park et du Campement de recherche Andranovao Analaso. Je tiens leurs présenter mes sincères gratitude.

Je tiens à remercier également mes très chères amies RANDRIANARISOA Domohina et RAZAFIMAHARO Hantanirina qui m'ont beaucoup aidé dans les moments les plus difficiles surtout de leurs encouragements pour la réalisation de ce mémoire malgré leurs différentes préoccupations. Un grand merci revient à ma famille, mes amis qui ont toujours été là pour me soutenir moralement que financièrement lors de la réalisation de ce travail.

## RÉSUMÉ

Cette étude est axée sur la caractérisation écologique et sur l'étude de la mortalité des végétaux ligneux dans le Parc National Tsimanampetsotsa. Cette région est caractérisée par un climat subaride, où les précipitations ne dépassent pas 600 mm/an, accompagnée d'une longue période de sécheresse de 8 mois. C'est dans ce contexte que la mortalité des végétaux devient intéressante. L'objectif général de cette étude est ainsi d'évaluer la mortalité des végétaux ligneux dans le Parc National Tsimanampetsotsa tout en identifiant les caractéristiques floristiques et les différents facteurs y afférents. Pour l'étude floristique, 29 plots de 30 × 30 m<sup>2</sup> ont été installés *in situ* dans 6 sites dans trois différents types de végétation à savoir les forêts sèches sur les sols sableux et ferrugineux et le fourré xérophile sur le sol calcaire. Les données pluviométriques et thermométriques entre 2015 et 2021 ont été enregistrées dans la station d'Andranovao. Les données édaphiques ont été également prélevées. La richesse floristique présentent 87 espèces inventoriées, 87,20 % qui sont endémiques, réparties dans 66 genres et 35 familles. La structure verticale est différente dans un type de végétation à une autre avec un taux de recouvrement élevé de la strate [0 – 2[ m dans le Fourré Xérophile sur le sol Calcaire (FXC) soit 68,83 % et une absence de la strate [6 – 8[m. Les résultats sur la mortalité au niveau spécifique évoquent que *Didierea madagascariensis*, *Gyrocarpus americanus* et *Dicraeopetalum mahafaliense* constituent les espèces plus abondantes touchées par la mortalité, réparties dans les trois types de végétations identifiés. En termes de densité globale, 1730 ind/ha sur les 6731 individus totaux recensés ont été morts soit 25,70 %. Par classe de diamètre, les individus ligneux de petite taille entre [5-10[cm figurent les plus sensibles à la mortalité correspond à 784 ind/ha. La mortalité des végétaux a touché une perte de 26,6 % de la biomasse totale. Les résultats climatiques montrent que la précipitation totale est très variée, accompagnée par des années très humides (2015 et 2019) et très sèches (2020). Tandis que la température moyenne reste stationnaire (25,6 °C). Concernant les facteurs de mortalité, les bois morts naturellement enregistrent la mortalité la plus élevée, avec 1516 ind/ha soit 87,58 % du nombre total des individus morts inventoriés. La relation entre le climat et les indicateurs floristiques a montré des relations positives et/ou négatives. La mortalité des végétaux est donc induite non seulement par une simple cause, mais liée étroitement en interactions complexes avec des évènements.

**Mots-clés** : Mortalité, facteurs, végétaux ligneux, climat, Tsimanampetsotsa, Madagascar.

## ABSTRACT

This study focuses on the ecological characterisation and mortality of woody plants in the Tsimanampetsotsa National Park. This region is characterised by a sub-arid climate, where rainfall does not exceed 600 mm/year, accompanied by a long dry period of 8 months. It is in this context that plant mortality becomes interesting. The general objective of this study is thus to evaluate the mortality of woody plants in the Tsimanampetsotsa National Park while identifying the floristic characteristics and the different factors related to it. For the floristic study, 29 plots of 30 × 30 m<sup>2</sup> were installed in situ in 6 sites in three different vegetation types, namely dry forest on sandy and ferruginous soils and xerophytic thicket on limestone soil. Rainfall and temperature data between 2015 and 2021 were recorded at the Andranovao station. Edaphic data were also collected. The floristic richness presents 87 inventoried species, 87.20% of which are endemic, distributed in 66 genera and 35 families. The vertical structure is different in each vegetation type with a high cover rate of the stratum [0 - 2[ m in the Fouré Xerophile on limestone soil (FXC), i.e. 68.83%, and an absence of the stratum [6 - 8[ m. The results on mortality at the specific level suggest that *Didierea madagascariensis*, *Gyrocarpus americanus* and *Dicraeopetalum mahafaliense* are the most abundant species affected by mortality, distributed in the three vegetation types identified. In terms of overall density, 1730 ind/ha out of the 6731 total individuals recorded were dead, i.e. 25.70%. By diameter class, small woody individuals between [5-10[cm] are the most susceptible to mortality corresponding to 784 ind/ha. Plant mortality affected a loss of 26.6% of the total biomass. The climatic results show that the total precipitation is very varied, accompanied by very wet (2015 and 2019) or very dry (2020) years. While the average temperature remains stationary (25.6 °C). Regarding the mortality factors, naturally dead wood records the highest mortality, with 1516 ind/ha or 87.58% of the total number of dead individuals inventoried. The relationship between climate and floristic indicators showed positive and/or negative relationships. Plant mortality is therefore not only induced by a single cause, but closely linked in complex interactions with events.

**Keywords :** Mortality, factors, woody plants, climate, Tsimanampetsotsa, Madagascar

---

# SOMMAIRE

|   |      |
|---|------|
| <b>REMERCIEMENTS</b> .....  | i    |
| <b>RESUME</b> .....   | ii   |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | iii  |
| <b>SOMMAIRE</b> .....   | iv   |
| <b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....   | vi   |
| <b>LISTE DES FIGURES</b> .....  | viii |
| <b>LISTE DES ANNEXES</b> .....  | viii |
| <b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....   | ix   |
| <b>GLOSSAIRE</b> .....  | x    |
| <b>INTRODUCTION</b> .....   | 1    |
| <b>I. GÉNÉRALITÉS</b> .....   | 2    |
| <b>I.1. PRÉSENTATION DU MILIEU D'ÉTUDE</b> .....                                    | 2    |
| I.1.1. Milieux abiotiques.....  | 2    |
| I.1.2. Milieux biotiques.....   | 5    |
| I.1.3. Milieux humains.....   | 8    |
| <b>I.2. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE DE L'ÉTUDE</b> .....                              | 8    |
| I.2.1. Contexte général.....  | 8    |
| I.2.2. Généralité sur les effets de la variabilité et du changement climatique..... | 9    |
| <b>II. MATÉRIELS ET MÉTHODES</b> .....  | 10   |
| <b>II.1. COLLECTE DE DONNÉES</b> .....  | 10   |
| II.1.1. Collecte des données floristiques.....                                      | 10   |
| II.1.2. Collecte des données climatiques.....                                       | 14   |
| II.1.3. Collecte des données édaphique.....   | 14   |
| <b>II.2. TRAITEMENTS ET ANALYSES DE DONNÉES</b> .....                               | 16   |
| II.2.1. Traitement et analyse des données floristiques.....                         | 16   |
| II.2.2. Traitements et analyses de données climatiques.....                         | 20   |

---

|   |           |
|---|-----------|
| II.2.3. Analyse statistique.....  | 21        |
| <b>III. RESULTATS .....</b>   | <b>22</b> |
| <b>III.1. CARACTERISTIQUE FLORISTIQUE GLOBALE .....</b>                               | <b>22</b> |
| III.1.1. Richesse et composition floristiques globales.....                           | 22        |
| III.1.2. Affinité biogéographique et statut de conservation.....                      | 22        |
| III.1.3. Spectre biologique.....  | 23        |
| III.1.4. Les principaux groupements floristiques identifiés .....                     | 23        |
| III.1.5. Comparaison floristique des groupements végétaux.....                        | 24        |
| III.1.6. Structure verticale par type de végétation .....                             | 25        |
| III.1.7. Régénération naturelle par type de végétation .....                          | 27        |
| <b>III.2. MORTALITE DES ESPECES LIGNEUSES PAR TYPES DE VEGETATION</b>                 | <b>28</b> |
| III.2.1. Mortalité spécifique .....   | 28        |
| III.2.2. Proportion de mortalité des espèces en fonction de formes biologiques.....   | 29        |
| III.2.3. Densité des individus ligneux .....  | 30        |
| III.2.4. Indice de Valeur d'Importance et dureté des bois par type de végétation..... | 32        |
| III.2.5. Surface terrière .....   | 34        |
| III.2.6. Biovolume .....  | 35        |
| <b>III.3. FACTEURS DE MORTALITE DES ARBRES .....</b>                                  | <b>36</b> |
| III.3.1. Caractéristiques climatiques .....   | 36        |
| III.3.2. Caractéristiques édaphiques .....  | 39        |
| III.3.3. Autres facteurs .....  | 39        |
| <b>III.4. CORRELATION .....</b>   | <b>40</b> |
| <b>IV. DISCUSSION .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>CONCLUSION.....</b>  | <b>51</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>   | <b>52</b> |
| <b>ANNEXES.....</b>   | <b>I</b>  |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 1</b> : Répartition de relevés en fonction du site et le type de substrat .....   | 10 |
| <b>Tableau 2</b> : Récapitulatif du statut de conservation des espèces .....   | 12 |
| <b>Tableau 3</b> : Récapitulatif de la catégorie CITES .....   | 12 |
| <b>Tableau 4</b> : Classe de dureté des bois selon la dureté Monnin .....  | 19 |
| <b>Tableau 5</b> : Valeur de l'indice SPI .....  | 20 |
| <b>Tableau 6</b> : Richesse floristique globale .....  | 22 |
| <b>Tableau 7</b> : Tableau récapitulatif des affinités biogéographiques.....   | 22 |
| <b>Tableau 8</b> : Récapitulatif des Statuts UICN et catégories CITES.....   | 23 |
| <b>Tableau 9</b> : Comparaison floristique des groupements végétaux .....  | 24 |
| <b>Tableau 10</b> : Liste des espèces propres par groupement .....   | 25 |
| <b>Tableau 11</b> : Taux de régénération des espèces importantes par types de végétation .....   | 28 |
| <b>Tableau 12</b> : Proportion des individus suivant les types de végétations .....  | 29 |
| <b>Tableau 13</b> : Densité (ind./ha) et sa proportion par types de végétation.....  | 30 |
| <b>Tableau 14</b> : Densité moyenne des individus vivants et morts par types de végétation.....  | 31 |
| <b>Tableau 15</b> : Densité spécifique des vivants par Indice de Valeur d'Importance par types de végétation .....   | 33 |
| <b>Tableau 16</b> : Densité des espèces mortes par Indice de Valeur d'Importance et par classification de dureté dans les trois types de végétation .....      | 34 |
| <b>Tableau 17</b> : Surface terrière et sa proportion par types de végétations .....   | 35 |
| <b>Tableau 18</b> : Biovolume des individus et sa proportion par types de végétations .....  | 35 |
| <b>Tableau 19</b> : Précipitation interannuelle moyenne dans la station de recherche d'Andranovao .....  | 36 |
| <b>Tableau 20</b> : Tableau récapitulatif de la moyenne de la température de la zone d'étude (n=7 années).....   | 38 |
| <b>Tableau 21</b> : Caractéristique texturale des substrats (n=10). .....  | 39 |
| <b>Tableau 22</b> : Corrélacion entre les indicateurs floristiques et les caractéristiques climatiques dans la forêt sèche sur le sol sableux (FSS) .....      | 42 |
| <b>Tableau 23</b> : Corrélacion entre les indicateurs floristiques et les caractéristiques climatiques dans le fourré xérophile sur le sol calcaire (FXC)..... | 43 |
| <b>Tableau 24</b> : Corrélacion entre les indicateurs floristiques et les caractéristiques climatiques dans la forêt sèche sur le sol ferrugineux (FSF).....   | 44 |

## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 1</b> : Carte de localisation du site d'étude .....   | 3  |
| <b>Figure 2</b> : Diagramme ombrothermique de la zone d'étude entre 2015 et 2021 .....  | 4  |
| <b>Figure 3</b> : Echantillonnage de la faune du PN TSP : <b>(a)</b> Astrochelys radiata, <b>(b)</b> Lemur catta et .....   | 6  |
| <b>Figure 4</b> : Les groupements végétaux dans le PN Tsimanampetsotsa : <b>(a)</b> groupements végétaux herbacés sur le sol halomorphe, <b>(b)</b> Forêts sèches sur le sol sableux, <b>(c)</b> Fourré xérophile sur le sol calcaire et <b>(d)</b> Forêts sèche sur le sol ferrugineux (Source : Randriamora, 2022)..... | 7  |
| <b>Figure 5</b> : Carte de localisation des parcelles d'échantillonnage .....   | 11 |
| <b>Figure 6</b> : Matériel de mesure : <b>(a)</b> pour la précipitation, <b>(b)</b> pour la température .....   | 14 |
| <b>Figure 7</b> : Identification de la texture du sol (source : United States Departments of Agriculture). .....  | 15 |
| <b>Figure 8</b> : Résumé des étapes des traitements des données floristiques.....   | 19 |
| <b>Figure 9</b> : Répartition des espèces inventoriées selon la forme biologique .....  | 23 |
| <b>Figure 10</b> : Dendrogramme de la similarité des espèces floristiques dans les sites étudiés....  | 24 |
| <b>Figure 11</b> : Taux de recouvrement dans forêt sèche sur le sol sableux (FSS).....  | 26 |
| <b>Figure 12</b> : Taux de recouvrement dans la forêt sèche sur le ferrugineux (FSF).....   | 26 |
| <b>Figure 13</b> : Taux de recouvrement dans le fourré xérophile sur le sol calcaire (FXC).....   | 27 |
| <b>Figure 14</b> : Proportion des espèces affectées par la mort précoce suivant les de types des végétations.....   | 29 |
| <b>Figure 15</b> : Proportion de mortalité suivant les formes biologiques et les types de végétations .....   | 30 |
| <b>Figure 16</b> : Densité par classe de diamètre des individus vivants et morts par types de végétation .....  | 32 |
| <b>Figure 17</b> : Indice pluviométrique de Nicholson entre 2015-2021 à Andranovao dans le Parc National Tsimanampetsotsa .....   | 37 |
| <b>Figure 18</b> : Variation interannuelle du nombre de jours de pluie entre 2015 à 2021 à Andranovao dans le Parc National Tsimanampetsotsa (n=7) .....  | 37 |
| <b>Figure 19</b> : Variation de la température <b>(a)</b> moyenne annuelle, minimale et maximale ; <b>(b)</b> comparaison de la variation de la température et de la précipitation entre 2015 - 2021, n=7 .   | 38 |
| <b>Figure 20</b> : Densité des arbres morts par types de végétation et ses facteurs de mortalité .....  | 39 |

**Figure 21** : Représentation des facteurs de mortalité des bois (*a*) *Givotia madagascariensis* (arbre mort sur pied), (*b*) *Cedrelopsis gracilis* (bois mort par les insectes) et (*c*) *Neobeguea mahafaliensis* (Bois mort par l'action anthropique)..... 40

## LISTE DES ANNEXES

|  |      |
|--|------|
| <b>Annexe 1</b> : Fiche de relevé floristique .....  | I    |
| <b>Annexe 2</b> : Fiche de relevé de la structure verticale.....   | I    |
| <b>Annexe 3</b> : Liste floristique globale .....  | I    |
| <b>Annexe 4</b> : Liste des espèces ligneuses touchées par la mortalité.....   | VI   |
| <b>Annexe 5</b> : Données climatiques du Parc National Tsimanampetsotsa entre 2015 à 2021.<br>(Source : Station d'Andranovao)..... | VIII |

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS**

|               |   |
|---------------|---|
| <b>%</b>      | : Pourcentage   |
| <b>°C</b>     | : Degré Celsius   |
| <b>ANOVA</b>  | : Analyze of Variance   |
| <b>CBD</b>    | : Convention de la Diversité Biologique   |
| <b>CITES</b>  | : « Convention on International Trade of Endangered Species » ou « Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction » |
| <b>CREAM</b>  | : Centre de Recherches, d'Études et d'Appui à l'analyse économique à Madagascar   |
| <b>DBH</b>    | : Diamètre à Hauteur de Poitrine  |
| <b>GIEC</b>   | : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat  |
| <b>GPS</b>    | : Global Positioning System   |
| <b>ind/ha</b> | : Individu par hectare  |
| <b>IP</b>     | : Indice Pluviométrique   |
| <b>MEDD</b>   | : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable  |
| <b>MEF</b>    | : Ministère de l'Environnement et des Forêts  |
| <b>mm</b>     | : Millimètre  |
| <b>MNP</b>    | : Madagascar National Park  |
| <b>PN</b>     | : Parc National   |
| <b>SPI</b>    | : Standarized Precipitation Index   |
| <b>UICN</b>   | : Union International pour la Conservation de la Nature   |
| <b>USAID</b>  | : United States Agency for International Development  |
| <b>WWF</b>    | : World Wildlife Fund for Nature  |

## GLOSSAIRE

- Afrotropical** : relatif à la partie africaine subsaharienne inclut Madagascar
- Anthropique** : (1) relatif à tout processus, effet et matière dérivés de l'action humaine sur des systèmes naturels. (2) Concerne un principe soutenant que les lois de la nature et ses constantes physiques fondamentales de l'univers doivent être cohérentes avec les conditions de vie observées là-dedans, c'est-à-dire elles doivent être faites pour l'évolution de la vie intelligente, sinon les humains ne seraient pas capables d'exister dans l'univers et à l'observer.
- Arbre** : Grand végétal dont la tige ligneuse se ramifie à partir d'une certaine hauteur au-dessus du sol
- Arbustes** : Végétal ligneux, petit arbre, plus grand que l'arbrisseau, et dont la tige n'est pas ramifiée dès la base
- Catégorie CITES** : sont des listes (Annexes) où figurent des espèces bénéficiant de différent degré ou type de protection face à la surexploitation.
- Changement climatique** : tout changement de climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou aux activités humaines
- Communauté végétale** : groupe des plantes qui partagent un environnement commun qui interagit les unes par rapport aux autres, et avec la population animale et l'environnement physique
- Cosmopolite** : taxon rencontré dans son biotope à de nombreux endroits autour du monde
- Écosystème** : une communauté d'êtres vivants (la biocénose) et son environnement géologique, pédologique, hydrologique et atmosphérique (le biotope). Les éléments constituant un écosystème développent un réseau d'interdépendances basées sur des facteurs biotiques et abiotiques permettant le maintien et le développement de la vie.
- Édaphique** : appartenant ou relatif au sol
- Endémique** : répartition totale d'un taxon qui est naturellement délimitée à une aire unique et relativement petite.
- Espèce emblématique** : Une espèce emblématique est une espèce « sauvage, ayant une importance culturelle, religieuse ou économique pour l'Homme ».

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Espèce ligneuse</b>      | : consistant en bois (lignine), appartenant ou ressemblant au bois.   |
| <b>Espèces phares</b>       | : Espèces choisies pour susciter un soutien à la conservation de la biodiversité dans un lieu donné.  |
| <b>Forêt</b>                | : une étendue boisée, relativement grande, constituée d'un ou plusieurs peuplements d'arbre, d'arbustes, d'arbrisseau et aussi d'autres plantes autochtones associées   |
| <b>Fourré xérophile</b>     | : se présente comme une formation basse ou il n'existe pas de stratification bien définie, car la lumière pénètre facilement dans toute son épaisseur bien que les branches soient profondément imbriquées les unes par rapport aux autres  |
| <b>Gréseuse</b>             | : De la nature du grès ; contenant du grès  |
| <b>Herbier</b>              | : collection de plantes pressées et collées sur du papier ou dans des liquides de conservation, qui sert de support physique aux études taxonomiques et systématiques sur les plantes. Le terme désigne également l'établissement ou l'institution qui abrite une telle collection. |
| <b>Lessivage</b>            | : transport descendant de composants (argiles, ions, humus) d'un sol sous l'effet de l'écoulement des eaux d'infiltration   |
| <b>Liane ligneuse</b>       | : une plante grimpante ligneuse qui, dans la nature, a normalement besoin d'arbres comme support  |
| <b>Marneuse</b>             | : mélange naturel d'argile et de calcaire, utilisé pour amender des terres trop acides ou pour fabriquer du ciment. Marne argileuse, limoneuse, calcaire  |
| <b>Paléotropical</b>        | : indique une zone géographique de l'Ancien Monde (l'Afrique, l'Asie, le sud de l'Asie et l'Australie), englobe les zones tropicales et subtropicales.  |
| <b>Pantropical</b>          | : distribution qui couvre les régions tropicales des deux hémisphères   |
| <b>Parcelle (Plot)</b>      | : aire délimitée de terrain, en écologie  |
| <b>Résilience</b>           | : c'est la capacité d'un écosystème à récupérer les attributs structuraux et fonctionnels ayant subi des dommages causés par un stress ou une perturbation.   |
| <b>Richesse floristique</b> | : permet de connaître toutes les espèces inventoriées dans la surface d'échantillonnage, sans juger de leur fréquence ni de leur  |

- abondance, ni même de la taille et de la productivité des espèces rencontrées
- Sècheresse** : est un phénomène qui survient après une période prolongée sans précipitation, généralement en période estivale.
- Série chronologique** : évolution au cours du temps d'un phénomène, dans le but de décrire, expliquer et prévoir ce phénomène dans le futur. On dispose ainsi des observations à des dates différentes, i.e. d'une suite des valeurs numériques indicées par le temps.
- Statut UICN** : le statut de conservation de l'espèce sert l'indicateur permettant d'évaluer l'état de la population d'une espèce à un temps donné, et est donc susceptible d'évoluer.
- Taxon** : dans la systématique des organismes, terme générique pour une catégorie et un groupe systématique de rang quelconque
- Variabilité climatique** : elle se définit comme les variations de l'état moyen des paramètres climatiques (Température, Précipitation) à toutes les échelles temporelles et les spatiales.

## INTRODUCTION

Madagascar abrite une diversité originale en termes de biodiversité dont la majorité est vulnérable aux modèles climatiques actuels et futurs (USAID, 2016). Le rythme plus rapide du changement climatique est une grande menace autant pour les hommes que pour les écosystèmes (CDB, 2007). Plusieurs écosystèmes de l'île ont tendance à se dégrader au-delà du point de recouvrement, et subiront d'autres pertes continues de la végétation primaire (Ganzhorn et *al.*, 2001). Pour la Grande île, le climat a commencé à se réchauffer depuis les années 1970 (Randriamanga et *al.*, 1995). Une augmentation de la température confirmera cette tendance dans le futur (Andriambolatiana et *al.*, 2013). En 2050, une élévation entre 1,2 à 2,1°C de la température annuelle moyenne sera envisagée (USAID, 2018), et la plus cruciale sera dans la partie sud de Madagascar (Rabefitia et *al.*, 2007).

La Région Atsimo Andrefana fait face à ces sérieux problèmes environnementaux, tels que les dégradations des forêts sèches et des sols ainsi que les pressions biologiques (CREAM, 2013). Cette région est soumise à un climat subaride, avec des précipitations irrégulières et de la sécheresse prolongée (WWF, 2011). À cause des fortes variabilités du climat, les formations végétales connaissent une faible résilience (Repoblikan'i Madagasikara, 2008 – 2018). Ces événements liés étroitement avec les conditions climatiques entraînent des impacts potentiels sur la santé de la forêt (Allen et *al.*, 2010 ; Millar et Stephenson, 2015). À cet effet, la compréhension des différents facteurs pouvant perturber les formations végétales est essentielle. Dans ce contexte, la question centrale de cette étude est donc : la mortalité des végétaux est-elle entraînée par quel facteur ? Le climat est-il la principale cause de la mortalité des communautés végétales ?

Cette recherche a pour objectif global de caractériser les différents types de végétation et évaluer les facteurs apparents entraînant la mortalité des végétaux ligneux dans le Parc National Tsimanampetsotsa. L'étude permettra de recueillir spécifiquement les données relatives aux indicateurs floristiques, climatiques, édaphiques qui permettront à la fin de les mettre en relation afin de connaître les causes de mortalité. Compte tenu des objectifs, cette étude amènera à vérifier les hypothèses suivantes : le climat reste très varié dans le PN Tsimanampetsotsa. La mortalité des espèces au sein du peuplement végétal est causée par plusieurs facteurs à savoir les caractéristiques climatiques, édaphiques, anthropiques et biologiques.

Le présent travail est subdivisé en quatre parties : généralités, matériels et méthodes - résultats et interprétation et enfin discussion.

# I. GÉNÉRALITÉS

## I.1. PRÉSENTATION DU MILIEU D'ÉTUDE

### I.1.1. Milieux abiotiques

#### a. Localisation géographique

Le Parc National Tsimanampetsotsa, classé dans la catégorie II des Aires Protégées, est situé dans la Région Atsimo Andrefana, à 85 km à vol d'oiseau au Sud de Toliara avec une altitude comprise entre 38 et 114 m, une superficie de 202 083 ha (Rakotomalala, 2008). Il est localisé entre 24° 03' - 24°12' latitude Sud et 43°46' – 43° 50' longitude Est sur le plateau calcaire de Mahafaly. L'étude a été effectuée dans le campement de recherche Andranovao Analaso (S 24,02658° ; E 43,73728 °). La carte de localisation du site d'étude est présentée par la Figure 1 (page 3).

#### b. Climat et période d'étude

La Région Atsimo Andrefana est caractérisée par un climat subaride, constitué par une alternance de deux saisons bien distinctes (CREAM, 2013). La zone d'étude est caractérisée par 8 mois de saisons sèches entre le mois d'avril et novembre et quatre mois de saisons humides entre décembre et mars. La présente recherche a été effectuée durant la saison sèche (septembre - novembre 2021).

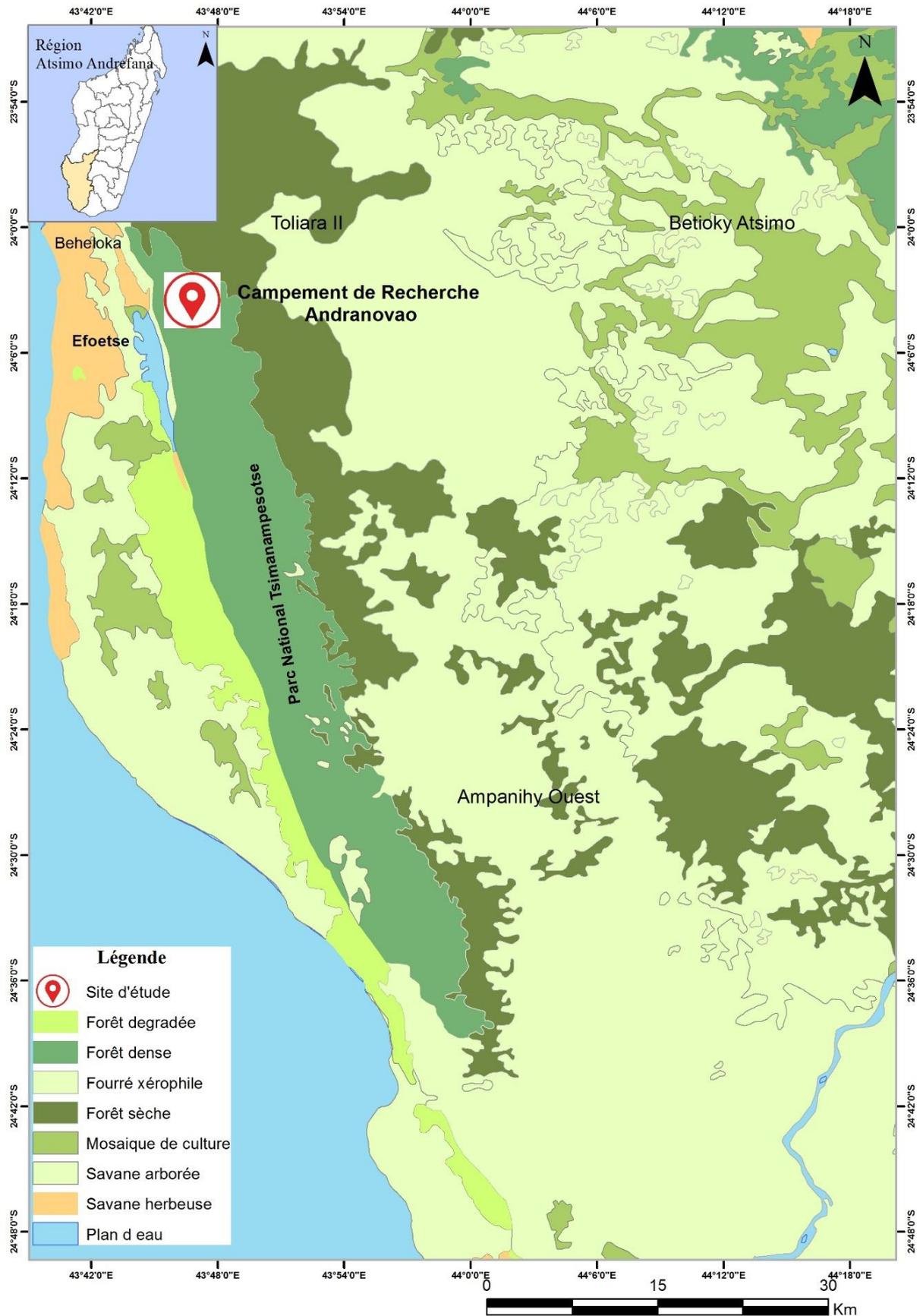
#### c. Température

La température moyenne minimale est de 19°C et la température maximale est de 31,5°C (Ratvonamana, 2016). Les mois plus chauds sont décelés en décembre et janvier avec une température moyenne annuelle moyenne de 29°C. La température moyenne annuelle maximale dans ces périodes atteint de 35 à 36°C. En général, juin et juillet constituent les mois les plus froids, avec une température moyenne annuelle de 21 °C. La température moyenne annuelle minimale durant ces mois les plus froids peut aller jusqu'à 14°C.

#### a. Pluviométrie

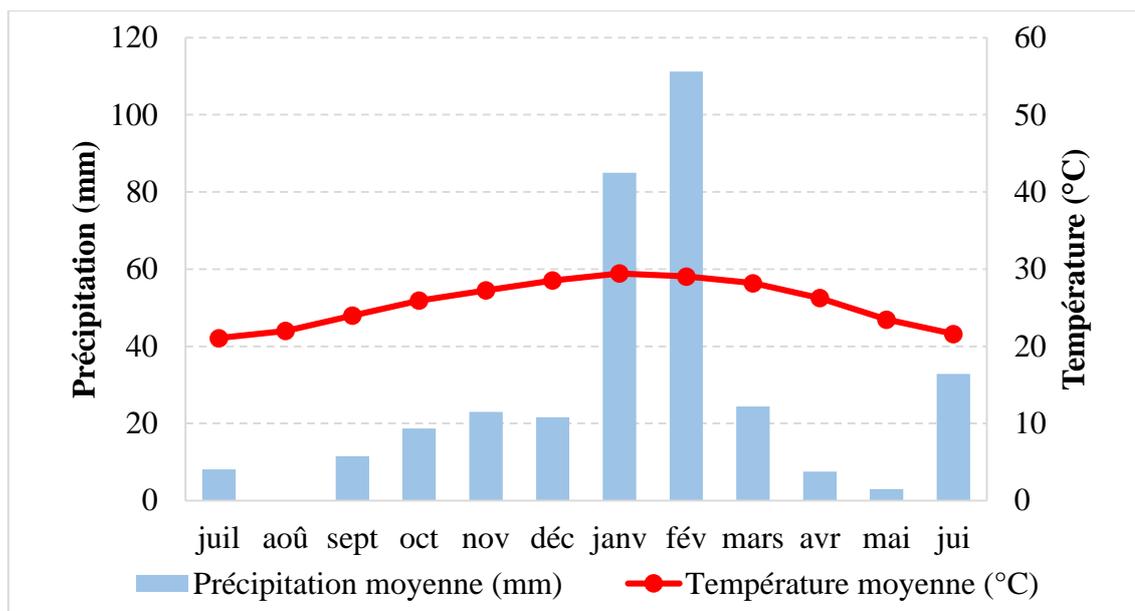
D'après le diagramme ombrothermique, la zone d'étude est caractérisée par dix mois écologiquement sèches (mars - décembre) et deux mois de saison humide qui s'étend entre janvier et février (Figure 2). La précipitation moyenne annuelle est très faible, ne dépassant pas 120 mm, dont P=2T comme indique le diagramme. La température moyenne annuelle ne descend pas en dessous de 20 °C.

La région ne possède que 16 jours de pluie moyenne annuelle. Le mois le plus pluvieux est décelé en janvier (18 jours de pluie) tandis que le moins pluvieux est le mois d'août avec 0,050 mm (Données mondiales, 2022)



Source : BD OCHA

Figure 1 : Carte de localisation du site d'étude



**Figure 2 :** Diagramme ombrothermique de la zone d'étude entre 2015 et 2021

### b. Humidité relative

L'humidité relative de l'air indique la quantité d'humidité physiquement possible effectivement contenue dans l'air. L'humidité relative la plus importante est mesurée en février (75,16 %). L'humidité la plus faible est repérée en septembre (58,65 %) (Données Mondiales, 2022). Selon le même auteur, le mois de janvier est le mois le plus défavorable en termes d'humidité relative qui correspond à une humidité moyenne de 77 % contrairement au mois d'août où la chaleur dans la Région Atsimo Andrefana est supportable.

### c. Vents

À l'évidence, la zone d'étude n'est pas une région cyclonique, car les cyclones arrivent dans le Sud-Ouest, déjà moins intense, par la traversée d'une partie de l'île (WWF, 2011). Cependant, la frange côtière de la région est balayée en permanence par un vent dominant «Tsiokatimo» suivant la direction Sud-Ouest et le « Varatraza » du sud- Est (Ministère de l'Agriculture, 2001).

### d. Caractéristiques édaphiques

En allant de l'Ouest à l'Est de la zone littorale, le Parc National Tsimanampetsotsa est caractérisé par 4 types de substrats : le sol halomorphe inondable situé aux alentours du lac avec une basse altitude (Battistini, 1964). Puis, le sable roux décalcifié est constitué par des sables très fins au sable grossier, avec une altitude variant de 8 à 12 m. La falaise est caractérisée par une vaste dalle calcaire marneuse et gréseuse dont l'altitude n'excède pas 30 m. Enfin le sable

roux ou sol ferrugineux, à l'extrême Est du Parc, est caractérisé par sa propriété filtrante (Razanaka, 1996).

### e. Hydrologie

Réserve Nationale Intégrale numéro 10, le Lac Tsimanampetsotsa, l'unique lac salé de Madagascar, figure parmi les deux Grands Lacs de la Région Atsimo-Andrefana avec une superficie de 43 200 ha (Mittermeier et *al.*, 1987). Le lac est jugé comme zone humide d'importance internationale dans la classification du site Ramsar, résolution VI.5 en 1996 (Raharimalala, 2007). Il est localisé dans la plaine côtière sableuse Mahafaly avec une profondeur de 2 à 4 m, dépendant de la saison. Le grand lac, saumâtre peu profond, abrite une diversité exceptionnelle et un lieu d'hivernage pour la communauté aviaire non piscivore (Eve et *al.*, 2014). À part le lac, le parc possède également 3 grottes contenant d'eaux souterraines « *Bakira, Mitoho, et Vintany* ».

#### I.1.2. Milieux biotiques

##### a. Aspects faunistiques

Le Parc National Tsimanampetsotsa est riche du point de vue faunistique. D'après Eve et Pers, (2014) ; FAPBM, (2020) le parc abrite 5 grands groupes de Mammifères :

- quatre (04) espèces de tenrecs (*Setifer setosus*, *Tenrec eucodatus*, *Echinops telfairi*, *Geogale aurita*) ;
- Dix (10) espèces de chauves-souris comme Phyllorhine de commerson (*Hipposideros commersoni*);
- cinq (05) espèces de Lémuriens, dont 2 diurnes *Lemur catta* (Figure 3b), *Propithecus verreauxi*) et trois (03) nocturnes (*Lepilemur petteri*, *Microcebus murinus* et *Microcebus griseorufus*) ;
- trois (03) espèces de Mammifères carnivores incluant *Galidictis grandidieri* (espèce phare) et le *Cryptoprocta ferox* (fosa), espèce emblématique de Madagascar ;

Deux (02) espèces de poisson cavernicole (aveugle) endémique de Madagascar abritent les grottes du parc : *Typhleotris madagascariensis* (Figure 3c) et *T. mararybe*.

Cent-vingt-quatre (124) espèces d'oiseaux sont enregistrées, notamment les espèces emblématiques du lac, les flamants nains : *Phoenicopterus minor* (Figure 3d), originaire d'Afrique et les flamants roses : *Phoenicopterus ruber*.

Selon Raselimanana, (2008), le parc abrite également 53 espèces de reptiles, dont les tortues radiées : *Astrochelys radiata* (Figure 3a), mesurant environ 30 cm et pouvant atteindre

8 kg, la tortue-araignée : *Pyxis arachnoïdes* (12 cm). Selon le même auteur quatre (4) espèces constituent les amphibiens du Parc (*Ptychadena mascareniensis*, *Laliostoma labrosum*, *Dyscophus insularis* et *Scaphiophryne brevis*).



**Photo :** Randriamora, 2021

**Figure 3 :** Quelques espèces faunistiques dans le PN TSP : **(a)** *Astrochelys radiata*, **(b)** *Lemur catta* et **(c)** *Typhleotris madagascariensis* **(d)** *Phoenicopterus minor*.

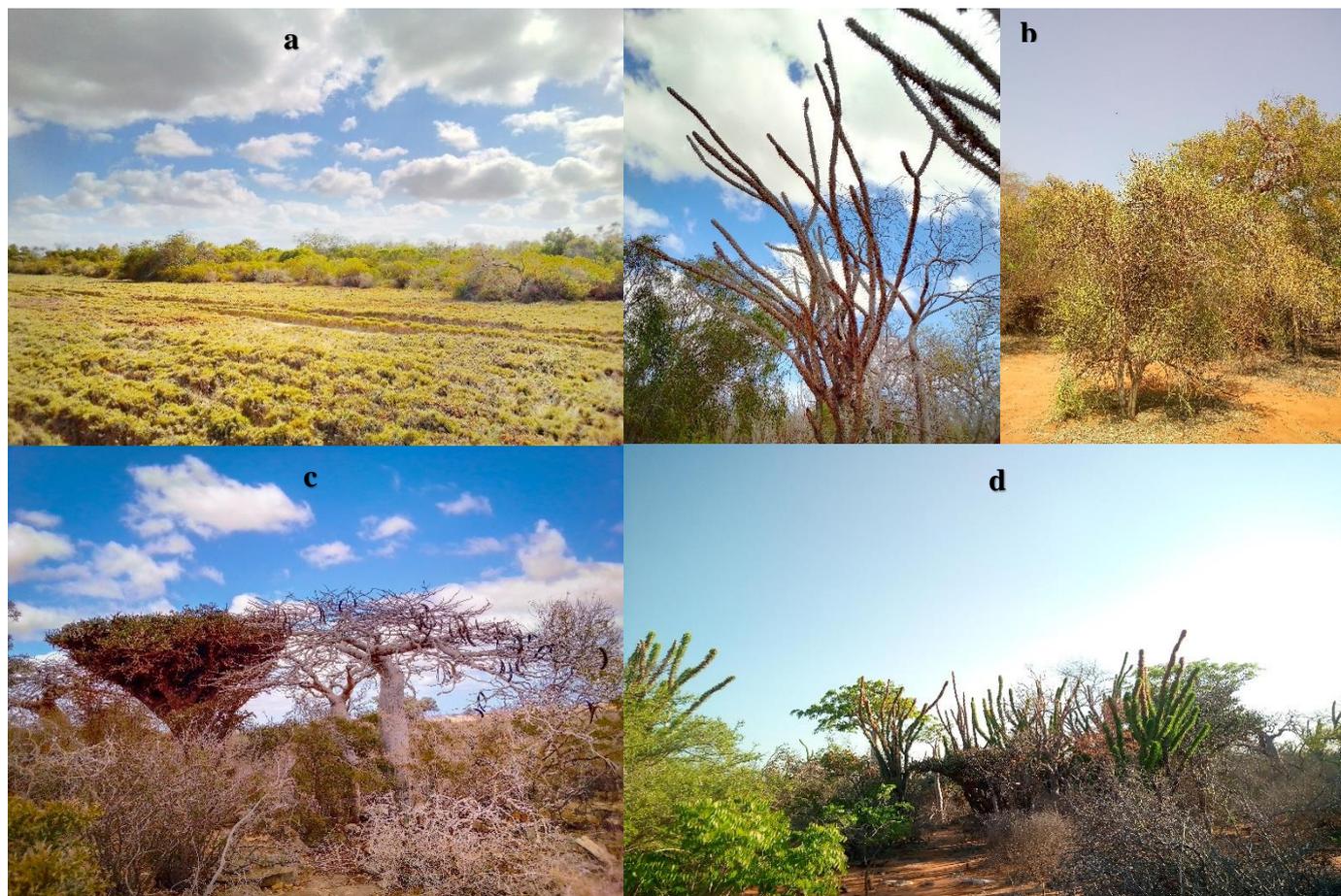
### **b. Flore et végétation**

En général, le Parc National Tsimanampetsotsa abrite 211 espèces végétales (arbres, arbustes, lianes et herbacées), qui sont réparties en 142 genres et 54 familles, avec un taux d'endémisme élevé de 77,73% selon les travaux déjà effectués par Ratovonamana (2009 -2021). En 2020, les données ont été actualisé d'après FAPBM, qui mentionne qu'il existe 222 espèces de plantes dont 180 endémiques de Madagascar soit 81 %. Cet endroit est recouvert par plusieurs types de végétation subdésertique (Mittermeier et *al.*, 1987). Trois grands types de végétation le représentent :

Les groupements végétaux herbacés (*Salicornia pachystachya* et *Cyperus* spp.) sur le sol marécageux sur la plaine au bord du Parc (Eve et *al.*, 2014) (Figure 4a).

La forêt dense sèche à *Didierea madagascariensis* et *Cedrelopsis grevei* sur le sol sableux et à *Didierea madagascariensis* et *Erythrophysa aesculina* sur le sol ferrugineux (Figure 4b-d).

Le fourré xérophile sur le bas fourré sur le sol rocailleux et le haut fourré sur dalles calcaires, caractérisées par *Alluaudia comosa*, *Senna meridionalis* et *Cedrelopsis gracilis*. (Ratovonamana, 2016) (Figure 4c).



**Photo :** Randriamora, 2021

**Figure 4 :** Les groupements végétaux dans le PN Tsimanampetsotsa : **(a)** Groupements végétaux herbacés sur le sol halomorphe, **(b)** Forêts sèches sur le sol sableux, **(c)** Fourré xérophile sur le sol calcaire et **(d)** Forêts sèche sur le sol ferrugineux.

### c. Les formes d'adaptation des plantes soumises à un climat subaride

Les plantes présentent différentes formes d'adaptations aux types de climats semi-arides tels que (Koechlin et *al.*, 1974) :

- L'**aphyllie** ou une forte réduction des feuilles (cladodes), *Euphorbia* spp. (Euphorbiaceae),
- La **géophytisme** : forme de résistance aux plantes aux mauvaises saisons (les bulbes, tubercules ou Rhizomes restent vivaces durant la période hivernale) *Dioscorea* spp. (Dioscoreaceae) ;
- La **pachycaulie** : tronc gorgé d'eau, *Adansonia* spp. (Malvaceae), *Delonix floribunda* (Fabaceae)
- La **sclérophyllie** ou durcissement des feuilles par des pellicules cireuses (la cuticule) est observée, *Diospyros* sp. (Ebenaceae) ; feuilles petites enroulées sur elle-même (Daget et *al.*, 1971)
- La **spinescence** : distribution des épines à la surface des parties d'un végétal, *Didierea madagascariensis* (Didieraceae)
- La **succulence** ou égorgement d'eau dans la tige ou les feuilles comme *Kalanchoe* spp.
- La **tropophylie** : chute des feuilles au cours de la saison sèche *Commiphora* spp. (Burseraceae), de *Grewia* spp. (Malvaceae).

#### I.1.3. Milieux humains

La densité de la population est très faible, 6 % de la population nationale, à cause des conditions naturelles (pluviométrie, sols) qui ne permettent pas la culture et l'élevage (CREAM, 2013). L'origine ethnique de la population diffère en allant de la littorale jusqu'à l'intérieur des terres. Les habitants de la côte sont des « Vezo », qui sont généralement des pêcheurs. Les « Tanalana » et les Mahafaly vivent sur les plateaux (Eve et *al.*, 2014). Les principales activités de ces derniers sont des agropasteurs (éleveurs des zébus, moutons, chèvres, etc.) et des agriculteurs (culture des maniocs, maïs, etc.). Cependant les terres cultivables ne dépassent pas 15 % de la superficie totale du plateau (WWF, 2011).

## I.2. CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DE L'ÉTUDE

### I.2.1. Contexte général

Madagascar possède une richesse extraordinaire autant floristique que faunistique. Ces dernières années, ce patrimoine naturel fait face à une dégradation accrue irréversible (Faramalala et Rajeriarison, 1999). Le changement climatique figure parmi les facteurs de cette

dégradation, vu que le pays en est vulnérable (USAID, 2018). Plusieurs recherches climatiques prédisent que le sud de l'île est le plus fragile aux variations du climat (Delille, 2011). La région est caractérisée par une faible précipitation qui ne dépasse pas 600 mm/an, avec une période de sécheresse de 7 à 9 mois (WWF, 2011). Par rapport aux risques liés à ce changement, la flore et la végétation ne peuvent pas s'adapter aux modifications de leurs conditions de vie (Vennetier et al., 2010). Selon le même auteur, la disponibilité en eau est un facteur limitant pour la croissance de la plante et est un élément clé de sa composition floristique.

Au Parc National Tsimanampetsotsa, l'étude phénologique des différents types de végétation (Ratvonamana et al., 2011) et l'analyse floristique et structurale des différentes formations végétales (Ratvonamana, 2016) ont été entreprises. Ces études relèvent la relation complexe entre les conditions environnementales ainsi que les caractéristiques des végétaux *in situ*. Malgré l'effectivité de la recherche antécédente, une autre investigation sur terrain a été mise en œuvre afin de connaître l'évolution existante entre les communautés végétales et les facteurs abiotiques pendant une série chronologique.

### **I.2.2. Généralité sur les effets de la variabilité et du changement climatique**

Variabilité climatique et/ou changement climatique constitue une réalité mondiale. La résilience des différents écosystèmes dépasse le seuil de tolérance à l'extrême (GIEC, 2007). Plusieurs secteurs sont fragiles à la variabilité du climat tels que les ressources en eaux, la production agricole, la pêche et la santé humaine (USAID, 2016). Mis à part les effets sur ces secteurs, le changement climatique présente une pression supplémentaire sur la diversité biologique pour de nombreuses raisons. Le climat figure parmi les facteurs qui contrôlent la structure et la productivité végétale, de même que la composition des espèces (MEDD, 2019). Pour les écosystèmes forestiers, une augmentation de la température et/ou le manque de la précipitation voire sécheresse peuvent entraîner le changement de la composition floristique, accentue la probabilité d'extinction des espèces, change son aire de répartition et peut causer des différentes perturbations (MEDD, 2019). En plus de cela, les forêts pourraient être vraisemblablement menacées par les parasites, les feux, et aux espèces envahissantes (CDB, 2007). Le changement climatique n'affecte non seulement les écosystèmes précédemment cités, il peut également entraîner des changements au niveau des écosystèmes marins et côtiers, de l'érosion accrue des côtes, du changement de répartition des espèces, des blanchissements des coraux et de la déstabilisation des zones humides voire leur dégradation (MEDD, 2019). Selon la Banque Mondiale (2016), quatre-vingts pour cent (80 %) des récifs coralliens du nord de Madagascar subissent un blanchiment des coraux.

## II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### II.1. COLLECTE DE DONNÉES

Les recueils bibliographiques ont permis d'avoir des informations sur le site d'étude. Ils facilitent l'élaboration des techniques adoptées sur terrain et de savoir les différentes publications qui se sont rattachées à cette étude. À la suite de ces informations recueillies, deux types de méthodes de collectes de données ont été choisis. Différents facteurs ont été étudiés afin de connaître les facteurs de mortalité des végétaux ligneux tels que le climat, le substrat et autres facteurs (anthropiques, biologiques).

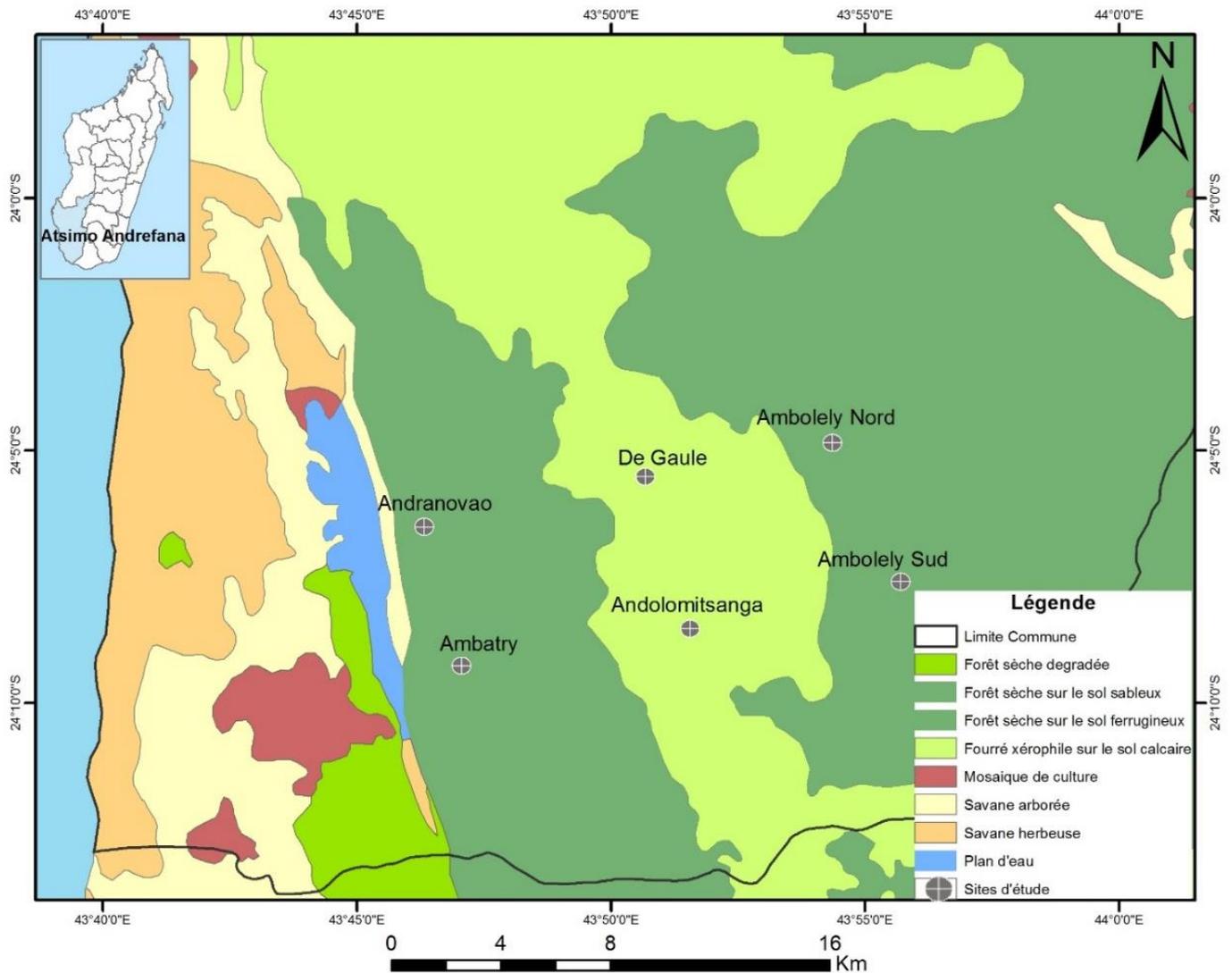
#### II.1.1. Collecte des données floristiques

##### a. Choix et localisation du site d'étude

Vu que la présente étude est basée sur la mortalité des végétaux ligneux, le choix du site dépend d'abord des types de végétation pour inventorier les différents végétaux y afférents. Ensuite, le choix du site varie également en fonction du substrat pour savoir si les positions topographiques peuvent influencer la mortalité des arbres. Pour ce faire, la classification du type de végétation et du type de substrat menée par Ratovonamana, (2016) a été prise en compte. Enfin, l'observation directe de la présence des bois morts sur pied a permis de faciliter le choix du site. Six (6) sites qui répondent à ces critères ont fait l'objet de l'étude afin d'atteindre les objectifs prédéfinis. Le tableau 1 et la Figure 5 résument les caractéristiques des sites d'études.

**Tableau 1** : Répartition de relevés en fonction du site et le type de substrat

| Substrat        | Sites          | Numérotation de Relevés |
|-----------------|----------------|-------------------------|
| Sol sableux     | Andranovao     | A1, A2, A3, A4, A5      |
|                 | Ambatry        | D1, D2, D3, D4          |
| Sol calcaire    | De Gaule       | B1, B2, B3, B4, B5      |
|                 | Andolomitsanga | E1, E2, E3, E4, E5      |
| Sol ferrugineux | Ambolely Nord  | C1, C2, C3, C4, C5      |
|                 | Ambolely Sud   | F1, F2, F3, F4, F5      |



Source : BD OCHA

**Figure 5** : Carte de localisation des parcelles d'échantillonnage

### b. Délimitation des parcelles de relevé

Pour l'étude de la végétation, la méthode de Braun Blanquet (1965) a été adoptée pour l'échantillonnage. Une parcelle de 900 m<sup>2</sup> soit 30 × 30 m<sup>2</sup> a été mise en place, puis subdivisée en 4 placettes de 15 × 15 m<sup>2</sup>, et délimitée par des cordes. Pour bien représenter les différents facteurs liés au substrat, floristique et structural, 29 plots ont été installés, puis, subdivisés, 9 dans la forêt sèche dégradée sur le sol sableux, 10 dans le fourré xérophile sur le substrat calcaire et 10 dans la forêt sèche sur le sol ferrugineux.

Concernant les données stationnelles, les coordonnées géographiques ont été géoréférencées par un GPS. Le nom du site, le type de végétation et la nature du substrat ont été également enregistrés dans les fiches de relevé (Annexe 1).

### c. Paramètres morphométriques

Pour chaque parcelle, tous les individus ayant un diamètre basal  $\geq 2,5$  cm à 20 cm du sol ont été inventoriés puisque les végétaux dans la zone d'étude sont caractérisés par des individus de petite taille (Ratovonamana, 2016). Les paramètres suivants ont été retenus :

- Noms vernaculaires et/ou scientifiques ;
- Hauteur du fût : jusqu'à la première grande ramification
- Hauteur maximale ou hauteur totale
- Forme biologique (arbre, arbuste, liane ligneuse)
- Affinité biogéographique : endémique, pantropicale, large aire tropicale, paléotropicale
- Le statut UICN (Tableau 2)

**Tableau 2** : Récapitulatif du statut de conservation des espèces

| Statut UICN                              | Signification  |
|--|--|
| EN : « En danger »                       | Espèce en voie de disparition  |
| CR : « En danger critique d'extinction » | Une espèce en danger critique ou en danger critique d'extinction. Il s'agit du dernier niveau de risque avant l'extinction de l'espèce à l'état sauvage. |
| VU : « Vulnérable »                      | Espèce qui risque de s'éteindre en présence des facteurs menaçants   |
| NT : « Quasi menacée »                   | Rassemble les espèces qui ne connaissent pas d'exaction ou de menace   |
| LC : « Préoccupation mineure »           | Préoccupation mineure, les espèces peuvent régénérer normalement   |

Source : [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)

- Statut CITES : Annexe I, II, III (Tableau 3)

**Tableau 3** : Récapitulatif de la catégorie CITES

| Statut CITES | Signification  |
|--------------|--|
| Annexe I     | Espèces plus menacées de toutes les espèces animales et végétales<br>Interdiction du commerce international de leurs spécimens sauf lorsque l'importation n'est pas faite à des fins commerciales mais, à des fins de recherche scientifique |

| Statut CITES | Signification   |
|--------------|---|
| Annexe II    | Espèces qui, bien que n'étant pas nécessairement menacées actuellement d'extinction, pourraient le devenir si le commerce de leurs spécimens n'était pas étroitement contrôlé<br>Le commerce international des spécimens de ces espèces peut être autorisé et doit dans ce cas être couvert par un permis d'exportation ou un certificat de réexportation |
| Annexe III   | Le commerce international des spécimens des espèces inscrites à cette annexe n'est autorisé que sur présentation des permis ou certificats appropriés   |

Source : [www.cites.org](http://www.cites.org)

Pour la collecte de données floristiques, l'état de l'individu (mort ou vivant) a été enregistré. Pour identifier les facteurs de mortalité d'un individu, chaque bois touché par la mortalité ont été marqué : bois mort naturellement (déraciné, bois mort sur pied ou chablis) bois mort par les actions biologiques (insectes fongiques ou termites « *neo* ») et la mortalité des bois par les actions anthropiques « coupe ».

#### d. Paramètres structuraux

L'étude de cette structure permet de savoir les stratifications de la formation végétale, le mode de recouvrement, le degré de perturbation (Ranaivoson, 2017) et pour estimer sa capacité de restauration. Elle permet également de comparer l'évolution de l'état de la structure forestière actuelle à celle du passé. Pour ce faire, la méthode de Gautier (1994) est optée. Un transect de 50 m est mis en place au milieu de la parcelle de relevé en utilisant une gaule métrée. Cette dernière est déplacée verticalement à chaque 1 m et les hauteurs de contact entre la partie vivante des végétaux et la gaule ont été notées (Annexe II).

#### e. Étude de la régénération naturelle

La régénération naturelle est l'ensemble des processus par lesquels les plantes se reproduisent naturellement sans intervention anthropique (Rollet, 1983). L'étude de la régénération d'une espèce comprend la répartition des individus par classe de diamètre et l'évaluation de leur taux de régénération. L'analyse de la régénération naturelle du peuplement a été axée sur les jeunes plants, dont le diamètre est compris entre 1 cm et 5 cm (Rajoelison, 1997). Les plantules qui sont comptées directement dans la surface d'échantillonnage ont été considérées également comme des individus régénérés.

### II.1.2. Collecte des données climatiques

Les sources principales des données climatiques ont été enregistrées dans la station météorologique d'Andranovao Tsimanampetsotsa depuis 2015 jusqu'à 2021. Les tendances climatiques ont été évaluées essentiellement à travers les variations pluviométriques, des températures et la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes (Broudic *et al.*, 2020). Dans la présente étude, seules les données sur la précipitation et la température sont disponibles faute de matériels.

#### a. Pluviométrie

La pluviométrie de la zone d'étude a été enregistrée *in situ*. Deux matériels ont été utilisés afin de mesurer la précipitation de la station. Le premier matériel « Rain gauge » enregistre automatiquement les pluies versées à l'intérieur de cet appareil à chaque tombée de pluie. Afin de connaître la quantité de pluie versée, l'observation a été réalisée visuellement pour le deuxième matériel après chaque jour de pluie (Figure 6a).

#### b. Température

La température a été enregistrée à l'aide d'un i-button installé à 1,5 m d'un arbre dans les types de végétation. Ce matériel enregistre la température toutes les deux heures. Les données recueillies par i-button ont été enregistrées dans un autre matériel installé dans le campement. Cet équipement enregistre automatiquement tous les mois les températures (Figure 6b).



Photo : Randriamora, 2021

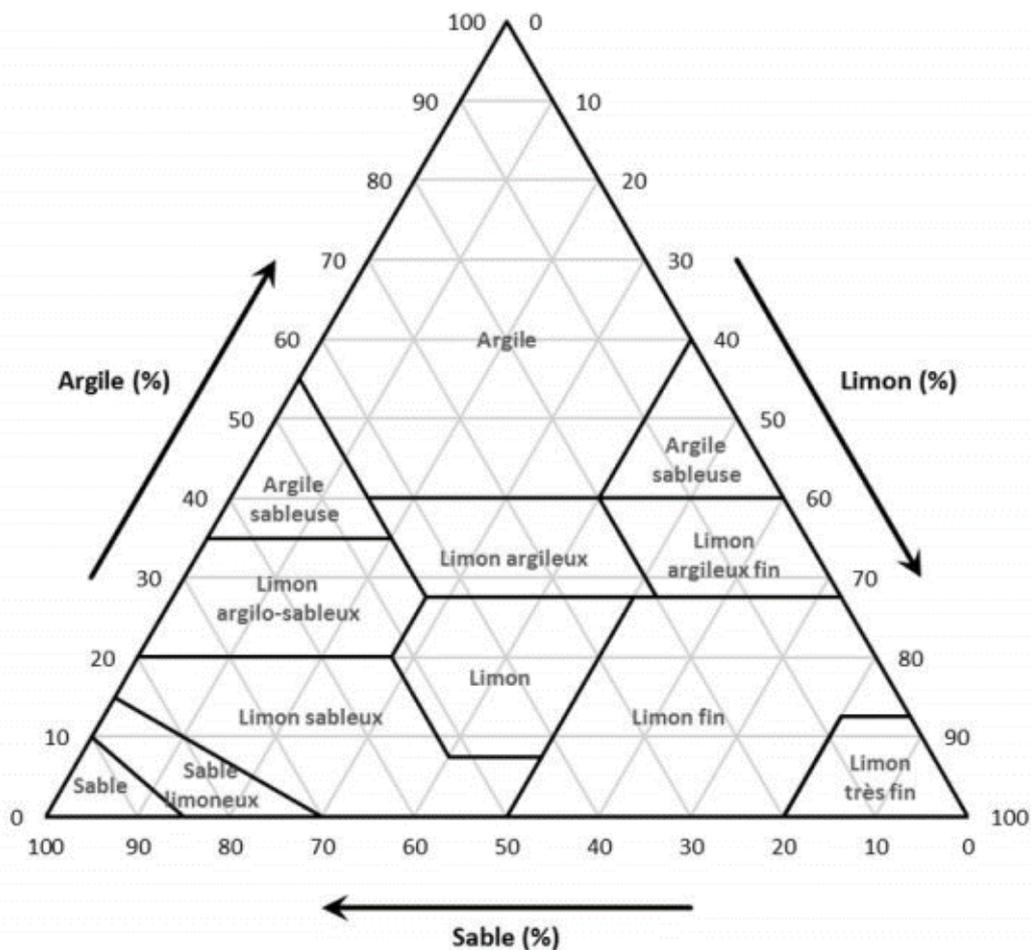
Figure 6 : Matériel de mesure : (a) rain gauge, (b) i-button

### II.1.3. Collecte des données édaphiques

La collecte des échantillons de sol a été effectuée dans les trois types de substrats existants dans le site d'étude à savoir le sol sableux, sol calcaire et sol ferrugineux. L'étude du sol a été

réalisée afin de connaître si le type de substrat peut influencer la mortalité des végétaux. Les substrats a été choisi en fonction des types de végétation identifiés. Le prélèvement des échantillons a été fait particulièrement sur des couches superficielles homogènes de 0 à 10 cm de profondeur à cause de la structure du sol peu profond.

L'étude des sols a pour objectif de connaître les différentes particules et les éléments minéraux qui les constituent. Les échantillons ont été tamisés à l'aide d'une maille de 2 mm. Dix répétitions de 100 g par type du sol ont été conservées dans des tubes à essai, puis agitées manuellement avec de l'eau pendant 2 minutes pour séparer les différents éléments. Les tubes ont été ensuite placés à l'ombre pendant 24 heures. Les différentes couches ont été mesurées avec un mètre ruban. Le triangle textural de l'USDA a été utilisé afin d'exprimer les résultats de cette analyse (Figure 7).



Source: United States Departments of Agriculture

Figure 7 : Identification de la texture du sol

## II.2. TRAITEMENTS ET ANALYSES DE DONNÉES

### II.2.1. Traitement et analyse des données floristiques

#### a. Richesse floristique

L'analyse de la richesse floristique permet de connaître toutes les espèces inventoriées dans la surface d'échantillonnage, sans juger de leur fréquence ni de leur abondance, ni même de la taille et de la productivité des espèces rencontrées (Randriamanana, 2016). Ces espèces sont ensuite classées par famille, par genre et par espèce pour obtenir une liste floristique globale. Les échantillons d'herbiers collectés sur terrain ont été identifiés dans l'herbarium du Département de Biologie et Ecologie Végétales de la Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo. Puis ils ont été apportés dans le Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza (PBZT) pour connaître le nom scientifique des espèces. L'identification de l'endémicité de ces espèces sont effectuées dans le site du Tropicos (<http://www.tropicos.org>), tandis que ceux de statuts de conservation UICN et catégories CITES ont été vérifiés respectivement dans [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) et [www.cites.org](http://www.cites.org).

#### b. Densité

La densité est le nombre d'individus présents par surface d'échantillonnage (Dajoz, 1975). Elle est obtenue par la formule suivante :

$$d = \frac{\text{Nb ind}}{S}$$

Avec : **d** : densité du peuplement végétal

**Nb ind** : nombre total des individus

**S** : surface d'échantillonnage (m<sup>2</sup>)

La densité relative (D %) d'une espèce est le pourcentage du nombre de tiges par hectare d'une espèce par rapport au nombre total des individus présents. Elle est calculée selon la formule suivante (Brower et *al.*, 1990) :

$$D \% = \frac{Dsp1}{\Sigma Dsp} \times 100$$

Avec **Dsp** est le nombre d'individus de chaque espèce.

#### c. Fréquence

La fréquence d'une espèce correspond au nombre d'unités d'échantillonnage contenant cette espèce. La fréquence relative d'une espèce (Fr) correspond au taux des échantillons où l'espèce considérée est rencontrée et exprimée en pourcentage (Lamotte, 1975).

$$Fr = \frac{Fi}{\Sigma Fi} \times 100$$

Avec **Fi** est la fréquence de chaque espèce.

#### d. Dominance relative des espèces

C'est l'évaluation de l'étendue (surface terrière) occupée ou couverte par les individus d'une même espèce par rapport à l'étendue occupée par l'ensemble (Godron, 1968). Elle est obtenue à partir de la formule suivante :

$$Dri = \frac{gi}{G} \times 100$$

Avec : **Dri** : dominance relative de l'espèce i (%);

**gi** : surface terrière de l'espèce i ;

**G** : surface terrière totale du peuplement.

#### e. Surface terrière

La surface terrière d'un peuplement correspond à la surface des toutes les sections transversales des troncs d'arbres rapportés en hectare dans la surface d'inventaire. Il est obtenu à partir de la formule suivant (Dawkins, 1959).

$$G = \sum_{i=1}^n Gi$$

Avec : **G** : surface terrière (m<sup>2</sup>/ha)

**Gi** : Surface terrière de chaque individu i avec  $Gi = \pi/4 \times di^2$

#### f. Biovolume

Le biovolume représente la somme des volumes en bois de tous les individus dans un peuplement peut être exprimée par la formule (Dawkins, 1959) suivante :

$$Vi = 0,53 \sum_{i=1}^n Gih_i$$

Avec : **Vi** : Biovolume en m<sup>3</sup> de chaque individu i

**0,53** : coefficient de forme

**Gi** : surface terrière de chaque individu i

**hi** : Hauteur de fût de chaque individu

### g. Analyse structurale

La structure verticale est l'arrangement des végétaux suivant le plan vertical (Gounot, 1969). L'analyse du profil structural à partir de ces classes de hauteur : [0-2[m ; [2-4[m ; [4-6[m ; [6+ [m, permet d'obtenir recouvrement.

L'interprétation du degré d'ouverture de la strate a été identifiée selon l'échelle de (Godron et al., 1983)

- Recouvrement global supérieur à 90% : strate fermée
- Recouvrement global compris entre 75 à 90% : strate peu ouverte
- Recouvrement global compris entre 50 à 75% : strate semi-ouverte
- Recouvrement global compris entre 25 à 50% : strate ouverte
- Recouvrement global compris entre 10 à 25% : strate très ouverte

### h. Indice de Valeur d'Importance (IVI)

La combinaison des données floristiques et structurales a permis de calculer l'Indice de Valeur d'Importance (IVI). Cet indice permet de mieux déterminer l'importance d'une espèce dans une communauté végétale. Il est calculé suivant cette formule (Cottam et Curtis, 1956) :

$$IVI = D\% + Fr\% + Dri\%$$

Avec : **D %** : Densité relative

**Fr %** : Fréquence relative

**Dri** : Dominance relative

### i. Régénération naturelle (TRN %)

Le taux de régénération permet de juger la capacité de régénération d'une espèce (Rothe, 1964). Il est obtenu de la formule suivante :

$$TR(\%) = \frac{Nr}{Ns} \times 100$$

Avec : **TR (%)** : taux de régénération naturelle

**Nr** : Nombre d'individus régénéré

**Ns** : Nombre d'individus semenciers

La régénération est difficile si TR est inférieur à 100 %

La régénération est bonne pour 100 % < TR < 1 000 %

La régénération est très bonne quand TR > 1000

### j. Classification de bois suivant la dureté

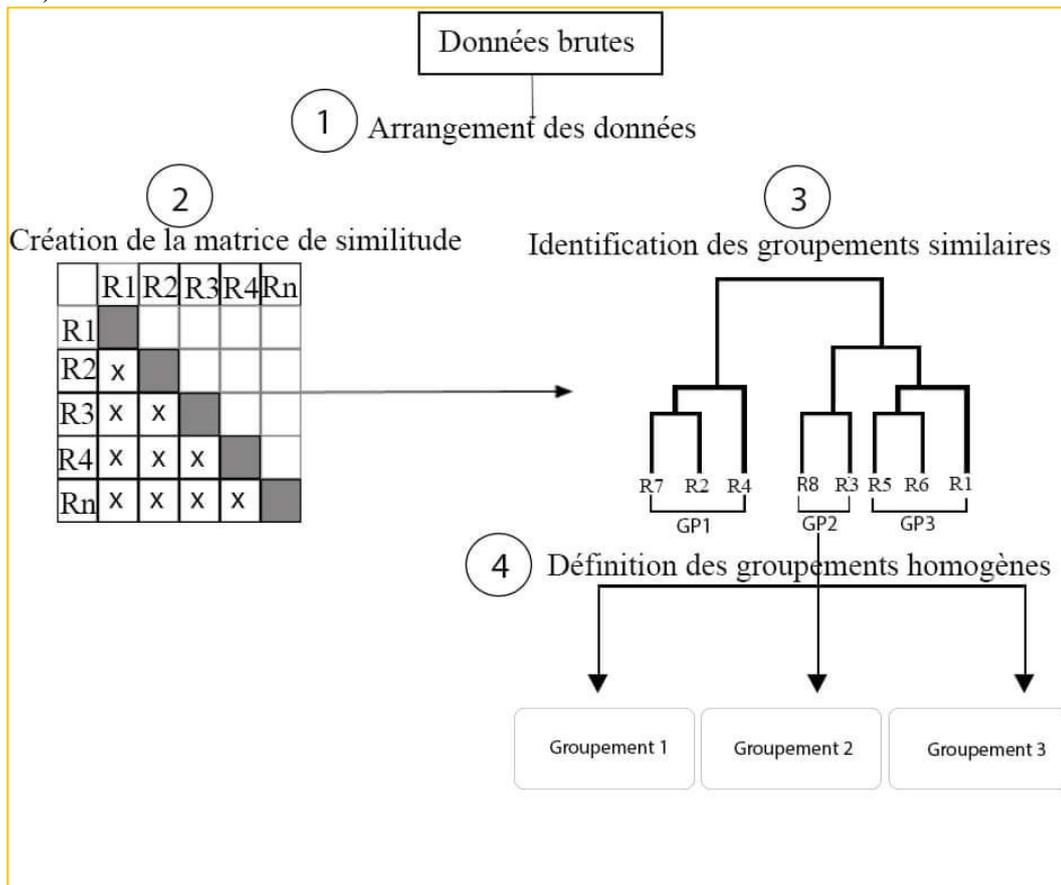
La détermination de la densité (sans unité) et la dureté Monnin permet de connaître certaines caractéristiques du bois. Elles sont déterminées sur les bois à 12 % d'humidité (Rakotovoao *et al.*, 2012). Les classes de dureté sont présentées ci-après :

**Tableau 4 :** Classe de dureté des bois selon la dureté Monnin

| Dureté Monnin | Type de bois     |
|---------------|------------------|
| $D < 1,5$     | Bois très tendre |
| $1,5 < D < 3$ | Bois tendre      |
| $3 < D < 6$   | Bois mi-dur      |
| $6 < D < 9$   | Bois dur         |
| $D > 9$       | Bois très dur.   |

### k. Compilation des données floristique

Une analyse sur Past version 4 a été effectuée afin de dégager la richesse spécifique et la densité. L'arrangement des données, la création de matrices de similitude de Jaccard et l'identification des groupements similaires ont été également traités par ce même logiciel (Figure 8).



**Figure 8 :** Résumé des étapes des traitements des données floristiques

## II.2.2. Traitements et analyses de données climatiques

### a. Pluviométrie

- **Indice pluviométrique**

Pour l'analyse de la variabilité pluviométrique, les moyennes interannuelles et des écarts-types de la précipitation ont été calculés afin de connaître les différences entre les années étudiées. L'indice de Nicholson a été réalisé afin de suivre les fluctuations de la précipitation de la zone d'étude durant 7 ans (2015-2021). Cet indice est calculé d'après la formule ci-dessous (Nicholson, 1988) :

$$I_p = \frac{(X_i - X_m)}{\sigma}$$

Avec :

- **$I_p$**  : Indice pluviométrique,
- **$X_i$**  : total pluviométrique pondéré de l'année  $i$  ;
- **$X_m$**  : Moyenne de la série pluviométrique ;
- **$\sigma$**  : Écart-type de la série pluviométrique sur la période étudiée

Une année est dite normale si l' $I_p$  est sensiblement nul. Si  $I_p$  est inférieur à 0, l'année est dite en déficit hydrique, dans le cas contraire ;  $I_p > 0$ , l'année étudiée est en excédant pluviométrique (Rasamimanana, 2011). Ensuite, pour classer ces indices en fonction de l'ampleur de sécheresse ou d'humidité, la gamme de valeur des indices « Standardized Precipitation Index » (SPI) ont été employée (Wu et al., 2005 ; OMM, 2012). Le (Tableau 5) montre la valeur d'indice pluviométrique.

**Tableau 5** : Valeur de l'indice SPI

| Classe du SPI   | Interprétation     |
|-----------------|--------------------|
| $I_p > 2$       | Humidité extrême   |
| $1 < I_p < 2$   | Humidité forte     |
| $0 < I_p < 1$   | Humidité modérée   |
| $-1 < I_p < 0$  | Sècheresse modérée |
| $-2 < I_p < -1$ | Sècheresse forte   |
| $I_p < -2$      | Sècheresse extrême |

- **Tendance pluviométrique**

Pour détecter les tendances pluviométriques, les tests de corrélation de Pearson ont été employés pour les données qui suivent une loi normale de distribution (paramétriques). Pour

les données non paramétriques, le test du rang de Spearman a été utilisé. Ce test permet de connaître la hausse ou la baisse de la pluviométrie (Doukpolo, 2014). Si l'hypothèse alternative est acceptée ( $p < 0.05$ ), c'est-à-dire, il existe la présence de tendance significative pendant la période d'étude. Un coefficient  $r$  négatif signifie une tendance à la diminution de la précipitation. Dans le cas contraire, si la valeur de  $r$  est positive, cela signifie une augmentation de la tendance dans la région (Rahendrimanana, 2012).

### **b. Température**

La même méthode ci-dessus a été appliquée pour vérifier la tendance de la température. L'hypothèse alternative est acceptée si  $p < 0.05$ . Au cas du rejet de cette hypothèse, il existe donc des tendances significatives. Si le coefficient de corrélation  $r$  est négatif ( $r < 0$ ), la température a tendance à diminuer, quand celui-ci est positif ( $r > 0$ ), la température a tendance à augmenter.

### **II.2.3. Analyse statistique**

Pour vérifier la normalité des données, que ce soit climatique édaphique ou floristique, un test de Shapiro-Wilk a été effectué dans le logiciel R version 3 ((Shapiro et Wilk, 1965).

Si  $p \geq 0,05$  : les données suivent une distribution normale et une analyse paramétrique a été réalisée

Si  $p < 0,05$  : les données ne suivent pas une distribution normale et un test non-paramétrique a été réalisé.

Après le test de normalité, deux tests ont été réalisés pour les données paramétriques :

- Test t de Student ( $\leq 2$  échantillons).
- ANOVA ( $> 2$  échantillons).

Deux tests ont été accomplis pour les données non paramétriques:

- Le test de Man-Whitney ( $< 2$  échantillons).
- Le test de Kruskal-Wallis ( $> 2$  échantillons).

Pour l'analyse de la corrélation, le test de Spearman a été effectué pour les données non paramétriques et le test de corrélation de Pearson les données paramétriques ou normales.

L'interprétation des résultats dépend de la significativité de la probabilité  $p = 0,05$  :

- **Si  $p \geq 0,05$**  : il n'y a pas de différence significative entre les variables, donc l'hypothèse nulle est acceptée ;
- **Si  $p < 0,05$**  : il existe de différence significative entre les variables, donc l'hypothèse alternative est acceptée.

Le test de corrélation multiple entre les variables a été réalisé également sur ce même logiciel

### III. RÉSULTATS

#### III.1. CARACTÉRISTIQUE FLORISTIQUE GLOBALE

##### III.1.1. Richesse et composition floristiques globales

Dans les 29 échantillonnages, 87 espèces ont été inventoriées, réparties dans 66 genres et 35 familles (Tableau 6). Cinq (5) familles sont les plus significatives : Fabaceae (15 espèces), Euphorbiaceae (8 espèces), Burseraceae (7 espèces), Brassicaceae et Malvaceae (5 espèces chacune). Quelques familles sont figurées chacune par un seul genre et une espèce telles que Hernandiaceae représentée par *Gyrocarpus americanus* et Sapindaceae par *Erythrophysa aesculina*. La liste floristique globale est présentée dans l'Annexe III.

**Tableau 6 :** Richesse floristique globale

|                 | Famille | Genre | Espèce |
|-----------------|---------|-------|--------|
| Monocotylédones | 00      | 00    | 00     |
| Dicotylédones   | 35      | 66    | 87     |
| Total           | 35      | 66    | 87     |

##### III.1.2. Affinité biogéographique et statut de conservation

Soixante-quinze (75) parmi les 87 espèces recensées sont endémiques de Madagascar avec un taux élevé de 87,20 %. Au total, 13 espèces sont classées menacées (en danger, en danger critique et vulnérable) dans le Statut de conservation d'UICN soit (15,68 %). Les espèces restantes appartiennent à la classe NT, LC et non déterminée (84,32 %). Huit (8) espèces sont catégorisées dans l'annexe II de CITES avec 15,80 % : *Adenia olaboensis* (Passifloraceae), *Aloe divaricata* (Xanthorrhoeaceae), *Alluaudia comosa*, *Didierea madagascariensis* (Didieraceae), *Operculicarya decaryi*, *Operculicarya hyphaenoides* (Anacardiaceae), *Senna meridionalis* (Fabaceae) et *Uncarina stellulifera* (Pedaliaceae). Le Tableau 7 résume l'affinité biogéographique et le tableau 8 montre les statuts UICN et la Catégorie CITES.

**Tableau 7 :** Tableau récapitulatif des affinités biogéographiques

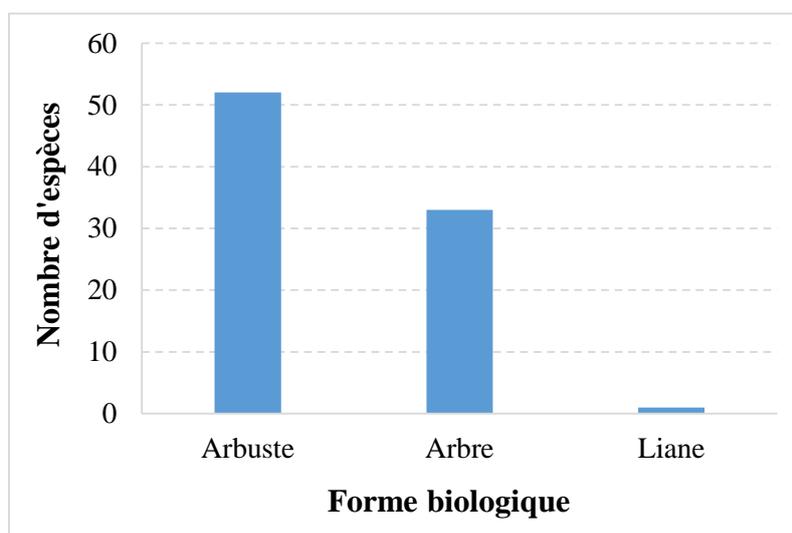
| Affinité biogéographique | Nombre d'espèces | Taux (%) |
|--------------------------|------------------|----------|
| Endémique                | 75,0             | 87,2     |
| Afrotropicale            | 3,0              | 3,4      |
| Cosmopolite              | 2,0              | 2,3      |
| Paleotropicale           | 2,0              | 2,3      |
| Pantropicale             | 2,0              | 2,3      |
| Non déterminée           | 2,0              | 2,3      |

**Tableau 8** : Récapitulatif des Statuts UICN et catégories CITES

| Statuts UICN et Catégories CITES |        |          |
|----------------------------------|--------|----------|
| Espèces                          | Nombre | Taux (%) |
| Menacées (CR, EN et VU)          | 13     | 15,6     |
| Protégées (Annexe II)            | 8      | 15,8     |

### III.1.3. Spectre biologique

Le spectre biologique montre que les espèces arbustives sont mieux représentées que les espèces arborescentes et lianescentes ligneuses. Au total, 52 espèces parmi les 87 espèces inventoriées sont des arbustes soit 60,47 %, 33 espèces (38,37 %) sont des arbres et une seule espèce (*Adenia olaboensis*) représente la liane ligneuse avec un taux de 1,16 % (Figure 9).

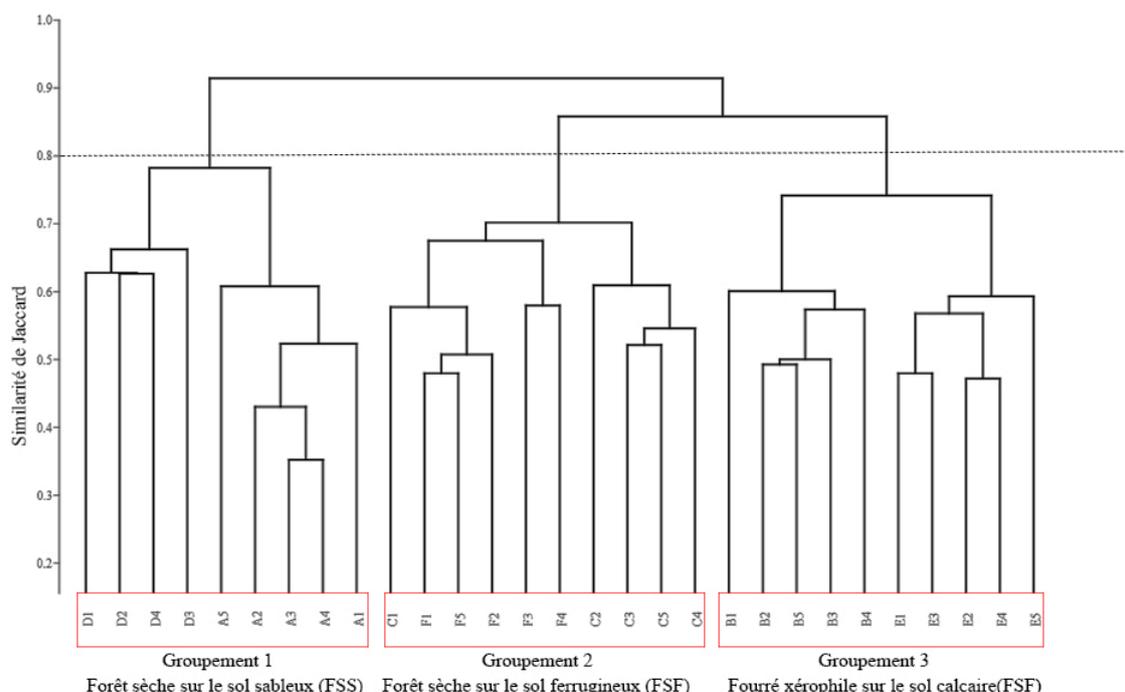


**Figure 9** : Répartition des espèces inventoriées selon la forme biologique

### III.1.4. Les principaux groupements floristiques identifiés

Les résultats du test de similitude mettent en évidence trois groupements végétaux, comme l'indique la figure 10. Les valeurs des coefficients de similarité de Jaccard varient de 0,79 à 0,86. Le premier groupe correspond à la forêt dense sèche sur le sol sableux décalcifié (FSS) avec 9 plots qui se répartissent dans deux (2) sites dont 5 plots à Andranovao et 4 plots à Ambatry. Le second groupe rassemble 10 plots dans 2 sites (5 plots à Ambolely Sud et 5 plots à Ambolely Nord) avec la forêt sèche sur le sol ferrugineux (FSF). Le troisième groupe identifié est le fourré xérophile sur le substrat calcaire (FXC) représenté par les sites De Gaule (5 plots) et Andolomitsanga (5 plots).

Ces résultats mettent en évidence qu'il existe une affinité floristique suivant le type de substrats.



**Figure 10** : Dendrogramme de la similarité des espèces floristiques dans les sites étudiés

### III.1.5. Comparaison floristique des groupements végétaux

La matrice de similarité de Jaccard montre une différence d'un groupement à l'autre suivant leur composition floristique.

À 44,6%, le groupement 1 diffère du groupement 2 si 53,3% à celui du groupement 3. Les groupements 2 et 3 présentent de différence assez élevée à l'ordre de 57,8%. Aucune différence significative n'est observée pour ces trois groupements avec  $p > 0,05$  (Tableau 9). Cependant chaque groupement possède des espèces compagnes à son type de végétation relative, à savoir 8 espèces dans le groupement 1 (FSS), 10 pour le groupement 2 (FSF) et 6 pour le groupement 3 (FXC). Le Tableau 10 montre la comparaison des groupements végétaux identifiés.

**Tableau 9** : Comparaison floristique des groupements végétaux

|              | Groupement 1 | Groupement 2 | Groupement 3 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Groupement 1 |              |              |              |
| Groupement 2 | 44,6 %       |              |              |
|              | $p = 0,5$    |              |              |
| Groupement 3 | 51,3 %       | 57,8 %       |              |
|              | $p = 0,4$    | $p = 1,0$    |              |

**Tableau 10** : Liste des espèces propres par groupement

|                        | <b>GP1 (FSS)</b>            | <b>GP2 (FSF)</b>              | <b>GP3 (FXC)</b>                   |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Espèces différentielle | <i>Acacia bellula</i>       | <i>Adansonia rubrostipa</i>   | <i>Bathiorhamnus cryptophorus</i>  |
|                        | <i>Aerva madagassica</i>    | <i>Chadsia grevei</i>         | <i>Clerodendron mandrarensis</i>   |
|                        | <i>Androya decaryi</i>      | <i>Cordia mairia</i>          | <i>Dicraeopetalum mahafaliense</i> |
|                        | <i>Azima tetracantha</i>    | <i>Croton</i> sp.             | <i>Gymnosporia linearis</i>        |
|                        | <i>Cadaba virgata</i>       | <i>Erythrophysa aesculina</i> | <i>Mundulea micrantha</i>          |
|                        | <i>Croton salviformis</i> , | <i>Euphorbia plagiantha</i>   | <i>Physena sessiliflora</i>        |
|                        | <i>Euclinia suavissima</i>  | <i>Rothmannia</i> sp.         |                                    |
|                        | <i>Grewia humblotii</i>     | <i>Securinega seyrigyi</i>    |                                    |
|                        | <i>Justicia spicata</i>     |                               |                                    |
|                        | <i>Pluchea grevei</i>       |                               |                                    |

**GP1** : Groupement 1 ; **GP2** : Groupement 2, **GP3** : Groupement 3 ; **FSS** : Forêt sèche sur le sol sableux ; **FSF** : Forêt sèche sur le sol ferrugineux ; **FXC** : Fourré xérophile sur le sol calcaire.

### III.1.6. Structure verticale par type de végétation

- **Forêt sèche sur le sol sableux (FSS)**

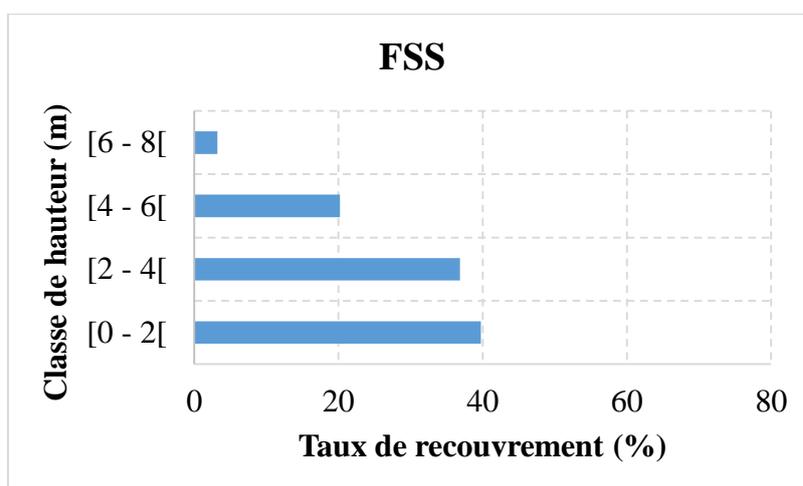
Dans ce type de végétation, les espèces arbustives sont plus abondantes, avec une hauteur moyenne de 2,29 m et un diamètre moyen de 8,54 cm. Les espèces arborées présentent une hauteur moyenne de 4,38 m correspond à un diamètre moyen de 13,55 cm. La hauteur moyenne de liane est de 3 m avec un diamètre moyen de 7,90 cm.

La strate inférieure entre [0-2[ m représente 39,75 % du recouvrement global. *Didieraceae madagascariensis* et *Commiphora lamii* constituent les espèces d'arbres remarquables.

La strate [2-4[m, occupe un taux de recouvrement ouverte de 36,86 %. Elle est dominée par des espèces arborescentes : *Didierea madagascariensis*, *Gyrocarpus americanus*, *Commiphora marchandii* et d'espèces arbustives : *Grewia grevei*, *Euphorbia turicalli*, *Rhigozum madagascariense*, *Terminalie ulexoides*, *Talinella microphylla*, *Commiphora orbicularis* et *Ximenia perrieri*.

La strate moyenne de [4-6[m, est très ouvert avec un taux de recouvrement de 20,20 %, constituée par *Didierea madagascariensis*, *Gyrocarpus americanus*, *Salvadora angustifolia*, *Grewia grevei* et *Rhigozum madagascariense*.

La strate supérieure de [6- + [m, est très ouvert avec un recouvrement global de 3,19 %, dominée par *Didierea madagascariensis*, *Gyrocarpus americanus*, *Commiphora marchandii* et *Delonix floribunda*. La Figure 11 résume le taux de recouvrement dans la FSS.



**Figure 11** : Taux de recouvrement dans forêt sèche sur le sol sableux (FSS)

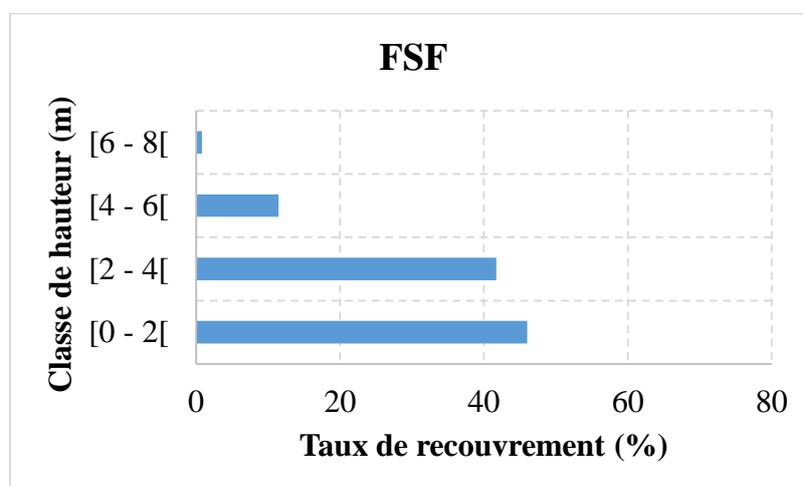
- **Forêt sèche sur le sol ferrugineux (FSF)**

Les espèces arbustives ont une hauteur moyenne de 2,82 m et un diamètre moyen de 7,83 cm. Les arbres ont une hauteur moyenne de 3,84 m correspond à un diamètre de 11,11 cm tandis que l'espèce lianescente a 10,20 cm de hauteur moyenne relative à 4 cm de diamètre moyen.

La strate inférieure [0-2[ est ouverte et occupe jusqu'à 46,03 % du recouvrement global. Quant à la strate [0-4[m, elle possède un recouvrement de et 41,74%, (Figure 12). Ces deux classes sont dominées par les espèces arbustives telles que : *Commiphora orbicularis*, *Acalypha decaryana* et des espèces arborées : *Gyrocarpus americanus* et *Didierea madagasacriensis*.

La strate moyenne [4-6[m est très ouverte correspondant à un taux de recouvrement global de 11,45 %, représentée par une abondance de *Didierea madagasacriensis*, *Gyrocarpus americanus*, *Neobeguea mahafaliensis*, *Commiphora marchandii* et *Erythrophisa aesculina*.

La strate supérieur à [6-+[m a un recouvrement global très faible de 0,78 %. Aucune espèce arbustive abondante n'est observée dans cette végétation, toutefois, les arbres sont dominés par *Gyrocarpus americanus* et *Delonix floribunda*.



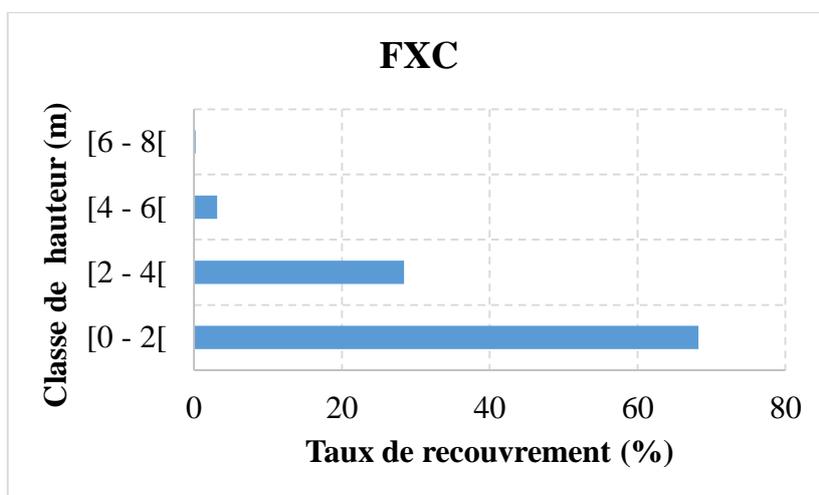
**Figure 12** : Taux de recouvrement dans la forêt sèche sur le sol ferrugineux (FSF)

- **Fourré xérophile sur le sol calcaire (FXC)**

Dans cette végétation, les espèces arbustives sont abondantes avec une hauteur moyenne de 2,35 m et un diamètre moyen de 7,33 cm. Les arbres et les lianes présentent des hauteurs moyennes respectives de 2,87 m et 2 m correspondant aux diamètres moyens de 10,78 cm et 6,80 cm.

Les individus de [0-2[ sont largement répandus avec 68,23%. La strate entre [2-4[ m de hauteur reste ouverte soit 28,42 %. Les espèces arbustives les plus abondantes dans ces strates comprennent *Commiphora humbertii*, *Commiphora mahafaliensis*, *Diospyros manampetsae*, *Humbertiella quararibeoides*, *Senna meridionalis* et *Karomia microphylla*. Les espèces arborées abondantes constituent *Gyrocarpus americanus*, *Terminalia dijuncta*, *Alluaudia comosa* et *Dicraepetalum mahafaliense*.

Les strates [4-6[ et [6 et + [ m est très ouverte et ne représentent que 3,34 % du recouvrement global. *Karomia microphylla* est l'unique espèce arbustive légèrement abondante. *Erhetia decaryi*, *Cedrelopsis gracilis*, et *Delonix floribunda* figurent parmi les espèces arborescentes abondantes dans cette strate. La Figure 12 montre le taux de recouvrement par classe hauteur dans le FXC.



**Figure 13 :** Taux de recouvrement dans le fourré xérophile sur le sol calcaire (FXC)

### III.1.7. Régénération naturelle par type de végétation

Au total, 2086 individus sont régénérés, répartis de 613 individus dans la forêt sèche sur le sol sableux (FSS), 644 individus dans la forêt sèche sur le sol ferrugineux (FSF) et 814 individus pour le fourré sur le substrat calcaire (FXC). Pour les individus semenciers, 4144 y sont repartis dans l'ensemble, avec 1058 à 1591 individus par type de végétation. Le taux de régénération global est très mauvais soit 50,33%, correspond à 38,52 % pour le FSS ; 43,07 % pour le FSF et 78,35 % pour le FXC.

L'étude de la régénération naturelle des espèces importantes dans les trois types de végétations a été également effectuée. D'après les résultats de l'indice de Valeur d'Importance (IVI), 6 espèces y sont ainsi classées : *Didierea madagascariensis* et *Gyrocarpus americanus* pour la FSS, *Alluaudia comosa* et *Commiphora humbertii* pour le FXC et *Gyrocarpus americanus* et *Didierea madagascariensis* pour la FSF. Le taux de régénération naturelle de ces espèces est très mauvais, voire difficile, avec un taux inférieur à 100 % (Tableau 11).

**Tableau 11** : Taux de régénération des espèces importantes par types de végétation

| Type de végétation | Taxa caractéristiques            | < 5 (Régénéré) | > 5 (Semencier) | Total (%) |
|--------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|-----------|
| FSS                | <i>Didierea madagascariensis</i> | 16,0           | 242,0           | 6,6       |
|                    | <i>Gyrocarpus americanus</i>     | 18,0           | 126,0           | 14,2      |
| FXC                | <i>Alluaudia comosa</i>          | 10,0           | 730,0           | 13,6      |
|                    | <i>Commiphora humbertii</i>      | 30,0           | 127,0           | 23,6      |
| FSF                | <i>Gyrocarpus americanus</i>     | 68,0           | 501,0           | 13,5      |
|                    | <i>Didierea madagascariensis</i> | 25,0           | 278,0           | 8,9       |

*FSS* : Forêt sèche sur le sol sable ; *FSF* : forêt sèche sur le sol ferrugineux ; *FXC* : fourré xérophile sur le sol calcaire.

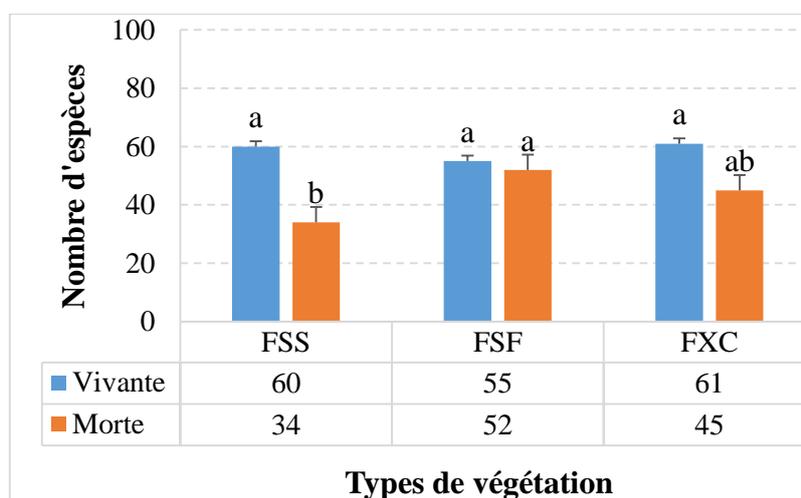
## III.2. MORTALITÉ DES VÉGÉTAUX LIGNEUX PAR TYPES DE VÉGÉTATION

### III.2.1. Mortalité spécifique

Parmi les 87 espèces recensées, 70 espèces appartenant à 52 genres et 30 familles ont été affectées par la mortalité. Au total, 88,57 % des espèces endémiques ont été touchées par la mortalité. La forêt sèche sur le sol ferrugineux (FSF) est la plus affectée avec 52 espèces. Les deux types de végétation, le fourré xérophile (FXC) et la forêt sèche sur le sol sableux (FSS), viennent ensuite qui enregistrent respectivement 45 et 34 espèces mortes (Figure 14).

Au niveau du genre, 78,78 % est concernée par la mortalité dont les genres *Gyrocarpus* et *Didierea* sont les plus touchés.

Au niveau de famille, 30 sur les 35 familles inventoriées sont affectées. Les familles les plus sensibles à la mortalité sont Fabaceae avec 12 espèces avec un taux de mortalité de 15,89 %, suivi de Hernandiaceae 14,21% représenté par une seule espèce, puis Euphorbiaceae avec 8 espèces (13,52%), ensuite Burseraceae et Malvaceae avec 6 espèces chacune (10,92% et 9,24%), et enfin Didieraceae dont 3 espèces (7,68%).



**Figure 14** : Mortalité spécifique suivant les de types des végétations

*FSS* : Forêt sèche sur le sol sableux ; *FSF* : forêt sèche sur le sol ferrugineux ; *FXC* : fourré xérophile sur le sol calcaire.

Des différences très significatives entre les espèces vivantes et mortes ont été constatées en termes de mortalité spécifique (Tableau 12). La moyenne des espèces mortes dans le FSF est significativement supérieure (21 espèces) par rapport aux deux autres formations (FSS et FXC).

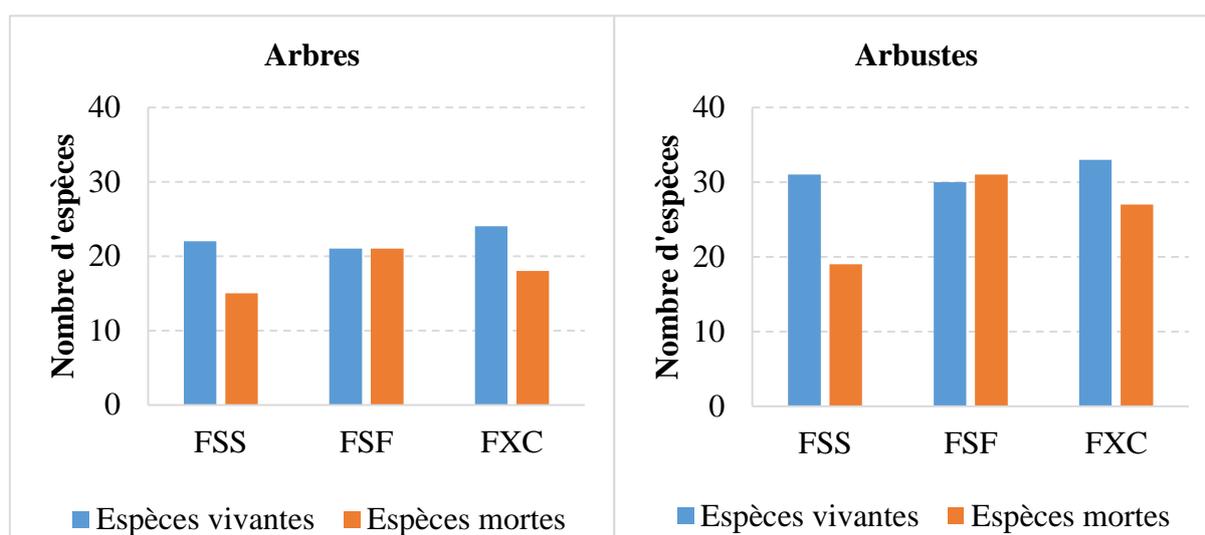
**Tableau 12** : Proportion des individus suivant les types de végétations

| Richesse spécifique | FSS                      | FSF                            | FXC                      |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Espèces vivantes    | 26,2 ± 5,14 <sup>a</sup> | 27,9 ± 3 <sup>a</sup>          | 27,8 ± 7,5 <sup>a</sup>  |
| Espèces mortes      | 12,6 ± 1,87 <sup>b</sup> | <b>21,3 ± 4,4<sup>ab</sup></b> | 16,8 ± 5,73 <sup>b</sup> |
|                     | $p < 0,001$              | $p < 0,001$                    | $p < 0,05$               |

*FSS* : Forêt sèche sur le sol sable, *FSF* : forêt sèche sur le sol ferrugineux et *FXC* : fourré xérophile sur le sol calcaire ; **a** et **b** : signification de différence entre lignes suivant les tests statistiques ;  $p < 0,05$  : significative ;  $p < 0,01$  : moyennement significative ;  $p < 0,001$  : très significative et  $p \geq 0,05$  : non significative.

### III.2.2. Proportion de mortalité des espèces en fonction des formes biologiques

Les arbustes sont plus sensibles à la mortalité que les arbres, avec un taux de mortalité élevé relatif à 24,68 % dans le FSS ; 35,06 % dans le FXC et 40,26 % dans le FSF. Cette dernière enregistre également la mortalité la plus élevée pour les espèces arborescentes avec 38,89 % par rapport à 27,78 % et 33,33 % pour la FSS et le FXC. La mortalité a affecté uniquement les espèces d'arbres et d'arbustes, l'espèce lianescente ne figure que dans les espèces vivantes recensées. Une différence significative a été observée autant pour les arbustes que les arbres dans la FSF, correspond à  $p < 0,05$ . La Figure 15 représente le spectre biologique des espèces vivantes et celles touchées par la mortalité dans les trois types de végétation.



**Figure 15** : Proportion de mortalité suivant les formes biologiques et les types de végétations  
*FSS* : Forêt sèche sur le sol sable ; *FSF* : forêt sèche sur le sol ferrugineux ; *FXC* : fourré xérophile sur le sol calcaire.

### III.2.3. Densité des individus ligneux

- **Densité globale par type de végétation**

Au total, 6731 ind/ha ont été inventoriés avec 5001 individus vivants et 1730 individus morts. La densité par type de végétation est autour de 2000 ind/ha, néanmoins le FSF présente la densité la plus élevée (2573) suivie de FSS et FXC.

Les 1730 (25,70 %) individus morts recensés se répartissent inégalement suivant les 3 types de végétations. La densité la plus faible est repérée dans la FSS, avec 346 ind/ha morts par rapport à 576 ind/ha dans le FXC. La forêt sèche sur le sol ferrugineux présente la formation ayant le nombre des individus morts le plus élevé, relatifs à 808 ind/ha. En général, les arbres morts sont légèrement denses que les arbustes correspondant à 897 ind/ha et 833 ind/ha respectivement.

Le taux de mortalité le plus élevé est décelé dans la forêt sèche sur le sol ferrugineux relatif à 12 %. Il est faible dans les deux types de végétation FXC et FSF, correspondant à 8,6 % et 5,1% (Tableau 13).

**Tableau 13** : Densité (ind./ha) et sa proportion par types de végétation

| Individus | Densité (ind./ha) |      |      | Proportion de la densité (%) |      |      |
|-----------|-------------------|------|------|------------------------------|------|------|
|           | FSS               | FSF  | FXC  | FSS                          | FSF  | FXC  |
| Vivants   | 1758              | 1765 | 1478 | 26,1                         | 26,2 | 22   |
| Morts     | 346               | 808  | 576  | 5,1                          | 12   | 8,6  |
| Total     | 2104              | 2573 | 2054 | 31,3                         | 38,2 | 30,5 |

*FSS* : forêt sèche sur le sol sableux, *FSF* : Forêt sèche sur le sol ferrugineux, *FXC* : Fourré xérophile sur le sol calcaire.

- **Densité moyenne selon les tests statistiques par type de végétation**

Les analyses statistiques montrent des différences significatives entre les individus morts et vivants suivant les trois types de végétations. La forêt sèche sur le sol ferrugineux possède la densité moyenne la plus élevée pour les individus touchés par la mortalité relative à 80,8 ind/ha. En revanche, ces individus morts recensés sont significativement inférieurs à ceux qui sont vivants qui correspondent à une densité moyenne supérieure à 140 ind./ha et  $p < 0,001$  (Tableau 14).

**Tableau 14** : Densité moyenne des individus vivants et morts par types de végétation

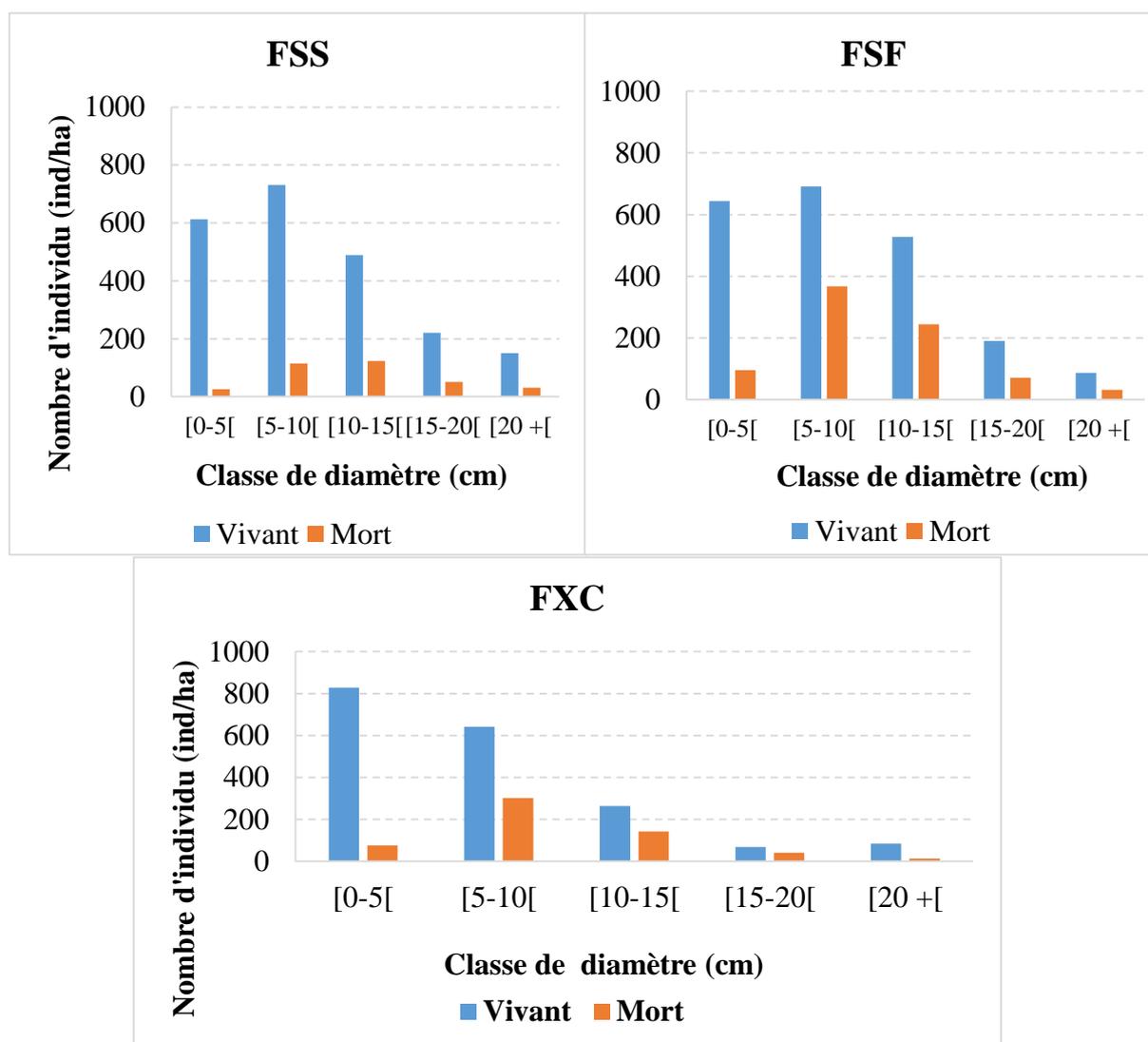
| Individus | FSS                             | FSF                            | FXC                       | P-value     |
|-----------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------|
| Vivant    | <b>195,3 ± 45,8<sup>a</sup></b> | 176,5 ± 48,7 <sup>ab</sup>     | 147,8 ± 24,8 <sup>c</sup> | $p < 0,05$  |
| Mort      | 38,4 ± 12,5 <sup>b</sup>        | <b>80,8 ± 26,2<sup>a</sup></b> | 57,6 ± 17,6 <sup>b</sup>  | $p < 0,001$ |
|           | $p < 0,001$                     | $p < 0,001$                    | $p < 0,001$               |             |

*FSS* : Forêt sèche sur le sol sable, *FSF* : forêt sèche sur le sol ferrugineux et *FXC* : fourré xérophile sur le sol calcaire ; *a* et *b* : signification de différence suivant les tests statistiques ;  $p < 0,05$  (significative),  $p < 0,01$  (moyennement significative) et  $p < 0,001$  (très significative), *NS* : non significative

- **Densité des individus ligneux suivant la classe de diamètre par type de végétation**

Les individus compris entre [5-10[cm de diamètre constituent les plus vulnérables, avec un taux important de 9,85 %. Ils sont repartis en 115 ind./ha dans la FSS, 302 ind./ha dans le FXC et 367 ind./ha dans la FSF (la plus importante). Le taux de mortalité des individus ayant un diamètre entre [10-15[cm est moyennement élevé de 6,41 %. Les individus de petite taille [0-5[cm et les moyens [15-20[cm de diamètre sont moins sensibles à la mortalité, avec une densité inférieure à 95 ind/ha soit avec un taux de mortalité de 4,52 %. Enfin, les individus de grande taille, supérieure à 20 cm de diamètre, sont très rares voire insensible à la mortalité, correspondant à 14 ind/ha dans le FXC et 31 ind/ha chacun dans FSS et FSF et ne constituent qu'un taux de mortalité de 0,95 %.

En résumé, plus le diamètre des individus augmente, plus ils résistent à la mortalité. La Figure 16 présente la densité des individus vivants et morts suivant la classe de diamètre par type de végétation.



**Figure 16** : Densité par classe de diamètre des individus vivants et morts par types de végétation  
 Densité des individus ligneux par Indice de Valeur d'Importance (IVI)  
*FSS* : Forêt sèche sur le sol sable ; *FSF* : forêt sèche sur le sol ferrugineux ; *FXC* : fourré xérophile sur le sol calcaire.

### III.2.4. Indice de Valeur d'Importance et dureté des bois par type de végétation

Parmi les individus vivants, *Didierea madagascariensis* et *Gyrocarpus americanus* constituent les espèces importantes dans la forêt sèche sur le sol sableux (FSS) et sur la forêt sèche sur le sol ferrugineux (FSF). La densité spécifique de ces espèces est élevée, elle correspond à 249 ind./ha et 533 ind./ha. Elles présentent également des IVI considérables par rapport aux autres espèces, entre 10% à 22%. *Alluaudia comosa* et *Commiphora humbertii* représentent les espèces à la fois denses, dominantes et fréquentes dans le fourré xérophile sur le sol calcaire (FXC), avec une densité spécifique de 80 à 141 ind./ha et des IVI entre 8 à 6 % (Tableau 15).

**Tableau 15** : Densité spécifique des vivants par Indice de Valeur d'Importance par types de végétation

| Type de végétation | Espèces                          | D (ind./ha) | IVI (%)     | Dureté Monnin | Type de bois       |
|--------------------|----------------------------------|-------------|-------------|---------------|--------------------|
| <b>FSS</b>         | <i>Didierea madagascariensis</i> | 249,0       | <b>10,4</b> | <b>1,3</b>    | <b>Très tendre</b> |
|                    | <i>Gyrocarpus americanus</i>     | 130,0       | <b>6,5</b>  | <b>1,0</b>    | <b>Très tendre</b> |
|                    | <i>Commiphora marchandii</i>     | 122,0       | 5,7         | 2,0           | Tendre             |
|                    | <i>Delonix floribunda</i>        | 43,0        | 5,4         | 1,6           | Tendre             |
|                    | <i>Salvadora angustifolia</i>    | 84,0        | 5,4         | -             | -                  |
| <b>FSF</b>         | <i>Gyrocarpus americanus</i>     | 533,0       | <b>22,1</b> | <b>1,0</b>    | <b>Très tendre</b> |
|                    | <i>Didierea madagascariensis</i> | 285,0       | <b>12,5</b> | <b>1,3</b>    | <b>Très tendre</b> |
|                    | <i>Commiphora orbicularis</i>    | 101,0       | 5,1         | 2             | Tendre             |
|                    | <i>Delonix floribunda</i>        | 41,0        | 4,0         | 1,6           | Tendre             |
|                    | <i>Neobeguea mahafaliensis</i>   | 71,0        | 3,4         | 9,9           | Très dure          |
| <b>FXC</b>         | <i>Alluaudia comosa</i>          | 80,0        | <b>8,4</b>  | <b>1,0</b>    | <b>Tendre</b>      |
|                    | <i>Commiphora humbertii</i>      | 141,0       | <b>6,4</b>  | 2,0           | <b>Tendre</b>      |
|                    | <i>Delonix floribunda</i>        | 28,0        | 6,0         | 1,6           | Tendre             |
|                    | <i>Senna meridionalis</i>        | 82,0        | 4,4         | -             | -                  |
|                    | <i>Euphorbia stenoclada</i>      | 89,0        | 4,4         | 3,1           | Mi-dur             |

**FSS** : Forêt sèche sur le sol sableux, **FSF** : Forêt sèche sur le sol ferrugineux, **FXC** : Fourré xérophile sur le sol calcaire, **D** (ind./ha) : densité spécifique, **D** (%) : densité relative, **Fr** (%) : fréquence relative, **Dri** (%) : dominance relative, **IVI** (%) : Indice de Valeur d'Importance

Pour les individus morts, *Didierea madagascariensis* et *Grewia grevei* constituent les espèces très denses dans la FSS, correspond à un IVI de 12,16 et 10,52 % avec une densité allant de 50 ind/ha. Pour la FSF, le nombre d'individus morts de *Gyrocarpus americanus* est élevé avec une densité spécifique de 164 ind/ha et un IVI de 16,23 %, suivi de *Commiphora orbicularis*. *Dicraeopetalum mahafaliense* et *Euphorbia stenoclada* constituent les espèces les plus denses par rapport aux autres dans le FXC, avec 74 ind/ha et 55 ind/ha.

La majorité des espèces importantes recensées mortes, ayant des densités et de IVI élevées, sont généralement des bois très tendres à mi-dure, avec une dureté Monnin de  $D < 6$ . Le quart de ces espèces importantes est classé dans les bois très durs entre 10,30 et 15, tels que *Grewia grevei*, *G. gracilis*, *Neobeguea mahafaliensis*, *Humbertiella quaribeoides* et *Dicraeopetalum mahafaliense* (Tableau 16).

**Tableau 16** : Densité des espèces mortes par Indice de Valeur d'Importance et par classification de dureté dans les trois types de végétation

| Type de végétation | Espèces                            | D (ind/ha) | IVI (%) | Dureté Monnin | Types de bois |
|--------------------|------------------------------------|------------|---------|---------------|---------------|
| FSS                | <i>Didierea madagascariensis</i>   | 59,0       | 12,1    | 1,3           | Très tendre   |
|                    | <i>Grewia grevei</i>               | 53,0       | 10,5    | 10,3          | Très dur      |
|                    | <i>Gyrocarpus americanus</i>       | 40,0       | 9,8     | 1,0           | Très tendre   |
|                    | <i>Commiphora marchandii</i>       | 29,0       | 7,7     | 2,0           | Tendre        |
|                    | <i>Commiphora simplicifolia</i>    | 20,0       | 6,4     | 2,0           | Tendre        |
| FSF                | <i>Gyrocarpus americanus</i>       | 164,0      | 16,2    | 1,0           | Très tendre   |
|                    | <i>Commiphora orbicularis</i>      | 53,0       | 6,4     | 2,0           | Tendre        |
|                    | <i>Neobeguea mahafaliensis</i>     | 62,0       | 6,3     | 9,9           | Très dur      |
|                    | <i>Croton</i> sp8.                 | 80,0       | 5,4     | 2,0           | Tendre        |
|                    | <i>Didierea madagascariensis</i>   | 48,0,      | 5,1     | 1,3           | Très tendre   |
| FXC                | <i>Dicraeopetalum mahafaliense</i> | 74,0,      | 9,5     | 11,0          | Très dur      |
|                    | <i>Euphorbia stenoclada</i>        | 55,0       | 8,0     | 3,10          | Mi-dur        |
|                    | <i>Cedrelopsis gracilis</i>        | 39,0       | 6,5     | 15,0          | Très dur      |
|                    | <i>Humbertiella quararibeoides</i> | 56,0       | 6,5     | 10,3          | Très dur      |
|                    | <i>Gyrocarpus americanus</i>       | 42,0       | 5,8     | 1,0           | Très tendre   |

*FSS* : Forêt sèche sur le sol sableux, *FSF* : Forêt sèche sur le sol ferrugineux, *FXC* : Fourré xérophile sur le sol calcaire, *IVI* (%) : Indice de Valeur d'Importance

### III.2.5. Surface terrière

Au total, 17,78 m<sup>2</sup>/ha sur 75,18 m<sup>2</sup>/ha est occupé par les individus morts soit 24,30 % de la surface terrière globale. La FSF constitue le site où la surface terrière occupée par les bois morts est élevée avec 8,11 m<sup>2</sup>/ha par rapport aux FXC et FSS (4 m<sup>2</sup>/ha).

Les individus morts occupent 24,3% de la surface terrière totale inventoriée. Les végétaux frappés par la mortalité dans la forêt sèche sur le sol sableux et le fourré xérophile sur le sol calcaire n'occupent que 6% chacun. Les bois morts dans la FSF ont pris une surface plus ou moins élevée de 11% (Tableau 17).

**Tableau 17** : Surface terrière et sa proportion par types de végétations

| Individus | Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha) |      |      |
|-----------|---------------------------------------|------|------|
|           | FSF                                   | FSS  | FXC  |
| Vivants   | 18,8                                  | 22,8 | 13,8 |
| Morts     | 8,1                                   | 4,8  | 4,9  |
| Individus | Proportion de la surface terrière (%) |      |      |
| Vivants   | 25,7                                  | 31,1 | 18,8 |
| Morts     | 11,1                                  | 6,5  | 6,7  |

*FSS* : Forêt sèche sur le sol sable, *FSF* : forêt sèche sur le sol ferrugineux et *FXC* : fourré xérophile sur le sol calcaire ; *a et b* : signification de différence suivant les tests statistiques ;  $p < 0,001$  (très significative), *NS* : non significative.

### III.2.6. Biovolume

Parmi les 15,1 m<sup>3</sup>/ha du biovolume total des individus mort, la forêt sèche sur le sol ferrugineux (FSF) présente le type de végétation où la perte de biovolume est très importante avec 12,3 %. Si 34,1 % est la proportion du biovolume des individus vivants dans la forêt sèche sur le sol sableux (FSS), la perte de biovolume n'atteint que 7,1 %. La perte du biovolume décelée dans fourré xérophile sur le sol calcaire (FXC) est également faible, elle correspond à 7,2 % (Tableau 18).

**Tableau 18** : Biovolume des individus et sa proportion par types de végétations

| Individus | Biovolume (m <sup>3</sup> /ha) |      |      |
|-----------|--------------------------------|------|------|
|           | FSF                            | FSS  | FXC  |
| Vivants   | 12,8                           | 19,4 | 9,4  |
| Morts     | 7,0                            | 4,0  | 4,1  |
| Individus | Proportion du biovolume (%)    |      |      |
| Vivants   | 22,6                           | 34,1 | 16,6 |
| Morts     | 12,3                           | 7,1  | 7,2  |

### III.3. FACTEURS DE MORTALITÉ DES VÉGÉTAUX LIGNEUX

Les résultats de l'étude floristique et ses relations entre les facteurs physiques : climatique édaphique et autres facteurs seront présentés dans cette partie suivant les objectifs l'étude.

#### III.3.1. Caractéristiques climatiques

##### a. Variabilité pluviométrique

##### • Précipitation annuelle

La précipitation totale annuelle varie de 36,5 à 523 mm relatifs à 6 à 20 jours de pluie. Pendant 7 ans, depuis 2015 jusqu'à 2021 où l'étude a été effectuée, la précipitation interannuelle moyenne est de  $221,8 \pm 184,7$  mm, correspond à  $13 \pm 5$  jours de pluie. Durant huit mois de saison sèche (avril-novembre), la précipitation moyenne ne dépasse pas 40 mm, tandis qu'elle tombe en moyenne 180 mm qui se répartissent en 9 jours pendant les saisons humides entre décembre en mars (Tableau 19). Aucune différence significative n'a été observée entre les précipitations annuelles moyennes entre les deux saisons  $p \geq 0,05$ . Cependant, une différence significative est remarquée sur la précipitation interannuelle de 2015 à 2021 avec  $p < 0,05$  ( $n=7$  unités).

**Tableau 19** : Précipitation interannuelle moyenne dans la station de recherche d'Andranovao

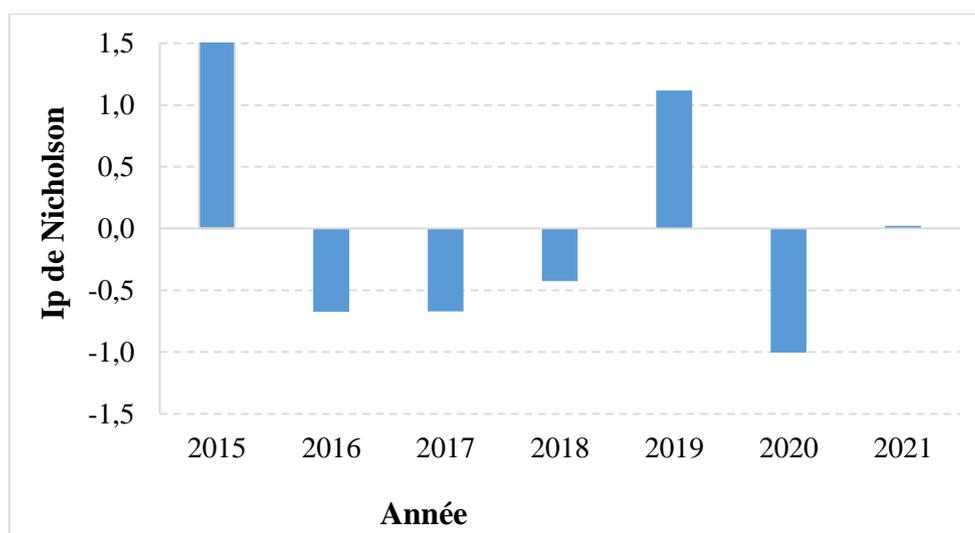
| Saison        | Précipitation annuelle (mm)         | Nombre de jours de pluie (j)      |
|---------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Saison sèche  | $39,5 \pm 42,8^a$                   | $4,4 \pm 2,6^a$                   |
| Saison humide | $182,2 \pm 183,3^a$                 | $8,7 \pm 4,9^a$                   |
| <b>Total</b>  | <b><math>221,7 \pm 184,7</math></b> | <b><math>13,14 \pm 5,5</math></b> |

*Les valeurs partageant les mêmes lettres par particule ne présentent aucune différence significative ( $p \geq 0,05$ ).*

##### • Indice pluviométrique

En termes d'Indice pluviométrique de Nicholson, trois années sont modérément sèches entre 2016 et 2018, avec un  $I_p$  oscillant entre -0,63 à -0,12. Toutefois, deux années à forte humidité ont été détectées, 2015 et 2019, avec un  $I_p$  de 1,63 et 1,12. L'année la moins pluvieuse est décelée en 2020, qui correspond à un  $I_p$  égal à -1 ( $I_p = -1$ ), caractérisé par une forte sécheresse. La précipitation reste stationnaire en 2021, avec une alternance des mois secs et humides, relatifs à un  $I_p = 0,02$  considérée comme normale (Figure 17).

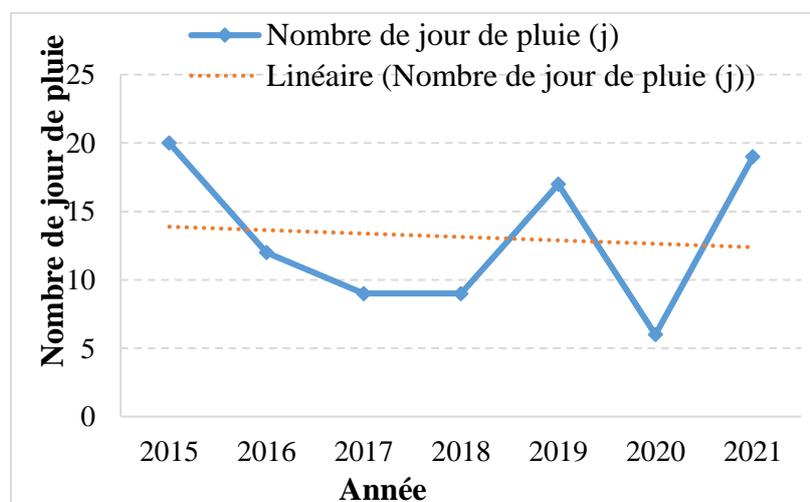
L'indice pluviométrique montre généralement des valeurs négatives concordant à des déficits hydriques. L' $I_p$  interannuel présente une variation significative correspond à  $p < 0,05$  ( $n=7$ ).



**Figure 17** : Indice pluviométrique de Nicholson entre 2015-2021 à Andranovao dans le Parc National Tsimanampetsotsa

- **Variabilité interannuelle du nombre de jours de pluie**

Au total, 92 jours de pluie aléatoires ont été enregistrés entre 2015 à 2021. Quarante-deux pour cent (82,16 %) de la précipitation a été enregistré pendant les saisons humides, réparties dans 63 jours. Seulement 17,14 % tombent pendant les saisons sèches avec 31 jours de pluie aléatoire. Le nombre de jours pluvieux durant les années sèches est très rare, voire absent en 2017 et 2018, relatifs à un à deux jours seulement. Particulièrement en 2020, aucun jour de pluie n'a été observé durant la saison sèche (0 mm), tandis qu'en saison humide la précipitation enregistrée n'est que 36 mm au total, correspondant à six jours pluvieux (Figure 18). En résumé, la fréquence de la précipitation varie d'une année à l'autre et accompagnée par le type de saison. La variabilité du jour de pluie entre les années étudiées présente des différences significatives entre les années étudiées, avec  $p < 0,05$  ( $n=7$ ).



**Figure 18** : Variation interannuelle du nombre de jours de pluie entre 2015 à 2021 à Andranovao dans le Parc National Tsimanampetsotsa ( $n=7$  années)

**b. Variabilité de la température**

La température moyenne interannuelle est de  $25,6 \pm 3,04$  °C. La moyenne annuelle de la température minimale est de  $19,4 \pm 3,59$  °C et  $33,3 \pm 2,23$  °C pour la maximale. Le Tableau 20 résume la température moyenne de la zone d'étude entre 2015-2021 par saison.

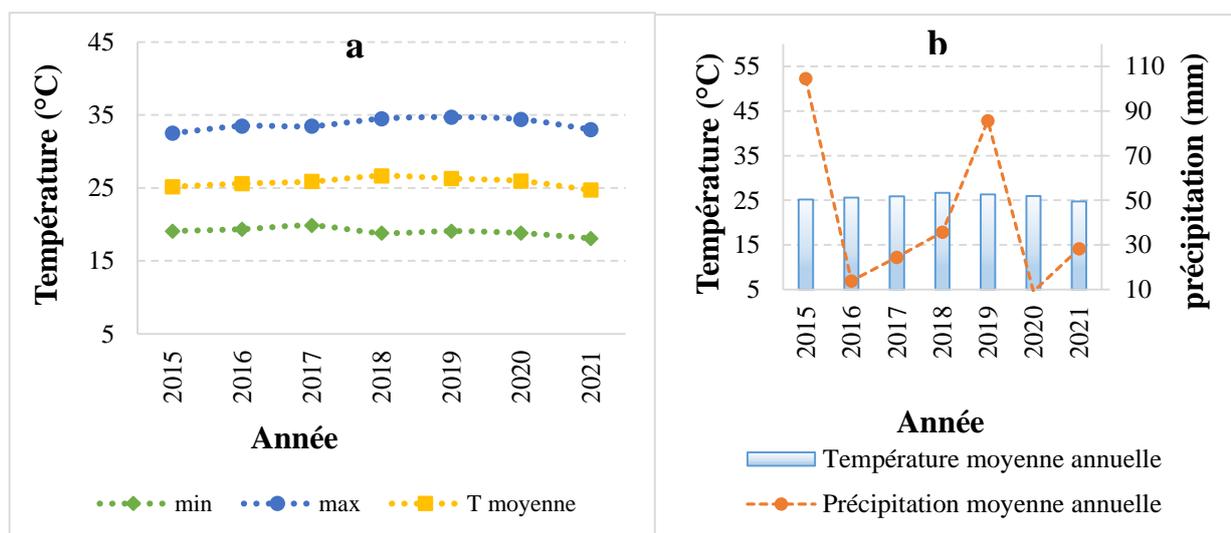
La température la plus basse est enregistrée en 2015 pendant la saison sèche au mois de juillet, avec  $11,8$  °C. En revanche, elle est plus élevée durant la saison humide en 2020 (janvier), avec une valeur de  $40,6$ °C. La température moyenne pendant la saison sèche significativement inférieure avec celle en saison humide ( $p < 0,05$ ).

**Tableau 20** : Tableau récapitulatif de la moyenne de la température de la zone d'étude (n=7 années)

| Saison        | MT min (°C)    | MT max (°C)    | T moy (°C)       |
|---------------|----------------|----------------|------------------|
| Saison sèche  | $16,8 \pm 2,7$ | $32,2 \pm 1,6$ | $23,9 \pm 2,2^b$ |
| Saison humide | $23,6 \pm 0,8$ | $36,7 \pm 0,5$ | $29,3 \pm 0,6^a$ |
| Ensemble      | $19,4 \pm 3,5$ | $33,3 \pm 2,2$ | $25,57 \pm 3,0$  |

*MT min* : Moyenne température minimale, *MT max* : Moyenne température maximale, *T Moy* : température moyenne

La température pendant la période étudiée n'est pas très variée et ne présente pas des tendances remarquables (Figure 19a). Cependant, en comparant les deux paramètres climatiques, la précipitation est variée d'une année à l'autre (Figure 19b).



**Figure 19** : Variation de la température (a) moyenne annuelle, minimale et maximale ; (b) comparaison de la variation de la température et de la précipitation entre 2015 - 2021, n=7.

### III.3.2. Caractéristiques édaphiques

Les textures du sol identifiées sont généralement sableuses après la projection de la proportion des trois particules dans le triangle textural de l'USDA (United States Departments of Agriculture), (Tableau 21). La proportion du sable est très élevée entre 90,6 à 94,1 %. Le sol sableux présente la proportion en limon la plus faible (5,91%). Le sol calcaire est riche en argile (7,2 %).

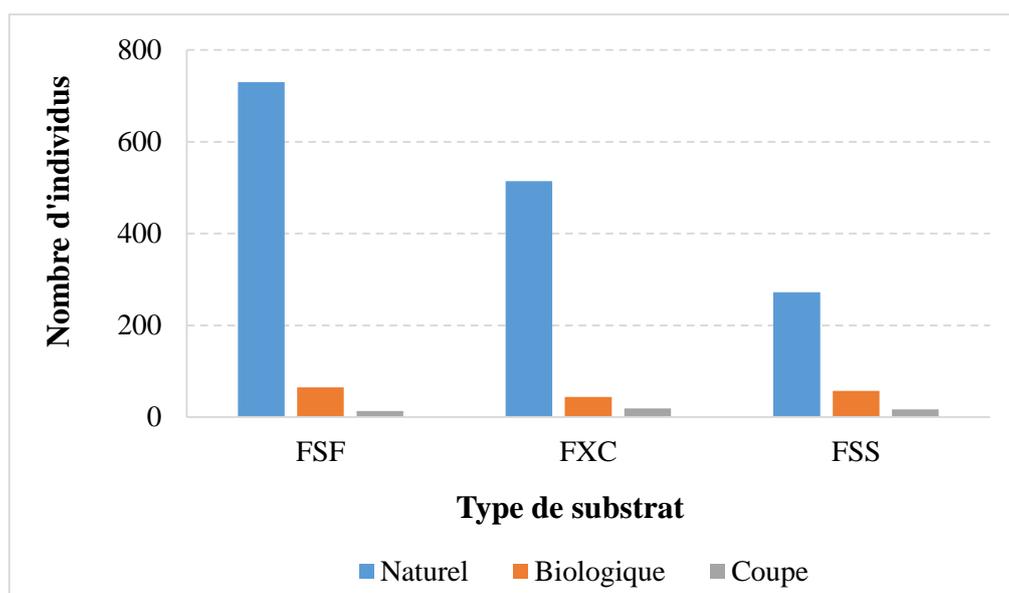
**Tableau 21** : Caractéristique texturale des substrats (n=10).

| Types de substrats | Particules              |                        |                        | Texture  |
|--------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|----------|
|                    | Sable (%)               | Limon (%)              | Argile (%)             |          |
| Sol sableux        | 94,0 ± 1,0 <sup>a</sup> | 5,9 ± 1,0 <sup>b</sup> | 0,9 ± 0,0 <sup>b</sup> | Sableuse |
| Sol calcaire       | 92,8 ± 2,7 <sup>a</sup> | 1,1 ± 0,6 <sup>c</sup> | 7,1 ± 2,7 <sup>a</sup> | Sableuse |
| Sol ferrugineux    | 90,6 ± 1,9 <sup>b</sup> | 9,3 ± 1,9 <sup>a</sup> | 1,0 ± 0,0 <sup>b</sup> | Sableuse |

Les valeurs partageant les mêmes lettres par particule ne présentent aucune différence significative ( $p \geq 0,05$ ).

### III.3.3. Autres facteurs

Différents facteurs entraînent la mortalité des arbres : facteurs naturels, biologiques et anthropiques (Figure 20). Pour l'ensemble des trois types de végétations, la densité des arbres morts naturels (déracinés, mort sur pied, chablis) est élevée, elle correspond à 1516 ind/ha soit 87,58 % du nombre des individus morts. Elle est répartie en 730 ind/ha dans la FSF, la plus importante, 514 ind/ha dans le FXC et 272 ind/ha sur la FSS (Figure 20). Les actions biologiques (insectes ravageurs) et anthropiques (coupe) entraînant la mortalité des arbres restent faibles relatives à 166 ind/ha (9,59 %) et 49 ind/ha (2,83 %).



**Figure 20** : Densité des arbres morts par types de végétation et ses facteurs de mortalité



**Figure 21** : Représentation des facteurs de mortalité des bois (a) *Givotia madagascariensis* (arbre mort sur pied), (b) *Cedrelopsis gracilis* (bois mort par les insectes) et (c) *Neobeguea mahafaliensis* (Bois mort par l'action anthropique)

*FSS* : Forêt sèche sur le sol sable ; *FSF* : forêt sèche sur le sol ferrugineux ; *FXC* : fourré xérophile sur le sol calcaire.

### III.4. CORRÉLATION

Pour la **forêt sèche sur le sol sableux (FSS)**, des relations positives ont été observées entre la densité des vivants et la richesse spécifique des vivants ( $r = 0,69$ ). Cela signifie que plus la densité augmente, plus le nombre d'espèces vivantes est élevé. La proportion des vivants est négativement corrélée avec la densité des individus atteints par la mortalité avec  $r = -0,92$ . Cela indique que plus le taux d'individus vivant est élevé, plus la densité des individus morts est faible. Le biovolume des individus vivants et la surface terrière des bois morts présente des corrélations positives relatives à  $r = 0,83$ . Cette relation montre que, plus le biovolume des individus vivants augmente, plus la surface occupée par ceux qui sont touchés par la mortalité est également importante. Les paramètres climatiques ne dérangent pas les indicateurs floristiques dans la FSS (Tableau 22).

En parlant du **fourré xérophile sur le sol calcaire (FXC)**, la richesse spécifique des vivants et morts est positivement corrélée avec  $r = 0,87$ . Ce dernier indique que le nombre d'espèces est important autant pour les espèces vivantes que pour les espèces frappées par la mortalité. Des corrélations positives ont été observées entre la surface terrière occupée par les individus morts et la richesse spécifique des vivants ( $r = 0,83$ ). Ces valeurs signifient que plus la surface occupée est élevée, plus la richesse spécifique est importante. Entre le biovolume des individus vivants et la densité des individus morts, ils présentent des corrélations négatives ( $r =$

-0,91). Cela indique que plus le biovolume des vivants est faible, plus la densité des individus affectés par la mortalité est élevée. En outre, la température minimale est négativement corrélée avec la richesse spécifique des vivants, morte et le biovolume des individus affectés ( $r = -0,83$ ,  $r = -0,85$  et  $r = -0,74$ ). Ces relations négatives expliquent que la diminution de la température minimale entraîne l'augmentation du nombre d'espèces et du biovolume des bois morts. La précipitation totale entre 2015 et 2021 est positivement corrélée avec la surface terrière occupée par les individus vivants avec  $r = 0,76$ . Cela désigne que l'augmentation de la précipitation provoque l'accroissement de la surface terrière.

Malgré cela, la température moyenne et maximale ne présente aucune relation significative envers les paramètres floristiques (Tableau 23).

Pour la **forêt sèche sur le sol ferrugineux (FSF)**, des corrélations négatives ont été remarquées entre la densité des individus vivants et la richesse spécifique des espèces affectées ( $r = -0,74$ ). Cela indique que l'élévation de la densité des vivants entraîne la diminution du nombre d'espèces mortes. Le taux de mortalité est positivement corrélé avec la richesse spécifique des vivants relatifs à  $r = -0,42$ . Ce coefficient montre que plus le taux de mortalité est élevé, plus les espèces inventoriées sont plus diversifiées. La température minimale est négativement corrélée avec la densité des individus vivants et de son biovolume avec  $r = -0,81$  et  $r = -0,90$ . Cette corrélation négative signifie que l'augmentation de la température minimale engendre la diminution de la densité des individus vivants. La précipitation, la température moyenne et maximale ne présentent pas de relation particulière dans ce type de végétation (Tableau 24).

**Tableau 22** : Corrélation entre les indicateurs floristiques et les caractéristiques climatiques dans la forêt sèche sur le sol sableux (FSS)

| FSS     | S'_V  | S'_M  | D_V   | D_M   | Taux_V | T_Mort | ST_v  | ST_M | B.vol_V | B.vol_M | T_Moy | T.min | T.max |
|---------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|------|---------|---------|-------|-------|-------|
| S'_M    | 0,00  | -     |       |       |        |        |       |      |         |         |       |       |       |
| D_V     | 0,69  | -0,12 | -     |       |        |        |       |      |         |         |       |       |       |
| D_M     | -0,54 | -0,16 | -0,49 | -     |        |        |       |      |         |         |       |       |       |
| Taux_V  | 0,72  | 0,01  | 0,79  | -0,92 | -      |        |       |      |         |         |       |       |       |
| T_Mort  | -0,72 | -0,01 | -0,79 | 0,92  | -1,00  | -      |       |      |         |         |       |       |       |
| ST_v    | 0,42  | -0,21 | 0,79  | -0,19 | 0,47   | -0,47  | -     |      |         |         |       |       |       |
| ST_M    | -0,10 | -0,36 | 0,08  | 0,67  | -0,45  | 0,45   | 0,35  | -    |         |         |       |       |       |
| B.vol_V | 0,01  | -0,28 | 0,46  | 0,39  | -0,10  | 0,10   | 0,77  | 0,83 | -       |         |       |       |       |
| B.vol_M | -0,18 | -0,38 | 0,10  | 0,44  | -0,29  | 0,29   | 0,38  | 0,92 | 0,80    | -       |       |       |       |
| T_Moy   | 0,58  | 0,28  | 0,14  | -0,09 | 0,13   | -0,13  | -0,10 | 0,26 | -0,03   | 0,20    | -     |       |       |
| T.min   | 0,74  | -0,33 | 0,42  | -0,34 | 0,45   | -0,45  | 0,56  | 0,19 | 0,25    | 0,20    | 0,38  | -     |       |
| T.max   | 0,22  | 0,30  | -0,34 | 0,12  | -0,22  | 0,22   | -0,59 | 0,10 | -0,37   | 0,01    | 0,85  | 0,02  | -     |
| P       | -0,11 | -0,52 | 0,35  | -0,36 | 0,40   | -0,40  | 0,15  | 0,02 | 0,12    | 0,29    | -0,24 | -0,09 | -0,32 |

*S'\_V* : Richesse spécifique des vivants ; *S'\_M* Richesse spécifique des morts

*D\_V* : Densité des individus vivants (ind./ha) ; *D\_M* : Densité des individus morts (ind./ha) ;

*Taux\_V* : Proportion des individus vivants (%) ; *T\_Mort* : Taux de mortalité (%) ;

*ST\_V* : Surface terrière des vivants (m<sup>2</sup>/ha) ; *ST\_M* : Surface terrière des morts (m<sup>2</sup>/ha) ;

*B.vol\_V* : Biovolume des vivants (m<sup>3</sup>/ha) ; *B.vol\_M* : Biovolume des morts (m<sup>3</sup>/ha)

*T\_Moy* : Température moyenne annuelle (°C) ; *T.min* : Température minimale annuelle (°C)

*T.max* : Température maximale annuelle (°C) ; *P* : Précipitation totale annuelle (mm)

**Tableau 23** : Corrélation entre les indicateurs floristiques et les caractéristiques climatiques dans le fourré xérophile sur le sol calcaire (FXC)

| <b>FXC</b> | <b>S'_V</b> | <b>S'_M</b> | <b>D_V</b> | <b>D_M</b> | <b>Taux_V</b> | <b>T_Mort</b> | <b>ST_v</b> | <b>ST_M</b> | <b>B.vol_V</b> | <b>B.vol_M</b> | <b>T_Moy</b> | <b>T.min</b> | <b>T.max</b> |
|------------|-------------|-------------|------------|------------|---------------|---------------|-------------|-------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| S'_M       | 0,87        | -           |            |            |               |               |             |             |                |                |              |              |              |
| D_V        | 0,32        | 0,06        | -          |            |               |               |             |             |                |                |              |              |              |
| D_M        | -0,24       | -0,03       | 0,48       | -          |               |               |             |             |                |                |              |              |              |
| Taux_V     | 0,34        | -0,04       | -0,03      | -0,87      | -             |               |             |             |                |                |              |              |              |
| T_Mort     | -0,34       | 0,04        | 0,03       | 0,87       | -1,00         | -             |             |             |                |                |              |              |              |
| ST_v       | 0,24        | -0,04       | -0,14      | -0,71      | 0,81          | -0,81         | -           |             |                |                |              |              |              |
| ST_M       | 0,83        | 0,88        | 0,46       | 0,30       | -0,18         | 0,18          | -0,18       | -           |                |                |              |              |              |
| B.vol_V    | 0,31        | 0,10        | -0,38      | -0,91      | 0,87          | -0,87         | 0,88        | -0,15       | -              |                |              |              |              |
| B.vol_M    | 0,85        | 0,94        | 0,29       | 0,19       | -0,13         | 0,13          | -0,10       | 0,98        | -0,02          | -              |              |              |              |
| T_Moy      | -0,46       | -0,52       | 0,51       | 0,54       | -0,33         | 0,33          | -0,33       | -0,30       | -0,65          | -0,44          | -            |              |              |
| T.min      | -0,83       | -0,85       | -0,07      | 0,29       | -0,29         | 0,29          | -0,24       | -0,66       | -0,34          | -0,74          | 0,38         | -            |              |
| T.max      | -0,01       | -0,05       | 0,60       | 0,53       | -0,36         | 0,36          | -0,36       | 0,12        | -0,67          | -0,03          | 0,85         | 0,02         | -            |
| P          | -0,14       | -0,14       | -0,63      | -0,60      | 0,41          | -0,41         | 0,76        | -0,47       | 0,65           | -0,33          | -0,24        | -0,09        | -0,32        |

*S'\_V* : Richesse spécifique des vivants ; *S'\_M* Richesse spécifique des morts

*D\_V* : Densité des individus vivants (ind./ha) ; *D\_M* : Densité des individus morts (ind./ha) ;

*Taux\_V* : Proportion des individus vivants (%) ; *T\_Mort* : Taux de mortalité (%) ;

*ST\_V* : Surface terrière des vivants (m<sup>2</sup>/ha) ; *ST\_M* : Surface terrière des morts (m<sup>2</sup>/ha) ;

*B.vol\_V* : Biovolume des vivants (m<sup>3</sup>/ha) ; *B.vol\_M* : Biovolume des morts (m<sup>3</sup>/ha)

*T\_Moy* : Température moyenne annuelle (°C) ; *T.min* : Température minimale annuelle (°C)

*T.max* : Température maximale annuelle (°C) ; *P* : Précipitation totale annuelle (mm)

**Tableau 24 :** Corrélations entre les indicateurs floristiques et les caractéristiques climatiques dans la forêt sèche sur le sol ferrugineux (FSF)

| FSF     | S'_V  | S'_M  | D_V   | D_M   | Taux_V | T_Mort | ST_v  | ST_M  | B.vol_V | B.vol_M | T_Moy | T.min | T.max |
|---------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|
| S'_M    | -0,12 | -     |       |       |        |        |       |       |         |         |       |       |       |
| D_V     | 0,33  | -0,74 | -     |       |        |        |       |       |         |         |       |       |       |
| D_M     | -0,40 | 0,62  | -0,38 | -     |        |        |       |       |         |         |       |       |       |
| Taux_V  | 0,42  | -0,85 | 0,85  | -0,81 | -      |        |       |       |         |         |       |       |       |
| T_Mort  | -0,42 | 0,85  | -0,85 | 0,81  | -1,00  | -      |       |       |         |         |       |       |       |
| ST_v    | 0,28  | -0,67 | 0,95  | -0,46 | 0,86   | -0,86  | -     |       |         |         |       |       |       |
| ST_M    | -0,04 | -0,10 | 0,30  | 0,64  | -0,15  | 0,15   | 0,16  | -     |         |         |       |       |       |
| B.vol_V | 0,36  | -0,56 | 0,94  | -0,28 | 0,73   | -0,73  | 0,88  | 0,23  | -       |         |       |       |       |
| B.vol_M | 0,06  | -0,22 | 0,42  | 0,50  | 0,02   | -0,02  | 0,30  | 0,98  | 0,31    | -       |       |       |       |
| T_Moy   | -0,25 | -0,14 | -0,14 | -0,14 | 0,02   | -0,02  | 0,09  | 0,01  | -0,30   | 0,08    | -     |       |       |
| T.min   | -0,49 | 0,62  | -0,81 | 0,47  | -0,75  | 0,75   | -0,71 | -0,01 | -0,90   | -0,08   | 0,38  | -     |       |
| T.max   | -0,28 | -0,41 | 0,18  | -0,03 | 0,16   | -0,16  | 0,31  | 0,32  | 0,06    | 0,38    | 0,85  | 0,02  | -     |
| P       | 0,29  | -0,28 | -0,21 | -0,50 | 0,16   | -0,16  | -0,36 | -0,42 | -0,29   | -0,40   | -0,24 | -0,09 | -0,32 |

*S'\_V* : Richesse spécifique des vivants ; *S'\_M* Richesse spécifique des morts

*D\_V* : Densité des individus vivants (ind./ha) ; *D\_M* : Densité des individus morts (ind./ha) ;

*Taux\_V* : Proportion des individus vivants (%) ; *T\_Mort* : Taux de mortalité (%) ;

*ST\_V* : Surface terrière des vivants (m<sup>2</sup>/ha) ; *ST\_M* : Surface terrière des morts (m<sup>2</sup>/ha) ;

*B.vol\_V* : Biovolume des vivants (m<sup>3</sup>/ha) ; *B.vol\_M* : Biovolume des morts (m<sup>3</sup>/ha)

*T\_Moy* : Température moyenne annuelle (°C) ; *T.min* : Température minimale annuelle (°C)

*T.max* : Température maximale annuelle (°C) ; *P* : Précipitation totale annuelle (mm)

## IV. DISCUSSION

Les résultats ont permis de ressortir les différentes compositions floristiques suivant les trois types de végétation, la mortalité des végétaux ligneux dans la zone d'étude. Il en évoque les relations existantes entre les individus vivants et les morts ainsi que les différents facteurs pouvant entraîner la mortalité au sein de la communauté végétale. Malgré cela, la comparaison du présent travail aux recherches antérieures s'avère indispensable afin d'évoquer les différentes remarques y afférentes, d'analyser les éventuels changements, ainsi de faire des recommandations appropriées.

En termes de la richesse spécifique globale, les espèces ligneuses recensées appartiennent uniquement aux Angiospermes Dicotylédones. Selon, Faramalala et Rajeriarison, (1999), le domaine Sud est constitué par de bush xérophytique d'où l'absence des espèces ligneuses monocotylédones. Salomon, (1978) affirme que l'adaptation à l'aridité confère aux plantes des physiologies et des formes biologiques particulières. Koechlin et *al.*, (1974), confirme que les plantes dans cette région sont caractérisées par différents types d'adaptations à la sécheresse et aux variations édaphiques. Les caractéristiques floristiques globales durant la présente étude ont été également comparées aux différentes études antécédentes, qui ont évoqué l'abondance des familles typiques de la région Sud-Ouest : Didieraceae et Euphorbiaceae (Aubréville, 1957 ; Guillaumet et Kœchlin, 1971). La famille Fabaceae est également abondante. Selon Du Puy, (2001), la végétation décidue de la région Sud-Ouest, soumise à un climat sub-aride, est riche en Leguminosaceae.

En parlant de la richesse spécifique par forme biologique, le nombre d'espèces arbustives vivantes sont nombreux que les espèces arborescentes. Ratovonamana, (2016) confirme leurs abondances dans tous les groupements végétaux qu'il a identifiés, notamment dans les groupements 3 et 4. Ces derniers sont relatifs à la forêt sèche sur le sol ferrugineux et le fourré xérophile sur le sol calcaire dans la présente étude.

La strate différencie les trois types de végétation identifiés, avec une abondance des individus de taille [0 -2[m de hauteur dans le fourré xérophile sur le sol calcaire soit 86,23 % par rapport à 39,75 % et 46,03 % dans les forêts sèches sur les sols sableux et ferrugineux. Ces différences pourraient être dues aux caractéristiques type de substrat calcaire qui permettent aux individus de petites tailles avec une diminution des hauteurs de mieux adapter (Ratovonamana, 2016).

Concernant de mortalité, au niveau spécifique, deux espèces, *Didierea madagascariensis* et *Gyrocarpus americanus*, sont abondantes. Cela pourrait être expliqué par le fait qu'ils appartiennent aux bois très tendres avec une dureté Monnin  $D < 1,5$  et des densités entre 0.41 et 0.35 (Rakotovao et al., 2012). De plus, Razanaka, (1996), affirme que *Didierea madagascariensis* couvre l'ensemble de l'aire de répartition en allant du sable roux au sol sableux rouge ou ferrugineux. De ce fait, il est évident que la mortalité de cette espèce est répartie sur l'ensemble des forêts sèches sur les sols sableux et ferrugineux. Cependant, 6 espèces, *Cedrelopsis grevei*, *C. gracilis*, *Dicraepetalum mahafaliense*, *Grewia grevei*, *Neobeguea mahafaliensis* et *Humbertiella quararibeoides* figurent parmi les espèces mortes les plus abondantes et importantes, alors qu'elles sont classées parmi les bois très durs  $D > 9$  (Rakotovao et al., 2012). Une raison pour expliquer leurs mortalités est que ces espèces sont exploitées par la population locale à des fins immobilières ou de bois de chauffe (Salomon, 1978). De plus dans la présente étude, des actions anthropiques sur les arbres ont été détectées (coupe). En général, la mortalité pourrait être entraînée par des interactions complexes de différents facteurs et événements. (Etzold et al., 2016) qui est difficile à identifier.

La mortalité diffère entre les espèces de la même famille. L'appartenance dans une même famille ne signifie pas que la mortalité des espèces soit semblable. Prenons le cas de Fabaceae, qui est la plus affectée dont *Dicraepetalum mahafaliense* touche un taux de mortalité respectifs de 4,27 %, *Chadsia grevei* et *Senna meridionalis* ont des taux de mortalité de 2,72 % et 2,54 %. Ces taux de mortalité différents pourraient s'expliquer par leur distribution. Pour *S. meridionalis*, elle figure parmi les espèces caractéristiques du Fourré Xérophile sur le sol calcaire (Ratovonamana, 2016), ce qui fait que sa mortalité est définie par sa large aire de répartition dans ce type de végétation.

En ce qui concerne la régénération naturelle, les espèces inventoriées ont généralement de mauvais taux de régénération. Le taux de régénération des espèces mortes est très faible, avec un TRN% qui ne dépasse pas 25 %. Cela indique un mauvais potentiel de régénération. Randrianarisoa, (2019) a confirmé sur l'étude de germination des végétaux dans le Parc National Tsimanampetsotsa que les graines dans les lots témoins sans prétraitement adéquat n'ont pas de bonne capacité germinative. Alors que dans la nature, il n'existe aucun traitement préalable ce qui entraîne le mauvais taux de régénération. Cependant, la régénération est considérée comme étant un critère déterminant dans l'évaluation des risques d'extinction (Rabearivony et al., 2014). Cette difficulté de régénération est en rapport avec le type de milieu soumis à un climat subaride, d'où le problème majeur de ressource en eau, qui constitue une

barrière pour les espèces pour sa faculté à régénérer. Aussenac, (2021) affirme que la régénération naturelle n'est possible qu'à la suite des conditions climatiques favorables qui se succèdent.

Pour la densité globale, 25,70 % des individus inventoriés sont touchés par la mortalité. De plus, aucune relation significative n'est observée entre la densité des individus vivants et ceux qui sont affectés. Cela signifie que la mortalité des arbres n'est pas encore très critique dans le PN Tsimanampetsotsa. Toutefois, la densité des individus arbustifs morts est significative par rapport aux individus arborescents. L'augmentation du nombre des individus arbustifs morts entraîne la diminution de la densité des individus arbustifs vivants. Cela pourrait être expliqué par le fait que la mortalité des arbustes est très importante dans tous les types de végétation.

Au point de vue dendrométrique par classe de diamètre, les individus de petite taille [5-10[cm sont sensibles à la mortalité, avec un taux de mortalité de 9,85 % et les individus entre [0-5[cm de diamètre touche un taux de mortalité de 2,47 %. Cela reste inférieur en comparant au taux de mortalité des juvéniles ayant un diamètre inférieur à 10 cm dans la forêt sèche de l'Inde relatif à un taux de mortalité de 17,06 % (Condit et *al.*, 2006). Etzold et *al.*, (2016) confirme que la mortalité dans un jeune peuplement est très élevée en raison de la compétition, elle diminue quand l'âge des peuplements augmente par auto-éclaircissement. À cet effet, la mortalité élevée des arbustes précédemment pourraient alors être expliquée par leurs tailles, qui sont généralement petites. Reynolds et Ford (2005) ; Coomes et Allen (2007) ; Wunder et *al.*, (2008), Rohner et *al.*, 2012), appuient que les grandes classes de diamètre affiche une mortalité plus faible que les petites, car ils sont plus capables de résister à des concurrences dans la nature. Le fort taux de mortalité des bois de petit diamètre est expliqué par la compétition en eau. Les individus de petite taille n'arrivent pas à prélever rapidement l'eau que les grands arbres.

Mis à part la dureté du bois, le diamètre ou la distribution des espèces, des autres facteurs tels que le climat conditionnent la mortalité des végétaux. L'étude menée par Ratvonamana, (2016) et celle de la présente étude dans le PN Tsimanampetsotsa montrent que la saison humide ne dure que quatre mois contre huit mois de saison sèche. Aucun changement n'est alors observé au niveau saisonnier. En d'autres termes, la précipitation moyenne a diminué jusqu'à 80 mm entre 1950 et 2009. La précipitation totale interannuelle durant la présente étude (2015 à 2021), n'atteint que 221,8 mm par rapport à 390 mm en 2007 à 2009 (Ratvonamana, 2016). A cet effet, une différence importante de 168 mm au total est ainsi observée. Cette diminution pluviométrique, surtout en saison humide, a probablement entraîné une

augmentation du nombre d'espèces mortes. Néanmoins, cette saison pluvieuse constitue la seule ressource pour les espèces soumises à un climat subaride de puiser une quantité suffisante de pluie. De plus, dans ces intervalles de temps que s'accomplissent les différents cycles de végétation (Salomon, 1978).

À propos de la température, la moyenne maximale a augmenté de 0,6°C pendant la saison sèche. Entre 2007 à 2009, elle est de 32,6 (Ratovonamana, 2016) par rapport à 33,2°C en 2015 à 2021. Quant à la moyenne de la température minimale, elle a diminué par contre de 0,8°C, correspond à 23,2 °C au lieu de 24 °C pendant la saison humide. En juillet 2015, la température minimale atteint 11°C. Salomon, (1978) affirme que cette basse température hivernale dans la région semi-aride, même à durée éphémère intervient en tant que facteur limitant pour le peuplement végétal. Malgré cela, la moyenne de la température annuelle est plus ou moins régulière durant la présente étude.

Trois années consécutives sont modérément sèches pendant cette étude (2016- 2018). En revanche, l'année qui suit (2019), est marquée par une forte humidité avec une précipitation allant jusqu'à 400 mm pendant 17 jours aléatoires. Toutefois, cette forte pluie est succédée en 2020 par une forte sécheresse, avec une précipitation qui n'atteint que 36,5 mm en six jours seulement tout au long de l'année. En conséquence, la persistance de la sécheresse ou de la forte humidité pendant ces séries chronologiques pourrait être expliquée par la coïncidence de ces années avec le phénomène El Niño ou El Niño Southern Oscillation (ENSO). Ce dernier est un déséquilibre permanent entre l'atmosphère et l'océan. Ceci entraîne une instabilité entre la phase plus chaude ou la plus froide pendant un intervalle de temps de deux à sept ans (Dewitte, 2001). Certaines régions de l'île ont enduré une sécheresse pendant ou après le passage d'El Niño comme dans les pays sud-africains (Thomson et *al.*, 2003). Le climat joue à cet effet un rôle très important. La mortalité des végétaux ligneux est ainsi expliquée par la succession d'une longue durée de forte humidité en 2019 et de la sécheresse très forte en 2020, accompagnée par une élévation de la température en janvier 2021 (40 °C). De plus, Etzold et *al.*, (2016) confirme que la mortalité des espèces est particulièrement visible après des périodes de sécheresse. Sadio, (1986) affirme, d'une part, qu'en cas de sécheresse accrue, les sels dans le sol restent non lessivés et augmentent leurs concentrations. L'envahissement de ce sel non dissout et non lessivé peut entraîner la stérilité du sol. Randrianarisoa, (2019) a évoqué que toutes les espèces notamment les légumineuses sont non tolérantes à la salinité. D'autre part, le manque de précipitation durant une longue durée peut rendre les espèces plus vulnérables (Rouault et *al.*, 2006), déjà elles vivent près de leur limite de tolérance à la chaleur (CBD, 2007).

De plus, nombreuses espèces sont incapables de s'adapter à ces conditions du milieu, car, les caractéristiques climatiques actuelles sont très variées que celles du passé (Dewar et Richard, 2007).

Malgré que la zone d'étude n'est pas une région cyclonique (WWF, 2011), Rahendrimanana, (2012) affirme que cinq perturbations cycloniques ou CTI (...) ont touché la Région Atsimo Andrefana entre 2005 à 2012. Ces évènements cycloniques intenses suivis par des périodes modérément sèches voire très sèches et très humides, pendant la présente étude, pourraient expliquer également la mortalité des végétaux. De plus, tout cela est amplifié par des vents dominés par le « Tsiokatimo ».

La mortalité des arbres est souvent accompagnée par des facteurs endogènes tels que la topographie et la nature du substrat (Etzold et *al.*, 2016). Dans la zone d'étude, la texture du sol de type sableux est inapte à la rétention d'eau prolongée (Salomon, 1978). En plus, la précipitation est très faible (Gaspard et *al.*, 2018). Pour ces raisons, des variations croissantes ont été constatées sur la mortalité des individus en allant du substrat sableux, en passant par le substrat calcaire au substrat ferrugineux. Dans ce dernier, la mortalité des individus ligneux est élevée. Cela pourrait être expliqué par les caractéristiques de ce substrat qui est constitué par des plaquages de sables roux et des dalles calcaires, qui défavorisent la filtration d'eau dans la nappe phréatique. De plus, Maignien, (1968) confirme que le substrat ferrugineux ne possède qu'un faible teneur en matière organique (1 à 2%), accompagné par un pH légèrement acide pH= 6 et pH= 5 selon Razanaka, (1996). En plus, ce sol figure parmi les zones de dépression salées (Ratovonamana, 2016). Sadio, (1986) et Othman et *al.*, (2006), affirment que la salinité des sols constitue un facteur majeur, limitant les productivités des plantes.

Contrairement au sol ferrugineux, la mortalité des individus ligneux dans le sol calcaire est légèrement faible. La propriété de ce sol est très filtrante (Razanaka, 1996) qui permet aux végétaux d'accumuler une quantité d'eau pendant la saison de pluvieuse. De plus, le sol calcaire renferme 7,18 % d'argile. Alors que le sol riche en argile conçoit une réserve d'eau et constitue un complexe argilo-humique ce qui donne au sol ses qualités agronomiques telles qu'une bonne aération entre les agrégats et la bonne perméabilité à l'air et à l'eau (Morel, 1996).

Salomon, (1978) a conclu que la faiblesse de la précipitation et la nature du substrat conduisent à une forte sécheresse du milieu.

**Limite de l'étude et recommandation**

L'étude de la relation entre la mortalité des espèces ligneuses et la variabilité climatique a montré peu de relation entre ces variables. Cela est dû par l'insuffisance des données floristiques. Des suivis écologiques depuis 2015, particulièrement sur la mortalité des végétaux ligneux, devraient être effectués afin de voir l'évolution exacte entre les variables climatique et floristique. Néanmoins, la période étudiée est insuffisante pour observer les variations dans le temps et dans l'espace. De plus, l'étude de la mortalité est difficile à déterminer parce que cela nécessite de longues périodes d'observation et des mesures sur des arbres individuels (Etzold et *al.*, 2016). De ce fait, une longue période d'étude s'avère nécessaire autant pour la flore que pour le climat afin que les données recueillies soient fiables. Selon OMM (2012), la période favorable pour l'étude de précipitation particulièrement est au minimum entre 30 ans. De plus, le suivi écologique s'avère très important pour déterminer les pressions, ainsi que de vérifier l'état de l'écosystème en général (Kelleher, 1999).

La mortalité des espèces végétales fait partie en général d'un phénomène naturel dans le cycle de développement de la communauté végétale. Cependant, face aux différents facteurs et événements, la mortalité devient accrue en suivant un rythme rapide que prévue. Pour le PN Tsimanampetsotsa particulièrement, des activités de pépinières sont déjà mises en place. La plantation des jeunes plants dans cet endroit reste concentrée sur quelques espèces. Cette technique est importante, toutefois, il est nécessaire de multiplier les espèces à planter pour couvrir les lacunes des espèces mortes, surtout les espèces endémiques.

Au point de vue climatique et floristique, des analyses spatio-temporelles (NDVI) ou la superposition des cartes sont nécessaires pour mieux apprécier les évolutions existantes. La modélisation est également importante pour l'étude climatique afin de voir les projections futures pour prendre des décisions, ainsi que pour connaître les techniques d'adaptation face aux différents facteurs et événement y afférents. Enfin, pour l'étude du climat, la collecte des données sur le régime du vent et l'humidité relative est également à suggérer, car durant la présente étude, les matériels de mesures n'ont pas été à la disposition.

## CONCLUSION

La présente étude ressort les caractéristiques floristiques dans le parc National Tsimanampetsotsa. Elle a permis de mettre en évidence les caractéristiques climatiques de la zone d'étude, de même que la mortalité des espèces ligneuses. Cette étude a permis de mettre en exergue les effets de différents facteurs sur les communautés végétales.

L'étude de la relation entre les espèces vivantes et mortes montre que le nombre d'espèces est important autant pour les vivants que ceux qui sont touchés par la mortalité. Quant à la densité, celle des individus vivants reste très élevée par rapport aux individus morts. De plus, la succession d'une année à forte humidité et d'une année à forte sécheresse aggrave la mortalité des espèces ligneuses.

La première hypothèse de départ affirme que « Le climat est très varié dans le PN Tsimanampetsotsa ». Elle a été confirmée pour la précipitation, tandis que pour la température, elle n'est ni rejetée ni confirmée, car la température n'a pas changé de façon remarquable. La deuxième hypothèse était « La variabilité du climat dérange les indicateurs floristiques ». Elle n'a été ni rejetée ni confirmée, car le manque de précipitation et/ou sécheresse accrue n'entraîne pas directement la mortalité des espèces du fait que la présente étude a évoqué plusieurs facteurs liés à la mortalité des végétaux ligneux. Malgré cela, face aux conditions climatiques et écologiques, les espèces recensées ont généralement de faibles taux de régénération. La dernière hypothèse avance que « La mortalité des espèces au sein du peuplement végétal est causée par plusieurs facteurs ». Elle est confirmée du fait que les inventaires ont montré que certains arbres ont été morts à cause des actions anthropiques ou par les organismes ravageurs. Les facteurs tels que la position topographique, le type de substrat engendrent également la mortalité. Ce qui a évoqué que la mortalité des espèces ligneuses est très élevée dans le sol ferrugineux.

Pour remédier la mortalité sur les communautés végétales, des actions de reboisement ont été dès lors mises en œuvre au niveau du Parc même. Bien que l'action de reboisement ne doit pas se limiter seulement au sein du parc. Ainsi, des études plus approfondies s'avèrent indispensable afin de mettre en place des suivis à long terme pour une meilleure gestion des ressources forestières et de redonner le sens de « Forêts denses sèches » de la région Sud-Ouest.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Afouda A, Bouchez J M, Braud I, Cazenave F, Depraetere C, Dessay N, Diedhiou A, Galle S, Gallee H, Gosset M, Haverkamp R, Laurent H, LeBarbe L, Lebel, Messenger C, Onibon H, Reggiani P, 2001. Variabilité climatique et variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest : Un système couplé. : Atelier sur le Couplage des modèles atmosphériques et hydrologiques, Toulouse, France.
- Allen C D, Macalady A K, Chenchouni H, Bachelet D, McdoWell N, Vennetier M, Kitzberger T, Rigling A, Breshears D D, Hogg E H, Gonzalez P, Fensham R, Zhang Z, Castro J, Demidov N, Lim J-H, Allard G, Running S W, SE Merci A, Cobb N, 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manage.* 259, 660 - 684.
- Andriambolatiana S et Randriamampianina M, 2013. Changement climatique : politique et perspectives à Madagascar, 10 -30 p
- Antsonantenainarivony O, 2017. Parcours naturels du Plateau Mahafaly (Sud-Ouest de Madagascar) : groupements végétaux, espèces fourragères et leur valorisation. Mémoire pour l'obtention de Diplôme d'Études Approfondies (D.E.A) en Biologie et Écologie Végétales, option : écologie végétale appliquée. Université d'Antananarivo, 7181 p
- Aubreville A, 1957. Accord à Yamgambi sur la nomenclature des types africains de végétation. *Bois Forêts Trop.* 51, 23 - 27.
- Aussenac, 2021. Étude des relations climat - régénération naturelle du chêne dans la région de Nancy de 1865 à 1972. Hal id: hal-03395775. 4 p
- Battistini R, 1964. Étude géomorphologique de l'extrême Sud de Madagascar. Études malgaches, Labo. Géo. Thèse. Édition Cujas, 577 p.
- Bauza M et Leger F, 2010. Les peuples autochtones face au changement climatique.
- Boussema F, Boivin P, Télédétection des ressources en eau. Collection Universités Francophones Actualités scientifiques. Presses de l'Université du Québec. Éditions AUPELF Sainte Foy, 291- 304 p.
- Braun B, 1965. Plant sociology. New York and London. 439 p.
- Broudic C et Razafindrianilana T, 2020. Adaptation aux changements climatiques des populations rurales du sud-ouest de Madagascar : diagnostic et perspectives, 18 - 56 p

- Brower J E, Zar J H, Ende C N, 1990. *Feldt and Laboratory Methods for General Ecology*. 3<sup>rd</sup> ed. WCB publishers.
- Condit, R., P. S. Ashton, S. Bunyavejchewin, H. S. Dattaraja, S. Davies, S. Esufali, C. Ewango, R. Foster, I. A. U. N. Gunatilleke, C. V. S. Gunatilleke, P. Hall, K. E. Harms, T. Hart, C. Hernandez, S. P. Hubbell, A. Itoh, S. Kiratiprayoon, J. LaFrankie, S. L. de Lao, J.-R. Makana, M. Nur Supardi Noor, A. Rahman Kassim, S. Russo, R. Sukumar, C. Samper, H. S. Suresh, S. Tan, S. Thomas, R. Valencia, M. Vallejo, G. Villa, and Z. T. 2006. The importance of demographic niches to tree diversity. *Science* 313, 98 -101.
- Convention de la Diversité Biologique (CDB), 2007. *La diversité biologique et les changements climatiques • Journée internationale de la diversité biologique • Convention sur la diversité biologique*
- Coomes D A, Allen R B, 2007. Mortality and tree-size distributions in natural mixed-age forests. *J. Ecol.* 95, 27– 40.
- Cornet A, 1974. *Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar*. Antananarivo, Madagascar. Notic. Explic. ORSTOM. 55 p
- Cottam G, Curtis J T, 1956. The use of Distance Measurements in Phytosociological Sampling. *Ecology*, 37, 451 – 460. doi.org/10.2307/1930167.
- CREAM, 2013. *Monographie région Antsimo Andrefana*, 27- 208 pp
- Daget P et Poissonet J, 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies, critères d'application. *Ann. Agro.* 22. 1, 5 - 41.
- Dajoz R, 1975.- *Précis d'écologie, écologie fondamentale et appliquée*. 3e édition revue et augmentée, éd. Gautier Villars, Paris 1975, ISBN 2-04-002225-2, 547 p
- Dao A, Bamory K, Adama M, Goula B T A, 2010. Variabilité climatique et réponse hydrologique du Bassin Versant Transfrontalier de Kolondieba au Sud du Mali, 11 p
- Dawkins H C, 1959. *The management of natural high tropical forest, with special reference to Uganda*. Commonwealth forestry, Institute University of Oxford, England, 155 p
- Delille, 2011. *Perception et stratégie d'adaptation aux changements climatiques à Madagascar: Cas des régions Sud-Ouest et les zones périurbaines des grandes agglomérations*, 108 p

- Dewar, R. E.; Richard, A. F. 2007. Evolution in hypervariable environment of Madagascar. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 13723–13727. (doi:10.1073/pnas.0704346104)
- Dewitte, 2001. Le point sur les phénomènes d'El Niño, de la Nina et de l'oscillation Australe. *Bulletin de la société géographique de Liège*, 40, 2001/1, 15 - 32
- Doukpolo, 2014. Changement climatique et productions agricoles dans l'Est de la République Centrafricaine, 338 p.
- Du Puy D J, 2001. *The Leguminosae of Madagascar*. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Etzold S, Wunder, J.; Braun, S.; Rohner, B.; Bigler, C.; Abegg, M.; Rigling, A., 2016. Mortalité des arbres forestiers: causes et tendances. Dans: Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Réd.), *Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation*. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne; institut fédéral de recherches WSL, Birmensdorf; Haupt, Berne, Stuttgart, Vienne. 183–203.
- Eve R et Pers A, 2014. *Parc National Tsimanampetsotsa Madagascar*, 105 p.
- Faramalala, M et Rajeriarison C, 1999. *Nomenclature des formations végétales de Madagascar*, 41 p.
- Foster C R, Amos A F et Fuiman L A, 2010. Phenology of six migratory coastal birds, in *relation to climate change*. *The Wilson Journal of Ornithology* 122(1), 116 – 125.
- Franklin J F, Shugart H H et Harmon M E, 1987. Tree death as an ecological process. *Bioscience* 37, 550 – 556.
- Ganzhorn J U, Lowry P P, Schatz G E et Sommer S, 2001. The biodiversity of Madagascar: one of the world's hottest hotspots on its way out. *Oryx* 35, 4:346–348. doi : 10.1046/j.1365-3008.2001.00201.
- Gaspard, D, Beeckman H, De Ridder M, Tomazello-Filho M, Randriamalala R J, Venegas-Gonzalez A et Ramanatoandro T, 2018. The ring responses to climate variability from xerophitic thicket of South Soalara, Madagascar. *Dendrochronologia*. Sous presse.
- Gautier L, 1994. Structure et flore de la forêt sur la pente d'Andranomay. Recherche pour le développement/ MRS-CIDST. 14 – 22 pp.
- Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat, 2001. *Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité*. OMM, PNUE.

- Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de Synthèse. OMM, PNUE
- Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat, 2007. Bilan des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité, 64 p.
- Godron M, 1971. Un essai d'approche probabiliste de l'écologie des végétaux. Thèse d'État USTL, Montpellier, 276 p
- Godron M, 1968.- Relevé méthodique de la végétation et du milieu. Centre National de Recherche Scientifique. France, 292 p
- Grall J et Coïc N, 2005. Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier, 91 p
- Guillaumet J L et Koechlin J, 1971. Contribution à la définition des types de végétation dans les régions tropicales (exemple de Madagascar). *Candollea* 26 : 263-277.
- Kelleher G, 1999. Guidelines for marine protected areas. Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 3, World Commission on Protected Areas of IUCN – The World Conservation Union, 127 p
- Koechlin, J., Guillaumet, J., & Morat, P. (1974). Flore et végétation de Madagascar. Cramer/Ganter: Vaduz. 624 p.
- Koto B, Ravanomanantsoa H N, Jaovola T et Veriza F R, 2017. Valorisation des systèmes météorologiques et climatiques dans le système agropastoral du Sud-Ouest de Madagascar, pp1- 25 p
- Kruskal W H et Wallis W A, 1952. Use of Ranks in one criterion Variance Analysis. *Journal of American*. 47 : 583 - 621.
- Lamotte M, 1957. Initiation aux méthodes statistiques en Biologies. Masson et Cie. Paris. 144p.
- Maignien R, 1968. Les sols ferrugineux tropicaux. Unité pédogénétique. ORSTOM, réunion annuelle des pédologues. Bondy. 35 p
- Mamokatra, 1999. Étude pour l'élaboration d'un plan d'aménagement et de gestion au niveau de la Reserve naturelle intégrale de Tsimanampetsotsa, Diagnostic physico-bioécologique. Deutscher Forstservice GmbH, Feldkirchen et Entreprise d'Études de Développement Rural "Mamokatra", Antananarivo, Madagascar
- MEF, 2003. Communication nationale initiale au titre du changement climatique », 27 p

- Millar C L et Stephenson N L, 2015. Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance. *Science* 349, 823 – 826.
- Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD), 2019. Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNA) Madagascar, 152 p.
- Ministère de l'agriculture, 2001. Monographie de la région du sud-ouest. Unité de politique pour le développement rural (UPDR).
- Mittermeier R A, À, Rakotovao L H, Randrianasolo V, Eleanor J. S et Daniele D, 1987. Priorité en matière de conservation à Madagascar, 98 p.
- Morel R, 1996. Les sols cultivés. Lavoisier, Paris.
- Nicholson S .E, 1988. Sub-Sahara rainfall in the years 1976-1980: evidence of continued drought. *Monthly weather rev*, N°3 : 1964 - 2054.
- Organisation météorologique mondiale, 2012. Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé (M. Svoboda, M. Hayes et D. Wood) - (OMM-N° 1090), Genève.
- Othman Y, Al-Karaki G, Al-Tawaha A R et Al-Horani A, 2006. Variation in Germination and Ion Uptake in Barley Genotypes under Salinity Conditions. *World Journal of Agricultural Sciences* 2 (1): 11-15, 2006. ISSN 1817- 3047
- Rabearivony N D A, Razafiarison Z L, Raharimalala F et Rakotoarivony F, 2014. Étude ethnobotanique et santé de régénération des plantes médicinales utilisées par les hommes à Ambalabe Vatomandry.
- Rabefitia Z, Rakotondramanana H et Laivao M O, 2007. État et tendance de l'environnement. Section 3, 11 p.
- Rabefitia Z, Randriamarolaza L Y A, Rakotondrafara M L, Tadross M et Yip Z K, 2008. Le changement climatique à Madagascar, 19 p.
- Raharimalala V, 2007. État et tendance de l'environnement section 3, chapitre 5 : Écosystème terrestre, 38- 88 pp.
- Rahendrimanana J C, 2012. Caractérisation du climat dans la Réserve Spéciale de Beza Mahafaly et son influence sur la communauté aviaire, 113 p.
- Rajoelison L. G, 1997. Étude d'un peuplement : analyse sylvicole, Manuel à l'usage des techniciens du développement rural, Antananarivo, Madagascar, Département des Eaux et forêts, E.S.S.A, Université d'Antananarivo.

- Rakotomalala D, 2008. La création des Aires Protégées dans le Sud et Sud-Ouest de Madagascar: approche et méthodologie. Les forêts sèches de Madagascar. Goodman S M & Wilmé L. Malagasy nature, 1, 168-181.
- Rakotovao G, Rabevohitra A R, Collas de Chatelperron P, Guibal D, Gérard J, 2012. Atlas des bois de Madagascar. Édition Quae, 1-20 pp.
- Ranaivoson N, 2017. Évaluation des impacts de la variabilité climatique sur la forêt de la réserve de Vohibola et la population riveraine (région Antsinanana). Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master, mention : biologie et écologie végétales. Université d'Antananarivo. 93 p
- Randriamanana L M E, 2016. Analyse floristique, structurale et étude de l'utilisation locale de la forêt de Badrala. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master, parcours : Systématique et Gestion Durable de la Diversité Végétale, 91 p.
- Randriamanga S, 1982. Exemples de périodes sèches estivales dans la décennie 1970 à Madagascar. Madagascar Revue de géographie, n° 1982-40, 95 - 97.
- Randriamanga S, Pennarun J, Lahuec J P, Dagorne D et Guillot B, 1995. Étude de la sécheresse de 1990-1991 et de 1991-1992 à Madagascar vue à partir des images infrarouges METEOSAT et les données conventionnelles. In JM Dubois, M. R.
- Randriamiharisoa L O, Rakotondravony D, Raheirilalao M J, Ranirison A, Wilmé L et Ganzhorn J U, 2015. Effects of transhumance route on the richness and composition of bird communities in Tsimanampetsotsa National Park. Madagascar Conservation & Development 10, S3 : 110 – 115.
- Randrianarisoa H D S, 2019. Étude de germination et de croissance en pépinière de six espèces de Fabaceae, Région Atsimo Andrefana. 70 p.
- Raselimanana A P, 2008. Herpétofaune des forêts sèches malgaches. Dans Les forêts sèches de Madagascar, eds. S. M. Goodman et L. Wilmé. Malagasy Nature, 1, 46 -75.
- Ratovonamana R Y, 2016. Analyse floristique et structurale des différentes formations végétales, habitats de *Microcebus griseorufus* dans le Parc National de Tsimanampetsotsa. Thèse de doctorat, Biologie et Écologie végétale, option Écologie végétale, Faculté des sciences université Antananarivo. 235 p.

- Ratvonamana R Y, Rajeriarison C, Roger E et Ganzhorn J U, 2011. Phenology of different vegetation types in Tsimanampetsotsa National Park, south-western Madagascar. *Malagasy Nature*, 5, 14-38.
- Raunkiaer C, 1905. Type biologique pour la géographie botanique. *Bulletin Scientifique Académique et lettre*, 437 p.
- Razanaka S, 1996. Répartition des espèces xérophiiles dans le Sud-Ouest de Madagascar, 172 - 176 pp.
- Republikan'i Madagasikara, 2008- 2018. Plan d'action national sur la lutte contre la désertification alignée au plan-cadre stratégique décennal. 142 p.
- Reynolds J H et Ford E D, 2005. Improving competition representation in theoretical models of self-thinning: a critical review. *J. Ecol.* 93, 362 – 372.
- Rohner B, Bigler C, Wunder J, Brang P et Bugmann H, 2012. Fifty years of natural succession in Swiss forest reserves: changes in stand structure and mortality rates of oak and beech. *J. Veg. Sci.* 23, 892–905.
- Rouault, G.; Candau, J.N.; Lieutier, F.; Nageleisen, L.M.; Martin, J.C.; Warzée, N., 2006. Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Ann. For. Sci.* 63, 61– 624.
- Rollet B, 1983. La régénération naturelle des trouées. Un processus général de la dynamique des forêts tropicales humides. *Bois et forêts des tropiques*. N°202 19 – 34. 201 p.
- Rothe P, 1964. Régénération naturelle en forêt tropicale. Le *Dipterocarpus dreysi* (Dau) sur le versant Cambodgien du Golfe de Siam. *Bois et forêt des tropiques*, 94 p.
- Sadio S, 1986. Étude pédologique des facteurs de mortalité des essences forestières introduites en milieux sales au Sénégal. Centre ORSTOM
- Salomon J N, 1978. Fourrés et forêts sèches du Sud-Ouest malgache. 21 p.
- Shapiro S S et Wilk M B, 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples), *Biometrika*, vol 52, 591- 611.
- Tadross M, Randriamarolaza L, Rabefitia Z et Zheng, 2008. Climate change in Madagascar, recent past and future. Washington, DC: World Bank.
- Thomson MC, Abayomi K, Barnston A G, Levy M et Dilley M, 2003. El Niño and drought in southern Africa. *Lancet*, 361, 437 – 438.

- Tianarisoa T F et Radimbison A M, 2007. Caractérisation écologique de la végétation située hors des aires protégées de Soalala (typologie, évolution spatio-temporelle), in *Tohiravina* 2, 204 p.
- USAID, 2016. Profil du risque du changement climatique, Madagascar, 51 p.
- USAID, 2018. Risque climatique dans les zones urbaines et en voie d'urbanisation, 27 p.
- Vennetier M et Ripert C, 2010. Impact du changement climatique sur la flore méditerranéenne : théorie et pratique. In Barbault R, Foucault A coordinateurs « *Changement climatique et biodiversité* » Editions Vibert. Paris, 75 - 87 pp.
- Wunder J, Brzeziecki B, Zybura H, Reineking B, Bigler C et Bugmann H, 2008. Growth-mortality relationships as indicators of life-history strategies: a comparison of nine tree species in unmanaged European forests. *Oikos* 117, 815 – 828
- WWF, 2011. Changement climatique et mode de vie ruraux, 36 p.
- WWF, 2013. Capacité d'Adaptation au Changement climatique à Madagascar

## RÉFÉRENCES WEBOGRAPHIQUES

- Données mondiales, 2022. Climat à Atsimo-Andrefana (Madagascar). [Climat: Atsimo-Andrefana, Madagascar \(donneesmondiales.com\)](https://donneesmondiales.com). Accédé le 07/08/22.
- Fondation des Aires Protégées et de la Biodiversité de Madagascar, (2020). Le Parc National de Tsimanampetsotsa. <http://www.fapbm.org> >appPDF- fapbm. Accédé le 05/10/22
- Soro D T, Soro N, Oga Y M S, Soro G, Lasm T, Ahoussi K E et Biémi J, 2011. La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). <https://journals.openedition.org/physio-géo/1581>



**Annexe 2 : Fiche de relevé de la structure verticale**

Altitude début :

Altitude fin :

Latitude début :

Latitude fin :

Longitude début :

Longitude fin :

|    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | . | . | 50 |  |    |    |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|--|----|----|
| 14 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  | 14 |    |
| 13 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 13 |
| 12 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 12 |
| 11 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 11 |
| 10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 10 |
| 9  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 9  |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 8  |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 7  |
| 6  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 6  |
| 5  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 5  |
| 4  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 4  |
| 3  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 3  |
| 2  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 2  |
| 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |  |    | 1  |
| 0  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | . | . | 50 |  |    |    |

## Annexe 3 : Liste floristique globale

| N° | Familles      | Noms scientifiques                | Noms vernaculaires | Forme biologique | Auteur               | Affinité  | UICN |
|----|---------------|-----------------------------------|--------------------|------------------|----------------------|-----------|------|
| 1  | Acanthaceae   | <i>Justicia spicata</i>           | Fitsetsindrano     | Arbuste          | (Nees) Baron         | Endémique | LC   |
| 2  | Amaranthaceae | <i>Aerva madagassica</i>          | Vonimbato          | Arbuste          | Suessenguth          | Endémique | -    |
| 3  | Anacardiaceae | <i>Operculicarya decaryi</i>      | Jabihy             | Arbre            | H.Perrier            | Endémique | LC   |
| 4  |               | <i>Poupartia minor</i>            | Sakoakomoke        | Arbre            | (Bojer) L.Marchand   | Endémique | -    |
| 5  |               | <i>Operculicarya hyphaenoides</i> | Tarabimena         | Arbuste          | H. Perrier           | Endémique | EN   |
| 6  | Apocynaceae   | <i>Roupellina boivinii</i>        | Lalondo            | Arbuste          | (Baill.) Pichon      | Endémique | LC   |
| 7  | Asteraceae    | <i>Pluchea grevei</i>             | Samonte            | Arbuste          | (Baill.) Humbert     | Endémique | -    |
| 8  | Bignoniaceae  | <i>Rhigozum madagascariense</i>   | Hazonta            | Arbuste          | Drake                | Endémique | LC   |
| 9  |               | <i>Stereospermum nematocarpum</i> | Mahafangalitse     | Arbre            | A. DC.               | Endémique | -    |
| 10 | Boraginaceae  | <i>Ehretia decaryi</i>            | Lampana            | Arbre            | J. S. Mill.          | Endémique | EN   |
| 11 |               | <i>Cordia maireia</i>             | Mera               | Arbuste          | Humbert              | Endémique | -    |
| 12 | Brassicaceae  | <i>Physena sessiliflora</i>       | Fandreandambo      | Arbuste          | -                    | Endémique | LC   |
| 13 |               | <i>Boscia longifolia</i>          | Pake               | Arbre            | Hadj-Moust           | Endémique | LC   |
| 14 |               | <i>Maerua nuda</i>                | Somangilahy        | Arbuste          | Scott-Elliot         | Endémique | LC   |
| 15 |               | <i>Maerua filiformis</i>          | Somangivave        | Arbre            | Drake                | Endémique | LC   |
| 16 |               | <i>Cadaba virgata</i>             | Tsiariary          | Arbuste          | Bojer                | Endémique | LC   |
| 17 | Buddlejaceae  | <i>Androya decaryi</i>            | Manateza           | Arbre            | H. Perrier           | Endémique | -    |
| 18 | Bursereaceae  | <i>Commiphora lamii</i>           | Holidaro           | Arbre            | H. Perrier           | Endémique | NT   |
| 19 |               | <i>Commiphora mahafaliensis</i>   | Maroampotoe        | Arbuste          | Capuron              | Endémique | LC   |
| 20 |               | <i>Commiphora simplicifolia</i>   | Sengatse           | Arbuste          | H. Perrier           | Endémique | LC   |
| 21 |               | <i>Commiphora monstrosa</i>       | Tarabilahy         | Arbuste          | (H. Perrier) Capuron | Endémique | LC   |
| 22 |               | <i>Commiphora humbertii</i>       | Tarabimanitra      | Arbuste          | H. Perrier           | Endémique | EN   |
| 23 |               | <i>Commiphora orbicularis</i>     | Tarabivave         | Arbuste          | Engl.                | Endémique | LC   |

| N° | Familles      | Noms scientifiques                   | Noms vernaculaires | Forme biologique | Auteur             | Affinité     | UICN |
|----|---------------|--------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------|------|
| 24 |               | <i>Commiphora marchandii</i>         | Vingovingo         | Arbre            | Engl.              | Endémique    | LC   |
| 25 | Celastraceae  | <i>Salvadoropsis arenicola</i>       | Fonendravo         | Arbre            | H. Perrier         | Endémique    | EN   |
| 26 |               | <i>Gymnosporia linearis</i>          | Roimpatake         | Arbuste          | Loes.              | Afrotropical | -    |
| 27 | Combretaceae  | <i>Terminalia ulexoides</i>          | Fatra              | Arbuste          | H. Perrier         | Endémique    | LC   |
| 28 |               | <i>Terminalia disjuncta</i>          | Taly               | Arbre            | H. Perrier         | Endémique    | LC   |
| 29 | Didieraceae   | <i>Alluaudiopsis fiherenensis</i>    | Marotaho           | Arbuste          | Humbert & Choux    | Endémique    | VU   |
| 30 |               | <i>Alluaudia comosa</i>              | Somondratrake      | Arbre            | (Drake) Drake      | Endémique    | VU   |
| 31 |               | <i>Didierea madagascariensis</i>     | Sono               | Arbre            | Baill.             | Endémique    | LC   |
| 32 | Ebenaceae     | <i>Diospyros manampetsae</i>         | Fivikakanga        | Arbuste          | H. Perrier         | Endémique    | LC   |
| 33 |               | <i>Diospyros sp.</i>                 | Hazomainte         | Arbuste          | -                  | Endémique    | LC   |
| 34 |               | <i>Diospyros humbertiana</i>         | Maentefo           | Arbuste          | H. Perrier         | Endémique    | LC   |
| 35 | Euphorbiaceae | <i>Acalypha decaryana</i>            | Fandrivotse        | Arbuste          | Leandri            | Endémique    | -    |
| 36 |               | <i>Givotia madagascariensis</i>      | Farafatse          | Arbre            | Baillon            | Endémique    | -    |
| 37 |               | <i>Euphorbia plagiantha</i>          | Fia                | Arbuste          | Drake              | Endémique    | LC   |
| 38 |               | <i>Securinega seyrigyi</i>           | Hazomena           | Arbre            | Leandri            | Endémique    | LC   |
| 39 |               | <i>Euphorbia tirucalli</i>           | Laro               | Arbuste          | L.                 | Cosmopolite  | LC   |
| 40 |               | <i>Croton salviformis</i>            | Pisopiso           | Arbuste          | Leandri            | Endémique    | -    |
| 41 |               | <i>Euphorbia stenoclada</i>          | Samata             | Arbuste          | Baill.             | Afrotropical | LC   |
| 42 |               | <i>Croton sp8.</i>                   | Zalazala           | Arbuste          | Leandri.           | Endémique    | -    |
| 43 |               | <i>Croton sp.</i>                    | Zanompoly          | Arbuste          | -                  | Endémique    | -    |
| 44 | Fabaceae      | <i>Alantsilodendron alluaudianum</i> | Avoha              | Arbuste          | (R. Vig.) Villiers | Endémique    | NT   |
| 45 |               | <i>Albizia mahalao</i>               | Balabake           | Arbre            | Capuron            | Endémique    | LC   |
| 46 |               | <i>Bauhinia grandidieri</i>          | Felamaray          | Arbuste          | Baillon            | Endémique    | LC   |
| 47 |               | <i>Delonix floribunda</i>            | Fengoky            | Arbre            | (Baill.) Capuron   | Endémique    | LC   |
| 48 |               | <i>Tamarindus indica</i>             | Kile               | Arbre            | L.                 | Afrotropical | LC   |

| N° | Familles      | Noms scientifiques                  | Noms vernaculaires | Forme biologique | Auteur                | Affinité    | UICN |
|----|---------------|-------------------------------------|--------------------|------------------|-----------------------|-------------|------|
| 49 |               | <i>Mimosa delicatula</i>            | Kirava             | Arbuste          | Baillon               | Endémique   | -    |
| 50 |               | <i>Dicraeopetalum mahafaliense</i>  | Lovainafy          | Arbre            | (M.Peltier.)          | Endémique   | LC   |
| 51 |               | <i>Senna meridionalis</i>           | Maronono           | Arbuste          | (R. Vig.) Du Puy      | Endémique   | VU   |
| 52 |               | <i>Albizia tulearensis</i>          | Mendoravy          | Arbre            | R. Vig.               | Endémique   | LC   |
| 53 |               | <i>Mundulea stenophylla</i>         | Rodrotsy           | Arbuste          | R. Vig.               | Endémique   | LC   |
| 54 |               | <i>Acacia bellula</i>               | Rohindrano         | Arbre            | Drake                 | Endémique   | LC   |
| 55 |               | <i>Acacia royumae</i>               | Roinosy            | Arbre            | Oliv.                 | Pantropical | LC   |
| 56 |               | <i>Chadsia grevei</i>               | Sangonakoholahy    | Arbuste          | Drake                 | Endémique   | LC   |
| 57 |               | <i>Mundulea micrantha</i>           | Sofasofa           | Arbuste          | R. Vig.               | Endémique   | LC   |
| 58 |               | <i>Lemuropisum edule</i>            | Tara               | Arbuste          | H. Perrier            | Endémique   | EN   |
| 59 |               | <i>Tetrapterocarpon geayi</i>       | Vaovy              | Arbre            | Humbert               | Endémique   | LC   |
| 60 | Hernandiaceae | <i>Gyrocarpus americanus</i>        | Kapaipoty          | Arbre            | Jacq.                 | Pantropical | LC   |
| 61 | Lamiaceae     | <i>Karomia microphylla</i>          | Forimbitike        | Arbuste          | (Moldenke) R.B. Fern. | Endémique   | LC   |
| 62 | Lythraceae    | <i>Capuronianthus mahafaliensis</i> | Ringitse           | Arbuste          | J.-F. Leroy           | Endémique   | EN   |
| 63 |               | <i>Adansonia rubrostipa</i>         | Fony               | Arbre            | Jum. & H.Perrier      | Endémique   | LC   |
| 64 |               | <i>Grewia</i> sp.                   | Hazofoty           | Arbuste          | -                     | Endémique   | LC   |
| 65 | Malvaceae     | <i>Grewia grevei</i>                | Katepoke           | Arbuste          | Baill.                | Endémique   | VU   |
| 66 |               | <i>Grewia barorum</i>               | Malimatse          | Arbuste          | -                     | -           | -    |
| 67 |               | <i>Grewia humblotii</i>             | Sely               | Arbuste          | Baill.                | Endémique   | LC   |
| 68 |               | <i>Humbertiella quararibeoides</i>  | Seta               | Arbuste          | Hochr                 | Endémique   | EN   |
| 69 | Meliaceae     | <i>Neobeguea mahafaliensis</i>      | Handy              | Arbre            | J.-F Leroy            | Endémique   | LC   |
| 70 | Moraceae      | <i>Ficus humberitii</i>             | Nonoke             | Arbuste          | C.C. Berg             | Endémique   | -    |
| 71 | Olacaceae     | <i>Olox andronensis</i>             | Bareraky           | Arbre            | Baker                 | Cosmopolite | LC   |

| N° | Familles         | Noms scientifiques                | Noms vernaculaires | Forme biologique | Auteur              | Affinité      | UICN |
|----|------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------|---------------------|---------------|------|
| 72 |                  | <i>Ximenia perrieri</i>           | Kotro              | Arbuste          | Cavaco & Keraudren  | Endémique     | LC   |
| 73 | Passifloraceae   | <i>Adenia olaboensis</i>          | Hola               | Liane            | Claverie            | Endémique     | LC   |
| 74 | Pedaliaceae      | <i>Uncarina stellulifera</i>      | Farehitse          | Arbuste          | Humbert             | Endémique     | NT   |
| 75 | Portulacaceae    | <i>Talinella microphylla</i>      | Tarakitoke         | Arbuste          | Eggl                | Endémique     | -    |
| 76 | Ptaeroxylaceae   | <i>Cedrelopsis gracilis</i>       | Katrafaidobo       | Arbre            | J.-F. Leroy         | Endémique     | CR   |
| 77 |                  | <i>Cedrelopsis grevei</i>         | Katrafaifilo       | Arbre            | Baillon             | Endémique     | LC   |
| 78 | Rhamnaceae       | <i>Bathiorhamnus cryptophorus</i> | Losy               | Arbre            | Capuron             | Endémique     | -    |
| 79 | Rubiaceae        | <i>Catunaregam spinosa</i>        | Marahandoha        | Arbuste          | (Thunb.) Tirveng    | Endémique     | LC   |
| 80 |                  | <i>Euclinia suavissima</i>        | Voafotake          | Arbuste          | (Cavaco) J.-F.Leroy | Endémique     | -    |
| 81 |                  | <i>Rothmannia decaryi</i>         | Voligejy           | Arbuste          | -                   | -             | -    |
| 82 | Salvadoraceae    | <i>Salvadora angustifolia</i>     | Sasavy             | Arbre            | Turill              | Paleotropical | LC   |
| 83 |                  | <i>Azima tetracantha</i>          | Tsingilo           | Arbuste          | Lam.                | Paleotropical | LC   |
| 84 | Sapindaceae      | <i>Erythrophysa aesculina</i>     | Handimbohitse      | Arbre            | Baillon             | Endémique     | VU   |
| 85 | Sapotaceae       | <i>Clerodendrun mandrareense</i>  | Nato               | Arbuste          | Aubréville          | Endémique     | -    |
| 86 | Solanaceae       | <i>Solanum hipophaenoides</i>     | Hazonosy           | Arbuste          | Bitter.             | Endémique     | LC   |
| 87 | Xanthorrhoeaceae | <i>Aloe divaricata</i>            | Vahontsoy          | Arbuste          | A.Berger            | Endémique     | -    |

## Annexe 4 : Liste des espèces ligneuses touchées par la mortalité

| N° | Familles      | Noms scientifiques                | Forme biologique | Auteur               | Affinité  | Statut UICN |
|----|---------------|-----------------------------------|------------------|----------------------|-----------|-------------|
| 1  | Amaranthaceae | <i>Aerva madagassica</i>          | Arbuste          | Suessenguth          | Endémique | -           |
| 2  | Anacardiaceae | <i>Operculicarya decaryi</i>      | Arbre            | H. Perrier           | Endémique | LC          |
| 3  |               | <i>Poupartia minor</i>            | Arbre            | (Bojer) L. Marchand  | Endémique | -           |
| 4  |               | <i>Operculicarya hyphaenoïdes</i> | Arbuste          | H. Perrier           | Endémique | EN          |
| 5  | Apocynaceae   | <i>Roupellina boivinii</i>        | Arbuste          | (Baill.) Pichon      | Endémique | LC          |
| 6  | Asteraceae    | <i>Pluchea grevei</i>             | Arbuste          | (Baill.) Humbert     | Endémique | -           |
| 7  | Bignoniaceae  | <i>Rhigozum madagascariense</i>   | Arbuste          | Drake                | Endémique | LC          |
| 8  |               | <i>Stereospermum nematocarpum</i> | Arbre            | A. DC.               | Endémique | LC          |
| 9  | Boraginaceae  | <i>Ehretia decaryi</i>            | Arbre            | J. S. Mill.          | Endémique | EN          |
| 10 |               | <i>Cordia maireia</i>             | Arbuste          | Humbert              | Endémique | -           |
| 11 | Brassicaceae  | <i>Boscia longifolia</i>          | Arbre            | Hadj-Moust           | Endémique | LC          |
| 12 |               | <i>Maerua filiformis</i>          | Arbre            | Drake                | Endémique | LC          |
| 13 | Burseraceae   | <i>Commiphora lamii</i>           | Arbre            | H. Perrier           | Endémique | NT          |
| 14 |               | <i>Commiphora simplicifolia</i>   | Arbuste          | H. Perrier           | Endémique | LC          |
| 15 |               | <i>Commiphora monstrosa</i>       | Arbuste          | (H. Perrier) Capuron | Endémique | LC          |
| 16 |               | <i>Commiphora humbertii</i>       | Arbuste          | H. Perrier           | Endémique | EN          |
| 17 |               | <i>Commiphora orbicularis</i>     | Arbuste          | Engl.                | Endémique | LC          |
| 18 |               | <i>Commiphora marchandii</i>      | Arbre            | Engl.                | Endémique | LC          |
| 19 | Celastraceae  | <i>Salvadoropsis arenicola</i>    | Arbre            | H. Perrier           | Endémique | EN          |
| 20 | Combretaceae  | <i>Terminalia ulexoïdes</i>       | Arbuste          | H. Perrier           | Endémique | LC          |
| 21 |               | <i>Terminalia disjuncta</i>       | Arbre            | H. Perrier           | Endémique | LC          |
| 22 | Didieraceae   | <i>Alluaudiopsis fiherenensis</i> | Arbuste          | Humbert & Choux      | Endémique | VU          |
| 23 |               | <i>Alluaudia comosa</i>           | Arbre            | (Drake) Drake        | Endémique | VU          |
| 24 |               | <i>Didierea madagascariensis</i>  | Arbre            | Baill.               | Endémique | LC          |

| N° | Familles                           | Noms scientifiques              | Forme biologique                    | Auteur                   | Affinité                | Statut UICN |
|----|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|
| 25 | Ebenaceae                          | <i>Diospyros manampetsae</i>    | Arbuste                             | H. Perrier               | Endémique               | LC          |
| 26 |                                    | <i>Diospyros</i> sp.            | Arbuste                             | -                        | Endémique               | LC          |
| 27 |                                    | <i>Diospyros humbertiana</i>    | Arbuste                             | H.Perrier                | Endémique               | LC          |
| 28 | Euphorbiaceae                      | <i>Acalypha decaryana</i>       | Arbuste                             | Leandri                  | Endémique               | -           |
| 29 |                                    | <i>Givotia madagascariensis</i> | Arbre                               | Baillon                  | Endémique               | -           |
| 30 |                                    | <i>Euphorbia plagiantha</i>     | Arbuste                             | Drake                    | Endémique               | LC          |
| 31 |                                    | <i>Securinega seyrigyi</i>      | Arbre                               | Leandri                  | Endémique               | LC          |
| 32 |                                    | <i>Euphorbia tirucalli</i>      | Arbuste                             | L.                       | Large Aire<br>Tropicale | LC          |
| 33 |                                    | <i>Euphorbia stenoclada</i>     | Arbuste                             | Baill.                   | Afrotropical            | LC          |
| 34 |                                    | <i>Croton</i> sp8.              | Arbuste                             | Leandri.                 | Endémique               | -           |
| 35 |                                    | <i>Croton</i> sp.               | Arbuste                             | -                        | Endémique               | -           |
| 36 |                                    | Fabaceae                        | <i>Alantsilodendron alluadianum</i> | Arbuste                  | (R.Vig.)Villiers        | Endémique   |
| 37 | <i>Albizia mahalao</i>             |                                 | Arbre                               | Capuron                  | Endémique               | LC          |
| 38 | <i>Bauhinia grandidieri</i>        |                                 | Arbuste                             | Baillon                  | Endémique               | LC          |
| 39 | <i>Delonix floribunda</i>          |                                 | Arbre                               | (Baill.)Capuron          | Endémique               | LC          |
| 40 | <i>Mimosa delicatula</i>           |                                 | Arbuste                             | Baillon                  | Endémique               | -           |
| 41 | <i>Dicraeopetalum mahafaliense</i> |                                 | Arbre                               | (M.Peltier.)<br>Yakovlev | Endémique               | LC          |
| 42 | <i>Senna meridionalis</i>          |                                 | Arbuste                             | (R. Vig.) Du Puy         | Endémique               | VU          |
| 43 | <i>Albizia tulearensis</i>         |                                 | Arbre                               | R. Vig.                  | Endémique               | LC          |
| 44 | <i>Acacia bellula</i>              |                                 | Arbre                               | Drake                    | Endémique               | LC          |
| 45 | <i>Acacia rovumae</i>              |                                 | Arbre                               | Oliv.                    | Pantropical             | LC          |
| 46 | <i>Chadsia grevei</i>              |                                 | Arbuste                             | Drake                    | Endémique               | LC          |
| 47 | <i>Tetrapterocarpon geayi</i>      |                                 | Arbre                               | Humbert                  | Endémique               | LC          |
| 48 | Hernandiaceae                      | <i>Gyrocarpus americanus</i>    | Arbre                               | Jacq.                    | Pantropical             | LC          |

| N° | Familles         | Noms scientifiques                          | Forme biologique | Auteur                | Affinité                | Statut UICN |
|----|------------------|---|------------------|-----------------------|-------------------------|-------------|
| 49 | Lamiaceae        | <i>Karomia microphylla</i>                  | Arbuste          | (Moldenke) R.B. Fern. | Endémique               | LC          |
| 50 | Lythraceae       | <i>Capuronianthus mahafaliensis</i>         | Arbuste          | J.-F. Leroy           | Endémique               | EN          |
| 51 | Malvaceae        | <i>Grewia</i> sp.                           | Arbuste          | -                     | Endémique               | LC          |
| 52 |                  | <i>Grewia grevei</i>                        | Arbuste          | Baill.                | Endémique               | VU          |
| 53 |                  | <i>Grewia barorum</i>                       | Arbuste          | #NA                   | Endémique               | LC          |
| 54 |                  | <i>Grewia humblotii</i>                     | Arbuste          | Baill.                | Endémique               | LC          |
| 55 |                  | <i>Humbertiella quararibeoides</i>          | Arbuste          | Hochr                 | Endémique               | EN          |
| 56 | Meliaceae        | <i>Neobeguea mahafaliensis</i>              | Arbre            | J.-F Leroy            | Endémique               | LC          |
| 57 | Moraceae         | <i>Ficus humberitii</i>                     | Arbuste          | C.C. Berg             | Endémique               | -           |
| 58 | Olacaceae        | <i>Olox andronensis</i>                     | Arbre            | Baker                 | Large Aire<br>Tropicale | LC          |
| 59 | Pedaliaceae      | <i>Uncarina stellulifera</i>                | Arbuste          | Humbert               | Endémique               | NT          |
| 60 | Portulacaceae    | <i>Talinella microphylla</i>                | Arbuste          | Eggl                  | Endémique               | -           |
| 61 | Ptaeroxylaceae   | <i>Cedrelopsis gracilis</i>                 | Arbre            | J.-F. Leroy           | Endémique               | CR          |
| 62 |                  | <i>Cedrelopsis grevei</i>                   | Arbre            | Baillon               | Endémique               | LC          |
| 63 | Rubiaceae        | <i>Catunaregam sp.inosa subsp..sp.inosa</i> | Arbuste          | (Thunb.) Tirveng      | Endémique               | LC          |
| 64 |                  | <i>Euclinia suavissima</i>                  | Arbuste          | (Cavaco) J.-F.Leroy   | Endémique               | -           |
| 65 |                  | <i>Rothmannia</i> sp.                       | Arbuste          | -                     | Non<br>déterminé        | -           |
| 66 | Salvadoraceae    | <i>Salvadora angustifolia</i>               | Arbre            | Turill                | Paleotropical           | LC          |
| 67 | Sapindaceae      | <i>Erythrophysa aesculina</i>               | Arbre            | Baillon               | Endémique               | VU          |
| 68 | Sapotaceae       | <i>Clerodendrun mandrarense</i>             | Arbuste          | Aubréville            | Endémique               | -           |
| 69 | Solanaceae       | <i>Lycium acutifolium</i>                   | Arbuste          | E. Mey ex.Dunal       | Large Aire<br>Tropicale | LC          |
| 70 | Xanthorrhoeaceae | <i>Aloe divaricata</i>                      | Arbuste          | A.Berger              | Endémique               | -           |

**Annexe 5** : Données climatiques du Parc National Tsimanampetsotsa entre 2015 à 2021.

(Source : Station d'Andranovao).

| <b>Paramètres</b> | <b>J</b> | <b>A</b> | <b>S</b> | <b>O</b> | <b>N</b> | <b>D</b> | <b>J</b> | <b>F</b> | <b>M</b> | <b>A</b> | <b>M</b> | <b>J</b> |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| P (mm)            | 8,13     | 0,00     | 11,50    | 18,67    | 23,00    | 21,60    | 85,00    | 111,17   | 24,38    | 7,50     | 3,00     | 32,83    |
| T min (°C)        | 14,02    | 14,12    | 16,37    | 18,86    | 20,10    | 22,80    | 23,76    | 23,68    | 22,73    | 20,41    | 16,91    | 15,56    |
| T max (°C)        | 28,98    | 31,23    | 33,06    | 35,48    | 35,73    | 37,00    | 37,46    | 36,56    | 36,06    | 34,39    | 30,96    | 29,18    |
| T moy (°C)        | 20,83    | 21,78    | 23,74    | 26,38    | 27,19    | 29,50    | 29,90    | 29,42    | 28,50    | 26,68    | 23,10    | 21,81    |

**P** : Précipitation moyenne**T min** : Température minimale moyenne**T max** : Température maximale moyenne**T moy** : Température moyenne

---

## PUBLICATIONS

**Publication 1 (En cours) : Randriamora, N.D.N., Randrianarisoa, H.D.S Ratvonamana, R.Y., Antsonantenainarivony, O., 2022.** Study of the mortality of woody plants in the Tsimanampetsotsa National Park, South-western Madagascar. *Malagasy Nature*. 11p

Nasolo Diary Nandrianina Randriamora<sup>1</sup>, Hanitriniala Domohina Sylvia Randrianarisoa<sup>1</sup>, Rakotomalala Yedidya Ratvonamana<sup>2,3</sup>, Ononamandimby Antsonantenainarivony<sup>1,2</sup>

1. *University of Antananarivo, Departement. of Environment, Madagascar*

2. *University of Antananarivo, Department of Plant Biology and Ecology, Departement. of Environment, Madagascar*

3. *Department of Animal Ecology and Conservation, University of Hamburg, Biozentrum Grindel, Martin-Luther-King Platz 3, D-20146 Hamburg, Germany*

Email: [diarinandrianina@gmail.com](mailto:diarinandrianina@gmail.com)

This study focuses on the mortality of woody plants in the Tsimanampetsotsa National Park. This region is characterized by a sub-arid climate, where rainfall does not exceed 600 mm per year, accompanied by a long drought period. In this context that the mortality of the vegetation becomes interesting. The general objective of this study is to evaluate the mortality of ligneous species in Tsimanampetsotsa National Parks by identifying the various factors related to it. To realize this, 29 plots of 30 × 30 m<sup>2</sup> were installed respectively in 6 sites in situ. The results at the specific level show that *Didiereae madagascariensis*, *Gyrocarpus americanus* and *Dicraepetalum mahafaliense* constitute the very abundant extinct species, distributed in the three identified types of vegetation. In terms of global density, 1730 individuals/ha out of the 6731 total individuals counted were dead. By diameter class, small woody individuals between [5-10[cm are the most sensitive to mortality, corresponding to 784 individuals/ha. Plant mortality affected a loss of 26.6% of the total biomass. Regarding the mortality factors, naturally dead wood recorded the highest mortality, with 1516 ind./ha, or 87.58% of the total number of dead individuals inventoried. Thereby, the mortality of plants is induced not only by a simple cause but closely linked in complex interactions with different events.

**Keywords :** Mortality, woody plants, factors, Tsimanampetsotsa, Madagascar

**Publication 2 (En cours): Randrianarisoa, H.D.S., Randriamora, N.D.N., Ratvonamana, R.Y., Antsonantenainarivony, O., 2022.** Germination study of two *Albizia* species (*A. mahalao* and *A. tulearensis*), endemic of South-western region of Madagascar. *Madagascar Conservation and Development*. 10 p

**Publication 1 : Randrianarisoa, H.D.S., Randriamora, N.D.N., Ratovonamana, R.Y., Antsonantenainarivony, O., 2022.** Germination study of three Fabaceae species of South-west Madagascar. Abstract applied on Tropentag hybrid conference « Can agroecological farming feed the world? Farmers’ and academia’s views ». Tropentag, September 14-16, 2022, hybrid conference.



**Tropentag, September 14-16, 2022, hybrid conference**  
**“Can agroecological farming feed the world?**  
**Farmers’ and academia’s views”**

## **Germination study of three Fabaceae species, endemic of south-western region of Madagascar**

HANITRINIALA DOMOHINA SYLVIA RANDRIANARISOA<sup>1</sup>, NASOLO DIARY NANDRIANINA RANDRIAMORA<sup>2</sup>, RAKOTOMALALA YEDIDYA RATOSONAMANA<sup>3</sup>, ONONAMANDIMBY ANTSONANTENAINARIVONY<sup>4</sup>

<sup>1</sup>University of Antananarivo, Dept. of Environment, Madagascar

<sup>2</sup>University of Antananarivo, Dept. of Environment, Madagascar

<sup>3</sup>University of Antananarivo, University of Hamburg, Dept. of Biology and Ecology, Animal Ecology and Conservation, Madagascar

<sup>4</sup>University of Antananarivo, Dept. of Biology and Plant Ecology, Dept. of Environment, Madagascar

In the South-western region of Madagascar, the Fabaceae family is commonly used by the local population for different purposes along with their ecological importance. Its natural regeneration rate is very low because of the problems related to physiological and morphological seed dormancy and other ecological factors. To overcome these difficulties, *ex situ* multiplication of seedlings is essential to ensure the sustainable use of the Fabaceae species which are of socio-economic, ecological and cultural importance. Thus, a germination test was undertaken for three endemic woody Fabaceae species encountered in Tsimanampetsotsa National Park such as *Delonix floribunda*, *Tetrapterocarpon geayi* and *Vachellia bellula*. The aims of this study is to identify the optimal conditions for seed germination and seedling growth. Four factors or treatments closely related to seed germination and seedling growth were tested : pre-treatments, seed size, substrates and water salinity. The results revealed that these treatments showed significant effects on germination rates for all species studied. Manual scarification led to the highest germination rate for *D. floribunda* (58.7%), *V. bellula* (60.2%) and *T. geayi* (87.9%). For *V. bellula*, the largest seeds gave the highest germination rate (70.33%). For *D. floribunda* and *T. geayi*, the highest germination rate were obtained with medium size seeds, with 67.06 and 77.4% respectively. The results showed that only *Vachellia bellula* tolerates the salinity of the water at the time of germination and growth, with a germination rate of 80%, corresponding to the dose of 10 g/L NaCl. For *D. floribunda* and *T. geayi*, the germination rate at 10 g/L NaCl dose is low, with 1.40 and 57.05% respectively. *D. floribunda* is well adapted to all types of substrates tested, with a germination rate of about 80%. Calcareous soil was the most favourable not only for germination, but also for growth and viability of the seedlings of the two species. Because of their simplicity and low cost, these techniques are recommended for the future production of seedlings in this region, while preserving the sustainability of these species.

**Keywords:** Fabaceae, germination, growth, seed, Tsimanampetsotsa

**Publication 4: Randrianarisoa, H.D.S., Randriamora, N.D.N., Ratovonamana, R.Y., Antsonantenainarivony, O., 2022.** Germination study of three Fabaceae species of South-west Madagascar. Poster applied on Tropentag hybrid conference « Can agroecological farming feed the world? Farmers’ and academia’s views ». Tropentag, September 14-16, 2022, hybrid conference.



### Germination study of three Fabaceae species, endemic of South-western region of Madagascar



Hantriniela Domohina Sylvia Randrianarisoa<sup>1</sup>, Nasolo Diary Nandrianina Randriamora<sup>2</sup>, Rakotomalala Yedidya Ratovonamana<sup>3</sup>, Ononamandimby Antsonantenainarivony<sup>4</sup>

<sup>1</sup>University of Antananarivo, Dept. of Environment, Madagascar; <sup>2</sup>University of Antananarivo, Dept. of Environment, Madagascar; <sup>3</sup>University of Hamburg, Dept. of Biology and Ecology, Animal Ecology and Conservation, Madagascar; <sup>4</sup>University of Antananarivo, Dept. of Biology and Plant Ecology, Dept. of Environment, Madagascar

#### INTRODUCTION

**FABACEAE**

- Third family diversified in the world's flora: 19 400 species, distributed in the tropics
- Madagascar : 667 species
- Species commonly used for different purposes : construction wood, energy wood, fodder, medicinal plants and cosmetics
- Problems : physiological dormancy of seeds
- Subject : germination test for three woody Fabaceae species encountered in Tsimanampesotse National Park : *Acacia bellula*, *Delonix floribunda* and *Tetrapterocarpon geayi*.
- The general objective is to identify the optimal conditions for germination and growth of seedlings.
- The specific objective are to :
  - establish a seed pretreatment ;
  - test the effect of seed size on germination ;
  - identify the favourable substrate for each species ;
  - evaluate the effect of salinity on germination.

#### STUDY AREA

- Madagascar
- Region : South-west
- Tsimanampesotse National Park



Figure 1 Localization of study area

### MATERIALS AND METHODS

#### Seed collected



Figure 2 Seeds collected

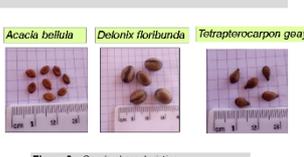


Figure 3 Seeds characteristics

#### Germination parameters

- Germination rate (%)
- Latency time (days)
- Germination time (days)



Figure 4 Germinated seed and seedling of *Acacia bellula*, *Delonix floribunda* and *Tetrapterocarpon geayi*

Germination rate (%) = Number of germinated seed / Total number of seeds

#### Treatments of seeds

##### Seed pretreatment

- Control
- Manual scarification
- Hot water 40 °C during 5 minutes
- Tap water during 24 hours

##### Seed size

| Seeds size | <i>A. bellula</i> | <i>D. floribunda</i> | <i>T. geayi</i> |
|------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| Small      | 0.01              | 0.56                 | 0.05            |
| Medium     | 0.02              | 0.64                 | 0.07            |
| Large      | 0.03              | 0.77                 | 0.09            |

##### Substrates

- Sandy soil
- Ferruginous soil
- Calcareous soil
- Mixture soil

##### Salinity

- Six (06) concentrations of NaCl : 0, 2, 4, 6, 8 and 10 ‰/L

#### Experimentation




Figure 5 Experimentation

### RESULTS

#### Effects of treatments on germination

##### Acacia bellula

- Pretreatment : Manual scarification (60 %)
- Seed size : Large seed (70 %)
- Substrate : Mixture soil (83 %)
- Salinity tolerance : High

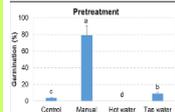
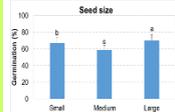
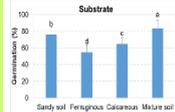
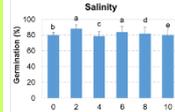
##### Delonix floribunda

- Pretreatment : Manual scarification (SM) (59 %)
- Seed size : Medium (67 %)
- Substrate : Mixture soil (M) (80 %)
- Salinity tolerance : Low

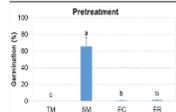
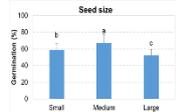
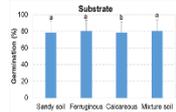
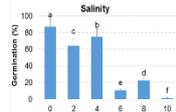
##### Tetrapterocarpon geayi

- Pretreatment : Manual scarification (88 %)
- Seed size : Medium (77 %)
- Substrate : Mixture soil (33 %)
- Salinity tolerance : Moderate

#### Acacia bellula

#### Delonix floribunda

#### Tetrapterocarpon geayi

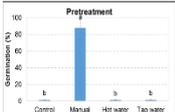
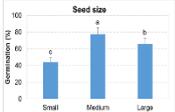
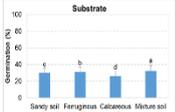
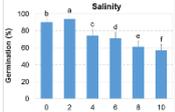





Figure 6 Effects of treatments on germination rate

### CONCLUSION

This study allowed to determine and to identify technical itineraries for seedling production.

- Manual scarification of seeds gives the highest germination rate for all species.
- Large and medium sized seeds have a better germination capacity.
- Mixed soil is the most favourable substrate for germination.
- *Delonix floribunda* and *Tetrapterocarpon geayi* do not tolerate high level of salinity in water and soil.
- *Acacia bellula* tolerates salinity in water and soil.

Contact author: Hantriniela Domohina Sylvia Randrianarisoa  
domohinesylviahantrinala@gmail.com

Nom et prénoms : RANDRIAMORA Nasolo Diary Nandrianina

Titre du mémoire : Caractérisation écologique et étude de la mortalité des végétaux ligneux : cas du Parc National Tsimanampetsotsa

Pagination : 50

Tableaux : 24

Figure : 21

### Résumé

Cette étude est axée sur la caractérisation écologique et sur l'étude de la mortalité des végétaux ligneux dans le Parc National Tsimanampetsotsa. Cette région est caractérisée par un climat subaride, où les précipitations ne dépassent pas 600 mm/an, accompagnée d'une longue période de sécheresse de 8 mois. C'est dans ce contexte, la mortalité des végétaux devient intéressante. L'objectif général de cette étude est ainsi d'évaluer la mortalité des végétaux ligneux dans le Parc National Tsimanampetsotsa tout en identifiant les caractéristiques floristiques et les différents facteurs y afférents. Pour l'étude floristique, 29 plots de 30 × 30 m<sup>2</sup> ont été installés *in situ* dans 6 sites dans trois différents types de végétation à savoir les forêts sèches sur les sols sableux et ferrugineux et le fourré xérophile sur le sol calcaire. Les données pluviométriques et thermométriques entre 2015 et 2021 ont été enregistrées dans la station d'Andranovao. Les données édaphiques ont été également prélevées. La richesse floristique présente 87 espèces inventoriées, 87,20 % qui sont endémiques, réparties dans 66 genres et 35 familles. La structure verticale est différente dans un type de végétation à l'autre avec un taux de recouvrement élevé de la strate [0 – 2[ m dans le Fourré Xérophile sur le sol Calcaire (FXC) soit 68,83 % et une absence de la strate [6 – 8[ m. Les résultats sur la mortalité au niveau spécifique évoquent que *Didierea madagascariensis*, *Gyrocarpus americanus* et *Dicraeopetalum mahafaliense* constituent les espèces plus abondantes touchées par la mortalité, réparties dans les trois types de végétations identifiés. En termes de densité globale, 1730 ind/ha sur les 6731 individus totaux recensés ont été morts soit 25,70 %. Par classe de diamètre, les individus ligneux de petite taille entre [5-10[cm figurent les plus sensibles à la mortalité correspondant à 784 ind/ha. La mortalité des végétaux a touché une perte de 26,6 % de la biomasse totale. Les résultats climatiques montrent que la précipitation totale est très variée, accompagnée par des années très humides (2015 et 2019) ou très sèches (2020). Tandis que la température moyenne reste stationnaire (25,6 °C). Concernant les facteurs de mortalité, les bois morts naturellement enregistrent la mortalité la plus élevée, avec 1516 ind/ha soit 87,58 % du nombre total des individus morts inventoriés. La relation entre le climat et les indicateurs floristiques a montré des relations positives et/ou négatives. La mortalité des végétaux est donc induite non seulement par une simple cause, mais liée étroitement en interactions complexes avec des événements.

**Mots-clés** : Mortalité, facteurs, végétaux ligneux, climat, Tsimanampetsotsa, Madagascar

### Abstract

This study focuses on the ecological characterisation and mortality of woody plants in the Tsimanampetsotsa National Park. This region is characterised by a sub-arid climate, where rainfall does not exceed 600 mm/year, accompanied by a long dry period of 8 months. It is in this context that plant mortality becomes interesting. The general objective of this study is thus to evaluate the mortality of woody plants in the Tsimanampetsotsa National Park while identifying the floristic characteristics and the different factors related to it. For the floristic study, 29 plots of 30 × 30 m<sup>2</sup> were installed *in situ* in 6 sites in three different vegetation types, namely dry forest on sandy and ferruginous soils and xerophytic thicket on limestone soil. Rainfall and temperature data between 2015 and 2021 were recorded at the Andranovao station. Edaphic data were also collected. The floristic richness presents 87 inventoried species, 87.20% of which are endemic, distributed in 66 genera and 35 families. The vertical structure is different in each vegetation type with a high cover rate of the stratum [0 - 2[ m in the Fourré Xerophile on limestone soil (FXC), i.e. 68.83%, and an absence of the stratum [6 - 8[ m. The results on mortality at the specific level suggest that *Didierea madagascariensis*, *Gyrocarpus americanus* and *Dicraeopetalum mahafaliense* are the most abundant species affected by mortality, distributed in the three vegetation types identified. In terms of overall density, 1730 ind/ha out of the 6731 total individuals recorded were dead, i.e. 25.70%. By diameter class, small woody individuals between [5-10[cm] are the most susceptible to mortality corresponding to 784 ind/ha. Plant mortality affected a loss of 26.6% of the total biomass. The climatic results show that the total precipitation is very varied, accompanied by very wet (2015 and 2019) or very dry (2020) years. While the average temperature remains stationary (25.6 °C). Regarding the mortality factors, naturally dead wood records the highest mortality, with 1516 ind/ha or 87.58% of the total number of dead individuals inventoried. The relationship between climate and floristic indicators showed positive and/or negative relationships. Plant mortality is therefore not only induced by a single cause, but closely linked in complex interactions with events.

**Keywords** : Mortality, factors, woody plants, climate, Tsimanampetsotsa, Madagascar

Rapporteurs : Docteur ANTSONANTENAINARIVONY Ononamandimby  
Docteur RATOvonamana RAKOTOMALALA Yedidya

Adresse de l'auteur : [diarinandrianina@gmail.com](mailto:diarinandrianina@gmail.com)

